

(どのような場面で質問されますか?)

・質問があるのは、検査回数が多い場合。
この前も MRI 検査受けたけど大丈夫などと質問される。「表出」されないだけで、不安を持っている患者はいるのかもしれない。

(スタッフからの質問はありませんか?)

・看護師は、放射線科に配属されると放射線の教育をしている。病院運営の方針上、外来と検査部門で看護師がローテーション勤務することが決まったときに、看護師から不満があったのは、放射線科がローテーション勤務先に入ったこと。
・この際には、外来の看護師を対象に院内教育の機会を持った。講師は放射線科医師が担当した。この対応で理解は得られた。
・不安を持つのは、看護師だけでなく、その家族のことがある。夫が第2子の妊娠のことを気にして相談に来た例があった。

(ポータブル X 線で看護師が部屋からあわてて逃げるといったことはありますか?)

・ポータブル X 線は、鉛のプロテクタを着ていたなら、同室でも OK だが、看護師だけでなく動ける患者も出てもらうのが常識である。

(看護師の放射線の知識はいかがですか?)

・病棟の看護師は、放射線のことを知らない。
・検査の流れも理解しておらず、十分に患者に説明しないことがある。
・放射線部の配属に上司の説得が必要なことがあるが、きちんと教育すればわかってもらえるのではないかと。また、オリエンテーションが重要。

(仕事で不安はありませんか?)

・プロテクタや衝立が重要で、プロテクタがあれば、安全に仕事できる。
・看護部としては、衝立の増加を要求したが、病院当局には聞き入れてもらえなかった。
・看護師内では、毎月の被ばく線量が小さい同僚に、(線量を比較的多く受ける)核医学に異動させたらどうかという人がいて困惑したことがある。

(患者さんからの質問への対応のポイントはありますか?)

・患者からの相談は、医師を活用するに限る。放射線の検査は、診療全体の中でその判断であり、その妥当性を看護師は判断できない。また、患者さんへの対応では経験も重要。

(検査後に妊娠が判明して問題になることはないですか?)

・妊娠の有無の確認は、放射線の検査の前にすることになっている。ただし、膨大な検査数であり、胸部単純 X 線検査ではチェックしきれないことがあるかもしれない。また、検査前の問診票やチェックシートは、若干、科によって異なっている。

(放射線が蓄積するという不安を抱えている患者さんはおられませんか?)

・放射線の影響が蓄積すると思って心配しているケースはありそう。ただし、患者さんは蓄積ではなく浴びるという。

・RI を投与された患者の病棟のトイレでの蓄尿のお問い合わせもあった。

・線量は自然放射線と比較するのがよいと思う。

・RI 投与後の授乳可能時間を尋ねる質問もあった。

(被ばく手帳はどう思いますか?)

・このような資料の存在を知らなかった。
・造影剤ショックの事例では、必ず記録し、患者にもシートを渡している。

・患者さんの中には、自分がどのような検査を受けたか、緻密に記録している方がおり、日本放射線技師会で発行しているような記録シートに記入してもらうのは悪くないのではないかと。ただし、全員には必要ないと思う。

・このようなテキストが病棟にあると役立つと思う。情報をコンパクトにまとめた下敷きも病棟では役立ちそう。役立つ

と思うのは、主な検査の線量と自然放射線の比較が記載されているから。

・病院内の患者さんへの検査の説明は、主任の会で率先して統一化した。

・問題なのは外来対応。時間が限られている。保険点数の制約もあり、今後、外来での検査が増えるので、それを見越した対応が必要である。

・放射線のことは、これまで診療放射線技師、放射線科医だけで動いていたような気がする。看護師は補助的な立場に過ぎなかった。しかし、これからは、チーム放射線科の一員として積極的に参画しなければならない。

C. 2 相談例

C2.1 特定の手技での線量

(放射線科医からの問い合わせ)

Ablation (切除手術) を行ったところ、患者が妊娠していたことが後で判明し、循環器内科医から相談がありました。診療放射線技師からは、DAP は $\text{〇〇 Gy} \cdot \text{square cm}$ で IVR 基準点の空気カーマは 〇〇 Gy との情報提供がありました。胎児の受けた放射線の量を教えて下さい。

A. 平均的な症例を想定し、側方からの照射時の線量を計算すると入射面の空気カーマが 1Gy の時に、子宮の平均組織吸収線量は 0.01mGy で、卵巣の平均組織吸収線量は 2.3mGy 程度になるようです。

C2.2 造影検査での骨髄への線量

(放射線科医からの問い合わせ)

1分あたりの透視線量 9.37 mGy/min
 で、1回あたりの撮影線量 49.6 mGy
 の場合に、骨髄にはどの程度線量を与
 えていますか？

ビーム強度と実効線量の関係を試算しま
 す。

(照射の条件)

背面外側 45度の角度で入射

FIDは 100cm

I. I. のインチサイズを 4.5、6、9とした
 フィルタはアルミニウム 3mm、銅 1mmとし
 た。

(結果)

