

<特集「放射線と健康」>

胎児・小児期の放射線被曝

野 崎 太 希*

聖路加国際病院放射線科

Radiation Exposure in Fetal and Childhood Period

Taiki Nozaki

St. Luke's International Hospital, Department of Radiology

抄 録

2011年3月の東日本大震災ならびに福島原発事故以来、とくに放射線感受性の高い小児での放射線被曝に対する人体への影響に世論の関心が高まっている。この影響については広島・長崎の原爆被災者からのデータが主に使われているが、長期間での低線量被曝と短期間での高線量被曝の影響は同様ではない。胎児期の放射線被曝の影響として流産、奇形、精神発達遅滞があり、いずれもしきい値は100mSvである。小児がんについてはしきい値のない確率の影響とされ、白血病と固形癌ともにリスクが増し、甲状腺癌はチェルノブイリ原発事故後に被曝した小児で増加した。

確率的影響の考え方に、がん発生確率が被曝量とともに直線的に増加するというLNTモデルがある。国際放射線防護委員会の放射線防護の根幹をなす概念で、合理的に達成できる限りにおいて(被曝)線量を少なくするというALARAコンセプトにつながっている。実際に単純X線など診断用放射線により小児がんの発生が増加するのかということについては、支持するものと反論するものの両者の報告が錯綜する。それらの論文をレビューし、医療従事者ができる小児の放射線被曝対策について概説する。

キーワード：胎児・小児，放射線被曝，LNTモデル，ALARAコンセプト，診断用放射線。

Abstract

After East Japan earthquake of March 2011 and Fukushima Daiichi nuclear power plant accident, much more attention has been paid against radiation exposure. Children are much more radiosensitive than adults for radiation exposure. Biological radiation effect has been studied and estimated primarily by using Hiroshima and Nagasaki data of the atomic bomb victims. And the effects of the long term low dose radiation and high dose exposure in the short term are not as well. Effects of radiation exposure in fetal period appear as miscarriage, malformation, and mental retardation. The estimated threshold is 100 mSv. On the other hand, there could be no threshold for the carcinogenesis as late effects of ionizing radiation. The risk of leukemia and solid cancers could be increased along with radiation exposure. Especially thyroid cancer in children increased after the Chernobyl accident. The linear no-threshold (LNT) model is based on the assumption that the risk is directly proportional to the dose at all dose

平成23年10月4日受付

*連絡先 野崎太希 〒104-8560 東京都中央区明石町9-1

開示すべき潜在的利益相反状態はない。

levels, and forms the basis of the radiation protection of the ICRP. This leads to ALARA concept, which is an acronym for “As Low As Reasonably Achievable”. Herewith I introduce the concept of radiation protection with review of previous reports, and discuss how to minimize diagnostic radiation exposure.

Key Words: Fetus/child, Radiation exposure, LNT model, ALARA concept, Diagnostic radiation.

はじめに

2011年3月の東日本大震災および福島原発事故以来、放射線被曝に対する世論の高まりとともに、とくに小児科での患者の親からの問い合わせが増加し、放射線科への被曝についてのconsultationが増えた。福島に近い首都圏とその以西といった地域間での温度差は少しあるように感じるが、現在も放射線被曝に対する関心は高い。原発事故の収束には時間がかかるため、長期的な影響の考慮が必要な状況となっている。放射線被曝の影響について考える際には、広島・長崎の原爆のような短期間での高線量の被曝と、チェルノブイリや福島原発の事故後のような長期間の低線量での被曝とは分けて考える必要がある。また、単純X線、CTといった診断用放射線の被曝は短期間での低線量被曝である。小児ではとくに発がんのリスクについて論じられることが多い。これらの影響については現在までに多数の報告があり、リスクが高いとするものと反論するものの両者がある。

本稿では、胎児・小児期放射線被曝の現在までの報告をレビューし、最近の診断用放射線に対する発がん影響についての論文紹介に続いて、医療従事者としてできる小児放射線被曝対策について論ずる。

