

Desempenho de Dosímetros OSL em Feixes Clínicos empregados na Mamografia

Performance of OSL dosimeters in clinical beams from mammography

Caio V. Oliveira¹, Henrique V. Cabete¹, Anna Luiza M. C. Malthez², Fátima F. R. Alves³,
Sílvio R. Pires⁴, Regina B. Medeiros³, Marcelo B. Freitas⁴

¹Programa de Residência em Área Profissional de Física Médica do Hospital São Paulo e Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo (HSP/EPM-UNIFESP), São Paulo, Brasil

²Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação - Universidade Estadual de Campinas (CPG/FEEC-UNICAMP), Campinas, Brasil

³Departamento de Diagnóstico por Imagem da Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo (DDI/EPM-UNIFESP), São Paulo, Brasil

⁴Departamento de Informática em Saúde da Escola Paulista de Medicina - Universidade Federal de São Paulo (DIS/EPM-UNIFESP), São Paulo, Brasil

Resumo

A busca pela relação ótima entre imagem e dose é fundamental para a qualidade da prática clínica em mamografia. Neste sentido a dosimetria empregando detectores luminescentes opticamente estimulados (OSLD) configura-se numa alternativa aos métodos tradicionais permitindo uma estimativa *in loco* da dose recebida pela paciente. Este estudo teve como objetivo verificar o desempenho de dosímetros OSL em feixes clínicos empregados na mamografia. Para tanto, detectores de óxido de alumínio, especialmente projetados para diminuir a interferência na qualidade da imagem, foram expostos combinando alvos e filtros do equipamento mamográfico provido de sistema de imagem digital. Também foram empregados detectores de fluoreto de lítio irradiados nas mesmas condições, juntamente com uma câmara de ionização utilizada para determinação dos valores de dose praticados. Um simulador homogêneo de acrílico foi projetado e utilizado para simular diferentes espessuras de mama e também determinar valores de dose interna nas condições de irradiação. Os resultados permitiram a determinação de fatores de calibração (sinal OSL x dose) dos detectores expostos aos feixes de radiação normalmente empregados na prática clínica. As imagens do simulador e a comparação das respostas TL e OSL indicam para a possibilidade de uso rotineiro do sistema de dosimetria OSL na mamografia.

Palavras-chave: radiologia diagnóstica; mamografia; dosimetria; luminescência opticamente estimulada; proteção radiológica.

Abstract:

The search for the relationship between dose and mammography image is critical to the quality of clinical practice. In this sense, dosimetry using optically stimulated luminescent detectors (OSLD) is configured as alternative to traditional methods and allows on-site dose checks received by patients. This study aimed to verify the performance of OSL dosimeters in clinical beams typically used in mammography. For this, aluminum oxide detectors, especially designed to reduce interference on the image quality, were exposed to radiation beam combining targets and filters of a mammography equipment with digital imaging system. In addition were also employed lithium fluoride detectors irradiated under the same conditions, together with a ionization chamber for determination of dose values. A homogeneous acrylic phantom was designed and used for simulating different breast and also determine internal dose values under the irradiation conditions. The results allowed the determination of calibration factors (OSL signal x dose) of the exposed detectors to the radiation beams typically used in clinical practice. The phantom images and the comparison between TL and OSL responses suggest the possibility of routine use of the OSL dosimetry system in mammography.

Keywords: diagnostic radiology; mammography, dosimetry; optically stimulated luminescence; radiation protection.

1. Introdução

O câncer de mama é o câncer mais comum entre as mulheres, representando aproximadamente um quarto dos novos casos a cada ano¹. Quando diagnosticado em estágios iniciais, permite tratamentos que melhoram o prognóstico e a sobrevida das pacientes. Neste

sentido, o exame radiológico da mama configura-se como uma estratégia importante para a detecção precoce desse tipo de câncer, exigindo que os equipamentos empregados estejam em condições adequadas de funcionamento para a produção de imagens com qualidade diagnóstica e doses de radiação recebidas pelas pacientes em

níveis aceitáveis². A implementação de novos protocolos de garantia e controle de qualidade que permitam determinar as doses praticadas em situações clínicas rotineiras, considerando individualmente cada paciente, pode facilitar a busca pela relação ótima entre imagem e dose.