I. I. Size と患者被ばく線量の関係

I. I. Size	4.5	6	9
X-ray beam width:	7.6	10.1	15.2
cm			
X-ray tube voltage	80	80	80
kV			
SurfDose:mGy/min	30	16	8.6
Lungs (mGy/min)	2.7 (0.6%)	2.5 (0.8%)	2.7 (0.9%)
Heart (mGy/min)	4.1 (1.1%)	3.4 (1%)	3.0 (1.5%)
Effective dose	0.7 (0.9%)	0.6 (1%)	0.7 (0.9%)
(mSv/min)			

この条件では、ビームの線量（後方散乱
 なし空気カーマ）と実効線量の関係は、
 0.023Sv/Gy になりました。

従って、各手技の実効線量は、

透視：0.22mGy/min

撮影：1.2mGy/回

となります。

このため、IVR 5 回分の実効線量は、

130mSv 程度であると推定されます。

また、皮膚入射面での X 線の線量（後方
 散乱なし空気カーマ）が 1,000 mGy であ
 るときに、実効線量 150 mSv、骨髄の平
 均臓器吸収線量 120 mGy という関係にな
 ります。

C2.3 歯科放射線検査のリスク

(放射線科医からの問い合わせ)

患者さんから最近被ばくについての問

い合わせがありました。アドバイスいただけただけなら幸いです。

歯科のデンタル撮影やパントモ撮影で患者さんにエプロンをかける施設とかけない施設があります。これは掛けたほうが良いのでしょうか？またエプロンをしないと撮影範囲外にはどれほどの被ばくがあるのでしょうか？

C2.4 放射線治療後の経過観察の放射線検査

健康診断にて、2cm位の肺がんがみつき、各検査を経て、ピンポイント放射線治療により、肺の影が消えました。以後経過観察として、2ヶ月に1回CT検査を受けていますが、最近の新聞等の情報によりますと、過剰な検査は、治療被爆の恐れがあるといわれているようですが、検査回数を減少したいと思います。経過観察では、現在まで、CT検査合計7回を受けています。

C2.5 患者の戸惑い

担当の技師は失敗の理由もなくもちろん被爆やプロテクタなどの説明もなく何度も撮影され「こんなに何度も赤ちゃんに放射線を大丈夫ですか？」と不安がる私に「放射線だから被爆するし、大丈夫じゃないけれど、そんなこと言ったら僕らなんかは毎日放射線を浴びているじゃないですか？」と赤ちゃんと比較され、笑われ、腹のたつのも通り越してしまい、

あきれたのとショックでものとも言えなくなりました。

C.3 コーンビーム X線 CT 検査における患者の線量推計

(1) 実効線量/面積線量：

標準人（身長 174cm、体重 71kg）

	PA	60度	30度	側面
A社	0.28	0.22	0.14	0.11
B社	0.43	0.37	0.24	0.17

小児（身長 109cm、体重 19kg）

小児	PA	60度	30度	側面
A社	0.71	0.67	0.58	0.51
B社	0.91	0.86	0.77	0.74

(2) CTDI ファントム内線量分布

(背側=1)

D. 考察

全体を通して気づいた点は、患者さんに説明する医療従事者の、放射線リスクの正確な理解について、グループごと、または、年齢や経験などにも関連して、グループ内でも差があることである。

重要なことは、説明する側がまず、正しいリスクの知識を持つこと。さらに、その知識をベースに患者さんの質問に的確に答え、そして、納得してもらうための、コミュニケーションのスキルを向上させることと考える。具体的には、定期的な勉強会や、補助的な教材を用い、医療従事者全体の放射線リスクの知識を向上させることが重要であろう。

また、コミュニケーションのスキルとは、どのように放射線のリスクとベネフィットを具体的にイメージしてもらえるかを工夫することである。それには、視覚に訴えるような資料（映像や冊子）などを補助的に使用しながら、説明することもひとつの方法と考えられる。

以下、具体的にその対応について検討した。

D.1 患者さんへの放射線リスクの説明のあり方

放射線診療に漠然とした不安を感じる患者や医療従事者への対応が医療機関での長年の課題となっている。放射線診療への不安がもたらす社会的な影響の程度は、明らかではないが、無視しえないと考えられる。このため、その適切な対応

	中 心	左	右	腹 側	平 均	CTD Iw
A	0.	0.6	0.6	0.0	0.4	0.5
社	43	3±	4±	5±	4±	3±
	±	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.	2	2	0	1	2
	02					
B	0.	0.5	0.6	0.0	0.4	0.5
社	52	9±	2±	8±	2±	5±
	±	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	0.	2	2	0	1	2
	01					