胎児・小児期の放射線被曝による影響

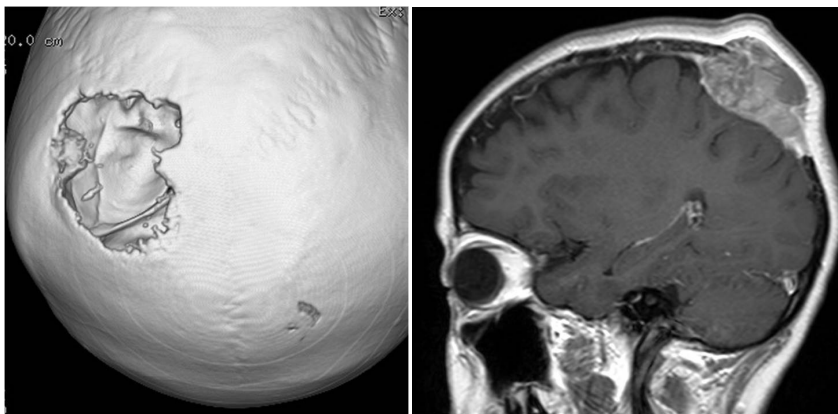
放射線感受性は細胞の増殖速度に比例する。たとえば、消化管上皮などではturn overが速く放射線の影響が大きい。また、今後分裂する細胞の数にも比例するので、生殖細胞や造血幹細胞は影響が大きい。逆に放射線感受性は、形態学および機能的な分化の程度に反比例する。たとえば、骨の骨幹端の成長板にある細胞は、骨幹部の細胞よりも感受性が高い。そのため、

悪性骨腫瘍の放射線治療による影響として、開存した成長板では成長停止を生じうる。また、小児白血病の骨髄移植前の全身照射 (Total Body Irradiation: TBI) では骨端の変形や骨幹部部での二次性外骨腫様の变化を生じることもある¹⁾ (図1)。小児がんの治療の進歩に伴い、患児の予後が長くなっていることから、小児期の悪性腫瘍の放射線治療の晩発障害としての二次がんが問題になっている (もちろん化学療法にも同様の晩期障害がある) (図2)。たとえば、Hodgkinリンパ腫で放射線治療を中心とする加療を受けた患児での二次癌の発生率は20年で10.6%、30年で26.3%と上昇し、マントル照射の照射野内にある乳癌、甲状腺癌の発症がとくにふえるという疫学データが示されている²⁾。このように成長・発達の途中である胎児、小児では成人に比べて放射線感受性が高い上に、余命が長いいため、成人に比べて放射線被曝による影響が大きい。放射線により誘発されるがんは、年齢依存性があるとされる。これらはヒトの場合、広島と長崎での原爆被曝者、チェルノブイリ事故での被曝者などを対象とした疫学調査により調べられており、被曝時の年齢の影響をうけることが明らかにされている³⁾⁴⁾。小児では成人に比べ、がんの過剰相対リスクは一般的には高いものが多い。特に、甲状腺癌と白血病では被曝時の年齢が低いほど感受性が高く、過剰相対リスクは上昇することが知られている。また、甲状腺癌の発症については放射線被曝後25年後にピークとなり、被曝40年後も継続することが疫学的に示されている⁵⁾。遺伝障害については、広島、長崎の原爆被曝者を対象とした疫学調査では放射線被曝によって遺伝的影響が増大しているという知見は確認されていないが、ショウジョウバエやマウスを使った実験からは、生物学上の事実として、放射線を受けてから子供を



肩甲部のX線単純写真

図1 全身放射線照射 (TBI) (+化学療法) 後の外骨腫 (骨軟骨腫)
 15歳男児。肩甲下部に硬い腫瘤を自覚し受診。既往歴として5歳時にAMLに対して骨髄移植前の全身放射線照射 (TBI) を受け、骨髄移植 (BMT) を施行されている。
 肩甲骨下部から外方に突出する骨腫瘍を認め (矢印)、髄内の連続性、既往歴から TBI 後の肩甲骨の外骨腫 (骨軟骨腫) と考えられる。



(a)頭部CTの3D画像

(b)造影MRI(矢状断)

図2 全身放射線照射 (TBI) (+化学療法) 後の二次癌
 42歳女性。頭頂部腫瘤を自覚し受診。既往歴として15歳時にAMLにてTBIおよびBMTを受けた既往がある。(a) 頭部CTの3D画像では境界不明瞭で辺縁の不整な骨破壊性病変がみられる。(b) MRI造影後T1強調画像の矢状断では不均一に造影される骨腫瘍がみられる。病理組織は未分化肉腫であった。

つくると、受けた線量に比例して遺伝的影響の発生する確率が増加するというデータがある（有名なものにノーベル賞を受賞した Hermann Joseph Muller の実験がある）。従って遺伝的影響についてはヒトではデータがないとはいえ、現在のところ、国際放射線防護委員会（ICRP）ではしきい線量がないものとして取り扱っている⁶⁾。

