

が受忍できる行動制限を課しつつ、少なくとも家族や介護者、一般公衆の線量拘束値が担保できる場合には管理区域からの退出を可能とする考え方を取り入れるのがよいと考えられる。そのためには放射線管理の質を充実させるとともに、対策が講じられていることを示して関係者の信頼を得ることが求められる。

F.研究発表

なし

G.知的所有権の取得状況

なし

文献

ⁱ渡辺浩、山口一郎、川崎英弘、加藤英幸、諸澄邦彦. 国際放射線防護委員会 (ICRP) のドラフト「非密封放射性同位元素を投与された後の患者の管理区域からの退出」の解説 (第一報). -Release of Patients after Therapy with Unsealed Radionuclides- (学術交流委員会関係法令等検討小委員会報告). 日本放射線技術学会雑誌 2004; 60(4): 479-486

ⁱⁱ渡辺浩、山口一郎、川崎英弘、加藤英幸、諸澄邦彦. 国際放射線防護委員会 (ICRP) のドラフト「非密封放射性同位元素を投与された後の患者の管理区域からの退出」の解説 (第二報) (学術交流委員会関係法令等検討小委員会報告). 日本放射線技術学会雑誌 2004; 60(5): 689-697

ⁱⁱⁱ平成 17 年度厚生労働省科学研究費補助金 医療技術評価総合研究事業

「医療放射線分野における法令整備等含めた管理体制に関する研究」(主任研究者:油野民雄)分担研究「医療機関における医療法施行規則との乖離点の整理及び医療法施行規則解釈の研究」課題:医療機関から公共下水道に排出される排水中の放射能濃度(分担研究者:山口一郎)

^{iv} NRPB W-63 Radiological Assessments for Small Users). 2004

^v厚生労働省医業安第 0313001 号:「診療用放射線照射器具を永久的に挿入された患者の退出について」, 平成 15 年 3 月 13 日官報, (2003).

^{vi}厚生労働省医政指発第 0715002 号:「患者に永久的に挿入された診療用放射線照射器具(ヨウ素 125 シード, 金 198 グレイン)の取扱いについて」, 平成 15 年 7 月 15 日官報, (2003).

^{vii} Nishida Hidemi, Ishibashi Masatoshi, Hiromatsu Yuji, Kaida Hayato, Baba Kenkichi, Miyake Ikuyo, Ikedo Hirofumi, Kato Seiya, Fukami Kei, Iida Shuji, Okuda Seiya. Comparison of Histological Findings and Parathyroid Scintigraphy in Hemodialysis Patients with Secondary Hyperparathyroid Glands. *Endocrine Journal*. 52(2), 223-228, 2005

^{viii} 橋本剛史, 小泉潔. 【腎泌尿器疾患のわかりやすい画像診断 正常画像と異常画像】腎移植 腎動態シンチグラフィを中心として. 腎と透析. 59(2), 347-352, 2005

^{ix}高橋康幸, 清堂峰明, 山口一郎. RI 検査の廃棄物処理. 日本放射線技師会雑誌 2007; 54: 203-8.

^x Hwang Kyung-Hoon, Yoon Minki, Lee Joonseung, Lee Kyeeyoung, Choe Wonsick. Radioiodine Treatment of Thyroid Cancer in a Patient with ESRD. *核医学*. 42 巻 3 号, 310, 2005

^{xi} Magne Nicolas, Magne Jacques, Bracco Jean, Bussiere Françoise. Disposition of Radioiodine 131I Therapy for Thyroid Carcinoma in a Patient with Severely Impaired Renal Function on Chronic Dialysis: a Case Report. *Japanese Journal of Clinical Oncology*. 32(6), 202-205, 2002

^{xii}買手順一, 浦信行, 大江祥, 藤森研司, 今泉均, 浅井康文, 島本和明. HD 患者において放射性ヨード内服治療後に RI 治療室で行う血液浄化療法の検討. 日本透析医学会雑誌. 37 巻 Suppl.1, 1104, 2004

^{xiii} Williams G, Palmer MR, Parker JA, Joyce R. Extravasation of therapeutic yttrium-90-ibritumomab tiuxetan (zevalin): a case report. *Cancer Biother Radiopharm*. 21(2), 101-5, (2006)

^{xiv} ICRP Publication 94: Release of Patients after Therapy with Unsealed Radionuclides. 2005

平成 20 年度厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）
「医療放射線の安全確保に関する研究」（H19-医療-一般-003）
（主任研究者：細野 眞）

分担研究報告書

医療で用いた I-131 の汚染物を減衰待ち保管により 10 半減期後に清掃工場に搬入
する場合の清掃作業や公衆への放射線曝露量の推計

分担研究者 山口 一郎 国立保健医療科学院生活環境部 主任研究官

研究協力者

金谷信一	東京女子医科大学病院 核医学・PET検査室
小高喜久雄	国立がんセンター 中央病院放射線治療部 技師長
諸澄邦彦	埼玉県立埼玉県立循環器・呼吸器病センター 放射線技術部
櫻井公一	東京都福祉保健局医療政策部医療安全課指導係
池淵秀治	日本アイソトープ協会 医療情報室 室長
中村吉秀	日本アイソトープ協会 医薬品部 部長
中村伸貴	日本アイソトープ協会