Especialmente em equipamentos que possuem sistemas de imagens digitais, essa relação ótima não é evidente e a incorporação de métodos e técnicas dosimétricas *in loco*, que permitam avaliações diretamente no paciente durante a realização do exame, pode contribuir para o registro e acompanhamento do desempenho de todo procedimento radiológico de forma mais realística, na medida que a dose recebida por cada paciente pode ser diretamente associada à qualidade diagnóstica da imagem produzida. A técnica dosimétrica empregando detectores luminescentes opticamente estimulados (OSLD) possui diversas vantagens em relação a outras técnicas já utilizadas³, dentre elas a possibilidade de verificações de doses *in loco*, diretamente no paciente, utilizando leitores portáteis. Para seu uso em mamografia é importante que se conheça a resposta dos detectores sob diferentes condições de irradiação em situações clínicas e sua influência na qualidade diagnóstica da imagem.

Considerando esses aspectos, este estudo teve como objetivo verificar o desempenho de dosímetros OSL em feixes clínicos normalmente empregados na prática clínica da mamografia.

2. Materiais e Métodos

Este estudo foi realizado utilizando um mamógrafo da marca General Electric (GE) - modelo Senographe DS, com sistema de imagem digital de aquisição indireta (detector de a-Si e cintilador de CsI), equipado com combinações de alvo/filtro de molibdênio (Mo) e ródio (Rh). O equipamento apresentava conformidade em todos os testes de desempenho recomendados pelas normas nacionais². Nas avaliações das doses foram utilizados dosímetros de óxido de alumínio dopados com carbono confeccionados a partir de uma fita de *Luxel*®, fabricada pela *Landauer* (Luxel - Al₂O₃:C), na forma de discos com 3 mm de diâmetro. Dosímetros termoluminescentes (TLD-100 - LiF:Mg,Ti) foram irradiados nas mesmas condições para permitir comparação com os valores de dose determinados com os OSLD. Uma câmara de ionização calibrada com volume ativo de 6 cm³, dedicada para dosimetria em mamografia (Radcal - 10x9-6M), foi utilizada para calibração dos dosímetros TL e OSL. Na calibração dos dosímetros foram empregados feixes clínicos para as 3 diferentes combinações alvo/filtro de molibdênio e ródio (Mo/Mo, Mo/Rh, Rh/Rh), com as qualidades descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Qualidade dos feixes clínicos do equipamento mamográfico empregados na calibração dos dosímetros OSL (Luxel - Al₂O₃:C) e TL (TLD-100 - LiF:Mg,Ti).

Alvo/Filtro	Tensão (kV _p)	CSR (mm Al)
Mo/Mo	25	0,338
Mo/Rh	27	0,422
Rh/Rh	29	0,450

*Mo – molibdênio; Rh – ródio;

**CSR – camada semirredutora em mm de alumínio.

Para cada qualidade do feixe clínico empregado, o produto corrente-tempo foi variado de 32 a 200 mAs utilizando o equipamento em modo de operação manual, permitindo obter diferentes valores de dose e, conseqüentemente, diferentes valores de intensidade luminescente para cada tipo de dosímetro. A curva de calibração para cada energia e dosímetro foi obtida relacionando-se a área sob a curva de emissão OSL do Al₂O₃:C para 150s de estímulo óptico ou, no caso dos dosímetros TL (TLD-100), a área dos picos III-IV com as doses registradas com a câmara de ionização. Alguns dosímetros não foram irradiados para permitir avaliar a intensidade OSL/TL correspondente à radiação de fundo, subtraída das leituras OSL/TL de interesse no estudo. Todas as leituras OSL e TL foram realizadas no equipamento leitor automatizado *Risø TL/OSL-DA 20* (DTU – Nutech). Para cada dosímetro e técnica dosimétrica empregada (OSL/TL) foi determinado um fator de correção para uniformizar a resposta luminescente, obtido pela irradiação individual de cada detector com a mesma dose de radiação, no equipamento *Risø*. Este equipamento possui uma fonte de radiação acoplada que permitiu esse procedimento de correção da resposta luminescente individual de cada dosímetro empregado no estudo.

Para poder simular espessuras variadas de mamas durante procedimentos de avaliações de dose e/ou imagem, foi confeccionado um simulador homogêneo de acrílico (polimetilmetacrilato – PMMA) a partir de várias placas em formato de semicírculo com espessuras de 2 e 1 mm e raio de 100 mm (Figura 1). Em todas as avaliações de dose neste estudo foi empregado uma espessura de 52 mm de PMMA correspondente a uma espessura de aproximadamente 60 mm de tecido mamário, em acordo com o perfil da população feminina brasileira⁴. Algumas placas foram confeccionadas com orifícios de 5 mm de diâmetro distribuídos em semicírculos, que permitiram a acomodação de dosímetros OSL e TL para avaliação das doses internas, em várias profundidades e regiões do simulador. Neste estudo, além da dose de entrada na pele (DEP) avaliada pela colocação dos dosímetros na superfície do simulador de mama durante o processo de calibração, também foram avaliadas as doses internas em profundidade no simulador correspondente à dose glandular média (DGM) e a dose de saída (próximo ao suporte da mama), utilizando o feixe clínico com a combinação Rh/Rh (29kV_p) e o produto corrente-tempo de 125mAs.