胎児期被曝については小児期被曝とは影響が同様ではないとされる。ヒトの大人での固形がんの発生リスクを追跡した報告では、胎児期被曝による固形がんの過剰相対リスクは1であり、どの妊娠時期でも同じというデータがある。驚くべきことに、この値は小児期被曝の1/2以下であり、胎児期被曝は小児期被曝に比べるとリスクが小さいということになる⁷⁾。小児期の組織が、放射線による発がん感受性が高い理由として、発達期の組織の細胞は活発に分裂していて、放射線によって染色体異常や突然変異が誘発された細胞がクローン性に増加することが挙げられている。他にも成人の幹細胞が低線量の被曝によってアポトーシスをおこすのに対し、幼若期の幹細胞はアポトーシスをおこさないということも報告されている⁸⁾。つまり、傷のできた細胞がそのまま生き残ることになる。このことは、胎児期の幹細胞が成人の幹細胞と同様に、放射線感受性による致死感受性が高いために、胎児期被曝が小児期被曝に比べると発がんリスクが小さいということにつながっているかもしれないという仮説もある⁹⁾。子宮内被曝についてのヒトでのデータは広島・長崎の原爆被災者からのものが主となっているが、高線量での影響でわかっている一般的知見を述べる。妊娠期間の中でも、放射線の影響のリスクは器官形成期と胎児期の初期が最も顕著であり、第3トリメスターに進むにつれ減少していく。胎児への影響として考えておく必要があるものは、大きく分けて1) 流産、2) 奇形、3) 精神発達遅滞、4) 白血病を含めた小児がんとなるが、前3者はしきい線量のある確定的影響であり、後者はしきい線量のない確率的影響である（表1）。まず1) 流産であるが、受胎産物

表1 胎児への放射線被曝の影響

	感受性の高い時期	しきい線量
流産	受精後9日まで	100mSv
奇形	受精後3～8週	100mSv
精神発達遅滞	受精後8～15週	100mSv

の細胞数が少なく、その細胞特性が決定されていない時期である受精後9日までの期間において、全か無かの法則に則つとる。そのしきい線量は100 mSvとされる。2) 奇形については受精後3週～8週までが感受性が高く、しきい線量は100 mSvとされる。3) 精神発達遅滞については受精後8週～15週までとくに感受性が高く、しきい線量は100 mSvとされる。同時期に1000 mSv程度の線量を被曝すると、重篤な精神遅滞が約40%と高い発生確率で生じるとされる。4) 白血病を含めた小児がんであるが、これについては現在しきい値はないものとして取り扱われており、妊娠のほぼ全期間を通して、胎児は小児とはほぼ同等に、放射線の潜在的がん誘発効果のリスクがあるとされている。とくに白血病と小児がんのリスクは放射線被曝の結果としてリスクが増加するとされる。しかし、前者については白血病の発生率が被曝によりおそらく増加しているといういくつかの証拠はあるが、線量の増加に伴う白血病の増加傾向はないというデータもあり、断定的なことはいえない⁶⁾。小児の甲状腺癌については原爆被災者のデータ、およびチェルノブイリ原発事故からも、放射線により誘発されることが分かっている。チェルノブイリ原発事故では現在20年以上が経過しているが、同被災地域では、甲状腺癌の増加は小児から思春期層、成人層へと移行し、現在、新規の小児発症例は劇的に減少している¹⁰⁾。つまり、事故後に出生した非被曝群の小児甲状腺癌の発生が激減したことから、事故直後の小児甲状腺癌の発生が被曝の影響であったことが証明されたことになる。放射線誘発によって生じる遺伝子異常などがこれま

での解析により蓄積されてきており、今後放射線誘発腫瘍の発がんメカニズムがさらに解明されていくものと思われる。

診断用放射線が小児がんの発生を増やすのか？

前項では一般的な放射線被曝についての影響に関しての知見を論じたが、ここでは医療に伴う低線量被曝、とくに診断用放射線の胎児期(子宮内)被曝の影響について述べる。最初に妊娠女性に対する診断用X線にて小児白血病をはじめとする小児がんの発生が増加すると報告されたのが1956年のGilesらのLancetでの報告であった¹¹⁾。

その後、これに関する有名な疫学研究としてOxford Survey of Childhood Cancers というものがなされた。これは1943年～1967年生まれの小児を対象とし、妊娠期(胎児期)に母体内で受けた診断目的の腹部単純X線にて、小児白血病のオッズ比が1.92(95%CI: 1.12-3.28)、白血病以外のがんのオッズ比が2.28(95%CI: 1.31-3.97)と小児がんの発生を増やすという報告であった¹²⁾。その後、このテーマについてのシステマティックレビューが発表されている。それによると2006年までに19の症例対照研究、6つのコホート研究があり、症例対照研究のメタ分析では、小児がんを増やすというevidenceは得られず、低線量被曝についての、疫学研究の結果は一貫していない¹³⁾。さらに、2011年にBritish Medical Journal (BMJ) に非常に質の高い後ろ向き症例対照研究が発表された。イギリスのUnited Kingdom Childhood Cancer Study (UKCCS) というグループが1976年～1996年に出生した2690人の小児がん症例と、コントロール群としてイギリスのGeneral Practitioner 登録から得られた性別、生年月日、住居を一致させた対照症例4858人の妊娠中(子宮内)および生後100日までの診断用放射線の暴露歴を比較している。全小児がんでのオッズ比が1.14(95%CI: 0.90-1.45)、白血病のオッズ比が1.36(95%CI: 0.91-2.02)、うちALLではオッズ比1.20、AMLではオッズ比2.44であり、他のすべ

