

Testes de Controle de Qualidade em Equipamentos de Angiografia por Subtração Digital – Resultados Preliminares

Lammoglia, P.¹; Furquim, T.A.C.²; Costa, P.R.³; Caldas, L.V.E.⁴

maquete
OK

^{1,4} Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN/CNEN)

C.P. 11049-05422-9970 – São Paulo – SP -Brasil

^{1,2,3} Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE/USP)

Av. Prof. Luciano Gualberto, 1289 – 05508-900 – São Paulo – SP -Brasil

lamoglia@iec.usp.br; tfurquim@iec.usp.br; pcosta@iec.usp.br; lcaldas@net.ipen.br

Resumo – Para a obtenção do melhor diagnóstico clínico em exames radiológicos, é necessário um controle adequado dos parâmetros que afetam a qualidade da imagem. Isto é possível com a implementação de um Programa de Controle de Qualidade (PCQ). Em departamentos que utilizam sistemas de Angiografia por Subtração Digital (ASD), a implementação desse tipo de programa é essencial, devido às altas doses aplicadas aos pacientes e ao corpo clínico envolvido e também devido à grande invasibilidade dos exames e a probabilidade de ocorrência de reações nos pacientes. Este trabalho mostra o desenvolvimento de testes de CQ em equipamentos de ASD. Estes testes são baseados em Normas internacionais e podem avaliar estes equipamentos em termos de sua resolução espacial, desempenho em baixo contraste, linearidade, artefatos de subtração e exposição. Para a realização destes testes, foram utilizados simuladores não-invasivos de pacientes e uma câmara de ionização. Estes simuladores representam situações clínicas, garantindo uma avaliação individual dos componentes do sistema de ASD.

Palavras-chave: Angiografia por Subtração Digital, Controle de Qualidade, Fluoroscopia, simulador

Abstract - In order to obtain the greatest clinical value in radiological exams an adequated control of factors which affect the image quality is necessary. This is possible with the implementation of a Quality Control Program (QCP). In diagnostic image departments that make use of Digital Subtraction Angiography (DSA) systems, this kind of control is essential due to the high radiation doses applied to patients and staff, and due to the invasives exams. This work presents an overview of the developed quality control tests in DSA equipments. These tests are based on international standards and they can evaluate the performance of DSA systems in terms of its spatial resolution, low-contrast detail identification, contrast linearity, subtraction artifacts and radiation exposure. An ionization chamber and non-invasive tissue-equivalent plastic phantoms were used. These phantoms simulate clinical situations, allowing the evaluation of individual components of the DSA system.

Key-words: Digital Subtraction Angiography, Quality Control Program, Fluoroscopy; Phantom

Introdução

A Angiografia por Subtração Digital (ASD) é uma das técnicas de fluoroscopia digital mais amplamente utilizadas atualmente. Nesta técnica, quando uma patologia é suspeitada (estenose, aneurisma, ulceração, calcificação, etc), um catéter é introduzido na artéria femoral do paciente e segue até a região de interesse^[1]. Uma imagem fluoroscópica é obtida a partir do sinal do Intensificador de Imagens (II), digitalizada e armazenada no computador (máscara). Imediatamente depois, é injetado um agente de contraste e uma nova imagem é obtida. As duas imagens diferem uma da outra somente pelo material de contraste presente na segunda imagem. Uma imagem é então subtraída da outra ponto por ponto (pixel por pixel), e o resultado disso é uma clara definição das estruturas dos vasos sanguíneos, sendo que toda a informação desnecessária é desprezada.

Por ser uma técnica invasiva, capaz de causar reações no paciente e ainda por utilizar radiação ionizante (tudo é feito sob regime de fluoroscopia), estes sistemas devem sempre se manter em ótimo estado, tanto para evitar a repetição de exames, onde não seja possível uma perfeita visualização das patologias, ou que a dose no paciente e no corpo clínico sejam altas demais. Para isso, estes equipamentos devem passar por um Programa de Controle de Qualidade (PGQ) capaz de testar os parâmetros funcionais destes equipamentos e as doses que estão sendo ministradas nos pacientes. Este trabalho mostra testes (de aceitação e de constância) que devem ser realizados para a verificação da qualidade da imagem dos equipamentos de ASD e a exposição nos pacientes.

