

Estudo da Viabilidade de Otimização dos Protocolos Pediátricos em Exames de Tomografia Computadorizada de Crânio

Study of the Feasibility of Optimizing Pediatric Protocols in Computed Tomography Examinations of the Skull

Débora R. Bonfleur^{1,2} , Jéssica V. Real¹ , Danielle Filipov² 

¹Complexo Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Brasil

²Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Brasil

Resumo

A tomografia computadorizada (TC) é um método de diagnóstico por imagem com altas doses de radiação ionizante entregue ao paciente – de 100 a 500 vezes as doses em procedimentos convencionais por raios X. No caso de pacientes pediátricos, a preocupação com as doses de radiação é maior, devido à grande expectativa de vida e ao fato de eles serem mais radiosensíveis que adultos. Sendo assim, optou-se por realizar o estudo com pacientes pediátricos, de 0 a 2 anos, submetidos a exames de TC de crânio. O objetivo deste trabalho é apresentar a avaliação de um processo de otimização de protocolos de crânio pediátrico em tomografia computadorizada, avaliando parâmetros de qualidade de imagem e diminuição de dose, sem perda na qualidade das imagens. Foi verificado o índice $CTDI_{vol}$ em quinze amostras de exames de crânio, assim como parâmetros de aquisição das imagens, no referido protocolo. A partir destes dados, foram desenvolvidos cinco protocolos experimentais e analisaram-se as razões contraste-ruído das imagens produzidas. Utilizando como métrica de qualidade a figura de mérito (FOM) para análise da qualidade em comparação com os níveis de $CTDI_{vol}$, concluiu-se que, embora o índice de dose do protocolo atual esteja condizente com a recomendação da AAPM, de 29 mGy, é possível reduzir o índice de $CTDI_{vol}$, para 18 mGy – ou seja, uma redução de 40% do $CTDI_{vol}$ com relação à recomendação da AAPM e de 23% em relação ao protocolo atual. Com os parâmetros de aquisição estudados, constatou-se uma redução na qualidade das imagens, conforme a análise do FOM. Sendo assim, sugere-se a utilização de algoritmos de redução do ruído, ou seja, filtros de reconstrução, para não haver prejuízo da qualidade diagnóstica das imagens.

Palavras-chave: proteção radiológica; $CTDI_{vol}$; tomografia computadorizada pediátrica; qualidade de imagem; figura de mérito.

Abstract

Computed tomography (CT) is a method of diagnostic imaging with high doses of ionizing radiation delivered to the patient – from 100 to 500 times than the doses in conventional x-rays procedures. In the case of pediatric patients, the concern with radiation doses is greater, due to the long life expectancy and the fact that they are more radiosensitive than adults. Therefore, it was decided to carry out the study with pediatric patients, from 0 to 2 years old, who underwent cranial CT exams. The objective of this work is to present the evaluation of a process of optimization of pediatric skull protocols in computed tomography, evaluating parameters of image quality and dose reduction, without loss of image quality. The $CTDI_{vol}$ index was verified in fifteen samples of skull exams, as well as image acquisition parameters, in the referred protocol. From these data, five experimental protocols were developed and the contrast-noise ratios of the images produced were analyzed. Using the figure of merit (FOM) as a quality metric for quality analysis in comparison with $CTDI_{vol}$ levels, it was concluded that, although the dose index of the current protocol is consistent with the AAPM recommendation, of 29 mGy, it is possible to reduce the $CTDI_{vol}$ index to 18 mGy - that is, a 40% reduction in $CTDI_{vol}$ in relation to the AAPM recommendation and 23% in relation to the current protocol. With the acquisition parameters studied, a reduction in the quality of the images was found, according to the FOM analysis. Therefore, it is suggested to use noise reduction algorithms, that is, reconstruction filters, so as not to impair the diagnostic quality of the images.

Keywords: radiological protection, $CTDI_{vol}$, pediatric computed tomography, image quality, figure of merit.