ての小児がんでのオッズ比は1.00-1.64の間であった(表2)。ただし、95%信頼区間はすべてで1をまたいでおり、統計学的な有意差のない結果であったが、放射線の暴露歴がある群すべてでオッズ比は1をこえて偏りがあり、妊娠中および生後100日までの診断用放射線被曝は小児がんのリスクをふやす可能性があると結論づけている¹⁴⁾。これまでの疫学研究では放射線暴露歴をインタビューで行っているため、思い出シバイアス(recall bias)が避けられなかったのであるが、このstudyでは放射線暴露歴の確認を診療録から裏付けていることが非常に大きい。また2011年にAmerican Journal of Radiology (AJR) に診断用X線による小児がんリスクについての研究結果が発表された。1976年～2003年までに診断用放射線(個々の平均有効線量5 μ Sv)を受けた78527人を追跡し、その後68例の小児がんが発生している。これによると全がんの標準化罹患比(SIR)は0.97(95%CI: 0.75-1.23)であり、小児がん発生リスクは上昇しないという結果であった¹⁵⁾。

ここで述べられていることで特筆しておきたいことは、Oxford Surveyでは腹部・骨盤部単純写真での胎児被曝量が10mGyと二桁の線量であったのが、装置の改良により現在は1.3-3.4mGyと線量が減ってきていることと、時代をさかのぼるほど小児がん発生オッズ比が高い傾向があり、被曝線量の多さと関連しているかもしれないということである。このように、最近

表2 妊娠中の診断用放射線暴露による小児がん発生のオッズ比(交絡因子調整後)

文献¹³⁾より

がんの種類	オッズ比(95%信頼区間)
すべてのがん	1.14 (0.90-1.45)
白血病	1.36 (0.91-2.02)
ALL	1.20 (0.76-1.88)
AML	2.44 (0.95-6.33)
リンパ腫	1.06 (0.55-2.06)
非ホジキンリンパ腫	1.48 (0.66-3.32)
脳腫瘍	1.06 (0.64-1.77)
肉腫	1.13 (0.49-2.61)
末梢神経腫瘍	1.00 (0.37-2.67)
腎腫瘍	1.64 (0.48-5.59)

でも診断用放射線による小児がんのリスクについての報告には両論があるが、不必要に放射線被曝をうけるデメリットについて、われわれ医療従事者は常に考えておかなければならない。

単純 X 線より線量の多い CT による放射線被曝の影響については、現在いろいろな国で研究が進行中であり、その結果が待たれる。

発がんとしきい値なし直線モデル (Linear No-Threshold: LNTモデル)

被曝線量の多さとがん発生のリスクが関連しているかどうかについては、原爆被爆者等の調査結果からのデータがヒトでは最も重視されている。「確率的影響」である発がんについてはある程度の被曝線量からのデータはあるが、低線量域ではあくまで推定された予想でしかない。そのため、低線量放射線の人体への影響については、さまざまな議論があるわけである。高線量放射線被曝と低線量放射線被曝でそれぞれの生体の反応が質的に同じであるという仮定にもとづいて、高線量域での影響量から、低線量域に直線的に外挿して低線量域での影響を推定したモ

デルがあり、それがLNT(Linear No-Threshold)モデルといわれるものである¹⁶⁾(図3)。簡単にいうと、がん発生確率が被曝量とともに直線的に増加するというモデルである。このLNTモデルは国際放射線防護委員会(ICRP)の放射線防護に関する勧告の根幹をなす基本理念であり、ALARA(As Low As Reasonably Achievable)コンセプトという合理的に達成できる限り放射線被曝線量は少なくするという考え方につながるものである。このLNTモデルのリスク係数値は、主として広島・長崎の原爆被爆生存者の追跡調査に基づいた推定値であり、低線量被曝にはあてはまらないと反論する意見もある。つまり、動物実験のデータはあってもヒトでのデータはないため、あくまで仮説ということにはなる。

2004年にBerringtonらがLancetにこのLNTモデルを用いて、衝撃的な論文を発表し、日本で大新聞の一面の記事になったことは記憶に残っておられる方も多いと思う(私は大学の放射線科の研修医2年目の時であった)。医療制度が整っていると認められる15カ国での診断