法を明らかにすることが求められる。

D1.1 基本的な考え方

○ 放射線のリスクが確率的であることを不安視する場合には、

生体のメカニズムまで同時に説明する
ヒトには放射線損傷修復のメカニズムが備わっていること
遺伝子損傷の原因は放射線のみではないこと

リスクの大きさが限定であることを説明する。

日常の曝露と比較する。

不安を持つことが悪くないことを理解させる。

非自発的なリスクと自発的なリスクを同列に比較することは人々に受け入れにくい。

自発的なリスクは、非自発的リスクよりも1000倍程度まで受容されており、その検査を無理やり受けさせられてい

るのではないことが理解できると、リスク認知の偏りは修正されうる。

そして、大切なのは、

放射線診療の必要性を理解してもらうこと。

これが理解されるとリスク認知の偏りが修正される。

便益性が大きくなればより大きなリスクも受容されるようになる。

また、医療機関での取り組みをお伝えすると信頼を高めることができるでしょう。

- 相手の理解の程度を念頭におく
患者さんは十分な知識を持っているとは限らない。
患者さんが理解できるように説明する必要がある。
ただし、情報は正確に。
そのためには、医療従事者が正しい知識を持つことが必要。
錯綜した状況では、患者さんが抱える問題を解決できるようなアプローチを。
患者さんの問いかけが意味するところを理解する。

D1.2 患者説明用の医療従事者向け資料のコンセプト

多忙な医療スタッフが必要最小限の知識を得て、明日の診療に役立てるこ

とができることを目指した資料を作成するのが望ましいと考えられた。より詳しくは、市販の資料が充実しつつあるので、それを紹介することができる。

【全般編】

- 放射線のことをどう説明すればよいですか？
- 放射線の質問には、どう対応するのがよいですか？

【基礎編】

- 放射線のリスクはどの程度ですか？
- 放射線の量はどう表すのですか？
 - 放射線の単位は実は単純で理解しなければならないポイントは限られている。

【放射線の安全の基礎知識】

(放射線防護の基本的な考え方)

放射線の利用は、

- ① リスクよりも利益が十分に大きいこと、
 - ② 個人の線量限度を超えないこと、
 - ③ 防護が最適化されていること
- の3原則に従わなくてはならない。

(放射線防護に使われる線量)

線量の種類は相互作用量(照射される物質の種類で線量が異なる)であることなどから見かけ上多い。しかし、考え方は極めて単純である。

① 放射線防護基準を定める量は、「等価線量」と「実効線量」

② 測定の前線量は、線量当量である。

(照射線量)

かつては、放射線の利用は、X線や γ 線に限られ、照射線量[C/kg,旧単位はR]が使用されてきた。照射線量は単位空気中に生成されるイオンの量である。イオンは電場をつくると容易に収集でき計測できる。このため、これが計測の基本的な量とされた。

(吸収線量とカーマ)

吸収線量[J/kg]は、単位質量あたりに物質に吸収される放射線の電離エネルギーである。電離エネルギーはイオンの生成に使われるので、照射線量と吸収線量は、基本的には表現形が異なるだけ内容は同じである。吸収線量は空気に限らないので範囲が広い。物質に吸収される放射線のエネルギーによる温度上昇は関心対象ではないので、特別単位として[Gy(グレイ)]が用いられる。エックス線装置の防護基準で用いられている空気カーマ[Gy]は、「物質に吸収される放射線の電離エネルギー」を放射線から空気へのエネルギーの受け渡しに用いられる二次電子の運動エネルギーで表現したものである。カーマは関心領域で発生した放射線の電離エネルギーを物質に与える二次電子のことだけを考慮しており考え方がよ

り単純である。それに比べ、吸収線量は関心領域で発生した二次電子が領域外から外れてそこで与えたエネルギーは考慮しない。吸収線量の厳密な校正では、関心領域内外での二次電子バランスが重要になる。しかし、治療での特別な線量評価を除き、実用的には、放射線安全では、二次電子のバランスが取れていると考えられることがほとんどで、両者の違いを意識する必要はない。

(等価線量)

放射線の人体への影響は、吸収線量(=単位質量あたりのイオン生成量)の大きさだけでなく、イオンの生成密度の分布によって異なることが知られている。この補正のために「放射線荷重係数」を用いる。つまり、電離が局所的に多く起こるほど、その生体影響が大きいことを考慮する。また、放射線防護で発がんリスクの制御として関心があるのは、一点の吸収線量でなく、組織・臓器の平均した吸収線量である。そこで、組織・臓器の平均吸収線量を、その臓器の放射線リスクを推定するために用いる。「放射線荷重係数」で荷重した平均吸収線量を組織・臓器の【等価線量[Sv(シーベルト)]]と呼ぶ。

(実効線量)

臓器・組織の放射線感受性を考慮し、それらを総計した線量を【実効線量[Sv(シーベルト)]]と呼ぶ。臓器・組織の

放射線感受性は、「組織荷重係数」で表現される。

(線量当量)

放射線管理測定では、『モニタリング量』である線量当量を使用する。透過力が弱い放射線では深い領域まで放射線が到達しないので、70 マイクロメートル線量当量を用い、それ以外では1センチメートル線量当量を用いる。これらの長さは放射線入射面から線量評価点までの深さを示す。

