

Tomografia computadorizada e risco de neoplasias

Rosemari Jung¹, Álvaro Nagib Atallah²

Universidade Federal de São Paulo (Unifesp)

RESUMO

Contexto: Milhões de pessoas são atendidas nas emergências de todo o mundo e bilhões de dólares são gastos nos sistemas de saúde com exames, muitas vezes desnecessários. Dentre estes, o uso da tomografia computadorizada apresenta um crescimento importante nas últimas décadas, gerando preocupação com relação a riscos relacionados à exposição à radiação e custos. Vários autores têm alertado sobre o aumento de neoplasias cerebrais e leucemia principalmente em crianças e as evidências são crescentes, relacionando esse fato à exposição à radiação. **Objetivo:** Identificar as evidências sobre risco de desenvolvimento de neoplasias relacionados à radiação ionizante com o uso da tomografia computadorizada. **Métodos:** Revisão narrativa com busca sistematizada, incluindo estudos sobre a relação entre exposição à radiação por meio da tomografia computadorizada e desenvolvimento de neoplasias. **Resultados:** As doses associadas à tomografia estão entre as maiores na radiologia diagnóstica. Há evidências nos estudos epidemiológicos de que a dose correspondente a um exame tomográfico resulta em aumento do risco de neoplasias. Há estimativas, baseadas em modelos matemáticos, de que esse risco seja em torno de 5%. Nas crianças, estudos mostram associação de tomografia com aumento da incidência de leucemia e tumores cerebrais. **Conclusões:** Há indução de tumores cerebrais e leucemias em crianças expostas a tomografias. Exames radiológicos, como quaisquer exames, só devem ser pedidos na certeza de que poderão modificar a conduta e beneficiar o paciente. Protocolos clínicos com base nas melhores evidências científicas devem nortear a tomada de decisão.

PALAVRAS-CHAVE: Tomografia computadorizada por raios X, tomografia, radiação ionizante, neoplasias induzidas por radiação, fidelidade a diretrizes, revisão

INTRODUÇÃO

O avanço da medicina nos permite diagnósticos cada vez mais precisos, porém, também suscita a discussão sobre o alarmante crescimento do uso de métodos que utilizam radiação, especialmente tomografias. Bilhões de dólares são gastos no sistema de saúde sem garantia de benefício clínico, e o uso exagerado de serviços médicos é o responsável por grande parcela desses custos.¹

Nos últimos anos, vários autores têm alertado sobre a exposição crescente à radiação por tomografia e o consequente

risco de câncer, especialmente em crianças.²⁻⁹ Brenner e Hall,⁸ em 2007, estimaram que 1,5% a 2% de todos os cânceres nos Estados Unidos, naquele ano, poderiam ser atribuídos a radiação por tomografia somente. Os autores salientam que embora o risco individual seja pequeno, aplicado a uma população crescente e com aumento de exposição, poderemos ter um problema de saúde pública no futuro.¹⁰

O conhecimento atual sobre radiação ionizante e risco de câncer desenvolveu-se a partir de estudos realizados com sobreviventes da explosão da bomba atômica, no Japão.

¹Médica, com mestrado profissional em Saúde Coletiva pelo Instituto de Ensino e Pesquisa do Hospital Sírio-Libanês e pós-graduanda em Saúde Baseada em Evidências na Universidade Federal de São Paulo (Unifesp).

²Médico, doutor em Medicina, professor titular das Disciplinas de Medicina de Urgência e Saúde Baseada em Evidências, Universidade Federal de São Paulo (Unifesp), diretor do Centro Cochrane do Brasil.

Endereço para correspondência:

Rosemari Jung

Rua Felicíssimo de Azevedo, 627 — apto. 404 — Porto Alegre (RS) — CEP 90540-110

Cel. (51) 9832-9578 — E-mail: rose.jung@gmail.com

Agradecimentos: Os autores agradecem a Andréa Castro Porto Mazzucca, assistente de pesquisa do Cochrane Brazil, pela ajuda com a busca no Embase.