Metodologia

O método utilizado para avaliar o desempenho do sistema de ASD envolve o uso de simuladores não-invasivos de pacientes (*phantoms*) que garantem uma

avaliação individual dos componentes do sistema sem a necessidade de desmontar o equipamento. Estes simuladores (*Nuclear Associates, inc*) e foram desenvolvidos seguindo prescrições de Normas^[2] e publicações^[3] internacionais, são eles:

- Bloco em Cunha - capaz de cobrir uma faixa dinâmica^a de 1:15 e de ser interposto um sobre o outro para formar bloco sólido de atenuação similar à gerada por um paciente normal;
- Bloco Simulador de Ossos - é constituído de ossos ou de material muito similar a ossos em suas características de atenuação e espalhamento;
- Bloco em Branco - usado para máscara das imagens (pré-contraste), deve ser da mesma espessura e do mesmo material que os blocos que serão posicionados em seu lugar (pós-contraste);
- Bloco de Resolução Arterial - ao todo são 3 blocos de concentrações diferentes de iodo (15 mg/cm³, 150 mg/cm³ e 300 mg/cm³), cada um deles com artérias de 1, 2 e 4 mm de diâmetro com simulações de aneurismas e estenoses de 25%, 50% e 75% do diâmetro da artéria;
- Bloco de Registro - placa de alumínio para teste de artefatos^b, com buracos de 3,2 mm de diâmetro;
- Bloco de Linearidade - contém seis regiões com espessuras diferentes de iodo (0,5; 1; 2; 4; 10 e 20 mg/cm²), e testa a linearidade dos valores de pixel do equipamento;
- Bloco de Resolução Espacial^c - padrão de ensaio de 0,1 mm Pb e de 0,01 mm Pb.

Outro equipamento utilizado é a Câmara de Ionização (Radeal, 9015) capaz de medir kerma no ar^[2] a um valor inferior a 1 µGy para irradiações únicas ou de 10 µGy para uma série de irradiações.

Os testes foram realizados no Hospital e Maternidade São Camilo (São Paulo) em um equipamento de hemodinâmica Philips Integris com matriz de 1024 pixels, capacidade de varredura de 525 ou 1048 linhas de vídeo e abertura do II de 23 cm.

Resultados

Como resultados destes testes foram obtidas avaliações dos parâmetros de desempenho do sistema de ASD, tais como:

1) *Resolução Espacial* - A resolução espacial^[3] é a medida da capacidade de um sistema de imagem em identificar objetos adjacentes, e é especificada em pares de linhas por mm (pl/mm). Os fatores que têm a maior influência sobre a resolução espacial são: a magnificação geométrica, o tamanho da abertura do II, tamanho do ponto focal e tamanho da matriz de pixels.

^a Faixa de atenuação que pode ser utilizada para subtração.

^b Estrutura visível aparente na imagem que não representa uma estrutura dentro do objeto e que não pode ser explicada pelo ruído ou pela Função de Transferência de Modulação do Sistema.

^c Capacidade do sistema de ASD de apresentar pequenas estruturas de alto contraste. OBS: Esta resolução depende tanto do desempenho técnico quanto da habilidade do observador.

Esta resolução deve ser analisada nas direções verticais e horizontais das linhas de varredura de vídeo e também a 45° destas direções. Tipicamente, o padrão de Pb de 0,01 mm deve indicar resolução vertical e horizontal de pelo menos 1,6 pl/mm para II de 15 em (6") e pelo menos 1,2 pl/mm para II de 23 cm (9"), para tamanho da matriz de 512 pixels e sistema de vídeo de 525 linhas^[4]. O teste realizado para verificação da resolução espacial no sistema de hemodinâmica pode ser visto na Figura 1 e os resultados deste teste estão representados na Tabela 1.

Este teste mostrou que a resolução espacial do equipamento está dentro dos limites esperados.

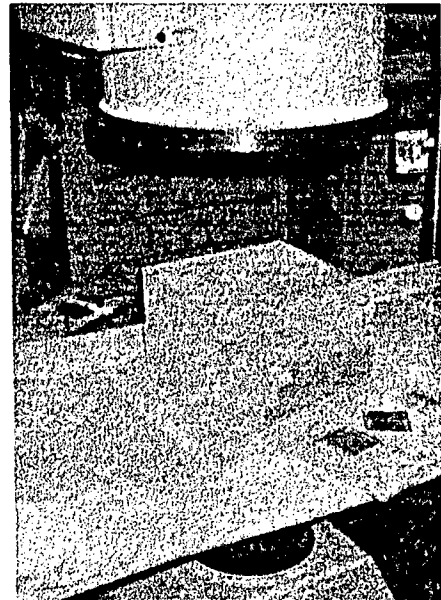


Figura 1 Teste para verificação da resolução espacial no sistema de hemodinâmica Philips Integris.

