

人体ファントム内線量計測に基づいた
各種消化管X線検査における
被検者の被ばく線量評価

名古屋大学大学院医学系研究科

医療技術学専攻

広藤 喜章

平成 20 年度学位申請論文

人体ファントム内線量計測に基づいた
各種消化管 X 線検査における
被検者の被ばく線量評価

名古屋大学大学院医学系研究科

医療技術学専攻

(指導：青山 隆彦 教授)

広藤 喜章

目 次

第1章 序 論.....	1
1-1 研究の背景.....	1
1-1-1 悪性新生物（がん）に対する国の取り組み	1
1-1-2 消化管がんによる罹患数・死亡率.....	2
1-1-3 医療被ばくへの関心	3
1-2 これまでの消化管 X 線検査における被ばく線量調査.....	5
1-3 研究の目的.....	6
1-4 論文の内容.....	7
第2章 人体ファントム被ばく線量計測システム	9
2-1 人体ファントム被ばく線量計測システム	9
2-2 臓器線量の評価.....	15
2-3 実効線量の評価.....	17
第3章 上部消化管 X 線造影検査における被ばく線量	19
3-1 序 文	19
3-2 実験方法	20
3-3 実験結果	24
3-4 考 察	29
第4章 下部消化管 X 線造影検査における被ばく線量	35
4-1 序 文	35
4-2 実験方法	36
4-3 実験結果	38
4-4 考 察	44

第 5 章 CT-Colonography における被ばく線量	49
5-1 序 文	49
5-2 実験方法	51
5-3 実験結果	54
5-4 考 察	56
第 6 章 消化管検査の将来像	62
6-1 医療被ばくと最適化	62
6-2 X 線 TV 装置を利用した消化管検査の将来像	63
6-3 CT を利用した消化管検査の将来像	64
第 7 章 結 論	67
謝 辞	70
研究業績	71
参考文献	73
付録 A 上・下消化管 X 線造影検査の被ばく線量測定結果	81

第1章 序 論

1-1 研究の背景

1-1-1 悪性新生物（がん）に対する国の取り組み

本邦において、悪性新生物すなわち「がん」による死亡者数は、1950年代に政府が調査を始めて以来増加の一途をたどっており、2010年には男性で年間20万人を越え、女性においても年間12万人を越えることが予測されている¹⁾。がんによる死亡数は、1984年以来、日本の全死亡原因の第1位となっており、疾病対策上の最重要課題の一つとして対策が進められてきた。がん研究については、1983年に厚生省（現：厚生労働省）により「対がん10カ年総合戦略（1984－1993）」が策定され、その後、「がん克服新10か年戦略（1994－2003）」、「第3次対がん10か年戦略（2004－）」に引き継がれ、各種がんの本態解明を目指した基礎研究や、早期発見法の確立、また、標準的な治療法の確立等診断・治療技術と臨床応用を目指してきた。この間、胃がん、子宮がん等による死亡率は減少し、胃がん等の生存率は向上したが、一方で、大腸がん等の欧米型のがんは増加を続けており、現在、大腸がんの死亡率は、がん全体の約3割を占めるに至っている。また、今後、より有効な対策がとられない限り、がん死亡者数は現在のおよそ30万人から2020年には45万人まで大幅に増加するとの試算もある²⁾。

これらの対策として、がんの早期発見を目的としたがん検診が行われており、がん予防対策の中心的役割を担うことになった。なかでも1983年度から実施された老人保健法に基づく医療等以外の保健事業（以下「老人保健事業」）によって全国的に体制の整備がなされた。老人保健法に基づくがん検診は、1983年度から胃がん検診および子宮頸部がん検診が実施され、1987年度からは肺がん検診、乳がん検診および子宮体部がん検診が、1992年度からは大腸がん検診が、それぞれ追加・実施されてきた。これらの中でも、胃がん検診については、上部消化管 X 線造影検査（通称：胃透視検査）が「死亡率減少効果があるとする相当の根拠がある」と報告されている³⁾。また、子宮がん検診を除く他のがん検診では、画像診断の分野は非常に有効な手段とされ、X 線を使った検査も広く一般的に施行されている。

現在の老人保健事業の取り組みにおいては、新しい検診技術の開発、検診に携わる医療関係者の研修等による検診技術の向上、また、有効ながん検診の普及および受診率の向上により、がん検診をさらに充実し、がんの早期発見・早期治療を進めるとしている。それらを踏まえ、検診の検査方法についても、従来行われていなかった様々な手法を取り入れた方法が提案され、専門家らによって検討が行われている。放射線機器に関しても日進月歩進歩しており、それらの技術を駆使した新しい検診スタイル（人間ドックなど自己負担健診などを含め）が提案されようとしている。また、地域レベルで検診を促進させる法令が、2006年4月より「がん対策基本法」として施行され、「検診」は、より一般化しているものと考えられる。

1-1-2 消化管がんによる罹患数・死亡率

わが国における、胃がんの罹患数は106,760人（2002年）⁴⁾、死亡数が50,415人（2006年）⁵⁾であり、各種がんの中でも、罹患数では男性で第1位、死亡数では男性で肺がんに次いで第2位となっている⁶⁾。罹患数は、過去20年間で男女ともやや増加傾向にあるものの、死亡数は男性でほぼ不変である。しかし、対10万人年齢調整死亡率をみても、その率は世界で最も高い値となっており、日本人のかかりやすいがんともいえる。その早期発見のため行われている胃がん検診は、年間1,972万人（男1,056万人、女916万人）が受診しており⁷⁾、その効果は一般にも広く認知されている。一次検診に関しては、上部消化管 X 線造影検査を行うことが非常に多く、上記数がこの検査の対象数と推定される。

一方、結腸がん、直腸がんの罹患数は、それぞれ66,427人、38,768人（いずれも2002年）⁴⁾であり、二つを足した大腸全体の罹患数は105,195人（2002年）⁴⁾となっている。また、死亡数は41,056人（2006年）⁵⁾であり、日本人がん死亡者数として、女性の18,664人は第1位、男性の22,392人は第4位である。死亡率については、2003年の年齢調整死亡率（人口10万人当たり、1985年モデル人口による）において、1975年に比べて2倍と著明に増加しており、諸外国と比較しても上位の水準に達している^{8,9)}。

これに対し、米国では大腸がんによる死亡数が減少傾向にある。米国において、大腸がんは、予防に有効とされる数少ないタイプの癌と考えられている。これは、大腸がんの成り立ちにおいて、adenoma-carcinoma sequence説¹⁰⁾が優勢であることに寄与している

と言われている。この説では、小さな腺腫性ポリープが時間をかけて徐々にがん化すると考えられているため、スクリーニング検査によってポリープがまだ小さな段階（およそ6 mm程度）で発見し切除することにより、大腸癌の発生そのものを元から絶つことができるというものである¹¹⁾。このような考えを背景に、米国では、国をあげて大腸ポリープの早期発見を行っており、その結果が大腸がん死亡率の減少に結びついている一つの要因と考えられている。