(線量限度)

放射線診療室の管理区域や敷地境界の線量は線量限度以下になるようにシールドされている。シールドの基準は、防護量(=放射線防護のための線量)としての『実効線量』で与えられており、診療室が1 mSv/週、管理区域境界および病室(病室に入院している患者の被ばく防護(診療による被ばくを除く))が1.3 mSv/3月間、敷地境界が250 μSv/3月である。また、内部被ばく(=放射性物質を体内に取り込むことによる線量)も線量限度を超えないように必要な措置が講じられている。さらに、十分な見通しを持って最適化が図られている。

なお、医療従事者向けの放射線基礎知識の提供メディアとしては、緊急被ばく医療情報ネットワーク(REMnet)の「放射線・原子力の基礎を学ぶ」が役立つと考

えられるⁱⁱⁱ。このような情報提供と知識チェックと学習モチベーション維持のためのレベルチェックの組み合わせが有効ではないかと考えられる。

【マンモグラフィ編】

○ 検査でどの程度放射線を受けますか？そのリスクを年齢別に教えてください。

・マンモグラフィで受ける線量はとても小さいです。

・年間に自然放射線から受ける線量は、平均で1.4mSv程度です。マンモグラフィで受ける線量は多くても0.4mSv程度です。

・このため放射線リスクを特別に気にする必要はありません。

【解説】

マンモグラフィを受ける方への説明資料のあり方が、平成10年度老人保健強化推進特別事業「マンモグラフィ検診の実施と精度向上に関する調査研究」で検討された。

この研究で用いられた説明パンフレットでは、

Q3. 放射線被ばくによる危険はないのでしょうか？

という問いに対し、

・X線検査ですので放射線被ばくがあるが、乳房だけの部分的なものであるために、骨髄などの影響はなく白血病などの発生はないこと。

・一回の撮影で受ける放射線の量は東京からニューヨークへ飛行機で行くときに受ける線量の半分であり（ここでは、乳房の平均吸収線量（あるいは等価線量）を受ける線量の指標としている）、危険はないかあっても小さいこと。

・検診による利益がリスクの約 100 倍大きいこと。

が述べられている。

このパンフレットのわかりやすさを約 7500 名を対象に行った調査（有効回収割合 61%）では、でわかりずらかった箇所は、この放射線被ばくの説明が最も多く 28% となっている。また、検診を受けないと回答した 12% の調査回答者のうち放射線被ばくがその理由と回答したものが 20% となっている。

このため、パンフレットの表記での工夫が求められると考えられる。

ここに提示した案は、自然放射線と比較する方法を用いている。また、曝露量としてはリスクの比較を行うために、乳房の平均吸収線量ではなく実効線量を用いている。ここでの計算は、乳房の平均吸収線量を 3mGy とし、乳腺の放射線荷重係数を ICRP の 2007 年勧告に従い 0.12 を採用している。

D. 2 医療スタッフへの放射線リスクの説明のあり方

D2.1 説明の統一化への試み

グループインタビューで医療従事者間に見解の相違が見られた課題に関連した

図書における記述を確認した。

D2.1.1 RI 投与後の患者のケアでの被ばく

『あなたと患者のための放射線防護 Q&A』^{iv}

乳幼児は長期の接触を避ける（106 ページ）

排泄物は適切に管理を（105 ページ）

『医療放射線防護の常識・非常識』^v
投与後の患者の管理は重要としながら、線量は微量であることを説明（78 ページ）

『医療被ばく説明マニュアル』^{vi}
病棟スタッフなどを対象とした説明は想定してない。

D2.1.2 ポータブル X 線検査時の室外退去

『患者のための放射線防護』
移動型のエックス線検査では室外に出る必要がないと記述（124 ページ）

『医療放射線防護の常識・非常識』
記述が見あたらない。

『医療被ばく説明マニュアル』
距離を取ることを推奨しているが室外に出る必要がないと記述（73 ページ）

これらは、いずれも、トレードオフの問題になるが、そもそも曝露は小さい。このため、リスクアセスメント上は、その差異を検証する意義に乏しい。しかし、

医療現場では表面化しやすい課題であると推察された。この課題の解決のために多大な労力を割くことそのものは正当化されないが、放射線診療の院内での協力体制、放射線リスクの理解のためには、よい教育材料になり得るかもしれない。このような課題を院内の放射線教育で取り上げ医療機関職員として最低限理解すべき知識や自分の属する医療機関の放射線診療の特性を学ぶ機会を提供するのは有益であるとする、その有効性の検証が課題になりえる。