Fonte de fomento: nenhuma declarada — Conflitos de interesse: Nenhum declarado

Entrada: 26 de julho de 2016 — Última modificação: 13 de setembro de 2016 — Aceite: 16 de setembro de 2016

Esses estudos geraram evidências epidemiológicas importantes sobre a relação entre radiação e aparecimento de câncer.^{11,12} Os acidentes de Chernobyl, em 1986, e de Fukushima, em 2011, também são fonte de estudos nesse campo.^{13,14}

Considerando o aumento da utilização de métodos diagnósticos dependentes de radiação, especialmente tomografias, o racional fisiopatológico e os estudos epidemiológicos existentes, é fundamental mapear a literatura, identificando as evidências atuais sobre a relação entre exposição à radiação e desenvolvimento de neoplasias. A melhor compreensão desta relação será útil para nortear a tomada de decisão e o desenvolvimento de políticas de saúde pública, além de direcionar pesquisas futuras que respondam a questões desta área que ainda permanecem incertas.

OBJETIVOS

Identificar as evidências disponíveis sobre risco de desenvolvimento de neoplasias relacionados à exposição à radiação ionizante, especialmente no uso da tomografia computadorizada.

MÉTODOS

Esta foi uma revisão narrativa da literatura desenvolvida no Programa de Mestrado Profissional do Instituto de Ensino e Pesquisa do Hospital Sírio Libanês e no Programa de Pós-graduação em Saúde Baseada em Evidências da Universidade Federal de São Paulo (Unifesp).

Em 6 de setembro de 2016, realizamos busca eletrônica sistematizada nas bases de dados eletrônicas: MEDLINE (via PubMed), Literatura Latino Americana e do Caribe LILACS, via Biblioteca Virtual em Saúde, BVS), Biblioteca Cochrane (via Wiley) e Embase (via Elsevier). A estratégia de busca utilizada para cada base está apresentada na **Tabela 1**. Utilizamos os seguintes critérios de inclusão: estudos com qualquer desenho, disponíveis em texto completo,

publicados a partir de 1990, e publicados nos idiomas português, inglês ou espanhol.

Os resumos de todas as referências obtidas foram avaliados por um dos autores para checar sua relação com o tema e a adequação com os critérios de inclusão. As referências incluídas foram então lidas na íntegra para compor o conteúdo desta revisão narrativa.

RESULTADOS

Resultados das buscas

A busca inicial resultou em 186 referências. Após a avaliação quanto aos critérios de inclusão, 29 referências foram incluídas nesta revisão.

Resultados dos estudos incluídos

Medidas de radiação

Várias medidas são usadas para descrever as doses de radiação envolvidas na tomografia, principalmente dose de radiação, dose efetiva ou equivalente e índice de radiação gerada por exames tomográficos.⁸

Dose de radiação é a energia absorvida por unidade de massa, medida em Grays (Gy). 1 Gy = 1 Joule de radiação absorvida/kg. A distribuição de dose no órgão determinará o nível de risco.⁸

A dose efetiva ou equivalente é expressa em Sieverts (Sv), é usada para expressar uma distribuição de dose não homogênea, como é o caso da tomografia, e serve para fazer comparações entre diferentes exposições, mas é somente uma estimativa do risco real. Para radiação por raios X, que é o tipo de radiação usada em tomografia, 1 mSv = 1 mGy.⁸

O índice de radiação é uma medida usada para controle de qualidade dos aparelhos, e não é relacionada diretamente com o risco ou a dose no órgão.⁸ O Conselho Nacional de

Tabela 1. Estratégias de busca e resultados de acordo com a base de dado

Base	Estratégia	Resultado	Estudos relacionados com o tema
MEDLINE	"Tomography"[Mesh] AND "Neoplasms, Radiation-Induced"[Mesh] AND ((Clinical Trial[ptyp] OR Meta-Analysis[ptyp] OR Multicenter Study[ptyp] OR Observational Study[ptyp] OR Review[ptyp] OR systematic[sb]) AND ("1990/01/01"[PDAT] : "2016/12/31"[PDAT]) AND "humans"[MeSH Terms])	162 referências	27 referências
LILACS	tw:("Tomografia computadorizada por Raios" x AND "Neoplasias induzidas por radiação") AND (instance:"regional") AND (db:("LILACS"))	4 referências	2 referências
Cochrane	Tomography AND Neoplasms, radiation-induced	10 referências	0 referências
Embase	'tomography'/exp OR tomography AND 'neoplasms radiation induced' AND [embase]/lim NOT [medline]/lim	2 referências	0 referências
Total	—	186 referências	29 referências