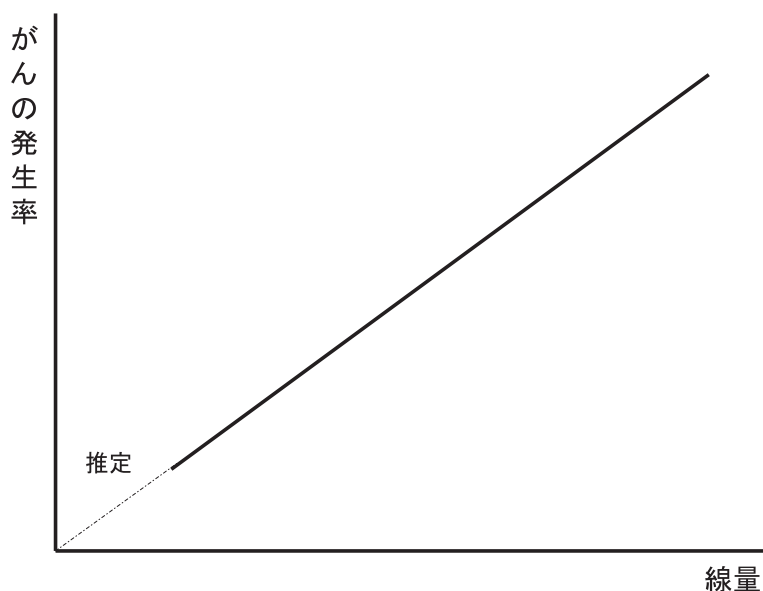


図3 LNTモデル
がん発生確率が被曝線量とともに直線的に増加するというモデル

用 X 線の利用状況を文献調査し、それに伴って発生するがんの数を推定すると、日本での診断的 X 線利用が最も多く、毎年がん全体の 3.2% にあたる 7587 件のがん発生が見込まれるというものであった¹⁷⁾。この計算は以下の通りである。ICRP1990 年の報告では、被曝に伴うがん死亡リスクは 1 Sv あたり 0.05 と見積もっており、医療先進国での診断用放射線による被曝は年平均 1.2 mSv との放射線影響国連科学委員会の 2000 年の報告に基づいて、日本の人口 1 億 3000 万人にあてはめて、 $0.05 \text{ (件/Sv)} \times 1.2 \times 10^{-3} \text{ (Sv/人)} \times 1.3 \times 10^8 \text{ (人)} = 7.8 \times 10^3 \text{ (件)}$ という単純明解なものであった（この論文ではもっと詳細に細かいことが記載されているが、大筋はこのようなものである）。「診断用放射線の安易な使用は控えるべきである」ということを伝えるのが真意と思われるが、この計算への反論として、低線量被曝での生体防御能力を加味していないというものが多い¹⁸⁾。つまり、ヒトではさまざまな修復機構が存在し、発がんに至るまでには何重もの修復機構を乗り越えなければならないので簡単には発がんしないという考え方である。放射線により活性酸素が増加した場合には、抗酸化物により活性酸素を除去し、DNA 損傷に対しては、完全修復し、不完全修復から突然変異が生じた場合には、アポトーシスにより潜在的にがん細胞を除去し、万が一がん化した場合には免疫細胞による除去が行われるという一連の修復機構である。ここまで乗り越えた場合のみがんが生じるのであって、単純な LNT モデルでは説明できないと述べている。これは低線量の放射線では発がんしないという「しきい値説」ということになる。この説ののちとると、当然ながら LNT モデルでは過大評価してしまうことになる。その根拠として持ち出されることが多いものに、インドや中国などにある高自然放射線地域に居住する住民の疫学調査でがん増加が認められないとするものがあるが、集団のサイズが小さく、タバコなどを含め他の交絡因子の影響を排除できないので、データとして適切かどうかはわからない。このしきい値説を唱える人の中に、低線量放射線被曝は

免疫機能を活性化させて、健康増進をもたらすという「ホルミシス (hormesis) 効果」を提唱している人もいる。ギリシャ語の「horme = 刺激する」という言葉に由来しており、この意味は大量では抑制的に働く物質が少量では刺激的に働くということで、1980 年にアメリカのミズリー大学の Luckey らが放射線照射による植物の生長、実験動物の寿命の延長などホルミシスを示す過去のデータを集めて解析し、低線量放射線は有害どころか生命の維持にとって必須であるとの著書を発表したのが最初である¹⁹⁾。その後、それを支持する論文と否定する論文とが多数発表されたが、現在のところでは、Luckey らの放射線ホルミシスのデータの多くは再現性に乏しく、実証されていないとするのが一般的となっている。そのため、ICRP は現時点では放射線リスク推定にはこれを考慮に入れていない。その一方では、LNT モデルは過小評価しているとする逆の報告もある。2003 年の欧州放射線リスク委員会は線量・効果関係が極低線量でいったん極大値を示すという 2 相モデルを提唱して、小児白血病の増加を説明している²⁰⁾。しかし、このデータも実証できていない。