研究要旨

放射性廃棄物管理の合理化のために、医療機関における減衰保管後に非放射性廃棄物として廃棄される(DIS)低レベルのI-131を含む廃棄物に由来した公衆への曝露に伴う放射線誘発がんのリスクを推計した。DISを導入したとしても、医療で用いたI-131の汚染物に由来した清掃作業や公衆への影響は極めて小さく、核医学分野でDISを導入することに放射線防護上の問題はないと考えられる。

研究要旨	57
A. 研究目的	59
B. 研究方法	59
C. 研究結果	60
D. 考察	61
E. 結論	63
文献	66

A. 研究目的

放射線診療に伴い発生する廃棄物の適切な処理は、日々の放射線診療の基礎である。しかし、課題が山積している¹⁾。このうち、固体状の医療用放射性廃棄物は、日本アイソトープ協会が各医療機関から収集し、岩手県滝沢村の日本アイソトープ協会茅記念滝沢研究所に一時的に保管廃棄されている。保管廃棄とは、廃棄するために一時的に保管していることを意味している。このように固体状の放射性廃棄物では処分（廃棄）の方法が確立しておらず廃棄物を保管し続けている。保管場所周辺住民との協定があり保管場所も有限であることから、何らかの対応が迫られている。対応として考えられるのは 1)埋設による最終処分と 2)クリアランス制度の導入による非放射性廃棄物化である。このうち、埋設処分は平成 17 年度²⁾の法律改正で放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律に規定が創設された。これと同様の制度を医療法にも規定することが対応策として考えられる。しかし、実現に向けて解決しなければならない課題が多く残されている。とりわけ埋設量と費用の圧縮が、今後の核医学診療の健全な維持のために求められる。放射性廃棄物の処理・処分費用を低減するには、クリアランスレベルの導入も考えられる。しかし、原子力分野で導入されているような手法を用いると検認に多額の費用が発生する。これに対し、

医療分野では用いる核種の種類が限られ、かつ、比較的半減期が短いことから、減衰待ち保管後に放射性廃棄物として規制の適用外とする制度(DIS)が諸外国で取り入れられている。この手法は、医療機関で使う放射性同位元素の種類と量が明確であることから、一定の減衰期間および保管中に他の廃棄物の混入がないことを保証し、検認を経ることなくクリアランスできるようにするものである。

そこでわが国に DIS が導入された場合を想定し、医療機関での減衰保管後に非放射性廃棄物として廃棄される低レベルの I-131 を含む廃棄物に由来した清掃作業者と一般公衆の線量を推計した。

B. 研究方法

2つのシナリオを作成し、それぞれ作業者と一般公衆の線量を計算した。

B.1 フィルタ全量回収シナリオ

清掃工場の焼却炉のフィルタに清掃工場に搬入された I-131 が集積すると仮定したシナリオである。平成 19 年度の I-131 の全国の核医学施設 1,275 箇所への供給量は 11.7TBq である³⁾。このうち東京都内の 106 箇所への医療機関への出荷量は 2,363GBq であった。従って 10 半減期後の数量は 2.3GBq となる。この 1/10 である 0.23GBq が特定の清掃工場に集積すると仮定し、排気フィルタを扱う作業者の線量を推計した。

B.2 全量環境放出回収シナリオ

各都県からの環境放出量は、平成19年度の都道府県別の出荷量（検定時刻ベース）とした。全国での出荷量は11.7TBqであり、そのうち福島県、茨城県、栃木県、群馬県、埼玉県、千葉県、東京都、神奈川県、新潟県、山梨県、長野県、静岡県、岡山県のデータを用いて計算した。これらの自治体への出荷量は4.0TBqである。環境放出量は全量が減衰する前に大気中に放出されるとした。ここで放出量は、都県を5km×5km刻みのメッシュに区分し、平成17年度の夜間人口ⁱⁱⁱで重み付けし分配した。また、放出量は一日を通じ一定割合とした。表1に関東一都六県のI-131の年間出荷数量(MBq/y)を示す。

B.2.1 大気中濃度およびリスクの推定

産総研-曝露・リスク評価大気拡散モデル(AIST-ADMER)、National Institute of Advanced Industrial Science and Technology - Atmospheric Dispersion Model for Exposure and Risk assessment^{iv}を用い、関東一都六県内のI-131の大気中濃度を推計した。

ここで、気象データは、2006年1月から12月分を用いた。分解係数は物理的半減期(8,021 d)のみに従うとし、 $1.00019E-09$ /sとした。また、降雨時の洗浄比は1と仮定した。濃度は5km×5km刻みのメッシュ毎に計算した。

吸入したI-131の実効線量は、ICRPのモデルを用いた原子力研究開発機構の内

部被ばく線量評価コード(INDES ver.4.1)INDESで計算した。また、リスク係数を4%/Svと仮定した。

C. 研究結果

C.1 フィルタ全量回収シナリオ

I-131の実効線量率定数は、 0.0545 [μ Sv $m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$]であることから、10mの距離で滞在し続けたとしても、1年間の曝露による外部被曝線量は26 [μ Sv]に過ぎず、そのリスクは無視できる。また、バグフィルタの交換時の内部被ばくは、年間1回の交換を仮定すると、フィルタに捕集されるI-131が0.6MBq/dであることから、交換時期に7.3MBq程度が最大存在しうることになる。ここで、もっとも実効線量係数が高い化学形である元素状放射性ヨウ素であると仮定すると、吸入摂取の場合、成人で $2.0E-08$ [Sv/Bq]となった。フィルタで捕捉された7.3MBqのI-131のうち、0.1%が再浮遊し、吸入すると仮定すると、作業場での10回/日の換気回数とを考慮すると年間の摂取量は、マスクの仕様を仮定しない最大限の安全側見積もりでも7kBqである。この摂取による預託実効線量は 150μ Svとなった。