D2.2 労働安全面での医療従事者向け資料

国際放射線防護委員会等では、下記の出版物で、放射線診療従事者の放射線防護に言及しており、それを参考にすることができる。

○ ICRP 73 医学における放射線の防護と安全

8.1 職業被ばく

基本的な原則が述べられている。

○ ICRP 85 IVR における放射線傷害の回避

4.2 診療従事者の線量に影響する因子
基本的な原則が述べられている。

○ ICRP 97 PREVENTION OF HIGH-DOSE-RATE BRACHYTHERAPY ACCIDENTS

7. Exposure, Events and accidents

過去の事例を元に安全確保策が述べられている。

○ ICRP 94 Release of Patients after Therapy with Unsealed Radionuclides

10.2 Occupational doses to hospital staff

患者の退出基準と従事者の線量の兼ね合いが述べられている。

○ ICRP 98 Radiation Safety Aspects of Brachytherapy for Prostate Cancer using Permanently Implanted Sources

2. Dose to people approaching implanted patient

患者から医療従事者や公衆への被ばくが述べられている。

○ ゼバリンの放射線防護ガイドラインでの投与時の従事者と患者の防護 (Report of a European consensus workshop to develop recommendations for the optimal use of ⁹⁰Y-ibritumomab tiuxetan (Zevalin®) in lymphoma.)

患者の投与時には、特別なシールドを用い遠隔操作することが記述されている^{vii}。

医療従事者向けの放射線安全のガイドは、従事している仕事により内容が大きく異なる。このため、それぞれの従事状況に応じた対象者をきちんと想定した資料の作成が求められる。ターゲットグループを定めて作成した例を Appendix に示す。

D. 3 コーンビーム X 線 CT 検査の線量

面積線量から実効線量への換算係数は、成人で 1.5-1.7 倍、小児で 1.3-1.4 倍程度、B が大きい。この違いは線質とビームの幾何学的条件に由来する。電圧や付加フィルタなどにより実効線量/面積線量が増えるため、これらのデータをモニタに表示することが望まれる。また、ビームの XY 面の広がり方がファントム直径より小さく全周を回転しないため、辺縁部のうち右側と左側の線量は 6 割程度、腹側の線量は 1 割程度小さくなる。ただし、CTDI_w (weighted CT dose index) はファントム内平均線量を過小評価しなかった。コーンビーム X 線 CT 検査で患者が受ける線量は、通常の上腹部 CT 検査の 1/2-1/3 程度と推測される。

E. 結論

グループインタビューの結果をまとめ、分析した結果、日常診療に直接役立つ放射線診療のリスクコミュニケーションのガイド・教育資料の必要性があると判断し、それを試作した。

今後は、その有用性を検証し改善を図る。

コーンビーム X 線 CT 検査で患者が受ける線量と体内の線量分布を明らかにした。

F. 研究発表

なし

G. 知的所有権の取得状況

なし

謝辞

本研究を行うに当たり、ご協力いただいた各医療機関の関係者に厚く御礼申し上げます。また、コーンビーム X 線 CT の照射条件は帝京大学医学部放射線科の鈴木滋先生より情報提供をいただきました。感謝申し上げます。

文献

-
- ⁱ西澤真理子 (2006) 過大視されるリスクと過小視されるリスク, 『公衆衛生』70 (8) 80-85
- ⁱⁱ西澤真理子・池畑政輝「定性的リスク議論の現状と定量的リスク議論のための社会構造変換の必要性」『日本リスク学会誌』, 印刷中論文
- ⁱⁱⁱ <http://www.remnet.jp/introduction/05.html>
- ^{iv}草間 朋子. あなたと患者のための放射線防護 Q&A. 医療科学社(2005)
- ^v大野 和子、栗井 一夫. 医療放射線防護の常識・非常識. インナービジョン(2007)
- ^{vi}笹川 泰弘 諸澄 邦彦. 医療被ばく説明マニュアル 患者と家族に理解していただく為に. 日本放射線技師会出版会(2007)
- ^{vii} A. Hagenbeek1, V. Lewington. Report of a European consensus workshop to develop recommendations for the optimal use of 90Y-ibritumomab tiuxetan (Zevalin®) in lymphoma. *Annals of Oncology* 2005 16(5):786-792
<http://annonc.oxfordjournals.org/cgi/content/full/16/5/786>

Appendix

A.1 個人の感受性の違いに関する質問への対応

医療関係者からの問い合わせに対応するという想定

Q. わが国でも乳がんリスク遺伝子診断が開始されると報道されています¹。

一方、乳がんのリスクの高い方は、放射線感受性も高いという報告があります(*2)。

どのように考えればよいのでしょうか？

A.