Figura 1. Simulador homogêneo de acrílico (PMMA) confeccionado com várias placas de 2 e 1 mm de espessura. Algumas placas possuem orifícios para acomodação de dosímetros TL e OSL.

3. Resultados e Discussão

As curvas de calibração para os dosímetros OSL (Luxel - $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$) e TL (TLD-100 - $\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$), obtidas com os 3 diferentes feixes clínicos empregados no estudo (Mo/Mo, Mo/Rh e Rh/Rh) podem ser observadas na Figura 2. Como esperado, a resposta OSL/TL para ambos dosímetros apresenta um comportamento linear com a dose, variando para os diferentes feixes clínicos empregados (coeficiente angular dos ajustes). Essa variação resulta da dependência energética dos dosímetros na faixa de energia dos espectros produzidos pelo equipamento mamográfico utilizando as diferentes combinações alvo/filtro e tensão aplicada (Figura 3).

Como pode ser observado, os dosímetros OSL apresentam maior variação da resposta em energia para feixes mais energéticos, enquanto que nos dosímetros TL essa maior variação é observada para feixes de menor energia. Os valores da dose de entrada na pele (DEP), dose média glandular (DGM) e dose de saída determinados com os dosímetros OSL e TL utilizando o feixe clínico com combinação alvo/filtro de Rh/Rh, tensão aplicada de 29kV_p e produto corrente-tempo de 125mAs podem ser observados na Tabela 2. O fator de retroespalhamento também foi determinado pela razão dos valores de dose com e sem o simulador, utilizando câmara de ionização.

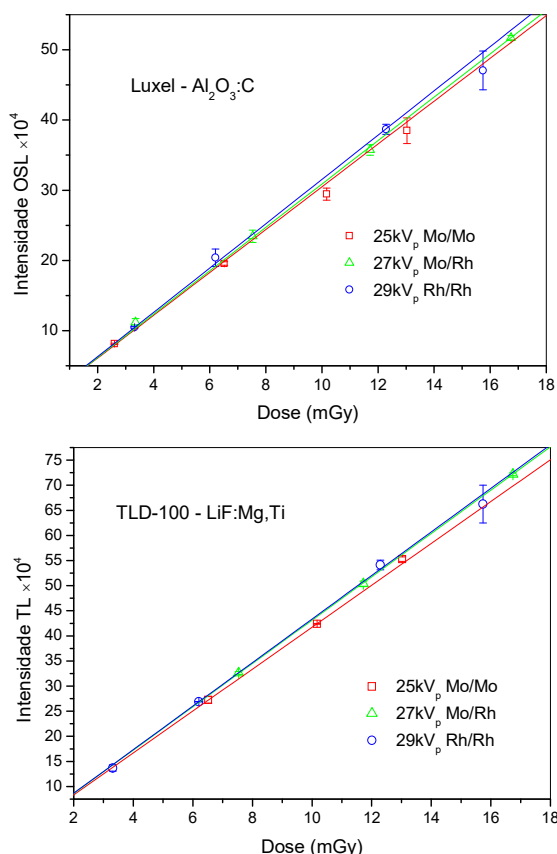


Figura 2. Curvas de calibração relacionando a intensidade OSL (Luxel - $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$) e TL (TLD-100 - $\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$) com a dose de radiação determinada com a câmara de ionização na superfície do simulador homogêneo de acrílico, para os 3 diferentes feixes clínicos empregados no estudo (Mo/Mo, Mo/Rh e Rh/Rh).

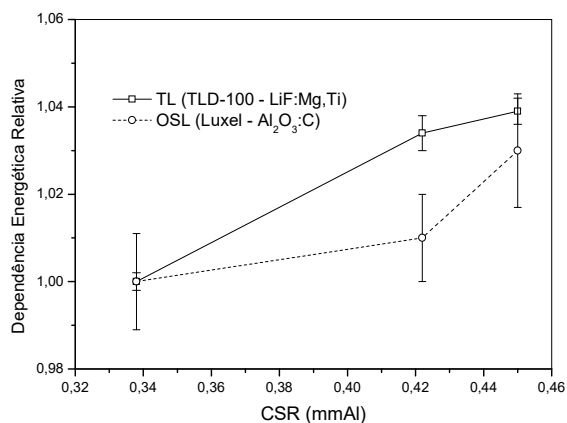


Figura 3. Dependência energética dos dosímetros OSL (Luxel - $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$) e TL (TLD-100 - $\text{LiF}:\text{Mg},\text{Ti}$) relativa à energia do espectro obtido pela combinação Mo/Mo e tensão de 25kV_p (camada semirredutora - CSR de $0,338\text{ mm}$ de alumínio).