以上をまとめると、ヒトでの低線量での放射線の影響についてはわかっていないことが多い。エビデンスレベルの高いデータがない以上は、動物実験でのデータ等を利用して推察するしかないわけであるが、放射線防護の観点からは、しきい値がないと考える LNT モデルを採用するのが安全管理の上で重要である。従って、われわれも ICRP が採用しているこの考え方に基づいて行動するのが現時点では問題が少ないと考える。

医療従事者としての 小児の放射線被曝対策

一般的な診断用放射線による入射表面の被曝線量目標値を記載した (表 3)。たとえば 0 歳の小児の胸部単純正面写真については 1 枚あたり 0.2 mGy までであり、成人の 0.3 mGy までと比べて少ないことがわかる。ただし、小児での他の部位での線量目標値についての記載は少なく

表3 X線単純撮影における線量目標値

撮影部位・方向	入射表面線量目標値(mGy)
頭部(正面)	3.00
頭部(側面)	2.00
胸部(正面)	0.30
胸部(側面)	0.80
胸部(正面):0歳	0.20
腹部(正面)	3.00
腹部(正面):0歳	0.30
腹部(正面):5歳	0.50
腰椎(正面)	5.00

X線単純撮影における医療被ばくガイドライン2006より

ほとんどが成人でのものとなっている。「子供は小さな大人ではない」とよくいわれるが、小児は大人のミニチュアではないため、これらの線量は単純に体格にあわせて小さくしただけのものではない。放射線被曝を少なくするために医療従事者ができることとして、1) 小児科医をはじめとする検査を依頼する医師、2) 検査を施行する医師および放射線技師、3) 放射線を扱う現場にいる放射線科医の立場によってさまざまな方法がある。まず、1) の検査の依頼側であるが、ポータブル撮影を含めた単純X線検査・透視・CT検査など、本当にその患児に必要な検査なのかどうかを再度考えること、放射線を使わないそれらの代替となる検査(超音波検査やMRIなど)に置き換えることができるか、外傷後などでフォローアップの撮影は必要としてもその回数を減らすことができないかといったことを検討すること、頭部外傷などでは頭部CTを撮影する基準・ガイドラインを作ってリスクの高い群を抽出するようにすること(たとえばNICEガイドライン²¹⁾)などがあげられる。当院では約2年前より頭部外傷のCT撮影基準の院内ガイドラインを小児科医・脳外科医・救急医・放射線科医で検討して作成したところ、1年間で前年の25%程度の頭部CT検査が削減され、その後の電話調査(後追いが

できたものについて)では重篤な見落としも増えていないことが確認されている。2) 検査を施行する側では、体重・部位・目的によるパラメーターの調節・変更をすることや、自施設の検査装置のスペック・特性および線量と画質の特性に熟知すること、最高画質を追求せず診断に支障の出ない程度で、必要最低限の解像度にするなどがあげられる。たとえば、CTにおいては、AEC (automatic exposure control) と呼ばれる管電流自動制御機能を搭載した機種が普及しており、患者の体格に合わせて管電流を自動的に変更させるものがある。これがない機種の場合は、Image Gentlyという低被曝キャンペーンを行っている米国小児放射線学会のホームページ²²⁾にPediatric CT Protocol Guidance and Worksheetというエクセルシートがあり、その施設の成人用に行っている撮影条件を記入すると、小児の各体重の至適推奨管電流が表示され、それを利用することもできる。3) 現場にいる放射線科医の役割としては、1日のCT検査の前にプレチェックを行い、プロトコルを決定する作業を行うことなどがそれにあたる。たとえば造影CT検査で単純撮影を施行するかどうか、撮像範囲をどうするかといった具体的な指示を与えることで被曝線量の低減が可能である。また、たやすくすでに検査がオーダーされ

ていたとしても、適応がないと思われる検査や放射線を使わない検査に代替すべきものについては、主治医・担当医に連絡をしてオーダー変更をしたり、研修医や経験の少ない医師には教育・啓蒙することも大切である。たとえば、虫垂炎の診断は超音波検査を第一にすべきであり、USで確定できない場合にCTを補完的に使うという考え方は大切であるし、仮に腹部CTを行うにしても、単純CTを省略して造影CTのみ1相で撮影すべきである。糞石の確認のために単純撮影をすることが以前は多かったが、小児の虫垂炎の診断において、単純+造影CTと造影CTのみでの診断能を比較検討したところ、診断能に差はなかったという報告が出てからそのように変更した施設も多いと思われる²³⁾。また、小児ではDynamic撮影はできるだけ避け、必要な場合でも撮影回数を減らし、スキャン範囲も制限するといった指示はとても大切である。他に、出版物や講演等を通し、全国に被曝軽減についての啓蒙・教育をすることも重要な責務である²⁴⁾。