1-1-3 医療被ばくへの関心

X線やγ線などを使った放射線画像診断検査は、悪性腫瘍（がん）をはじめ、その他体内の病変を捉える画像診断法として、検診や精密検査を含め、一般にも広く認知されている。その一方で、安全で安心な医療を求める公衆の意識の向上にともない、医療被ばくに対する関心も高まってきている。そのため診療の場において、診療放射線技師や医師、また、看護師やその他の医療従事者が被検者から放射線画像診断検査における被ばくについての問い合わせや質問を受けるケースが増えている。わが国は世界唯一の被爆国でもあり、放射線への関心は強く、「放射線」（言葉のみであっても）に対する警戒心があることは否定できない事実である。

医療被ばくにより個人が受ける放射線量は、先進国において人工放射線源の中で最も高い値¹²⁾となっているが、様々な放射線画像診断検査に関する被ばく線量の評価は十分とはいえず、臨床現場における検者側の認識度やその正確さも低い¹³⁾。また、被ばく線量に関する情報を海外の文献に求めた場合、日本人との体格や装置の違いから、不正確さを生じかねない¹²⁾。このため医療従事者は、被検者からの被ばくについての問い合わせに対し、十分に答えられないのが現状である。

上部消化管 X線造影検査の目的は、胃や食道の疾患を検索するものであるが、嘔気などの症状から施行されることも多くあり、そのような症状で訪れた若い女性の場合、検査施行後に妊娠と気づくこともある。また、下部消化管 X線造影検査は、大腸の疾患を捉えるための有用な検査法であるが、下腹部の違和感などから実施されるケースもあり、詳細な検査後に妊娠と気づく可能性も十分に考えられる。胎児への放射線による影響に関して、1999年に International Commission on Radiological Protection (ICRP)は、Publication 84 として勧告¹⁴⁾をしているが、この影響を考える場合、胎児線量を正確に

把握する必要がある。特に器官形成期は、奇形や発達遅延など胎児に最も影響のある時期とされ、そのしきい線量に相当する値として 100 mGy¹⁴⁾が示されているが、妊娠初期の胎児の大きさを考えれば、その線量は子宮線量と同等と考えて良い。

一方、医療被ばくにより人工中絶を行ったという報告がある¹⁵⁾。被検者は、どの部位の放射線画像診断検査であっても、自分の体や胎児への影響を心配し、不安に陥り¹⁶⁾、相談に行った先で人工中絶を勧められることもある。このような観点からも、子宮や生殖腺吸収線量および実効線量の正確な把握が必要である。今後も、被検者は放射線画像診断検査による被ばく線量に関心を持ち、専門家への問い合わせが増えていくものと考えられ、検者はそれに答えなければならないが、そのためには様々な放射線画像診断検査で被検者の臓器線量や実効線量を正確に把握することが必要不可欠である。

医療に用いられる放射線は、様々な病気の診断や治療で患者（被検者）に直接的な便益があり、現在の医学には欠かすことができない要素の一つである。しかしながら、被検者にとって放射線画像診断検査による便益（診断情報によって得られる被検者のメリット）は、検査を受けることによって生じた被ばくによる不利益より上回っているのかということに対し、それを被検者に伝える知識や方法、また、その認識が医師や診療放射線技師を含めた専門職でさえ、十分であるかについては疑問の余地がある。一方、被検者の多くは、医療で用いられる放射線はすべて危険であるという認識があり、それに対する正しい知識が浸透していないのが現状である。このため、いかに正しく、かつ、解りやすく医療被ばくに関する情報を被検者へ伝えるかが、放射線診療に携わる診療放射線技師や医師などの医療従事者に与えられた課題と言える。また、医療従事者は、患者（被検者）に対し、医学や医療に対する不安、患者の理解できない検査や医療行為に関して説明を望まれた際、十分な解説や説明を行わなければならない。むろん放射線画像診断検査においては、X線やγ線を利用した検査であることの説明や被ばくに関する値についても提供すべき大切な情報の一つであり、それらに関しては科学的根拠に基づいた資料が必要である。これらの情報は、検査を依頼した医師のみが把握すべきものではなく、実際に放射線を照射する診療放射線技師が担う責務と言える。このような観点から、放射線画像診断検査における被検者の被ばく線量に関して事前に測定を行い、検査を施行する診療放射線技師や医師、および検査を依頼した主治医、また、女性被検者から相談の多い産婦人科医師などが理解し、被検者から説明を求められた際に提供する知識の整理を行っておく必要があると考えられる。

1-2 これまでの消化管 X 線検査における被ばく線量調査

放射線による発がんリスクの算定では、がんを発症する各組織・臓器が個別に受けた線量である臓器線量、ならびに、これを全身について評価し直した実効線量が使用される。上部消化管 X 線造影検査（いわゆる胃透視検査）1 回あたりの実効線量について、UNSCEAR 2000 年報告書¹²⁾には、日本における評価値として 3.33 mSv と記載されており、同様に、下部消化管 X 線造影検査（いわゆる注腸検査）1 回あたりの実効線量は 2.68 mSv と表記されている。これらの値は、丸山ら¹⁷⁾により算定された上部消化管 X 線造影検査の実効線量当量、男 3.27 mSv、女 3.38 mSv、また、下部消化管 X 線造影検査は、男 2.46 mSv、女 2.90 mSv の平均値であるが、これには透視による線量が含まれておらず撮影のみの線量であるので、透視による線量を含めれば、これら消化管 X 線検査の実効線量はこの 2 倍程度以上高くなると考えられる。一方、原子力・放射線に関するデータ集や一般解説書では、胃の X 線集団検診における実効線量（正しくは実効線量当量）として検査当たり 0.6 mSv^{18,19)}と、上述の UNSCEAR 2000 年報告書の消化管 X 線検査による実効線量値に比べて非常に低い値が採用されている。こうした胃の X 線集団検診を含む上部消化管 X 線造影検査の実効線量値における矛盾は、これらの検査で撮影と透視の双方による臓器線量や実効線量がわが国でこれまで正しく評価されていないため生じているように思われる。