Proteção Radiológica dos Estados Unidos aponta que a contribuição dos exames de imagem na dose efetiva total da população norte-americana é responsável por 24% do total de exposição.¹⁵ A comparação da dose efetiva de um exame tomográfico à média de radiação ambiental, que é de 3 mSv ao ano (variável de acordo com a localização no planeta) dá uma ideia da importância da tomografia na radiação originária de exames médicos. Assim, por exemplo, uma tomografia de crânio corresponde a oito meses de radiação natural, uma tomografia de tórax, a dois anos.¹⁶

Dose de radiação com o uso da tomografia computadorizada

O número de exames vem aumentando 10% por ano, desde 1993, nos Estados Unidos.¹⁵ Também são relatados aumentos expressivos na Inglaterra e Alemanha.⁹ No Brasil, dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), de 2009, indicam que o número de exames tomográficos ambulatoriais cresceu de 32,5% entre os anos de 2000 e 2005.¹⁷

A dose de radiação gerada a um determinado órgão na tomografia é consideravelmente maior que a gerada na radiografia convencional. Por exemplo, a dose de radiação recebida pelo estômago durante uma radiografia é de 0,25 mGy. Durante uma tomografia, este mesmo órgão recebe uma dose pelo menos 50 vezes maior.⁷

Uma tomografia de encéfalo gera dose estimada de radiação ao cérebro de aproximadamente 95 mGy para uma criança recém-nascida, diminuindo progressivamente a 50 mGy aos cinco anos e para 20 mGy aos 15 anos, mantendo-se nesse nível ao longo da vida.³ As doses associadas com a tomografia estão entre as maiores na radiologia diagnóstica.⁹ A tomografia computadorizada representa 10% a 15% de todos os exames radiológicos, mas 70% da dose de radiação acumulada pelos pacientes são relacionada à tomografia.¹⁸

Raciocínio fisiopatológico

A radiação em baixas doses causa dupla resposta genotóxica nas células. O dano principal é causado no DNA (ácido desoxirribonucleico), e origina-se tanto de interação direta de elétrons como de moléculas de oxigênio reativas (radicais livres) criadas no trajeto da radiação e pode ser reparado rapidamente por ativação de genes de reparação de DNA. As células com DNA alterado ou mal reparado, posteriormente, podem ser removidas por mecanismos de resposta imune. Esse mecanismo, no entanto, pode apresentar falhas, possibilitando o desenvolvimento eventual de um câncer a partir de células com o genoma alterado.^{4,8,11,16}

Dados epidemiológicos

Os dados obtidos nos estudos realizados com sobreviventes da bomba atômica são usados como base para

estimativas de risco relacionado a exposição à radiação. Essa coorte acompanhou cerca de 100.000 sobreviventes por mais de 60 anos. Um grupo de 25.000 sobreviventes recebeu doses menores de radiação, isto é, menos de 50 mSv. Houve aumento significativo no risco geral de câncer nesse subgrupo (entre 5 e 150 mSv), com uma média de 40 mSv, o que corresponde à dose de um estudo tomográfico típico em adultos.^{11,12}

Há evidência direta nos estudos epidemiológicos de que a dose-órgão correspondente a um estudo tomográfico (30 a 90 mSv) resulta em aumento de risco de câncer.⁸ Particularmente para crianças, as evidências são bastante convincentes. Esse risco é mais comprovado para doses moderadas a altas (acima de 50-100 mGy), mas ainda há discussões sobre o risco real abaixo desse nível. No entanto, a hipótese é que não há um limiar para efeitos estocásticos: doses pequenas, abaixo dos limites estabelecidos por normas e recomendações de radioproteção, podem induzir lesões, entre elas, o câncer.^{4,9,16,19} Este é o chamado modelo linear de ausência de limiar, que parte do princípio que qualquer radiação é potencialmente danosa. Pressupõe um excesso de risco de câncer de 5% por Sievert de dose efetiva (5 de 100 mortes por câncer por dose de 1 Sv).¹¹

Vários autores têm usado esse cálculo para estimar casos de câncer relacionados com exposição à radiação por exames.⁴ Estimativas que derivam de um fator de risco de 5% podem não ser válidas para doses associadas com um exame tomográfico e também podem haver muitas falhas no conhecimento dos efeitos biológicos relacionados com a resposta genotóxica e posterior formação de neoplasias.^{4,9}