最 後 に

放射線被曝に対して、過剰すぎる恐怖心もちつづけることはよくないが、低線量の放射線被曝であるから大丈夫という意識を安易に植え

付けて低線量被曝を却って推奨する論調があることには危惧をおぼえる。エビデンスレベルの高い裏付けられたヒトでのデータがないうちは、あくまで「合理的に達成できる限り、できるだけ少ない(被曝)線量にする」というALARAコンセプトに則つとるべきであると私は考えている(特に放射線感受性の高い小児ではなおさらである)。原発事故があったこの様な状況下で、LNTモデルの仮説のましがいを指摘し、「ホルミシス効果」を唱えて、「低線量被曝は体にむしろよい」などとマスメディアを通して世の中に訴える学者がいるが、将来に禍根を残さないことを祈るのみである。

「こどもは小さな大人ではない」とよく言われるように、小児の放射線感受性は高い。こどもは将来を担っていく大切な存在であることを十分に認識して、無駄な被曝をさせないように最大限の努力を払っていくことがわれわれの果たすべき責務と考える。

謝 辞

本原稿を執筆するにあたって、ご助言いただいた国立成育医療研究センター 放射線診療部 医長 宮崎治先生、聖路加国際病院 放射線科 部長 齋田幸久先生、医幹 負門典典先生、同病院 放射線腫瘍科 医幹 中村直樹先生にはこの場をかりて御礼を申し上げます。

文 献

- Miyazaki O, Nishimura G, Okamoto R, Masaki H, Kumagai M, Shioda Y, Nozawa K, Kitoh H. Induction of systemic bone changes by preconditioning total body irradiation for bone marrow transplantation. *Pediatr Radiol* 2009 Jan; 39(1): 23-9.
- Bhatia S, Yasui Y, Robison LL, Birch JM, Bogue MK, Diller L, DeLaat C, Fossati-Bellani F, Morgan E, Oberlin O, Reaman G, Ruyman FB, Tersak J, Meadows AT; Late Effects Study Group: High risk of subsequent neoplasms continues with extended follow-up of childhood Hodgkin's disease: report from the Late Effects Study Group. *J Clin Oncol* 2003 Dec 1; 21(23): 4386-94.
- Preston DL, Ron E, Tokuoka S, Funamoto S, Nishi N, Soda M, Mabuchi K, Kodama K. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors: 1958-1998. *Radiat Res* 2007 Jul; 168(1): 1-64.
- Christodouleas JP, Forrest RD, Ainsley CG, Tochner Z, Hahn SM, Glatstein E. Short-term and long-term health risks of nuclear-power-plant accidents. *N Engl J Med* 2011 Jun 16; 364(24): 2334-41.
- Ron E, Lubin JH, Shore RE, Mabuchi K, Modan B, Pottern LM, Schneider AB, Tucker MA, Boice JD Jr. Thyroid cancer after exposure to external radiation: a pooled analysis of seven studies. *Radiat Res* 1995 Mar; 141(3): 259-77.
- ICRP Publication 84 妊娠と医療放射線, 日本アイソトープ協会, 2002.