1. Introdução

A tomografia computadorizada (TC) é um método diagnóstico que utiliza a radiação ionizante no processo de formação das imagens (1). A formação das imagens acontece devido à atenuação da radiação nos órgãos e tecidos. Considerando os coeficientes de atenuação das diferentes estruturas anatômicas, os softwares dos equipamentos de tomografia computadorizada utilizam modelos matemáticos para conversão de *pixels* e *voxels* em imagens. Estas imagens se apresentam em diferentes tons de cinza, variando do branco (tecido ósseo) ao preto (ar) (2), sendo medidas em Unidades Hounsfield ou número de TC. Esses números estão

relacionados aos níveis de densidade de cada órgão e tecido do corpo humano (3).

A TC é um dos exames mais solicitados para diagnóstico de diversas patologias, porém “as doses neste exame são consideravelmente maiores em comparação a outros métodos diagnósticos que utilizam a radiação ionizante” (2,4). Estudos relatam que a TC pode resultar em altas doses absorvidas pelo paciente, de 100 a 500 vezes maiores com relação as radiografias convencionais (4).

As realizações de exames de TC de crânio pediátrico são necessárias não só para diagnóstico de patologias diversas, como também investigação de doenças congênitas e traumatismo cranioencefálico (5,6). Estudos anteriores mostram o

aumento significativo na probabilidade do desenvolvimento de câncer cerebral e leucemia em crianças expostas a exames de tomografia de crânio (5,6).

A relevância deste estudo em protocolos de crânio pediátrico de 0 a 2 anos se dá devido à alta radiosensibilidade dos tecidos em formação nos indivíduos desta faixa etária, como também sua expectativa de vida mais longa, potencializando o desenvolvimento de câncer radioinduzido no decorrer da vida. A exposição médica pediátrica à radiação ionizante é um dos fatores de risco para câncer infantil, uma vez que as mudanças do DNA devido à exposição podem ser um iniciador no processo de formação do câncer (carcinogênese) (7).

Embora os benefícios sejam incontestáveis, existe uma preocupação constante com relação à dose de radiação absorvida pelos pacientes submetidos ao exame de TC. “O número de tomografias computadorizadas, tanto instalações como exames cresceram consideravelmente na última década; estima-se um aumento de 10% ao ano” (8).

Para garantir a proteção radiológica de pacientes, profissionais e público em geral, existem princípios básicos de proteção radiológica, sendo a otimização um deles. Esse princípio se baseia no conceito ALARA (do inglês, “As Low As Reasonably Achievable”), em tradução livre: tão baixo quanto razoavelmente exequível. Esse conceito se refere à realização de um procedimento empregando radiação ionizante com o mínimo de dose possível, mantendo a qualidade diagnóstica (no caso dos exames) (9,10).

No método de TC, as grandezas CTDI (Índice de Dose em Tomografia Computadorizada; do inglês, *Computed Tomography Dose Index*) e DLP (Produto Dose Comprimento; do inglês, *Dose Length Product*), são utilizadas para levantamentos de índice de dose, possibilitando a análise dos níveis de referência diagnóstica (NRD). O NDR é utilizado como nível de investigação, uma ferramenta para garantia da qualidade, tendo como objetivo evitar a exposição dos indivíduos a doses superiores às necessárias para diagnóstico médico (10,11).

Quando se refere à qualidade de imagem em tomografia computadorizada, consideram-se fatores como ruído e contraste (que podem ser analisados considerando a razão contraste-ruído (RCR) e a razão sinal-ruído (RSR) e a resolução espacial. A melhor relação entre estes fatores com a menor dose, caracteriza uma melhor qualidade da imagem. O processo de otimização nos exames de TC pode ser avaliado através da métrica chamada Figura de Mérito (FOM; do inglês, *Figure Of Merit*), que relaciona um dos fatores de qualidade com a dose (12,13). Neste estudo, utilizou-se a RCR para análise do fator qualidade nas imagens e o FOM.