X 線 TV 装置を使った、消化管 X 線造影検査における臓器線量や実効線量の評価には、従来、人体ファントムの各組織・臓器位置に小型の TLD 線量計素子を設置してその場の吸収線量を測定し、各組織・臓器の臓器線量ならびに実効線量を算出する方法¹⁷⁾が主であった。また、欧州を中心に行われている方法では、X 線照射口に設けた透過型電離箱により測定した照射線量と照射面積の積の値（面積線量）に、数学ファントムを使ったモンテカルロ計算による単位面積線量当たりの各組織・臓器の吸収線量の値を組み合わせることにより、各組織・臓器の臓器線量ならびに実効線量を算出する^{20,21)}ものが主となっている。消化管 X 線造影検査では被検者をさまざまな体位（角度）で撮影し、その時々 X 線照射野の大きさも観察部位によって異なる。また、撮影回数や X 線透視時間も検診や一般検査では大きく異なり、また、臨床現場では検者や施設により検査方法は様々である。しかしながら、前者の方法では、TLD 素子による線量測定の手間雑さのため、腹、斜め、背方向のような代表的 X 線入射角度および代表的な照射野で臓

器線量を測定し、平均的な撮影回数と透視時間で合計して臓器線量と実効線量を算出しており、精度に欠けると言える。一方、後者の計算による間接的方法は計算モデルや計算精度に対する実験的検証が必要であるが、信頼性の高い結果を得るには、実測による検証を待たなければならない。

一方、最新の multidetector-row CT (MDCT) 画像技術を駆使した新しい検査方法（通称：CT-Colonography^{22,23)}）は、大腸内検査を目的とし、近年始まった画期的な検査法であるが、内視鏡技術や下部消化管 X 線造影検査技術の進んだわが国では、まだ広く一般には浸透していないように思われる。しかしながら、本邦の CT (Computed Tomography) の普及率は世界第 1 位であり²⁴⁾、今後、大規模病院を中心に、また、それ以外の CT を導入した多くの中・小の病院において、大腸疾患におけるスクリーニング検査や精査検査として取り入れられるものと考えられる。CT 検査における被検者の被ばく線量について、weighted CT dose index (CTDI_w)を測定し、人体の数学ファントムを使った計算値による評価が多く行われているが^{25,26)}、CT-Colonography 検査における被検者被ばく線量の詳細については解明されていない。

1-3 研究の目的

本研究は、標準日本人成人を模した人体ファントムの種々の臓器位置に小型の半導体線量計を埋め込んだ、独自の直読式被ばく線量計測システムを使用し、X 線 TV 装置を使った上部消化管 X 線造影検査、下部消化管 X 線造影検査、および、CT を使った CT-Colonography 検査について、実際の臨床と同一条件で各組織・臓器の吸収線量を直接測定し、標準的な日本人成人について各種消化管 X 線検査における臓器線量ならびに実効線量を精密に評価するものである。

この目的は、上部消化管 X 線造影検査に関しては、検診と一般検査で、また、施設や手技ごとに大きく異なる被検者の被ばくの現状を把握する一方、放射線診断装置の発展により、X 線 TV 装置で使用される撮影系が、従来の Screen / Film 方式のアナログ系から、それに替わるイメージング・プレート (IP)を使用した Computed Radiography (CR)撮影方式、さらには画像を Image Intensifier (I.I.)から直接デジタルで取り込む Digital

Radiography (DR)方式, そして現在の, II.を使用せずフラットパネルディテクタ検出器を利用した Flat Panel Detector (FPD)方式へと進化する中で, 被ばく線量の変化傾向を明らかにし, 被ばく線量低減の方策を探ることである。

一方, X線を使用した下部消化管検査に関しても, 前述のように被検者被ばく線量を把握することが主たる目的である。しかし, 下部消化管検査のスクリーニング検査として, これまで行われてきた X線 TV 装置を使った下部消化管 X線造影検査から, 新たに CT-Colonography 検査も始まってきており, 欧米を中心に世界へ広まってきている。CT-Colonography の検査方法は, 経肛門的に空気を注入し, 管腔を十分に拡張させ大腸全体を腹臥位と仰臥位の 2 回撮影し, ワークステーションを利用して Air-Image 三次元画像を作成するものである。しかし, 一般に, 他の X線検査と比べ被ばく線量の多いとされている腹部 CT 検査²⁷⁾を, 同一部位に対し 1 検査当たり 2 回撮影することは, 撮影条件如何によっては, その被ばく線量が非常に多くなると考えられ, X線によるがん誘発など被検者に対する影響が懸念される²⁴⁾。したがって, それらの被ばく線量が従来法と比較してどのように変化したかを調査することは, 新しい検査方法の妥当性を評価するとともに, 被検者のさらなる被ばく低減を図る上で重要である。

これら X線機器を使用した各種消化管検査によって, 被検者が受けた被ばく線量値を算定し, それらを医師や被検者に提供することにより, 被検者の被ばく影響に対する不安の解消に役立てることにある。

1-4 論文の内容

本研究では, 上部および下部消化管 X線造影検査, ならびに, CT-Colonography 検査による被検者被ばく線量を, 標準日本人成人を模した人体ファントムの種々の組織・臓器位置に小型の半導体線量計を埋め込んだ, 直読式被ばく線量計測システムを使用し, 各組織臓器の吸収線量測定値から臓器線量および実効線量を評価するものである。

第 1 章では, わが国における悪性新生物 (がん) の罹患率および死亡状況について消化管疾患を中心に述べた。その早期発見のため, 国が中心となって検診を行っており, 各種 X線検査が重要かつ有用な検査である一方で, X線検査による医療被ばくに関する

るデータの不足や日本人に関するデータの少なさから本研究の目的を示した。

第2章では、人体ファントム被ばく線量計測システムについて、ファントムの構成や線量計の構造および線量測定精度について詳細に述べる。また、実測した臓器線量から実効線量へ計算を行なう過程を示す。

第3章では、上部消化管 X 線造影検査（胃透視検査）における被検者被ばく線量評価について述べる。本研究では、検診と一般検査での線量比較を行うため、5施設、計7手技に関して測定を行った。また、X 線 TV 装置の発展により、撮影系が従来のアナログ系からデジタル系へ移行する中で、被ばく線量の変化傾向を明らかにし、被ばく線量低減の方策を探った。

第4章では、下部消化管 X 線造影検査（注腸検査）における被検者の被ばく線量評価について述べる。本研究では、アナログ撮影によって行われた20症例とデジタル撮影によって行われた20症例の計40症例について線量測定を行い、検者による検査手順や撮影系による被検者の被ばく線量の違いを明らかにした。

第5章では、CT を利用した CT-Colonography 検査における被検者の被ばく線量測定結果について述べる。CT-Colonography 検査は、CT の画像技術を応用して大腸内部を三次元画像化し、仮想的に内視鏡と同等な検査を行なえる画期的な診断方法である。撮影条件は、通常臨床で行われているもの、および、管電流を 50mA まで下げた低線量での2条件について線量測定を行った。これらの結果を、従来の下部消化管検査である、下部消化管 X 線造影検査と比較し評価した。

第6章では、本研究で得られた結果と解析データから、各種消化管 X 線検査の将来像について考察し、更なる被検者被ばく線量の軽減方法の検討とともに、線量の最適化を提示した。