Um estudo de coorte, publicado em 2007, incluiu 407.000 trabalhadores da indústria nuclear em 15 países, acompanhados por mais de 20 anos, com dose média de 19 mSv.²⁰ Os dados coletados mostraram aumento na mortalidade geral, principalmente devido a um aumento de 0,04% na mortalidade por câncer.²⁰

Idade e exposição à radiação

Os primeiros anos de vida, devido à alta replicação celular, se tornam a fase de maior risco para indução de danos ao DNA. Além disso, os mecanismos biológicos de identificação de células mutantes e reparação de defeitos ainda não estão bem maduros.⁶ Como consequência, o risco estimado de câncer sólido para as pessoas expostas durante a infância pode ser duas a três vezes maior do que o risco estimado para a população em geral.⁴

A preocupação com os riscos relacionados à radiação é maior especialmente em relação às crianças, também pelo aumento verificado no número de exames realizados.

Dose acumulada de radiação e aumento do risco de neoplasia

Um estudo retrospectivo incluindo mais de 350.000 pacientes que realizaram tomografia entre os anos de 1985 e 2002 (quando tinham menos que 22 anos e não tinham diagnóstico de câncer) mostrou associação positiva entre dose acumulada de radiação e incidência de leucemia e tumores cerebrais. Posteriormente, novos dados coletados entre 1985 e 2008 estudaram a reação entre doses estimadas de radiação em medula óssea e cérebro, e incidência e mortalidade por câncer. Foi calculada a incidência adicional de leucemia e tumores cerebrais e foi observado que uma dose cumulativa de cerca de 50 mGy pode quase triplicar o risco de leucemia, e de 60 mGy pode triplicar o risco de tumor cerebral.^{2,4}

Stein e cols., usando um modelo matemático, concluíram que baixas doses de radiação podem induzir tumores de tireoide, meningeomas e gliomas.²¹ Revisão sistemática publicada em 2012 sobre o tema, concluiu que há uma elevação do risco de câncer do sistema nervoso, especialmente no caso dos meningeomas. O risco de gliomas foi maior nos expostos em idade menor. A dose média de radiação no cérebro foi de 0,07 a 10 Gy. O excesso de risco relativo estimado para todos os cânceres variou de 0,19 a 5,6 por Gy.^{5,7}

Estudo de coorte retrospectivo realizado na Austrália,²² baseado em dados populacionais (10.939.680 pessoas entre 0 a 19 anos), identificou expostos e não expostos a exames tomográficos e incidência de câncer. A média de seguimento após exposição foi de 9,5 anos. Foi detectada incidência de câncer 24% superior no grupo exposto. O aumento foi observado para neoplasias sólidas e também para as neoplasias linfoides e hematológicas.

A indução de cânceres sólidos por tomografia em crianças também foi assunto de estudo de Kuhns e cols.²³ Concluiu que a razão do risco de câncer abdominal ou pélvico por exame tomográfico para detecção de cálculos renais sobre o risco de um câncer de ocorrência natural é estimado em 2 a 3 por mil, para crianças de até 10 anos.

Revisão sistemática publicada em 2014²⁴ procurou avaliar o risco de neoplasias malignas associado a tomografias de cabeça e pescoço em crianças. Incluiu 16 estudos com dados de 858.815 pacientes. Concluiu que, após 4.000 tomografias, ocorreu uma neoplasia cerebral a mais e que o risco estimado nos 10 anos seguintes à exposição a uma tomografia foi de uma neoplasia por 10.000 pacientes expostos a 10 mGy com menos de 10 anos de idade.

DISCUSSÃO

A qualidade de imagem fornecida por uma tomografia depende de uma dose de radiação dezenas de vezes superior

à de um exame radiológico convencional. Embora esse seja um dado de extrema importância, não parece ser devidamente valorizado pela classe médica. O número de exames e tomografias realizadas vem aumentando em vários países do mundo e paralelamente também aumentam os custos ligados ao cuidado em saúde. Não há dados que demonstrem que o aumento do número de exames esteja relacionado a maior benefício clínico.

Estudos epidemiológicos iniciados após a explosão da bomba atômica no Japão mostraram que expostos a níveis baixos de radiação tiveram mortalidade aumentada por câncer. Outros estudos mais recentes, em Chernobil e Fukushima obtiveram resultados semelhantes.¹¹⁻¹⁴

A questão do risco ligado à radiação gerada exclusivamente pela tomografia vem sendo alvo de muita discussão por vários autores. As evidências de que dispomos vêm de coortes retrospectivas que mostraram aumento do risco de desenvolvimento de neoplasias, principalmente em crianças.