C.2 大気中に放出されるI-131の量

平均放出量の最大値は東京都豊島区の 0.12 Bq/sec/ m^2 であった。都県別の最大値は東京都 0.08 Bq/sec/ m^2 で、最小値は茨城県 0.1 mBq/sec/ m^2 であった。各メッシュからのI-131の単位面積($1m^2$)毎秒あたり放出率を図1に示す。

C.3 大気中の I-131 の濃度

平均濃度の最大値は東京都中野区の 4.7mBq/m^3 であった。都県別の最大値は東京都 3.0mBq/m^3 で、最小値は茨城県 0.07mBq/m^3 であった。ヨウ化メチルの排気中の濃度限度は、 7Bq/m^3 であるので、最大濃度の東京都中野区でも 1 万分の 7 程度に過ぎなかった。大気中の I-131 の濃度分布を図 2 に示す。

C.4 夜間人口をベースにした I-131 の吸入集団曝露量

呼気量を $157\text{m}^3/\text{d}$ とすると年間の公衆の集団曝露量は、関東地区全体で $800[\text{kBq} \cdot \text{人}/\text{day}]$ となった。定常状態であると仮定し、50 年間分の曝露を推計すると、 $15[\text{GBq} \cdot \text{人}/50 \text{年}]$ となる。

C.5 吸入した場合の I-131 の預託実効線量

・メチル化した放射性ヨウ素 (Sv/Bq)

三ヶ月児 $1.40\text{E}-07$

成人 $1.50\text{E}-08$

・ヨウ化メチル以外の化合物の放射性ヨウ素

三ヶ月児 $7.60\text{E}-08$

成人 $1.10\text{E}-08$

・元素状放射性ヨウ素

三ヶ月児 $1.80\text{E}-07$

成人 $2.00\text{E}-08$

C.6 預託集団実効線量の推計

空気中濃度から 3 か月児の元素状放射性ヨウ素吸入時の預託実効線量係数を用い預託集団実効線量へ換算した。

$2.6 [\text{kSv} \cdot \text{人}/50 \text{年}]$

D. 考察

D.1 清掃工場職員の曝露

外部被ばくは考慮不要であった。バグフィルタや焼却灰、飛灰との接触は極めて限られているので、外部被ばくは事実上無視できると考えられる。内部被ばくは最大限の見積もりで年間の実効線量が $150\mu\text{Sv}$ となった。しかし、作業時はマスクを着用しており、一般的な有害物質摂取防止対策を講じれば、内部被ばくのリスクも十分に無視できると考えられる。

D.2 大気放出による医療由来の I-131 のリスク

減衰を考慮しなくても、一般公衆の曝露は十分に小さい。このシナリオは、リスクを極端に大きく見積もっていると考えられるが、それでも、I-131 の環境放出によるリスクは小さく、安価なチャコールフィルタでないと医療機関等からのフィルタによる排出低減コストが正当されえないと考えられる。さらに、この推定は過大である可能性がある。すなわち、ここでは、使用した放射性ヨウ素がすべて大気中に飛散するとしている。放射性ヨウ素を含有する溶液を蒸発乾固した場合の飛散率(強制飛散率)は、自然飛散率より 100-1000 倍高くなるとされている^v。しかし、患者に投与後の放射性ヨウ素が 1%程度も飛散するとは考えがたい。このため、この設定は、環境放出量を 100 倍以上安全側にしていることになる。飛散率 1%とし、廃棄物の保管等による減衰を

全く考慮しないとしても放出量は0.1TBq/yにとどまり、原子力発電所から排気される放射性ヨウ素 131 の管理目標値を 1.1×10^{10} Bq/yとしても、その放出量はただか原子力発電所 10 箇所程度分に過ぎず、全体として環境負荷としてはわずかである。また、旧ソ連三国では、チェルノブイリ事故後の環境放出核種由来の一人あたりの積算線量は 20 年間で10mSv とされ、事故後 20 年間の集団線量は52[kSv・人/20年]とされている。従って、飛散率を1%と見込んでも、医療由来の放射性核種の集団線量は1万分の5程度に過ぎない。

もっとも、比較的小さい集団であっても、医療機関の隣接した地域の住民が大気への環境放出に伴う曝露の制御対象となるので、特に医療機関と隣接住居が窪んだような構造にある場合には、この評価が非安全側となることも考えられる。METI-LIS で計算すると、排気口から住居までの距離：25m、風速：平均 4m/s、排気口の地上からの高さ：0m、濃度評価の高さ：1m とすると、100MBq/h の放出でも、住居部分の濃度は3Bq/m³程度に過ぎず、通常環境では I-131 が集積する施設があったとしてもその近傍でのリスクは十分に小さいと考えられた。