第7章では、本研究で得られた実験結果を総合的にまとめ、その成果と評価を本論文の結論として述べる。

第2章 人体ファントム被ばく線量計測システム

2-1 人体ファントム被ばく線量計測システム

本研究で使用した人体ファントムは、標準日本人成人男性（身長 170 cm，体重 60 kg）をモデルとした体幹部のみの人体等価ファントム（京都科学 THRA1 型）であり、概観を **Figure 2-1** に示す。ファントムは、生体軟組織、肺、骨格に対する組織等価物質で構成され、その物質はそれぞれ、Tough Water (WE-211)、Tough Lung (LP-430)、Tough Bone (BE-303)²⁸⁾である。医学診断検査で使われる 20keV–60keV の X 線エネルギー領域での X 線の減弱は、生体軟組織の筋肉とファントムの大半を占める Tough Water とで数%の違いしかなく、X 線の吸収、散乱に関して人体ファントムは人体とほぼ完全に等価と言ってよい²⁸⁾。また、このファントムは頭部および四肢は持たず、体軸方向に 50 mm 幅で 15 個に切断されている。それぞれのスライスには、**Figure 2-2** に示すように、組織・臓器位置に直径 10mm の貫通孔を設け、これに、後に述べるフォトダイオード線量計を挿入した後、孔を組織等価物質であるエポキシ樹脂で埋めた。また、女性の被ばく線量も評価できるように、左胸に水と等価な MiXDp²⁹⁾で作製した、日本人成人女性の平均的な大きさの乳房を取り付けた。

Figure 2-3 に、ファントム内線量計測に使用したフォトダイオード線量計を示す。X 線線量計素子には、既報³⁰⁾の PIN シリコンフォトダイオード（浜松フォトニクス社 S2506-04）を使用した。このフォトダイオードは、有感面積 2.8 mm × 2.8 mm，厚さ 2.7 mm の黒色樹脂（幅 7.0 mm，長さ 7.8 mm）で包まれた板状で、表（光子入射面）と裏で X 線に対する感度が数倍異なったため、2 個のフォトダイオードの裏面同士をエポキシ樹脂で接着し、これらを並列に接続して 1 個の線量計とした³⁰⁾。これにより、診断 X 線に対する感度の方向依存性は無視できるほど小さくなり、X 線のファントム内散乱などにより、種々の方向から線量計に入射する X 線の線量測定にも使用可能となっている。線量計には信号取り出し用として、生体軟組織と等価な炭素繊維で作られたケーブルを取り付けた。



Figure 2-1 Dosimeter implanted anthropomorphic phantom.

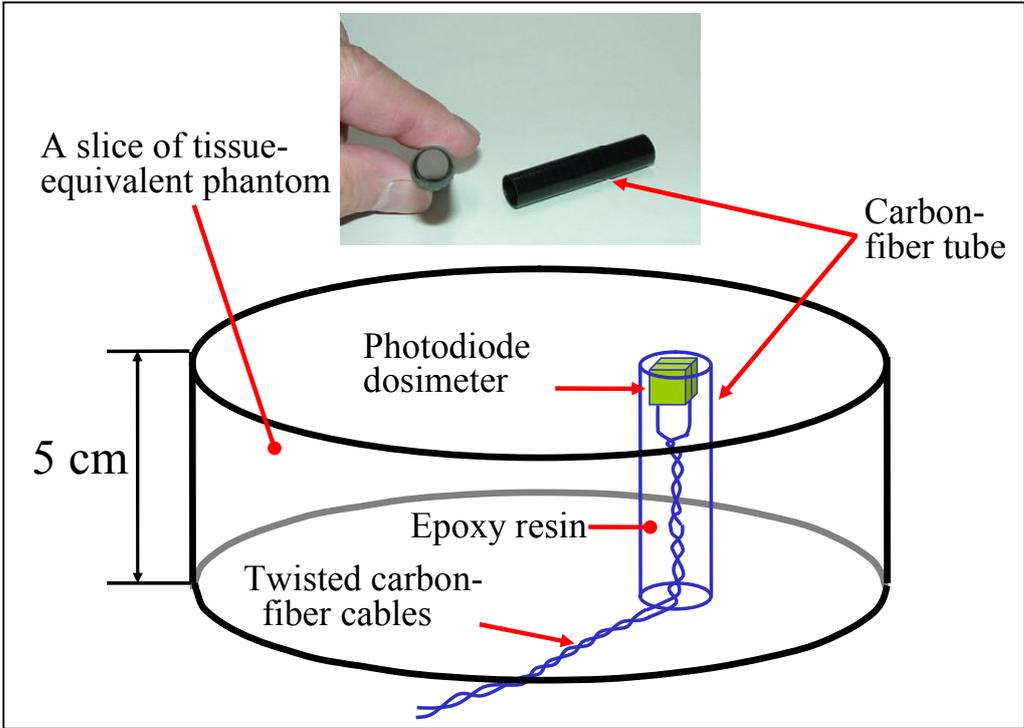


Figure 2-2 A piece of sliced phantom with photodiode dosimeter embedded.

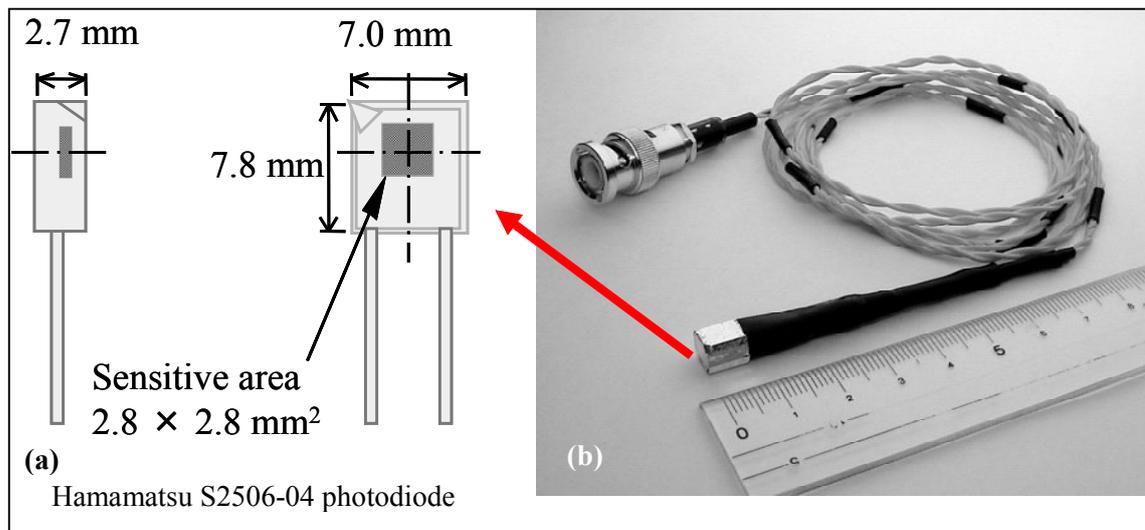


Figure 2-3 Pin silicon photodiode used (a), and a photodiode dosimeter (b)