Tabela 2. Valores de dose de entrada na pele (DEP), dose média glandular (DGM) e dose de saída determinados com os dosímetros OSL (Luxel - $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$) e TL (TLD-100 - LiF:Mg,Ti), utilizando o feixe clínico com combinação alvo/filtro de Rh/Rh, tensão aplicada de 29kV_p e produto corrente-tempo de 125mAs , além do fator de retroespalhamento (FBS) determinado com o simulador homogêneo.

Grandeza	OSL	TL
DEP (mGy)	12,3(6)	12,5(6)
FBS	1,06	
DGM (mGy)	3,16(16)	3,25(16)
Dose de saída (mGy)	0,74(4)	0,74(4)

4. Conclusões

O processo de calibração realizado permitiu verificar a resposta dos dosímetros OSL (Luxel - $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C}$) em comparação a dosímetros TL (TLD-100 - LiF:Mg,Ti), sob 3 diferentes feixes clínicos, normalmente empregados em exames mamográficos. Os resultados obtidos permitem estimar a dose de entrada na pele (DEP) a partir da intensidade OSL, considerando fatores de correção para a dependência energética dos dosímetros empregados na faixa de energia dos espectros clínicos. Empregando um simulador homogêneo de acrílico confeccionado neste estudo foi possível determinar o valor da dose média glandular (DGM) e dose de saída para um feixe clínico típico de exames mamográficos, além do respectivo fator de retroespalhamento para a condição de irradiação avaliada.

Este resultado demonstra a capacidade de emprego do simulador confeccionado e da metodologia desenvolvida com os dosímetros OSL em processos de avaliação de doses em mamografia. Além disso, a incorporação de dispositivos de avaliação da qualidade da imagem no simulador confeccionado poderiam permitir também a otimização da relação dose-imagem. Em situações reais de exposição, os valores de dose de entrada na pele (DEP) poderiam ser determinados diretamente a partir do uso dos dosímetros OSL de pequenas dimensões (3 mm, p.ex.) fixados diretamente na mama da paciente, fazendo uso de leitores OSL portáteis *in loco*. Estimativas da DGM poderiam ser realizadas a partir do método de Dance e Wu⁵ ou outros protocolos internacionais⁶, empregando o valor de kerma no ar determinado a partir dos valores de dose (DEP) com dosimetria OSL, obtidos em situações realísticas de irradiação durante o exame mamográfico.

Agradecimentos

Ao Setor de Mastologia da UNIFESP por ter disponibilizado o equipamento mamográfico empregado nas avaliações de dose, ao Laboratório de Dosimetria das Radiações e Física Médica do Instituto de Física da USP pelo fornecimento dos dosímetros e uso do equipamento leitor TL/OSL e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro no projeto temático (2010/16437-0).

Referências

1. Instituto Nacional do Câncer. Estimativas de câncer para 2014: incidência de câncer no Brasil. [database on the Internet]. www.inca.gov. 2015 [cited 01/06/2015].
2. Ministério da Saúde. Diretrizes de Proteção Radiológica em Radiodiagnóstico Médico e Odontológico, Brasília, Diário Oficial da União de 1 de junho de 1998 (Portaria 453) (1998).
3. Yukihiro EG, McKeever S. Optically Stimulated Luminescence: Fundamentals and Applications. 1ª. ed. [S.l.]: John Wiley & Sons Ltd, 2011.
4. Alves, FFR. Estudo longitudinal da qualidade da imagem mamográfica em sistemas digitais associado ao processo de otimização da dose glandular média. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Paulo. Escola Paulista de Medicina. São Paulo, 2014. xv, 128f.
5. Dance DR, et al. Further factors for the estimation of mean glandular dose using the United Kingdom, European and IAEA breast dosimetry protocols. Phys Med Biol. 2009;54(14):4361.
6. Hendrick RE, Bassett L, Botsco M, Deibel D, Feig S, Gray J, et al. Mammography Quality Control Manual. Reston: American College of Radiology, 1999.