放射線感受性は年齢などによって異なることが知られています。乳がんを発症しやすい BRCA 1 / 2 Mutation Carrier (二重鎖切断の修復 (このうち homologous recombination での損傷により生じた二つの末端をつなぐ修復) に関与) では、放射線誘発乳がんも起こりやすいことを

¹乳がんリスク遺伝子診断、親族と比較 日本でも開始
2007年08月20日09時51分(朝日新聞社)

自分が遺伝的に乳がんや卵巣がんになりやすいかどうかを調べる検査が国内で受けられるようになった。国立がんセンターなどの臨床研究で、米国で普及してきた遺伝子検査の有効性が確認された。リスクが高いとわかれば検診を欠かさないなどの対策がとれる。ただ、将来の発症におびえることにもなりかねないため、精神的サポートを含めた遺伝カウンセリングが必須条件となる。

示唆する疫学研究のデータがあります¹。

乳がん症例の 5-10%は遺伝性です。

BRCA1, BRCA2 は家族性乳がんの癌抑制遺伝子と考えられています。

BRCA1 タンパクと Rad51 タンパクが細胞内で複合体を形成し組み換え時のゲノムの安定性を制御しています。

BRCA1/BRCA2 変異 (やさらに放射線により変異が加わった場合) では、この機能が低下するために、乳がんのリスクが高いと考えられています。

家族性乳がんは一般の乳がん比べて、

- ・発症年齢が低い
 - ・乳がんが両側の乳房に発症する頻度 (20-40%) が高い
 - ・あるいは卵巣がんを発症することがある
- などの特徴があります。

BRCA1 や BRCA2 に変異を持っていても乳がんが発症するのは約 70-80%です。

研究の解説

【目的】

- ・BRCA1/BRCA2 変異を持つ女性は、一般の女性よりも放射線の感受性が高いか否かを明らかにする。

【方法】

・1,601人のBRCA1/BRCA2変異保因者のコホート研究の追跡対象を研究対象とし、質問紙法で胸部X線検査歴と乳がん発症リスクとの関係を重み付けCox比例ハザードモデルで調べた。

【結果】

・胸部X線の検査歴は乳がん発症と関係が見られた(ハザード比:1.54;P=0.007)。
・リスクは、40歳以下(ハザード比:1.97;P<0.001)や1949年以降の出生(2.56;P<0.001)で増加した。
・とりわけ20歳未満での胸部X線の検査歴はリスクが高かった(ハザード比:4.64;P<0.001)。

【結論】

・これまでの医療での放射線曝露による放射線影響を調べる研究に比べて、少なくとも一桁少ない線量であるにも関わらず相対的に大きな放射線影響が観測された。
・この効果の一部はリコールバイアス(病人・患者は自分の病気になった原因をあれこれ考えることが多いので、非病人・非患者と比較して、何らかの仮説として設定した要因の思いだしかたに、差が生じることがある。こうした差が疫学調査における誤差の原因の一つになっている。これをリコールバイアスという。)の可能性もある。しかし、曝露時の年齢、曝露後の年数が与えるリスクへの影響の

パターンは、これまでの研究と同様であった。

・この結果が事実であるとする、BRCA1/BRCA2変異を持つ者への放射線検査の適用が慎重であるべきことを示唆する。

A.2 心臓X線CTのリスク

Andrieuらの心臓X線CTのリスクに関する論文ⁱⁱの解説を試みた。

この論文の内容は以下の通りである。

【背景】従来の血管造影検査に置きかわりX線CTによる冠動脈評価が普及しつつある。

【目的】64列X線CT装置による検査での放射線リスクを推計する。

【方法】

・モンテカルロ法を用いた線量推計ソフトウェアであるImpact Dose packageを用い主要な臓器の線量を推計

・BEIR VIIモデルを使い各臓器の線量から、性年齢を考慮しリスクを計算

【結果】

表1

・大動脈領域まで含み線量最適化のための管電流変調(ECTCM: electrocardiographically controlled tube current modulation)を用いない場合、乳房の平均吸収線量は80mGyで実効線量(放射線の種類や曝露する臓器の感

受性を考慮した曝露指標)は29mSv

・ ECTCM を用いると、それぞれ52mGy, 19mSv に低減

表2

・放射線によるがん発症のリスクは、標準法で
80歳男性で1.0倍とすると、80歳女性で2.4倍
60歳男性で2.6倍、女性で7.0倍
40歳男性で3.2倍、女性で11.5倍
20歳男性で4.8倍、女性で22.9倍であった。

【Andrieuらのコメント】

・リスクは年齢、性、スキャンプロトコールで大きく異なる。
・生涯での発がんの寄与リスクは80歳の男性0.02%未満から、20歳女性で大動脈領域を含みECTCMを用いない場合の1%に近い値まで変動が大きかった。

【結論】

若年女性ではCTCAのリスクが比較的大きく慎重な検査適用と照射の最適化が求められる。

同様のわが国での報告ⁱⁱⁱでは、

・CTCA(上と装置は同じ型式)では、乳房の平均吸収線量は最大65mGyで実効線量は最大20mSv
・通常の冠動脈造影:乳房の平均臓器吸収線量(mGy):3.6-5.3、実効線量(mSv):10.3-9.0

であることから、乳房で20倍程度、実効線量で2倍程度CTの方が高いとしています。

医療現場からの質問と回答

Q. CTCAでは、CTDIvolが、

・位置決めスキャン
135kV, 300mA, 0.23s/rot(1.61s), 84mm, B
P:1, CTDIvol:10 mGy, DLP:84mGy cm

・プレップ
135kV, 50mA, 0.35s/rot(11.55s), 2mm, CTDIvol:200mGy, DLP:40mGy cm

・造影ヘリカル
135kV, 450mA, 0.35s/rot(8.253s), 120mm, BP:0.192, CTDIvol:100mGy, DLP:1510mGy cm

と合計すると300mGy程度になると聞いています。

この場合、患者さんの線量はどの程度になるのでしょうか?