A pressuposição, baseada em cálculos matemáticos, de um excesso de risco de câncer na ordem de 5% por dose de 1 Sv¹¹ não é aceita por todos os autores, sendo que o risco real é difícil de quantificar. Estudos mostram que há uma resposta genotóxica em níveis baixos de radiação, o que pode levar à formação de neoplasias, não havendo um limiar seguro – proteção é sempre necessária.

Há consenso em relação ao aumento de risco de neoplasias cerebrais e leucemias em crianças, resultado observado em algumas revisões sistemáticas. Pela imaturidade dos tecidos e maior expectativa de vida, crianças pequenas são as mais vulneráveis à radiação. Exames que utilizem radiação ionizante nessa faixa etária devem ser solicitados tendo em mente os riscos e benefícios que serão obtidos.

Não há dúvida de que os exames de imagem, especialmente a tomografia computadorizada e a radiologia intervencionista, contribuíram grandemente para a evolução médica nos últimos 50 anos. No entanto, o crescente número de exames vem elevando as taxas de radiação acumuladas, gerando riscos ainda não bem compreendidos por toda a sociedade, incluindo os próprios médicos. Os dados apresentados na literatura médica relacionam a exposição a radiação ao aparecimento de neoplasias. Dados epidemiológicos importantes foram obtidos nas coortes acompanhadas no Japão e posteriormente, na Inglaterra e na Austrália. As revisões sistemáticas evidenciam que há indução de tumores cerebrais e leucemias em crianças expostas a tomografia e que o risco é claramente maior nos mais jovens.

As crianças surgem como as principais afetadas, pela radiosensibilidade dos tecidos e maior expectativa de vida, gerando expressivos movimentos de alerta à classe médica

para modificação dos parâmetros de radiação realizados e diminuição de exames considerados desnecessários, por meio da adoção de protocolos bem estruturados.²⁵⁻²⁹

CONCLUSÃO

Os dados apresentados na literatura médica relacionam a exposição a radiação ao aparecimento de neoplasias.

As revisões sistemáticas evidenciam que há indução de tumores cerebrais e leucemias em crianças expostas a tomografias e que o risco é claramente maior nos mais jovens.

Exames radiológicos, como quaisquer exames, só devem ser pedidos na certeza de que poderão modificar a conduta e beneficiar o paciente. Protocolos clínicos com base nas melhores evidências científicas existentes devem ser os norteadores da tomada de decisão clínica.