- 7) Preston DL, Cullings H, Suyama A, Funamoto S, Nishi N, Soda M, Mabuchi K, Kodama K, Kasagi F, Shore RE. Solid cancer incidence in atomic bomb survivors exposed in utero or as young children. *J Natl Cancer Inst* 2008 Mar 19; 100(6): 428-36.
- 8) Miyoshi-Imamura T, Kakinuma S, Kaminishi M, Okamoto M, Takabatake T, Nishimura Y, Imaoka T, Nishimura M, Murakami-Murofushi K, Shimada Y. Unique characteristics of radiation-induced apoptosis in the postnatally developing small intestine and colon of mice. *Radiat Res* 2010 Mar; 173(3): 310-8.
- 9) 島田義也, 西村まゆみ, 柿沼志津子, 今岡達彦, 高島貴志, 武田志乃, 山田 裕, 山内正剛, 臺野和広, 岡本美恵子, 片岡 泰, 尚 奕, 澤井知子, 岩田健一, 森岡孝満, 甘崎佳子, 平野しのぶ, 石田有香, 小久保年章: 発達期被ばくの放射線影響に関する研究, *放射線科学*, 54, 47-49, 2011.
- 10) 伊東正博. チェルノブイリ事故後の甲状腺癌とチェルノブイリ組織バンク, *国立病院機構長崎医療センター医学雑誌*, 9: 1-5 2006.
- 11) Giles D, Hewitt D, Stewart A, Webb J. Malignant disease in childhood and diagnostic irradiation in utero. *Lancet*. 1956 Sep 1; 271(6940): 447.
- 12) Doll R, Wakeford R. Risk of childhood cancer from fetal irradiation. *Br J Radiol* 1997 Feb; 70: 130-9.
- 13) Schulze-Rath R, Hammer GP, Blettner M. Are pre- or postnatal diagnostic X-rays a risk factor for childhood cancer? A systematic review. *Radiat Environ Biophys* 2008 Jul; 47(3): 301-12.
- 14) Rajaraman P, Simpson J, Neta G, Berrington de Gonzalez A, Ansell P, Linet MS, Ron E, Roman E. Early life exposure to diagnostic radiation and ultrasound scans and risk of childhood cancer: case-control study. *BMJ* 2011 Feb 10; 342: d472.
- 15) Hammer GP, Seidenbusch MC, Regulla DF, Spix C, Zeeb H, Schneider K, Blettner M. Childhood cancer risk from conventional radiographic examinations for selected referral criteria: results from a large cohort study. *Am J Roentgenol* 2011 Jul; 197(1): 217-23.
- 16) ICRP Publication 26 国際放射線防護委員会勧告, 日本アイソトープ協会, 1977.
- 17) Berrington de González A, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries. *Lancet* 2004 Jan 31; 363 (9406) : 345-51.
- 18) 酒井一夫. 低線量被曝の人体への影響, *臨床放射線* 51(13), 1827-1833, 2006.
- 19) Luckey TD. *Hormesis with Ionizing Radiation*. CRC Press, Boca Raton, 1980.
- 20) Busby C. *ECRR 2003 Recommendations of the European Committee on Radiation Risk, Green Audit Books*, 2003.
- 21) National Institute for Health and Clinical Excellence. *Head injury: triage, assessment, investigation and early management of head injury in infants, children and adults*. NICE, Clinical Guideline No 56. London: NICE, 2007.
- 22) <http://www.pedrad.org/>
- 23) Kaiser S, Finnbogason T, Jorulf HK, Söderman E, Frenckner B.: Suspected appendicitis in children: diagnosis with contrast-enhanced versus nonenhanced Helical CT. *Radiology* 2004 May; 231(2): 427-33.
- 24) 宮壽 治. 小児への放射線被ばく対策, *日本医事新報* 4462, 56-61, 2009.

著者プロフィール



野崎 太希 Taiki Nozaki

所属・職：聖路加国際病院放射線科 医員

国立成育医療研究センター 放射線診療部 研究員

東京医科歯科大学 腫瘍放射線医学／臨床解剖学教室 大学院生

略歴：2002年3月 京都府立医科大学医学部 卒業
 2002年4月 京都府立医科大学 放射線医学教室研修医
 2004年4月 明石市立市民病院 放射線科
 2006年4月 済生会滋賀県病院 放射線科
 2007年4月 国立成育医療センター放射線診療部
 2008年4月 聖路加国際病院 放射線科
 国立成育医療センター 放射線診療部 研究員（兼任）
 2011年3月 聖路加国際病院 放射線科 医員
 2011年4月 東京医科歯科大学 腫瘍放射線医学教室／臨床解剖学教室大学院生（兼任）

専門分野：画像診断（小児全般・骨関節／骨軟部画像診断）

主な業績：1. 野崎太希, 石山光富, 齋田幸久, 田崎 篤, 新津 守：MRIの画像コントラストからわかること
 整形・災害外科 54(5) pp457-466, 2011.

2. 野崎太希, 負門克典, 松迫正樹, 渡邊文彦, 齋田幸久：単純X線で診断できる疾患 診断すべき疾患 骨 臨床画像 27(2) pp174-191, 2011.

3. 野崎太希, 負門克典, 齋田幸久：胸壁への画像診断へのアプローチ 臨床画像 26(3) pp298-311, 2010.

4. 野崎太希, 新津 守, 齋田幸久：肩関節の解剖 Medicina46(12) pp384-389, 2009.

受賞：2011年 第97回RSNA(北米放射線学会)：Nomination for RadioGraphics “Syndromes associated with vascular tumors and vascular malformation: A Pictorial Review”

研究班・委員：

1. 小児固形腫瘍観察研究（成育委託研究事業）中澤班（代表：中澤温子先生）小児骨腫瘍における中央画像診断：研究協力者

2. 難治性血管腫・血管奇形に関する調査研究（厚労省難病克服事業科研）佐々木班（代表：佐々木了先生），血管腫・血管奇形の診療ガイドライン作成委員（IVR学会兼任）：研究協力者

3. 画像診断ガイドライン委員（日本医学放射線学会）