D.3 DIS 導入のインパクト

原子力分野では、クリアランスが既に制度化されている。日本原子力発電(株)東海発電所は、撤去鉄材のうち 35 トンを

市中の溶融鋳造事業者で再加工し、鉄道へい体ブロック、ベンチ、テーブルを製造して再利用している¹⁾。

クリアランス対象物は厳重に出所を管理されている。裁断・仕分け・除染の後、管理区域搬出時に表面汚染が測定され、さらに、クリアランス検認測定を経て搬出されている。しかし、手順が煩雑であるために、「放射性廃棄物でない廃棄物」を導入することが課題とされている。

医療では法令上クリアランスレベルは導入されていないが、関係学会のガイドラインで患者の排泄物のうち、おむつの汚染物は、法令での規定はないものの、関係学会のガイドラインⁱⁱ⁾とマニュアルⁱⁱⁱ⁾にその扱いが規定されている。ただし、おむつのパッケージに「使用後の紙おむつの付着した大便は、必ず取り除いてトイレに始末してください。残りは、不衛生にならないようにしてください。」と表示してある¹⁾ものの、関係学会のマニュアルでは、「家庭で使用したオムツは、ビニール袋に入れ内容物が漏れないように封入して一般ごみとして処理する。」と書かれている。オムツの処理方法は自治体によって異なるが、廃棄物の焼却処理の制御のために内容物もそのまま廃棄するよう示しているところは、調べた範囲では確認できなかった。このため、自治体の指示と齟齬が生じている。おむつを扱うことによる放射線のリスクはほとんど無

¹⁾<http://www.jhpie.or.jp/product/diaper/common/disposal.html>

視できると考えられることから、自治体の一般的な指示に従って構わないことを伝えた方が、現場での混乱防止にはよいのではないかと思われた。

いずれにしても、このように廃棄物処理業者の合意が得られていれば、放射性廃棄物として扱わないとする運用が関係学会の責任のもと現場で行われている。このマニュアルでは廃棄物業者や一般公衆の線量が無視しうることが明示されている。海外でも科学的な評価を基に合理的な環境放出基準が導入されている。^{ixxi}安全評価のシナリオの完成度をより高めるとともに、きちんと対策が講じられていることの実情を国民に正しく理解してもらい、利害関係者を巻き込みルールを整備することが健全な社会構築のために求められよう。

わが国には、放射性廃棄物を排出する事業所は約 2,400 箇所あり、このうち、医療機関は 1,260 箇所である^{xii}。廃棄物の量を定める因子としては加速器運転に伴う放射化物の取扱も無視できない。2007 年度には日本アイソトープ協会が 11,700 本（200L 容器換算）を集荷した。1 年に集荷される放射性廃棄物の総放射能はおよそ 3TBq で重量は 500 トンとなる。そのうち医療法関係は 200 トンである。この量を減らすと放射性廃棄物処理コストを圧縮できることが期待される。ただし、廃棄物処理費用は、全体の必要な費用を廃棄物 1 個あたりで割って算出されているので、スケールメリットが低減すると

放射性廃棄物として扱わざるを得ない施設の負担が増えることも考えられる。この場合は、放射線診療施設全体で一定程度負担するのが適切であると考えられる。

一方、放射性同位元素の大気環境への放出低減のチャコールフィルタの適正な使用のあり方が課題になっている^{xiii}。平成 18 年度の日本放射線安全管理学会では、この件への対応が討議されたが、発生源で環境放出低減策を講じるべきであるとして、医療機関では放射性ヨウ素を投与された患者が入院する病室にチャコールフィルタを用いるべきとされた。たしかに施設からの排気口に設けるよりも、より発生源の近くにフィルタを設置した方が、フィルタの劣化は緩やかでフィルタの交換費用は低減できる。しかし、医療用核種の環境影響は限定的であり、環境試料で検出された例では最大でも I-131 で 0.34Bq/kg-wet とごくわずかでリスク上の考慮は不要なレベルである^{xiv}。従って、このような対策が正当化されるかどうか国民の視点で吟味すべきである。

E. 結論

放射性廃棄物管理の合理化のために、公衆への曝露に伴う放射線誘発がんのリスクを推計した。DIS を導入したとしても、医療で用いた I-131 の汚染物に由来した清掃作業員や公衆の極めて小さく、核医学分野で DIS を導入することに放射線防護上の問題はない。また、大気への放出による医療由来の I-131 の公衆への

曝露に伴う放射線誘発がんのリスクは がある。

比較的小さく、環境放出低減のための高

価な設備投資は合理的と言えない可能性

表1 関東一都六県の I-131 の年間出荷数量 (GBq/y) (2007 年度)

	都県別年間出荷数量 (GBq/y)	核医学施設数
茨城県	19	18
栃木県	85	14
群馬県	293	24
埼玉県	60	31
千葉県	262	38
東京都	2,363	104
神奈川県	24	58
関東	3,105	287
全国	11,721	1275