Baseando-se nos conceitos apresentados, o objetivo deste estudo é apresentar a avaliação de um processo de otimização de protocolos de crânio pediátrico em TC, avaliando parâmetros de aquisição, qualidade de imagem e dose.

2. Materiais e Métodos

Foi realizado o processo de otimização do protocolo pediátrico de crânio, aplicado a crianças de 0 a 2 anos. Este processo foi dividido nas etapas descritas nas subseções a seguir:

2.1. Equipamento

A coleta dos dados retrospectiva foi realizada nos relatórios DICOM (do inglês, *Digital Imaging and Communications in Medicine*), disponíveis no equipamento de tomografia, após a finalização dos exames.

As imagens dos protocolos experimentais foram adquiridas no equipamento de tomografia computadorizada Modelo *Aquillion 64* (TSX-101A), marca Toshiba. O equipamento pertence à Unidade de Diagnóstico por Imagem de um hospital universitário de grande porte em Curitiba-PR.

2.2. Simulador

Foi utilizado o *phantom* TOS (*Toshiba Medical, Tokyo, Japan*), o qual possui cinco estruturas com diferentes coeficientes de atenuação, fornecido pelo fabricante Toshiba. A Figura 1 apresenta uma imagem do *phantom* empregado.



Figura 1. *Phantom* TOS Toshiba®.

O simulador foi posicionado, conforme recomendação do fabricante, de acordo com a figura 2.

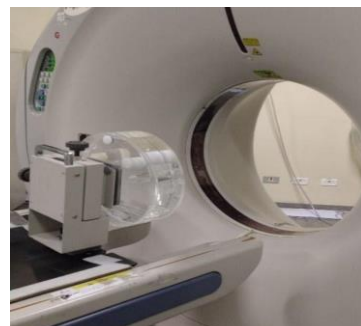


Figura 2. *Phantom* posicionado no tomógrafo Toshiba®.

3. Metodologia

Foram verificados os parâmetros de aquisição do protocolo atual de crânio pediátrico, na faixa etária de 0 a 2 anos. Assim como o levantamento do CTDI_{vol} e DLP retrospectivo, no relatório DICOM (do inglês, *Digital Imaging and Communications in Medicine*) em 15 exames realizados entre dezembro de 2020 e fevereiro de 2021.

Realizaram-se cinco aquisições tomográficas experimentais, no *phantom* TOS, com variação de tensão (kV), corrente (mA), espessura de reconstrução e tempo de rotação do tubo. O fator *pitch* não foi alterado para o experimento e a ferramenta modulação de dose não foi utilizada. Foi efetuado o levantamento da razão contraste-ruído nos cinco protocolos propostos, por meio da seleção de uma ROI (Região de Interesse; do inglês, *Region Of Interest*), ferramenta acessível no console do equipamento. A ROI corresponde a um círculo colocado sobre a imagem, que mede a densidade do tecido, (segundo a escala Hounsfield), a área correspondente, e o desvio padrão, conforme a Figura 3.



Figura 3. Medição com ROI para levantamento de HU e desvio padrão, no tecido (ROI 1) e na água (ROI 2).

Neste estudo, utilizaram-se como variáveis a tensão (kV), a corrente (mA), o tempo de rotação, a colimação (N X T), a espessura e o espaçamento de reconstrução. As variações dos parâmetros de aquisição nos protocolos experimentais foram denominadas como sugestões de 1 a 5 e atual (utilizado na rotina do serviço), organizados conforme a Tabela 1.

Tabela 1. Variação dos parâmetros de aquisição.