A.
CT線量指標(CTDI)は照射されている領域の平均吸収線量を模擬するものです。透視などではビーム中心の線量で示されていることがあるでしょう。

医療では、全身に照射される訳ではありません。照射されるのはごく一部です。

このため、

・照射される範囲

・照射される範囲と臓器の位置
などを考慮して、臓器の線量を求めます。

[ImPACT による計算例]

装置：Siemens Sensation 64 の造影ヘリカルを想定

電子の加速電圧：120kV

走査範囲：45-57cm

患者の性別；女性

加速する電子の量（管電流）：500mA
（modulation を考慮せず→このため過大評価）

回転速度：0.35s/rot

コリメーション：28.8mm

ビームのピッチ：0.25

CTDI_w:11.4mGy

CTDI_{vol}:45.6mGy

DLP:548 mGy cm

臓器の線量

・乳房：51mGy

・肺：42mGy

実効線量：12mSv

また、装置を Toshiba Aquilion Muli/4 に変えて、コリメーションを 32mm にすると、

CTDI_w:18.7mGy

CTDI_{vol}:74.7mGy

DLP:897 mGy cm

臓器の平均吸収線量（=臓器の等価線量）

・乳房：100mGy

・肺：64mGy

実効線量：19mSv

になります。

総CT線量指標に占めるプレップ分の寄与が大きいように見えますが、ビームが2mmに絞られており、臓器に与える線量としては相対的には寄与が小さいと考えられます（プレップではCTDI_w=CTDI_{vol}:8.5mGy に対して実効線量は0.51mSv程度になります）。

Q. 1回の心臓CTで死亡率を増加させるような被ばくとなるのか？

A.

生涯での発がん発症やそれによる寿命短縮をもたらす可能性はありますが、その程度は、最大でも、Andrewらによる本論文に書かれている程度であろうと思われます。

それ以上大きくないことは、これまでの疫学研究のデータから明らかです。

一方、それ以下のリスクが本当にあるかどうかは、これまでの疫学研究からは明らかにはされていません（検出力を十分に確保できないため、低線量でのリスクは検出できません）。

Q. もしなりうるとしたら全員なのが、論文にあるように若年女性に限られるのか？

A.

リスクがあるとしても全員に放射線誘発発がんがおこるわけではありません。生涯発がん寄与リスクは曝露群を集団として扱って計算されています。

一方、放射線感受性は年齢などによって異なることが知られています。

乳がんを発症しやすい BRCA 1 / 2 Mutation Carrier (二重鎖切断の修復に関与) では、放射線誘発乳がんも起こりやすいことを示唆する疫学研究のデータがあります。

Q. 心臓 CT で被ばくをする領域で患者さんにマイナスとされるのは、肺ガン・乳ガンがほとんどか？

A.

各腫瘍では、何倍なりやすいかという相対リスクとガン死亡リスクが差としてどの程度増えるかという寄与リスクが異なっています。

通常の血管造影と異なり、X線CTでは前方からも照射するため胸腺の線量も高くなるのが、その論文には示されています。

Q. 1回の心臓 CT でリスクとならなくても、他の CT とともに (同時期でなくても) 行うことでリスクとなるのであればその頻度・間隔・CT の部位などはどのようなものか？

A.

間隔をあけることでリスクを下げるのが期待されますが、その効果の程度は知られていません。

また、同じ回数の検査であっても別の部位の組み合わせの方のリスクが小さいことが期待されますが、その程度は知られていません。

あまりに小さいリスクであるためにこれまでの疫学研究では、その疑問に答える知見が得られていません (大きなリスクがないことは明白ですが)。

Q. シミュレーションの論文に書かれている乳ガン・肺ガンのリスクは本当の数字と考えていいのか？

A.

各臓器の線量推計に大きな誤りはないと思われます。

ただし、リスクの大きさは外挿して推計されており、真実であるかどうかは誰にもわからないでしょう。

しかし、それ以上の大きなリスクはないことは明らかです。

A.3. ICUでのポータブルX線検査でのスタッフが受ける線量

Q. ICUでのポータブルX線検査でのスタッフが受ける線量はどの程度ですか？

A.