Tabela 1 Resultados do teste de resolução espacial no sistema de hemodinâmica Philips Integris

Posição do padrão de testes	Resolução espacial	Tolerâncias (Para 0,01 mm Pb, 512 Pixels e 525 linhas de vídeo)
Paralelo às linhas de varredura verticais e horizontais do vídeo	0,1 mm Pb: 1,6 pl/mm 0,01 mm Pb: 1,4 pl/mm	Resolução ≥ 1,2 pl/mm para II de 9" (23 cm)
A 45° das linhas de varredura verticais e horizontais do vídeo	0,1 mm Pb: 1,8 pl/mm	

2) *Desempenho em baixo contraste* - Os equipamentos de ASD^[3] em geral possuem excelente desempenho em baixo contraste, fator que torna possível a introdução de baixa quantidade de iodo a ser injetada no paciente. Neste teste, é verificada a visualização de aneurismas e estenoses de acordo com o tamanho dos vasos e suas concentrações de iodo. Estas informações devem ser comparadas com as especificações fornecidas pelos documentos acompanhantes dos equipamentos. É importante a conscientização de que o desempenho em baixo contraste pode ser otimizado pelos parâmetros ajustáveis pelo operador e é dependente de vários fatores como: qualidade do feixe, magnificação geométrica, tamanho da matriz de pixel e exposição no II (onde pode ser encontrado o ponto de otimização, em

que o ruído quântico é diminuído, e permanece apenas o ruído eletrônico). A Figura 2 representa o teste de desempenho em baixo contraste realizado no equipamento e a Tabela 2 representa os resultados encontrados neste teste no mesmo equipamento.

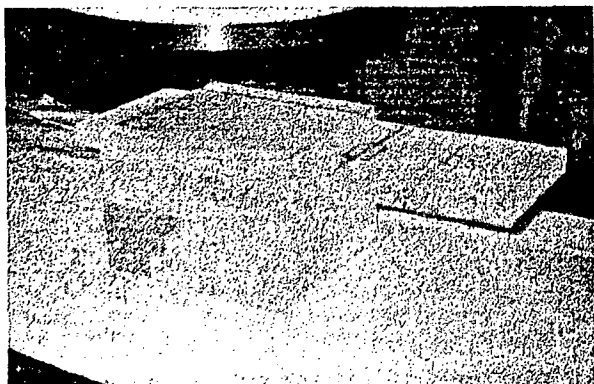


Figura 2 Teste para verificação do desempenho em baixo contraste em equipamento de hemodinâmica Philips Integris

Tabela 2 Resultados de Teste de desempenho em baixo contraste em equipamento de hemodinâmica Philips Integris

Concentração de Iodo I/E	Visualização de Aneurismas	Visualização de Estenoses:
15 mg/cm^3	$\varnothing^* = 1 \text{ mm}$: nenhuma $\varnothing = 2 \text{ mm}$: nenhuma $\varnothing = 4 \text{ mm}$: 75%	$\varnothing = 1 \text{ mm}$: nenhuma $\varnothing = 2 \text{ mm}$: nenhuma $\varnothing = 4 \text{ mm}$: 75%
150 mg/cm^3	$\varnothing = 1 \text{ mm}$: nenhuma $\varnothing = 2 \text{ mm}$: 25% $\varnothing = 4 \text{ mm}$: 25%	$\varnothing = 1 \text{ mm}$: nenhuma $\varnothing = 2 \text{ mm}$: 50% $\varnothing = 4 \text{ mm}$: 25%
300 mg/cm^3	$\varnothing = 1 \text{ mm}$: 25% $\varnothing = 2 \text{ mm}$: 25% $\varnothing = 4 \text{ mm}$: 25%	$\varnothing = 1 \text{ mm}$: 50% $\varnothing = 2 \text{ mm}$: 25% $\varnothing = 4 \text{ mm}$: 25%

\varnothing^* Diâmetro da artéria

3) *Linearidade do Contraste* – Os sistemas de ASD utilizam^[3] o processamento logarítmico do sinal de vídeo para garantir que um vaso de diâmetro e concentração uniformes de iodo apareça na imagem subtraída com diâmetro e contraste uniforme, desprezando estruturas posicionadas acima delas como ossos, ar e espessuras variadas de tecido. Este processamento logarítmico do equipamento torna a diferença do sinal de contraste diretamente proporcional à espessura de iodo. Uma imagem subtraída foi obtida com o Bloco de Linearidade. Os valores de pixel são plotados em função da espessura de iodo (mg/cm^2). O ajuste destes dados deve ser uma linha reta, com ajuste de chi-quadrado $\cong 1$. Este ensaio detecta problemas (ou falta de ajuste) no processamento logarítmico do equipamento e deve ser confirmado pelo teste de contraste e uniformidade espacial.

Um exemplo de um teste de linearidade do contraste é representado na Figura 3.