REFERÊNCIAS

- Melnick ER, Szlezak CM, Bentley SK, et al. CT overuse for mild traumatic brain injury. *Jt Comm J Qual Patient Saf.* 2012;38(11):483-9.
- Pearce MS, Salotti JA, Little MP, et al. Radiation exposure from CT scans in childhood and subsequent risk of leukaemia and brain tumours: a retrospective cohort study. *Lancet.* 2012;380(9840):499-505.
- Berrington de González A, Mahesh M, Kim KP, et al. Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007. *Arch Intern Med.* 2009;169(22):2071-7.
- Pauwels EK, Bourguignon MH. Radiation dose features and solid cancer induction in pediatric computed tomography. *Med Princ Pract.* 2012;21(6):508-15.
- Braganza MZ, Kitahara CM, Berrington de González A, et al. Ionizing radiation and the risk of brain and central nervous system tumors: a systematic review. *Neuro Oncol.* 2012;14(11):1316-24.
- Carpenter DO, Bushkin-Bedient S. Exposure to chemicals and radiation during childhood and risk for cancer later in life. *J Adolesc Health.* 2013;52(5 Suppl):S21-9.
- Hennelly KE, Mannix R, Nigrovic LE, et al. Pediatric traumatic brain injury and radiation risks: a clinical decision analysis. *J Pediatr.* 2013;162(2):392-7.
- Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography--an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med.* 2007;357(22):2277-84.
- Pauwels EK, Bourguignon M. Cancer induction caused by radiation due to computed tomography: a critical note. *Acta Radiol.* 2011;52(7):767-73.
- Brenner D, Elliston C, Hall E, Berdon W. Estimated risks of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. *AJR Am J Roentgenol.* 2001;176(2):289-96.
- Shah DJ, Sachs RK, Wilson DJ. Radiation-induced cancer: a modern view. *Br J Radiol.* 2012;85(1020):e1166-73.
- Ozasa K, Shimizu Y, Suyama A, et al. Studies of the mortality of atomic bomb survivors, Report 14, 1950-2003: an overview of cancer and noncancer diseases. *Radiat Res.* 2012;177(3):229-43.
- World Health Organization. Health effects of the Chernobyl accident: an overview; 2006. Disponível em: http://www.who.int/ionizing_radiation/chernobyl/background/en/. Acessado em 2016 (16 set).
- World Health Organization. Preliminary dose estimation from the nuclear accident after the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami. Geneva: World Health Organization; 2012. Disponível em: http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/44877/1/9789241503662_eng.pdf. Acessado em 2016 (16 set).
- Dougeni E, Faulkner K, Panayiotakis G. A review of patient dose and optimisation methods in adult and paediatric CT scanning. *Eur J Radiol.* 2012;81(4):e665-83.
- de la Hoz SR. Riesgos de la radiación en imágenes pediátricas. *Neumología Pediátrica.* 2015;10(2):54-7. Disponível em: <http://www.neumologia-pediatica.cl/PDF/2015102/riesgos-radiacion.pdf>. Acessado em 2016 (16 set).
- Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Escassez e fatura: distribuição da oferta de equipamentos de diagnóstico por imagem no Brasil. In: Brasil. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Diretoria de Pesquisas. Coordenação de População e Indicadores Sociais. Indicadores sociodemográficos e de saúde no Brasil; 2009. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv42597.pdf>. Acessado em 2016 (16 set).
- Sun Z, Ng KH, Sarji SA. Is utilisation of computed tomography justified in clinical practice? Part IV: applications of paediatric computed tomography. *Singapore Med J.* 2010;51(6):457-63.
- Okuno E. Efeitos biológicos das radiações ionizantes: acidente radiológico de Goiânia [Biological effects of ionizing radiation: radiological accident in Goiânia]. *Estud Av.* 2013;27(77):185-200.
- Cardis E, Vrijheid M, Blettner M, et al. The 15-Country Collaborative Study of Cancer Risk among Radiation Workers in the Nuclear Industry: estimates of radiation-related cancer risks. *Radiat Res.* 2007;167(4):396-416.
- Stein SC, Hurst RW, Sonnad SS. Meta-analysis of cranial CT scans in children. A mathematical model to predict radiation-induced tumors. *Pediatr Neurosurg.* 2008;44(6):448-57.
- Mathews JD, Forsythe AV, Brady Z, et al. Cancer risk in 680,000 people exposed to computed tomography scans in childhood or adolescence: data linkage study of 11 million Australians. *BMJ.* 2013;346:f2360.
- Kuhns LR, Oliver WJ, Christodoulou E, Goodsitt MM. The predicted increased cancer risk associated with a single computed tomography examination for calculus detection in pediatric patients compared with the natural cancer incidence. *Pediatr Emerg Care.* 2011;27(4):345-50.

24. Chen JX, Kachniarz B, Gilani S, Shin JJ. Risk of malignancy associated with head and neck CT in children: a systematic review. *Otolaryngol Head Neck Surg.* 2014;151(4):554-66.
25. Goske MJ, Applegate KE, Bulas D, et al. Image Gently: progress and challenges in CT education and advocacy. *Pediatr Radiol.* 2011;41 Suppl 2:461-6.
26. Macias CG, Sahouria JJ. The appropriate use of CT: quality improvement and clinical decision-making in pediatric emergency medicine. *Pediatr Radiol.* 2011;41 Suppl 2:498-504.
27. Rao VM, Levin DC. The Choosing Wisely initiative of the American Board of Internal Medicine Foundation: what will its impact be on radiology practice? *AJR Am J Roentgenol.* 2014;202(2):358-61.
28. National Clinical Guideline Centre. Head injury: triage, assessment, investigation and early management of head injury in children, young people and adults. London: National Institute for Health and Care Excellence; 2014.
29. Hui CM, MacGregor JH, Tien HC, Kortbeek JB. Radiation dose from initial trauma assessment and resuscitation: review of the literature. *Can J Surg.* 2009;52(2):147-52.