(近い距離での繰り返し介助)

- 患者さんから50cmの距離で介助した場合、検査の条件にもよりますが、1週間の線量は0.6mSv程度になりえます。
- 女性の放射線診療従事者の線量限度は5mSv/3月間です。
- このように線量限度を超えることが考えられますので、適切な防護が求められます。

(距離が取れる場合)

- 患者さんからの距離を4mにすると1週間の線量30 μ Sv程度に過ぎません。さらに、その間に、厚さ1.0mmの鉛衝立を設置すると1週間の線量は1 μ Sv程度になります。

バックグラウンドが0.05 μ Sv/hの場所では、ただいだけで1週間8 μ Svの線量を受けることになります

(これに自然のラドン吸入などの線量が加わります)。

従って、この程度の線量では何らかの対策を考える意義はほとんどないでしょう。

【推計の説明】

- 1週間の検査件数を60回と仮定
- うち20回の検査を介助
- 距離が取れる場合は全例の介助を仮定

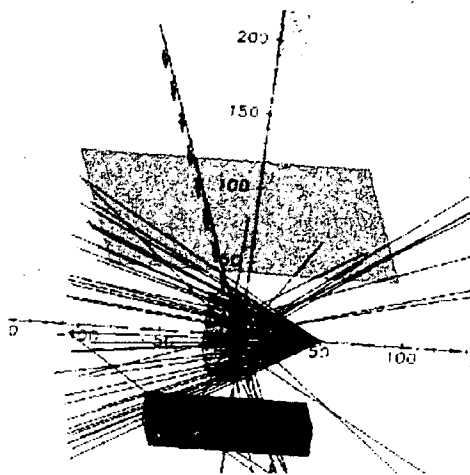


図. ICUでスタッフや他の患者が受ける線量計算の設定例

A.4.放射線リスクの理解を確認するための
基礎的な問題

Q. 検査直後のX線検査室には、放射線が残っているのですが、1分間程度、間を開けて入室した方が受ける線量は小さい。

選択肢

- ・ その通りで、間を開けると線量が低減できる。
- ・ 一概には言えない。
- ・ 直後に部屋に入っても線量は変わらない。

Q. ポータブルX線装置を用いた検査で装置から2m離れたときに受ける線量は、普段の生活で1週間に受ける線量よりも大きい。

選択肢

- ・ その通りで、1週間分以上の線量を受ける。
- ・ 一概には言えない。
- ・ 普段の生活で受ける1週間分の線量よりも小さい。

Q. この検査に毎日5回、週5日、付き添ったとすると、受ける線量は、年間の公衆の線量限度(=1mSv)を超えますか？

選択肢

- ・ 超える可能性がある。

- ・ 超える可能性はない。

Q. 歯科の口内法と胸部X線では、どちらのX線の強度が大きいのですか？
ここでのX線の強度は利用線錐の中心の線量(=例えば空気吸収線量)とします。

選択肢

- ・ 歯科の口内法
- ・ 胸部X線

Q. 患者が受ける実効線量が最も大きいのは、以下のうちのどれですか？

選択肢

- ・ 歯科の口内法
- ・ 胸部X線
- ・ 血管造影
- ・ 心臓CT
- ・ 心臓核医学検査

Q. すべての放射性同位元素は人工的に作られた。

選択肢

- ・ その通り。
- ・ 自然にある放射性同位元素もある。

Q. 放射能に汚染された衣類は、沸騰したお湯をかけると、その放射能が失活する。

- ・ その通り。

- ・ 100℃だと変化しない。

Q. 放射線防護では、10mSv の被ばくで生涯での発がんが 1%程度増加しうると考えて、放射線防護策を講じるようにしている。

選択肢

- ・ 10mSv の被ばくで生涯での発がんが 1%以上増加する可能性があると考えなければならない。
- ・ 10mSv の被ばくで生涯での発がんが 1%以上増加する可能性はないと考えられる。

【既存の基礎知識確認問題】

Q. 20 世紀初頭から現在までに人類の放射線被ばくは増大している。その最大の要因は大気圏内核実験である？

選択肢

- ・ その通りで大気圏内核実験が被ばく増加の原因である。
- ・ 人類の放射線被ばくは、むしろ低減している。
- ・ 人類の被ばくは増加しているが、大気圏内核実験がその最大の要因ではない。

20 世紀初頭と比べると人類の放射線被ばくは約 20%増加している

そのほとんどは医療での放射線検査
核実験やチェルノブイリ原発事故などによる増加はその 0.1%にも達しない

Q. 広島・長崎で致死量近い線量を被ばくして死を免れた人たちの子孫での遺伝的障害の発現頻度は一般人によりも高い？

選択肢

被爆 2 世と一般人の間に、周産期異常、乳幼児死亡、性染色体の異数体の出現頻度、突然変異、遺伝性がんのいずれも差が検出されていない

Q. 自然放射線の平均レベルは ICRP（国際放射線防護委員会）が定めた一般人に対する放射線被ばく線量の上限値より低い？

選択肢

- ・ ICRP では一般人に対する放射線被ばく線量の年限度を 1mSv
- ・ われわれの体は年間に平均 2.4mSv 程度被ばくしている

Q. ひとたび被ばくした線量は DNA に何らかの影響を蓄積し次世代へ伝えられる？

選択肢

- ・ 人類が地上に存在してから現在まで 40 万年とすると 1 万世代程度になる
この間に被ばくした線量は約 1000Sv
影響が蓄積されるとすると...