Sugestão	kV	mA	N x T (mm)	Tempo de rotação (s)	Espessura/Espaçamento (mm)
1	80	250	0,5 x 32	0,5	0,5 x 0,3
2	80	250	0,5 x 64	0,5	2,0 x 1,0
3	80	200	0,5 x 64	0,5	2,0 x 1,0
4	80	300	0,5 x 64	0,4	1,0 x 0,5
5	100	200	0,5 x 64	0,4	1,0 x 0,5
Atual	100	200	0,5 x 32	0,5	0,5 x 0,3

Fonte: As autoras (2021).

3.1. Razão Contraste-Ruído (RCR)

Para análise da qualidade da imagem em tomografia, utilizam-se fatores já mencionados em trabalhos anteriores (12,13) como a RCR, definida pela equação (1):

$$RCR = \frac{\text{Sinal Estrutura 1} - \text{Sinal Estrutura 2}}{\text{Ruído Estrutura}} \quad (1)$$

A RCR avalia a relação entre o contraste na imagem e o ruído e pode ser considerada como uma grandeza que aperfeiçoa a qualidade da imagem.

Para identificar a RCR, analisamos duas estruturas nas imagens, a água e o tecido nylon (12,13).

3.2. Figura de Mérito (FOM)

O fator qualidade (Q) foi utilizado como métrica de otimização chamada figura de mérito (FOM). Figura de mérito é uma grandeza utilizada para ponderar qualidade de imagem e dose (12). Definida como a razão de uma métrica de qualidade da imagem elevado ao quadrado e dividido por uma métrica dosimétrica (12,13). Para este estudo, utilizamos a RCR e o índice de dose CTDI_{vol}, representado na equação (2):

$$FOM = \frac{RCR^2}{CTDI_{vol}} \quad (2)$$

4. Resultados

O CTDI_{vol}, pesquisado nos relatórios DICOM, não apresentou variação nas 15 amostras de exames analisados; permanecendo 23 mGy. O DLP apresentou variação entre 3,2x10² mGy.cm e 4,6x10² mGy.cm, com média de 3,9x10² mGy.cm ± 3,4x10¹ mGy.cm.

Sendo uma grandeza diretamente relacionada ao CTDI_{vol}, e devido à variação já mencionada, o DLP não foi analisado neste estudo.

Os resultados obtidos estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Fatores de qualidade analisados nos protocolos experimentais.

Sugestão	Sinal Tecido	Sinal Água	Ruído Água	RCR
1	93	2,7 x 10 ¹	2,3 x 10 ²	2,9 x 10 ⁻¹
2	85	1,5 x 10 ¹	1,8 x 10 ²	3,9 x 10 ⁻¹
3	91	3,5 x 10 ¹	2,3 x 10 ²	2,4 x 10 ⁻¹
4	87	-0,2 x 10 ¹	0,8 x 10 ²	10,0 x 10 ⁻¹
5	83	0,9 x 10 ¹	1,1 x 10 ²	6,4 x 10 ⁻¹
Atual	94	0,6 x 10 ¹	0,9 x 10 ²	8,7 x 10 ⁻¹

Fonte: As autoras (2021).

Na comparação da qualidade da imagem, utilizando a FOM e índice de dose, alcançaram-se os resultados, conforme mostrado na Tabela 3.

Tabela 3. Comparação do FOM com índice de dose CTDI_{vol}.

Sugestão	CTDI _{vol} (mGy)	FOM
1	16,0	5,0 x 10 ⁻³
2	16,0	9,0 x 10 ⁻³
3	13,0	4,0 x 10 ⁻³
4	26,0	41,0 x 10 ⁻³
5	18,0	23,0 x 10 ⁻³
ATUAL	23,0	33,0 x 10 ⁻³

Fonte: As autoras (2021).

5. Discussão

Os NDR's são fundamentais na avaliação da estimativa da dose de radiação e no processo de otimização. São indicadores que auxiliam os profissionais em radiologia entender a dose entregue ao paciente e tomar ações corretivas se necessário (14).