個々のフォトダイオード線量計素子は、X線照射時の出力電圧（出力電荷量と静電容量の比）を、X線管焦点からフォトダイオード線量計素子までの距離と等しい距離の空气中に置いた、国家標準に対してトレーサビリティを有する電離箱線量計（Radcal 1015 電離箱線量計）の照射線量値で校正した。校正を行ったX線実効エネルギーは20 keVから70 keVの範囲であり、これは本研究に用いたX線TV装置での、およそ35 keVから45 keV、CTでの50 keVから60 keV程度の実効エネルギーに対し、十分カバーしている。さらに、そのX線実効エネルギーでの生体軟組織に対する質量エネルギー係数の値から、照射線量を生体軟組織に対する吸収線量へ変換した。

Figure 2-4に代表的なフォトダイオード線量計素子の感度（出力電圧と生体軟組織吸収線量の比）とX線実効エネルギーの関係³⁰⁾を示す。あらかじめ実測したX線実効エネルギーと、被ばく線量測定で得られた線量計出力電圧値から、その線量計が置かれた臓器位置における生体軟組織吸収線量値を正確に求めた。なお、線量計出力電圧をコンピュータに取り込むためのA/D変換器に12ビットのものを使用したため、その量子化誤差が2.4 mV、生体軟組織吸収線量にして約0.005 mGyとなり、したがって、検出限界線量もこの程度の値となった。また、本ファントムにおける入射X線エネルギーのファントム内での変化に対する、ファントム内の各設置線量計感度分布に関しては、笹田³¹⁾がX線CTについてモンテカルロ計算を行い、ファントム内入射点と中心との感度の誤差は、およそ4%以内と評価した。したがって、入射面での実効エネルギーに対す

るフォトダイオード線量計校正定数をファントム内に対して適用しても、これによる線量誤差は無視できる。線量計の出力電圧値から、生体軟組織吸収線量に変換する過程で生じる、ランダム（各線量計の感度のバラツキ）およびシステム誤差を含む総合的不確か率は、95%の信頼度で4%以下と評価された。

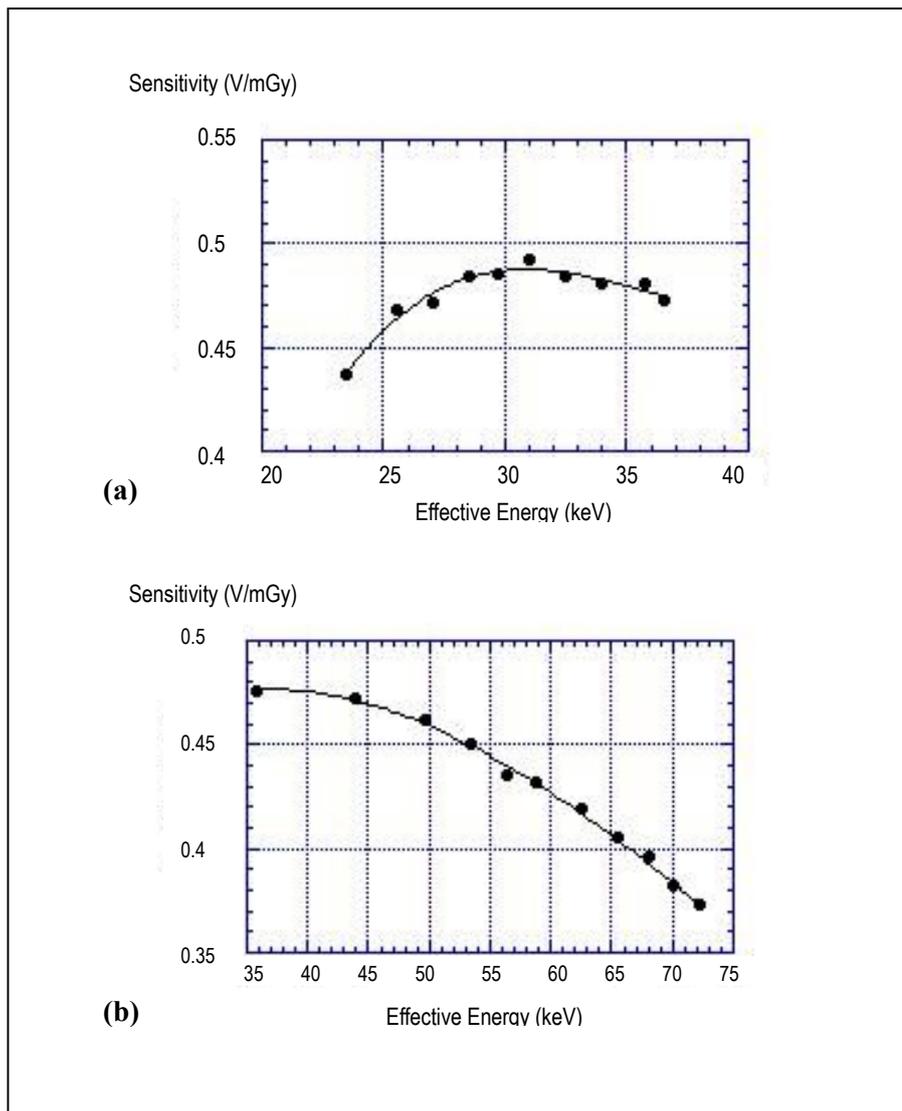


Figure 2-4 X-ray energy dependence of system sensitivity for (a) a lower and (b) a higher effective energy region.

線量計は、**Figure 2-5(a)**および**(b)**のように、X線透過写真および人体解剖学教科書から推測したファントム内部の主要組織・臓器位置に32個設置した。また、皮膚線量を測定するため、ファントム表面のX線照射野内の入射面および射出面の2箇所別途同一フォトダイオード線量計を設置し、合計34個の線量計を用いて臓器線量の測定と評価を行った。設置した線量計の位置を**Figure 2-5(a)**に、また、線量計番号に対応する組織・臓器を**Table 2-1**に示す。これらの組織・臓器は国際放射線防護委員会 (ICRP) Publ. 103 および Publ. 60 による実効線量評価に必要な組織・臓器であり、 w_T は、各々に対する組織荷重係数である^{32,33}。