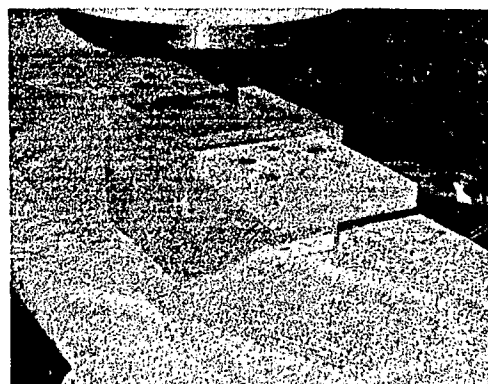


Figura 3 Teste para verificação da linearidade do contraste em sistema de hemodinâmica Philips Integris

4) *Artefatos de Subtração* – Se a localização de pixel de um objeto de *background*^[3] se mover durante o modo máscara, o resultado será uma mistura no registro e a introdução de artefatos na imagem. Esta mistura no registro pode ser causada por: deficiências na cadeia de imagem, movimentação do paciente e instabilidades no tubo de raios X ou no II. Este teste é realizado com o bloco de registro e o bloco em cunha, aberto para alcançar toda a faixa dinâmica do equipamento. É realizada a subtração e como resultado não deverão aparecer degraus ou círculos na imagem. Neste teste, houve visualização residual de degraus e grades na subtração da imagem.

5) *Exposição à radiação* – A radiação em um sistema de ASD afeta a qualidade das imagens produzidas e está associada ao potencial de risco ao paciente e ao corpo clínico envolvido no procedimento. Para a verificação deste parâmetro foi utilizado o simulador PEP (*phantom equivalent patient*), e medida a exposição de radiação em técnica selecionada para exames cardiovasculares, em modo contínuo. Os parâmetros utilizados foram: 72 kVp, 24,3 mA e 30f/s. O resultado da taxa de exposição foi de $0,34 \text{ mCkg}^{-1}/\text{min}$, sendo que as taxas de exposição esperadas para exames cardiovasculares estão entre $0,26 \text{ mCkg}^{-1}/\text{min}$ e $1,29 \text{ mCkg}^{-1}/\text{min}$.

Discussão e Conclusões

A partir dos testes realizados neste equipamento, tem-se que:

- 1) A resolução espacial do equipamento está de acordo com os limites exigidos pelas normas. Se isso não fosse verdade, os parâmetros que afetam esta resolução deveriam ser devidamente analisados, são eles: Intensificador de Imagens, magnificação geométrica, tamanho do ponto focal, a cadeia de TV e o tamanho da matriz de pixels.
- 2) O desempenho em baixo contraste do equipamento é dependente de vários fatores como a qualidade do feixe, a magnificação geométrica, o tamanho da matriz de pixels e exposição no Intensificador de Imagens. Neste teste, o usuário tem a informação quantificada de qual é

o desempenho do equipamento de resolver objetos de baixo contraste, aneurismas e estenoses.

3) No teste de linearidade do contraste, os problemas no processamento logarítmico do equipamento podem ser detectados e confirmados pelo teste de uniformidade espacial e contraste.

4) No teste de artefatos de subtração, houve uma visualização residual de degraus e grades na subtração da imagem. Este teste indica problemas na subtração e registro da imagem e pode ser causado por: deficiências na cadeia de imagem, movimentação do paciente e instabilidades no tubo de raios X e no Intensificador de Imagens.

5) O teste para verificação da exposição de raios X demonstrou estar dentro dos padrões de referência, mas devem ser realizadas também medidas de exposição para outros procedimentos clínicos e a verificação da exposição na entrada ativa do Intensificador de Imagens, que quando excessivamente alta, pode danificar o sistema.

Os testes citados no trabalho devem ser realizados em todos os departamentos que utilizam equipamentos de Angiografia por Subtração Digital ou hemodinâmica numa periodicidade de seis meses. Estes testes garantem uma avaliação rápida, precisa e individual dos componentes funcionais do sistema, e proporcionam a otimização destes parâmetros, garantindo que o sistema esteja sendo utilizado o mais adequadamente possível. Com a implementação destes testes, possíveis problemas que prejudicam a qualidade da imagem formada podem ser detectados, corrigidos e evitados.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro do presente trabalho e também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro parcial.

Os autores agradecem também ao Dr. Carlos Augusto Dias, e toda a equipe de funcionários do setor de hemodinâmica do Hospital e Maternidade São Camilo, local onde foi possível o desenvolvimento dos testes.

Referências

- [1] WOLBARST, A.B. *Physics of Radiology* - Norwalk: Appleton & Lange, 1993
- [2] INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61223-3-3 *Acceptance tests - Imaging performance of X ray equipment for digital subtraction angiography*, 1996.
- [3] AMERICAN ASSOCIATION OF PHYSICISTS IN MEDICINE. AAPM Report nº 15. *Performance evaluation and quality assurance in digital subtraction angiography*, New York, 1985.
- [4] NATIONAL COUNCIL ON RADIATION PROTECTION AND MEASUREMENTS. NCRP Report 99. *Quality Assurance for Diagnostic Imaging Equipment*, 1988.