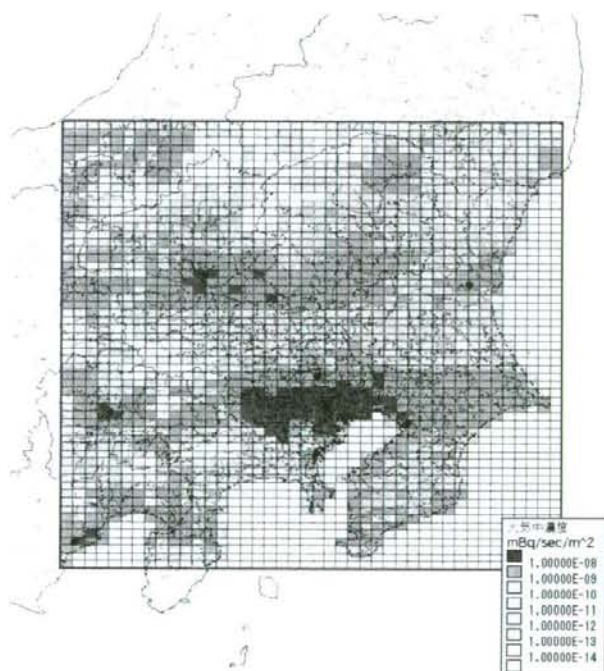


図1 各グリッドからの I-131 の単位面積 (1m²) 毎秒あたり放出率

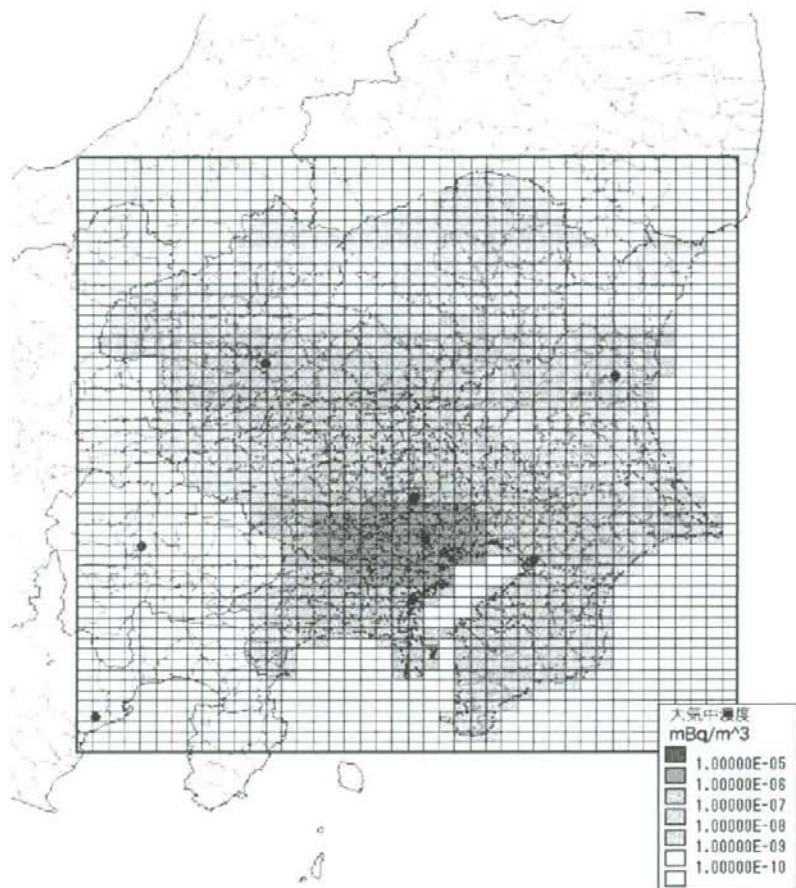


図2 大気中のI-131の濃度分布

文献

- ⁱ 山口 一郎, 大山 正哉, 大場 久照, 加藤 英幸, 木田 哲生, 木村 健一, 田中 真司, 長岡 宏明, 早川 登志雄, 藤淵 俊王, 保科 正夫, 星野 豊, 宮浦 和徳, 渡辺 浩. 医療用放射性廃棄物の課題とは何か? . 日本放射線技術学会誌 2008;64(10):1314-1320
- ⁱⁱ 日本アイソトープ協会. アイソトープ等流通統計 2006 年
- ⁱⁱⁱ 平成 17 年度国勢調査に関する地域メッシュ統計(世界測地系) (総務省統計局調査、(財)統計情報研究開発センターから販売)
- ^{iv} http://www.riskcenter.jp/ADMER/ja/index_ja.html
- ^v 山田昭司, 水野敏. 放射性ヨウ素(125I)の飛散と飛散したヨウ素の活性炭カートリッジによる捕集. Radioisotopes. 46(1), 20-27, 1997
- ^{vi} 日本原子力発電株式会社. 東海発電所「クリアランス制度」対象物に係る放射能濃度の測定及び評価方法の認可申請について. 2006.
<http://www.japc.co.jp/news/bn/h18/180602-1.pdf>
- ^{vii} 日本核医学会. 放射性医薬品を投与された患者さんのオムツ等の取扱いについて 核医学診療を行う医療従事者のためのガイドライン. 核医学. 2004; 41(2): 155-156
- ^{viii} 日本核医学会. 放射性医薬品を投与された患者さんのオムツ等の取扱いマニュアル. 核医学. 2004; 41(2): 157-162
- ^{ix} NRPB. W-63 Radiological Assessments for Small Users. 2004
- ^x Glenda Crockett. Sources and fate of discharges of liquid radioactive waste to public sewers. Radiological Protection Bulletin. 226, 19-24, 2000
- ^{xi} ICRP Publ.94 非密封放射性核種による治療を受けた患者の解放, 2007
- ^{xii} 文部科学省第 2 3 回放射線安全規制検討会配付資料. 研究施設等廃棄物の埋設事業の概要. 2008.07.22 http://www.anzenkakuho.mext.go.jp/news/siryoku/ri23/20080723_01c.pdf
- ^{xiii} <http://kokkai.ndl.go.jp/SENTAKU/sangiin/164/0089/16405240089012c.html>
- ^{xiv} 森田貴己, 丹羽健太郎, 藤本賢, 葛西広海, 山田東也, 西内耕, 坂本竜哉, 牛堂和一郎, 田井野清也, 林芳弘, 竹野功麗, 西垣友和, 藤原邦浩, 荒武久道. 褐藻類中のヨウ素-131濃度について, 第 10 回「環境放射能」研究会; 2009.3.3-5; 茨城