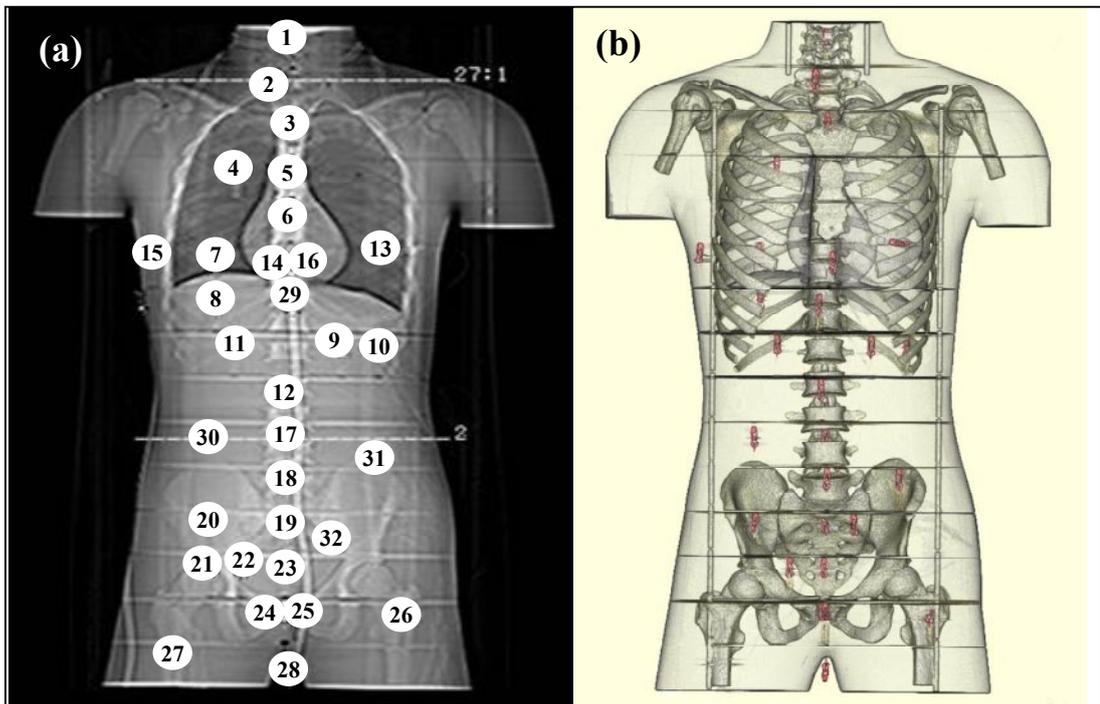


Figure 2-5 A roentgenogram of the phantom (a), and 3D-CT image of the dosimeter implanted anthropomorphic phantom indicating the location of 32 photodiode dosimeters – red short bars – distributing in the phantom (b).

Table 2-1 The locations of 34 photodiode dosimeters in the anthropomorphic phantom, where the numbers of the dosimeters correspond to those in **Figure 2-5(a)**.

Organ	The position and the number of photodiode dosimeter
Gonads	②② Ovary, ②⑧ Testis
red bone marrow	① Cervical vertebrae, ③ Breastbone, Collarbone, ⑥ Thoracic vertebrae, Scapula, Rib, ①⑦ Lumbar vertebrae, ①⑨ Sacrum, ②⑩ Hip bone, ②① Hip bone, ②⑥ Femur
Colon	①② Transverse colon, ②④ Rectum, ③⑩ Ascending colon, ③① Descending colon, ③② Sigmoid colon
Lung	④ , ⑦
Stomach	⑨
Bladder	②⑤
Breast	①③
Liver	⑧ , ①①
Esophagus	⑤ , ②⑨
Thyroid	②
Skin	③③ *) ③④ *)
Bone surface	③ Breastbone, ⑥ Thoracic vertebrae, Scapula, ①④ Rib, ①⑤ Rib, ①⑥ Rib, ①⑦ Lumbar vertebrae, ①⑨ Sacrum, ②⑩ Hip bone, ②① Hip bone, ②⑦ Femur
Remainder organ	①① Adrenal gland, Kidney, ①⑧ Small intestine, ①② Pancreas, ①⑩ Spleen, ③ Thymus, ②③ Uterus

*) Extra dosimeters externally attached to the surface of the phantom

2-2 臓器線量の評価

臓器線量は、1つの組織臓器についての平均吸収線量として定義されている。34個の線量計からの出力信号はコンピュータで一度に読み取られ、あらかじめ校正された生体軟組織に対する吸収線量に変換された後、以下の計算にしたがって臓器線量を算出するように計算プログラムを作成した。甲状腺のような小さな臓器では、臓器の重心に設置された線量計の表示値を臓器線量としたが、肺や肝臓といった大きな臓器では、単一臓器に対して等重量で分割した2箇所線量計を設置し、それらの表示値の平均値を臓器線量とした。また、結腸の臓器線量 D_{colon} は、ICRP Pub1.67³⁴⁾にしたがって以下の公式から計算した。

$$D_{colon} = 0.57 \times D_{ULI} + 0.43 \times D_{LLI} \quad (1)$$

D_{ULI} と D_{LLI} は、それぞれ上部大腸壁と下部大腸壁の吸収線量である。 D_{ULI} は上行結腸と横行結腸の平均線量であり、また、 D_{LLI} は下行結腸とS状結腸、直腸の平均線量である³⁵⁾。赤色脊髄の質量エネルギー吸収係数は、30 keV以上の診断X線エネルギー領域で生体軟組織のそれと5%以内で一致した。赤色骨髄線量 $D_{bone\ marrow}$ の計算には次式を使用した。

$$D_{bone\ marrow} = \sum D_{abs} \cdot A_r \quad (2)$$

ここで、 D_{abs} は、種々の骨中の測定点での生体軟組織に対する吸収線量である。 A_r は、active bone marrowの重量比、すなわち総骨髄重量に対する個々のactive bone marrowの寄与割合で、それぞれの骨における値をTable 2-2に示した³⁶⁾。本研究で使用したファントムは胴体部分だけなので、四肢や頭蓋骨は(2)の計算値には含んでいないが、消化管X線検査のように腹部のX線検査では四肢や頭蓋骨の線量は非常に小さく、これらの寄与は無視できる。

骨表面線量は、骨格を形成する骨の内側にある海綿骨の表面の骨内膜細胞や上皮細胞の吸収線量で、ICRP は骨表面から 10 μm の範囲の、それらの平均吸収線量として評価することを推奨している。骨表面の吸収線量は X 線の骨表面への入射方向によって異なるが、海綿骨表面は X 線に対して様々な方向を有しているため、X 線は骨表面に対してあらゆる方向から均等に入射すると考えてよい。このとき、骨表面での平均吸収線量は、骨組織と生体軟組織の吸収線量の中央値となる。骨表面から 10 μm の範囲における生体軟組織の平均吸収線量は評価できないため、骨表面線量を骨表面 0 μm での範囲内における平均吸収線量で評価すると、骨表面線量 $D_{bone\ surface}$ は、(2) 式を再評価した次式から計算される。

$$D_{bone\ surface} = \left\{ \sum D_{abs} \cdot M_r \right\} \times \left\{ (\mu_{en}/\rho)_{bone, cortical} / (\mu_{en}/\rho)_{tissue, soft} + 1 \right\} / 2 \quad (3)$$