Com a análise de qualidade utilizando o FOM, a sugestão 1 apresentou uma redução de dose de CTDI_{vol} de 29%, porém houve redução do FOM em 85%. A sugestão 2, apresentou uma redução de 33% de CTDI_{vol} e uma redução do FOM em 73%. A sugestão 3 apresentou diminuição de 47% no CTDI_{vol}

e uma redução de 88% no FOM. A sugestão 4 mostrou um aumento do FOM em 24%, porém o $CTDI_{vol}$ aumentou 15%. A sugestão 5 apresentou redução de 25% no $CTDI_{vol}$, e uma redução no FOM em 30%.

Portanto, nas sugestões 1, 2, 3 e 5, observou-se que, embora foi possível reduzir significativamente o índice de dose $CTDI_{vol}$, também houve relevante redução do FOM, em relação ao protocolo atual.

A sugestão 4 apresentou o FOM maior que do protocolo atual, porém com aumento de índice de dose $CTDI_{vol}$ o que não é vantajoso quando se realiza otimização de procedimentos radiológicos. Contudo, o índice de dose ainda está dentro da recomendação da AAPM (15).

O protocolo atual apresenta o índice de dose $CTDI_{vol}$ de 23 mGy, dentro dos níveis de referência (29 mGy) recomendados pela AAPM Associação Americana de Física Médica (*American Association of Physicists in Medicine*) para pacientes de 1 a 2 anos, para o equipamento utilizado neste estudo (15).

Estudos anteriores indicam a utilização de algoritmos de redução do ruído, tais como filtros de reconstrução volumétrica, para minimizar o ruído nas imagens (16). Neste presente estudo, não foram utilizados filtros de reconstrução, o que pode explicar a redução da qualidade das imagens geradas pelas sugestões.

5. Conclusões

O objetivo do presente estudo era apresentar a avaliação de um processo de otimização de protocolos de crânio pediátrico em TC, avaliando parâmetros de aquisição, qualidade de imagem e dose.

Foram propostas variações dos parâmetros de aquisição nos protocolos experimentais, gerando 5 sugestões de protocolo, além da situação atualmente utilizada. A sugestão 5 (a que apresentou a melhor relação entre redução de dose e qualidade da imagem) revelou um $CTDI_{vol}$ de 18 mGy, 40% inferior à recomendação da AAPM e 23% inferior ao protocolo atual. Entretanto, esta sugestão apresentou redução da qualidade da imagem. Contudo, não foram utilizados algoritmos de redução do ruído, tais como filtros de reconstrução volumétrica, para minimizar o ruído nas imagens.

A sugestão 4, embora tenha apresentado o $CTDI_{vol}$ maior que o atual, ainda possui índice de dose dentro da recomendação da AAPM e imagens de maior qualidade, conforme a FOM.

Sendo assim, conclui-se que é possível diminuir o índice de dose $CTDI_{vol}$, alterando os parâmetros de aquisição analisados neste estudo. Confirmando achados na literatura que mencionam a possibilidade dessa redução da dose, com otimização de protocolos. Sugere-se, para tal, a utilização de algoritmos de redução de ruído para aumento ou preservação da FOM atual.