平成20年度厚生労働科学研究費補助金
(地域医療基盤開発推進研究事業)
「医療放射線の安全確保に関する研究」

分担研究報告書

X線CTの患者線量に関する検討

平成21年3月

分担研究者 赤羽 正章

目 次

課題（9）： エックス線CTの患者線量に関する検討～診断能確保と線量低減に関する課題～

研究要旨	-----	1
A 研究目的	-----	1
B 研究方法	-----	2
C 研究結果	-----	2
D 考察	-----	4
E 結論	-----	5
F 参考資料	-----	5

平成 20 年度厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進研究事業）
「医療放射線の安全確保に関する研究」（H19-医療一般-003）
（主任研究者：細野 眞）

分担研究報告
X 線 CT の患者線量に関する検討
～診断能確保と線量低減に関する課題～

分担研究者 赤羽 正章 東京大学医学部附属病院放射線部
研究協力者 堀内 哲也 GE 横河メディカルシステム株式会社

研究要旨

本研究は X 線 CT 診療の最適化における診断能確保と線量低減のため、撮影条件最適化に必要な知識を整理し放射線診療従事者を啓蒙するとともに、診断参考レベル (diagnostic reference level: DRL) を利用して診断能を確保しつつ線量を低減する手順を評価し問題点を洗い出すことを目的とする。本年度は実際に DRL を運用し、DRL 活用の普及と画質担保の上で問題となる要検討事項を洗い出した。

A 研究目的

医療被ばくは、行為の正当化と防護の最適化がなされていることを前提として、線量限度が設けられていない。このため放射線診療従事者は、利益と損失のバランスを考慮しつつ必要最低限の被ばく線量となるよう撮影条件を最適化する責任を負っている。IAEA 新 BSS においても放射線診療従事者に対応すると推察される radiological medical practitioner という表現が用いられ、放射線診断に関わるスタッフの医療放射線安全上の責任が強調された。CT 装置の性能向上や検査適応拡大により、医療被ばくにおいて CT の占める割合は増加の一途をたどっていることから、放射線診療従事者の担う役割は一層重要になるものと考えられる。

本研究は X 線 CT 診療の最適化における診断能確保と線量低減のため、撮影条件最適化に必要な知識を整理し放射線診療従事者を啓蒙するとともに、診断参考レベル (diagnostic reference level: DRL) を利用して診断能を確保しつつ線量を低減する手順を評価し問題点を洗い出すことを目的とする。昨年度は CT の線量低減に関する現在の知見について海外の重要文献を整理し、それを元に提言を行った。すなわち、診断の質を担保しつつ被ばく線量を可及的に低減するには DRL を活用し被ばく低減機構を積極的に利用すべきであること、日本における調査結果を基にした DRL の設定が期待されること、更なる被ばく低減を実現するために機器メーカーの被ばく低減努力を高く評価すること、である。これを受けて今年度は、実際に臨床現場で DRL を活用するパイロットスタディを実施し効果を確認するとともに、多忙な臨床現場における DRL 活用の問題点を洗い出すことを目標とした。

旧世代の CT 装置や旧世代の検査プロトコルは、検査目的に応じて管電流や管電圧などの撮影条件が固定されていた。このため、ある施設におけるある検査目的の CT 検査の $CTDI_{01}$ は一定で DLP のばらつきも少なく、被ばくの実態把握や調節は容易であった。

しかし現代においては患者毎や撮影部位毎の撮影条件調節による不要被ばく低減が必須とされているため、ある施設のある検査目的のCT検査の被ばく線量の代表値を知ることが容易でない。適切な代表値の求め方を定めなければ、DRLを設定するための撮影条件調査も、設定されたDRLの活用も、不可能といえよう。日常臨床におけるDRL活用が普及し有効に機能するためには、簡便な手順によって再現性のよい代表値が求められることが肝要である。

B 研究方法

DRL運用に関する文献検索

既にDRLを利用している欧米からの報告を参考にすべく、文献を収集した。

CT検査におけるDRLの適用のパイロットスタディ

2007年度の任意の2日間について、dose reportが出力されるCT装置の全検査187件を対象としてDLPを集計した。十分な検査数が得られた頭部routine、腹部routine、胸腹部routine、胸肋骨盤部routine、の4検査について、DLPのヒストグラムと平均値をMicrosoft Excelを用いて導いた。この結果をNRPB_W67のDRLと比較する形でCT担当技師全員に報告するとともに、DRLや被ばくりスクに関する教育講演を行った。被ばく低減に関する具体的な指示は出さなかった。