M_r は **Table 2-2** に示した mineralized tissue の重量比、また、 $(\mu_{en}/\rho)_{bone, cortical}$ と $(\mu_{en}/\rho)_{tissue, soft}$ は、それぞれ皮質骨と生体軟組織の X 線に対する質量エネルギー吸収係数³⁷⁾である。骨表面の線量測定は困難なので、(2)式で使用した種々の骨中における測定点での生体軟組織に対する吸収線量 D_{abs} で代用した。

乳房線量 D_{breast} は次式から計算した。

$$D_{breast} = D_{abs} \times \left\{ (\mu_{en}/\rho)_{breast} / (\mu_{en}/\rho)_{tissue, soft} \right\} \quad (4)$$

$(\mu_{en}/\rho)_{breast}$ は、乳腺組織に対する質量エネルギー吸収係数³⁷⁾である。

皮膚線量の場合、ファントム表面の照射野内での吸収線量を測定し、ファントムの総表面積と照射野面積の比をこの吸収線量に掛けることにより、皮膚面積全体で平均化した。ファントムの皮膚総表面積は、使用したファントムの体表面積を計測し、また、頭と腕、足の表面積は標準日本人成人男性の頭、腕、足のサイズを参考とし、頭を楕円体、腕と足は円錐台として計算した結果、1.60 m^2 となった。

Table 2-2 Weight fractions of active bone marrow and mineralized tissue contributed from various bones in the human body. Each value is mean weight fractions of active bone marrow at 25 years old, and of mineralized tissue of Japanese adult male.

Bone	Weight fraction	
	Active bone marrow	Mineralized tissue
Scapula	0.029	0.031
Collarbone	0.008	0.012
Sternum	0.030	0.005
Ribs	0.152	0.073
Cervical vertebrae	0.037	—
Thoracic vertebrae	0.153	0.056
Lumber vertebrae	0.117	0.035
Sacrum	0.094	0.020
Hip bone	0.195	0.008
Femur	0.074	0.186

2-3 実効線量の評価

実効線量 E は次式から計算した。

$$E = \sum_T w_T \times H_T \quad (5)$$

ここで、 w_T は ICRP で推奨されている組織・臓器 T の組織荷重係数^{32,33)}である。 H_T は、(1)式から(4)式で計算された臓器線量に X 線の放射線荷重係数 1 を掛けた等価線量である。ICRP の Publ. 103 および Publ. 60 ではそれぞれの主臓器に対し組織荷重係数が与えられている。これらの数値とファントム内の各臓器に設置した線量計の数を **Table 2-3** に示す。使用したファントムは頭部がないため脳線量や唾液腺線量を測定することがで

きない。しかし、頭部検査を除いて、脳や唾液腺の線量は直接 X 線の当たる他臓器の線量に比べ非常に低くなると予想されるが、本研究で測定を行う消化管検査では頭部に直接 X 線が当たらない撮影条件のため、脳線量をゼロとした。ICRP の Publ. 103 では、副腎、外気道、胆嚢、心臓、腎臓、リンパ節、筋肉、口腔粘膜、膵臓、前立腺（男性）、小腸、脾臓、胸腺、子宮（女性）、の 14 の組織・臓器が、残りの臓器に組み入れられている³²⁾。しかしながら、全身に分布するリンパ節と筋肉は線量測定が困難なため、残りの臓器から除外し、男女各 11 臓器の平均線量を残りの臓器の線量とした。ただし、口腔粘膜の線量は脳や唾液腺と同じ理由でゼロとした。

Table 2-3 Number of photodiode dosimeters implanted in each site of tissues and organs required for the effective dose evaluation according to ICRP New Recommendations (ICRP 103) and ICRP Publ. 60 (ICRP 60). Also shown are tissue weighting factors listed in ICRP 103 and ICRP 60.

Tissue or organ	Number of dosimeters	Tissue weighting factor w_T	
		ICRP 103	ICRP 60
Bone-marrow	8	0.12	0.12
Colon	5	0.12	0.12
Lung	2	0.12	0.12
Stomach	1	0.12	0.12
Breast	1	0.12	0.05
Remainder tissues	11 ^{*a)}	0.12	0.05
Gonads		0.08	0.20
・Testes	1		
・Ovaries	1		
Bladder	1	0.04	0.05
Oesophagus	2	0.04	0.05
Liver	2	0.04	0.05
Thyroid	1	0.04	0.05
Bone surface	10	0.01	0.01
Brain	0	0.01	-
Salivary glands	0	0.01	-
Skin	2 ^{*b)}	0.01	0.01

*a) Dosimeters implanted in each position of adrenals, extrathoracic region, gall bladder, heart, kidneys, pancreas, prostate, small intestine, spleen, thymus and uterus/cervix.

*b) Extra dosimeters externally attached to the surface of the phantom.

第3章 上部消化管 X 線造影検査における被ばく線量

3-1 序文

わが国における、胃がんの罹患数は 106,760 人 (2002 年)⁴⁾、死亡数は 50,415 人 (2006 年)⁵⁾である。各種がんの中でも、罹患数では第 1 位、死亡数では肺がんに次いで第 2 位となっており、胃がんの早期発見は、今日、重要な国民的課題となっている。胃がん検診は、年間 1,972 万人 (男 1,056 万人、女 916 万人) が受診しており⁷⁾、その効果は一般にも広く認知されている。

老人保健法に基づく胃がん検診は、1983 年度から実施され、上部消化管 X 線造影検査 (通称：胃透視検査) が「死亡率減少効果があるとする相当の根拠がある」と報告されている³⁾。胃がん検診の一次検診に関しては、上部消化管 X 線造影検査を行うことが非常に多い。この検査法は、硫酸バリウムを経口投与したのち、発泡剤にて胃全体を拡張し、硫酸バリウムを胃全領域に付着させ、硫酸バリウムと空気との二重造影法にて、胃や食道および十二指腸の病変を捕らえるものである。しかし、X 線透視下にて硫酸バリウムの通りを確認しながら、胃などの各部を撮影することから、被検者の X 線による被ばく線量は通常の単純撮影に比較して非常に多くなると考えられ、X 線によるがん誘発など被検者に対する影響、さらには国民全体の健康への影響が懸念される。

本研究の目的は、上部消化管 X 線造影検査について、検診と一般検査で、また、施設や手技ごとに大きく異なる被検者の被ばくの現状を把握することにある。一方、放射線診断装置の発展により、X 線 TV 装置で使用される撮影系が、従来の Screen / Film 方式のアナログ系から、それに代わるイメージング・プレート (IP)を使用した Computed Radiography (CR)撮影方式、さらには画像を Image Intensifier (I.I.)から直接デジタルで取り込む Digital Radiography (I.I.-DR)方式、そして現在、I.I.を使用せずフラットパネルディテクタ検出器を利用した Flat Panel Detector (FPD)方式へと進化する中で、被ばく線量の変化傾向を明らかにし、被ばく線量低減の方策を探ることも本研究の目的の一つである。