Referências

- Santos AEA. Tomografia Computadorizada Princípios Físicos e Aplicações. São Paulo: Editora Escolar, 2007.
- Mello AC, Machado Neto V. Proposta de Medição de Dose em Cristalino e na Tireoide em Exame de Tomografia de Seios da Face. 1º Congresso de Metrologia das Radiações Ionizantes. Rio de Janeiro, 2014.
- Hofer M. Tomografia Computadorizada – Manual Prático de Ensino. Livraria e Editora Revinter Ltda, 2005.
- Miglioretti DL, Johnson E, Williams A, et al. The Use of Computed Tomography in Pediatrics and the Associated Radiation Exposure and Estimated Cancer Risk. *JAMA Pediatr*. 2013;167(8):700–707. doi:10.1001/jamapediatrics.2013.311
- Linet MS, Kim KP, Rajaraman P. Children's exposure to diagnostic medical radiation and cancer risk: epidemiologic and dosimetric considerations. *Pediatr Radiol*. 2009 Feb;39 Suppl 1(Suppl 1) S4-26. doi: 10.1007/s00247-008-1026-3. Epub 2008 Dec 16 PMID: 19083224; PMCID: PMC2814780.
- Bernardo MO, Morgado F, Almeida FA. Redução da dose de radiação em tomografia computadorizada em crianças com traumatismo cranioencefálico não compromete o diagnóstico e a conduta. *Rev Fac Ciênc Méd Sorocaba*. 2016;18(4):221.
- Borisade CA, Famurewa OC, Ibitoye FI, Balogun FA. Organ Dose Distribution and Estimated Cancer Risk to Paediatric Patients Undergoing Computed Tomography in a Nigerian Tertiary Hospital. *Journal of Advances in Medicine and Medical Research*. 1-9, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.9734/jammr/2019/v29i730105>. [Acesso: 12/01/2021].
- Awad M F, Karout L, Arnous G, Rawashdeh MA, Hneiny L, Saade C. A systematic review on the current status of adult diagnostic reference levels in head, chest and abdominopelvic Computed Tomography. *Journal of Radiological Protection*. 2020. Disponível: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1361-6498/ab826f>. [Acesso: 12/01/2021].
- BRASIL. RDC 330, de 20 de dezembro de 2019. Diário Oficial da União. Brasília, DF, 26 de dez. 2019. Seção 1, ed, 249.
- ICRU. Radiation Dose and Image Quality Assessment in Computed Tomography. Report 87. 2012.
- Jornada TS, Silva TA. Obtenção das Grandezas Dosimétricas em Exames de Tomografia Computadorizada Pediátricas do Abdômen. IX Latin American IRPA Regional Congress on Radiation Protection and Safety - IRPA 2013 Rio de Janeiro, RJ, Brazil, April 15-19, 2013 Sociedade Brasileira de Proteção Radiológica – SBPR.
- Capeleti FF. Estudo da dose efetiva, razão sinal-ruído e razão contraste-ruído em tomografia computadorizada de múltiplos detectores. [Bacharelado – Física Médica] – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências de Botucatu, 2010. Disponível: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/118510>. [Acesso: 15/01/2021].
- Mendes HR. Otimização da Qualidade da Imagem e Dose em Radiologia Pediátrica Usando Simulação Monte Carlo e Métodos Experimentais. [dissertação]. Instituto de Física “Gleb Wataghin” da Universidade Estadual de Campinas, 2018.
- Afzalipour R, Abdollahi H, Hajjalizadeh MS, Jafari S, Mahdavi SR. Estimation of diagnostic reference levels for children computed tomography: A study in Tehran, Iran. *International Journal of Radiation Research*, Volume 17, n 3 July 2019.
- AAPM. Pediatric Routine Head CT Protocols. 1–22 (2015). Disponível: <https://www.aapm.org/pubs/CTProtocols/document/s/PediatricRoutineHeadCT.pdf>. [Acesso: 15/01/2021].
- Real JV, Neczypor MR, Doro RB. Redução da dose de radiação em exames de tomografia computadorizada de crânio utilizando algoritmos de redução de ruído. Congresso Brasileiro de Metrologia das Radiações Ionizantes. 2020. Disponível: <https://cbmri.org.br/site/wpcontent/uploads/2020/11/CBMRI-18.pdf>. [Acesso: 20/02/2021].

Contato:

Débora Regina Bonfleur
Complexo Hospital de Clínicas da Universidade Federal do Paraná
Rua General Carneiro, 181 Alto da Glória, Curitiba - PR, 80060-900. 2º andar. Unidade de Diagnóstico por Imagem.
E-mail: debora.bonfleur@hc.ufpr.br