2008年度の任意の2日間について、dose reportが出力されるCT装置の全検査を対象としてDLPを集計した。前年度の平均DLPが高めだった頭部routineと胸腹部routineを対象に、2007年度と比較した。

管電流変調を常用するCT装置におけるDRL適用の問題点洗い出し

前述のパイロットスタディに用いた手順における問題点を拾い上げた。また、英国で実施されている手順書を参照し、日本国内で適用する上での問題点を拾い上げた。

DRL活用による被曝低減が診断能を損ねていないことを確認する方法の検討

評価方法や評価対象になりうる項目を列挙し、利点と欠点について考察した。

C 研究結果

CT検査におけるDRLの適用のパイロットスタディ

2007年度と2008年度を比較すると、胸腹部routineの平均DLPは891.0 mGy・cmから691.5 mGy・cmへ低下したが、頭部routineは著変無かった。胸腹部routineにおいては、使用する再構成関数を柔らかめにする対策が取られていたが、自動露出制御のノイズ設定値は変更されていなかった。1999年のEuropean Commissionによる胸部CTのDRLは650mGy・cm、2003年のNRPB-W67による胸部CTのDRLは580mGy・cmと比較して、高い値である。一方、頭部routineについては現状でも画質不十分な可能性があるとの判断で被ばく低減は行われていなかったが、線量を下げることで画質が更に低下するか否かの検討は行われていなかった。

管電流変調を常用する CT 装置における DRL 適用の問題点洗い出し

各 CT 装置から出力される dose report は DICOM 形式の画像ファイルであり、これらを逐一 DICOM viewer で開いては Excel シートに手入力する作業が必要なので、時間がかかる上に入力間違いが起きやすいと考えられた。

Dose report の書式がメーカー間で異なるため、必要な値を読み取りにくかった。特に、複数シリーズが存在する場合や、管電流変調されている場合の CTDI の扱いはメーカー間で統一されていなかった。

日本における標準的な体格の患者が定義されておらず標準ファントムも無いことに対応するため、十分な期間の全検査を平均する方法を選択した。利点としては標準的な体格を定める必要がないこと、患者を選択する必要がないこと、患者体重が不明でも構わないこと、があげられた。欠点としては、集計する検査数が多いため手間がかかること、真の標準的な体格から外れる可能性があること、母集団の体格の長期的な変化に影響されること、があげられた。

英国での手順書は、標準的な体格の患者を体重 70kg と定め、10 人以上の標準的な体格の患者の線量の平均を DRL と比較するよう指示していた。日本の標準的な体格の患者はおそらく 70kg 未満であろうが、調査してみないと大きく下回るのか大して変わらないのか不明であった。

仮に大きく下回るとして、英国と同様に体重 70kg 前後の患者で DRL を運用することになると、英国の DRL との比較がしやすいことが利点、日本の実情に合わないことや 10 人集める期間が長くなることが欠点と考えられた。一方、日本の患者の標準的な体格を調査し、これを基準として DRL を運用すると、業務上の負担は軽減されるが、他国との比較は難しくなるものと予想された。

同じ体重 70kg でも人種が異なると体格が異なる可能性があり、体重をそろえた他国との比較が妥当とは限らないと考えられた。体重以外にも body mass index や腹囲や体厚などの体格の指標があり、体重より精度の高いものがあるかもしれず、検討に値すると思われた。

標準的な体格を体重で規定する方法を実践するために必要な、検査プロトコル毎に体重を集計して 10 人以上の適格患者を選択する作業について、今回は実践しなかったので問題点や運用上の注意点は不明確であった。

標準ファントムを規定し DRL を運用することも可能で、その利点はいったんファントムを用意すればその後の手間が最小限に抑えられることと考えられた。欠点として、広く用いられるためには廉価で入手が容易なファントムを用いる必要があるが、そのようなファントムが具体的に想定しがたいことが挙げられた。

DRL 活用による被曝低減が診断能を損ねていないことを確認する方法の検討

DRL の活用は被ばくを低減する作用を有するが、適正な撮影条件でバランスをとるためには、画質を高めるために被ばくを増加させる別の作用と拮抗させる必要がある。European guidelines on quality criteria for computed tomography (EUR16262) では、検査目的毎の image criteria として、撮影範囲に含まれているべき重要構造物と、診断に足る画質で明瞭に描出されるべき正常構造とが規定されている。これは日常診療の各検査において満たされるべき基準という側面が強く、定期的に線量を調査し DRL

と比較する業務に付随する画質評価を目的としたものではないが、参考になる資料である。

画質の評価基準として、「灰白質と白質の境界が明瞭」のような定性的指標と、「脳室内に設定した関心領域内の標準偏差が 11 未満」のような定量的指標がありうる。定性的指標は客観性に乏しいが、適切に選定すれば診断能に直結する。定量的指標では客観性が確保されるものの、診断能との関係について evidence が不足している。再現性の高い関心領域設定にはある程度の大きさを有する均一な領域が必要であるが、骨盤部や副鼻腔のように撮影部位によっては難しい場合がある。

必要最低限な画質を厳密かつ分析的に定めることは難しいので、あえて明確な評価基準を設けず、画質全体の印象を評価するだけで画質を担保する方法も考え得る。例えば、撮影条件見直しのたびに 10 件程度の検査について読影医が good/fair/poor の 3-point scale で画質評価を行い、poor の割合が有意に増加したところで 1 段階戻す、というような手法である。あるいは、画質不良のクレームの頻度が増えたら線量を少し増やす、という手法でもよい。このような手法でも有効に画質が保たれるか否かは、検討する必要があるだろう。

D 考察

DRL は、撮影条件最適化作業開始の引き金となる閾値である。最適化作業そのものは時間と人手を掛けて煮詰められていくべきものと考えられるが、その作業を始めるきっかけとなる DRL の運用には正確さよりも簡便さが求められる。DRL が広く活用されるためには、誰もが何をすればよいか理解できること、単純作業で運用できること、が望ましい。DRL の活用によって妥当な被ばく低減を実現するための要件は、CTDI や DLP が必要十分な正確さと再現性をもって推定できること、検査プロトコル毎の適切な代表値が定められること、検査プロトコル毎に DRL が設定されること、診断可能な画質が担保されること、である。

実際に日常臨床の CT 検査の線量を DRL と比較してみると、手軽に実施できるものではないこと、および、いつ誰が何をどうすべきか定まっていないこと、が実感された。管電流変調を常用する CT 装置では、同じ検査目的でも体格によって撮影条件が大きく変動するので、標準的な被ばく線量の定義が一定しない。これを解決する方法は多様で、各々利点と欠点がある。正確さよりも簡便さを優先することを念頭に、最適な方法を探索することが次年度の課題の一つである。

集計手順を圧倒的に簡便にする手法として、検査プロトコル毎に dose report を集計する機能がモダリティに備わる、DICOM タグに DLP が含まれるようになりかつそれを集計するソフトウェアが作られる、DICOM タグに含まれる撮影条件から DLP を計算するソフトウェアが作られる、などの進歩が考えられる。DICOM タグに含まれる撮影条件から DLP を計算するソフトウェアは、論文発表されている (Yamamoto S et al. Technol Health Care. 2007; 15 (2): 147-56.) が配布されていない。こうした集計手段の進歩により、DRL 運用の最適な手順は変わりうる。集計手段の進歩には、モダリティメーカーの協力が欠かせない。

DRL を実際に運用してみたところ、胸腹部 routine の平均被ばく線量が低下した。しかしヨーロッパの DRL と比較するとまだ高い値を示しているため、この結果を参考

に更なる撮影条件最適化を進める方針である。頭部 routine の線量が低下しなかった要因の一つとして、急性期脳梗塞の t-PA 静注療法の適応判断において高い画質の CT が要求されていることが考え得る。撮影部位が同じでも必要な画質が異なる 2 つの検査プロトコルに分割できれば、画質が低くても構わないプロトコルについて被ばく低減を得られるはずなので、急性期脳梗塞の可能性の有無で検査プロトコルを分割する対策が有効かもしれない。

DRL を活用し被ばくが低減する仮定で画質を損ねないためには、撮影条件の変更に伴う画質評価が欠かせない。画質の評価方法は次年度の重要課題である。画質を損ねないために注意すべき点がもう一つある。各施設の撮影条件が完全に最適化された状態で線量分布を調査し third quartile で DRL を設定すると、上位 1/4 の施設は最適化されているにもかかわらず常に DRL を超えてしまうことからわかるとおり、既に最適化が進んでいる状況や DRL を活用した最適化の過程が順調に進行した状況においては third quartile よりも高い値に DRL を設定する方が妥当であろう。逆に、線量過多の施設が大部分を占めることが想定されている場合は、もっと低い値に DRL を設定しても構わない。我が国で多施設の線量分布を調査し DRL を設定する際には、他国の DRL も参考にして線量過多の施設がどの程度ありそうか評価しつつ、third quartile が相応しいのか否か検討するべきである。最新の CT 装置の中には、雑音量を飛躍的に低減させる再構成方法を有するものがある。こうした装置と従来の CT 装置が混在した状況で一律に DRL を設定すると、従来の装置では画質が保てなくなる恐れがあることにも留意したい。次年度の検討課題として、最新の装置と従来の装置の比較を予定している。

E 結論

DRL を活用した撮影条件最適化が広く普及するためには、簡便な手順の確立が不可欠である。また DRL を正しく活用するためには、線量を下げすぎて画質が不十分とならぬような工夫が必要である。

F 参考資料

1. EC European CT Study Group. European guidelines on quality criteria for computed tomography. 1999;EUR 16262 (Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities)
2. NRPB_W67 Doses from Computed Tomography Examinations in the UK - 2003 Review. http://www.hpa.org.uk/radiation/publications/w_series_reports/2005/nrpb_w67.pdf
3. Wall BF. Implementation of DRLs in the UK. Radiat Prot Dosimetry. 2005;114 (1-3):183-7.
4. George J, Eatough JP, Mountford PJ et al. Patient dose optimization in plain radiography based on standard exposure factors. Br J Radiol. 2004 Oct;77 (922):858-63.

平成20年度厚生労働科学研究費補助金
(地域医療基盤開発推進研究事業)
「医療放射線の安全確保に関する研究」

分担研究報告書

放射線診療機器の使用に係る職員研修の実施に関する検討
およびエックス線診療施設の遮へい計算法に関する検討

平成21年3月

分担研究者 大場 久照