3-2 実験方法

上部消化管 X 線造影検査の検査手順を、単に検診と一般診療で分類することは困難である。施設固有の検査手順があり、また、施行した検者の技術によっても、撮影条件や透視時間などの検査条件が異なることが、事前に行われた 440 施設へのアンケート調査から回答のあった 154 施設の結果において判明した³⁸⁾。しかしながら、それぞれの施設における検査方法は、いずれも日本消化器集団検診学会の X 線撮影法標準委員会の推奨による、一般的手順に基づいたものであり³⁹⁾、特別な手順でなかったことも併せて判明した。したがって、本研究では、5 施設 7 手技について、各施設および同一施設の別々の診療科で実施されている検査手順を、撮影体位(角度)や照射野の大きさ、また、撮影条件や透視条件について正確に再現し、その一つ一つについて被ばく線量測定を行った。

Table 3-1 に、A から E の各施設における X 線装置とその撮影系を示す。施設 A は胃がん検診車で、施設 B, C, D, E は一般病院である。X 線装置はいずれも東芝製 X 線 TV 装置で、X 線管電圧とともに X 線の実効エネルギーを決定するフィルター厚さ ”総ろ過” は、C のみ 2.3 mm アルミニウム当量、他は 2.5 mm アルミニウム当量であった。撮影系の詳細は、施設 A では Image Intensifier (I.I.) 間接撮影であり、100 mm のロールフィルムを用い撮像を行う装置であった。また、施設 B では四つ切りサイズの Film を用いた Screen / Film 撮影、施設 C では撮影時にイメージング・プレートが装着される Computed Radiography (CR) 撮影、施設 D では放射線科医師ならびに消化器内科医医師の別々の手順を再現し測定を行ったが、それぞれの装置は同じ Digital Radiography (I.I.-DR) 撮影であった。施設 E では DR 撮影、および Flat Panel Detector (FPD) 撮影の 2 種類を使用した。検査手順は同一であった。なお、デジタル撮影を行っている施設 C, D および E では、フィルムにプリントしたのち診断を行っており、モニターによる診断は行っていなかった。

Table 3-1 X-ray units and imaging techniques for barium contrast examinations of upper GI tract.

Hospital code	X-ray unit		Exposure
	Manufacturer	Type	
A	Toshiba	MXO-12A	100mm film, Image Intensifier
B	Toshiba	KXO-80N	Screen / Film
C	Toshiba	DBW-35A	Computed Radiography
D(R)	Toshiba	Winscope 5000	Digital Radiography
D(G)	Toshiba	Winscope 5000	Digital Radiography
E-DR	Toshiba	Ultimax	Digital Radiography
E-FPD	Toshiba	Ultimax	Flat Panel Detector

Table 3-2 に、種々の施設、診療科における検査手順ごとのフィルムサイズおよび撮影回数を示す。撮影体位（角度）は、それぞれの施設、診療科で行われているものを用いた。たとえば、同じ「RAO (Right Anterior Oblique)」でも、その観察部位、角度、フィルムサイズ、圧迫の有無など異なっている。したがって、人体ファントムを X 線 TV 装置の天板（寝台）に乗せ、被検者の体位（角度）や照射野の大きさを透視下で確認しながら、臨床と同じになるよう正確に再現した。角度が大きな体位では、発泡スチロールなどの X 線の減衰が非常に小さい補助具を用い、**Figure 3-1** に示すようにファントムを固定した。立位と臥位で同じ角度となる撮影体位（たとえば、立位 RAO と臥位 RAO など）では、人体ファントムに対しての X 線入射角度や照射野の大きさは変わらないため、人体ファントムが安定した位置となる臥位で測定を行った。

Table 3-2 Examination protocols of upper GI tract examinations for six different procedures.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
A	Projection*	AP-BF	RAO	LAO	LPO	PA	RAO	R-LAT										
	Film size × Exposure times	1×1	1×1	1×1	1×1	1×1	1×1	1×1										
B	Projection	E(F)	C	UE	LE	AP-BF	PA(F)	RAO	AP	R-LAT	RAO	AP	LAO	RAO	PA	LPO	LPO	RAO
	Film size × Exposure times	-	1/4×8	1/2×2	1/2×2	1×1	-	1/4×1	1/4×1	1/4×1	1/4×1	1×1	1/2×1	1/2×1	1/2×1	1/2×1	1/2×1	1/2×1
C	Projection	AP(F)	E(F)	C	E(F)	AP-BF	PA-BF	PA	AP	LAO	R-LAT	PA	RAO	AP	AP	LAO	LE	RAO
	Film size × exposure times	-	-	1/4×8	-	1×1	1/2×1	1/2×1	1/2×1	1/2×1	1/4×1	1/4×1	1/4×1	1/4×1	1/2×1	1/2×1	1/2×1	1/2×1
D(R)	Projection	UE(F)	LE(F)	PA	UE	LE	AP	RAO	LAO	LAO	C	AP-BF	PA-BF	RAO				
	Film size × Exposure times	-	-	1×1	1/2×1	1/2×1	1×1	1×1	1×1	1×1	1/4×8	1×1	1×1	1×1				
D(G)	Projection	PA	UE	LE	AP-BF	C	PA-BF	RPO	LPO	AP	RAO	LAO	LAO					
	Film size × Exposure times	1×1	1/2×2	1/2×2	1×1	1/4×8	1×1	1×1	1×1	1×1	1×1	1×1	1×1					
E	Projection	E	AP-BF	C	PA-BF	AP	RAO	AP	RAO	LAO	R-LAT	LAO	LAO					
	Film size × Exposure times	1/2×2	1×1	1/4×8	1×1	1/2×1	1/2×1	1×1	1×1	1×1	1/2×1	1/2×1	1×1					

* AP-BF: Upright barium-filled; AP: Supine frontal double contrast; AP(F): Abdominal fluoroscopy; C: Upright compression; E: Esophago-graphy; E(F): Esophagus fluoroscopy; LAO: Supine left anterior oblique double contrast; LE: Lower Esophago-graphy; LE(F): Lower Esophagus fluoroscopy; LPO: Prone left posterior oblique double contrast; PA: Prone frontal double contrast; PA-BF: Prone barium-filled; PA(F): Prone barium-filled fluoroscopy; RAO: Supine right anterior oblique double contrast; R-LAT: Right lateral; RPO: Prone right posterior oblique double contrast; UE: Upper Esophago-graphy; UE(F): Upper Esophagus fluoroscopy.

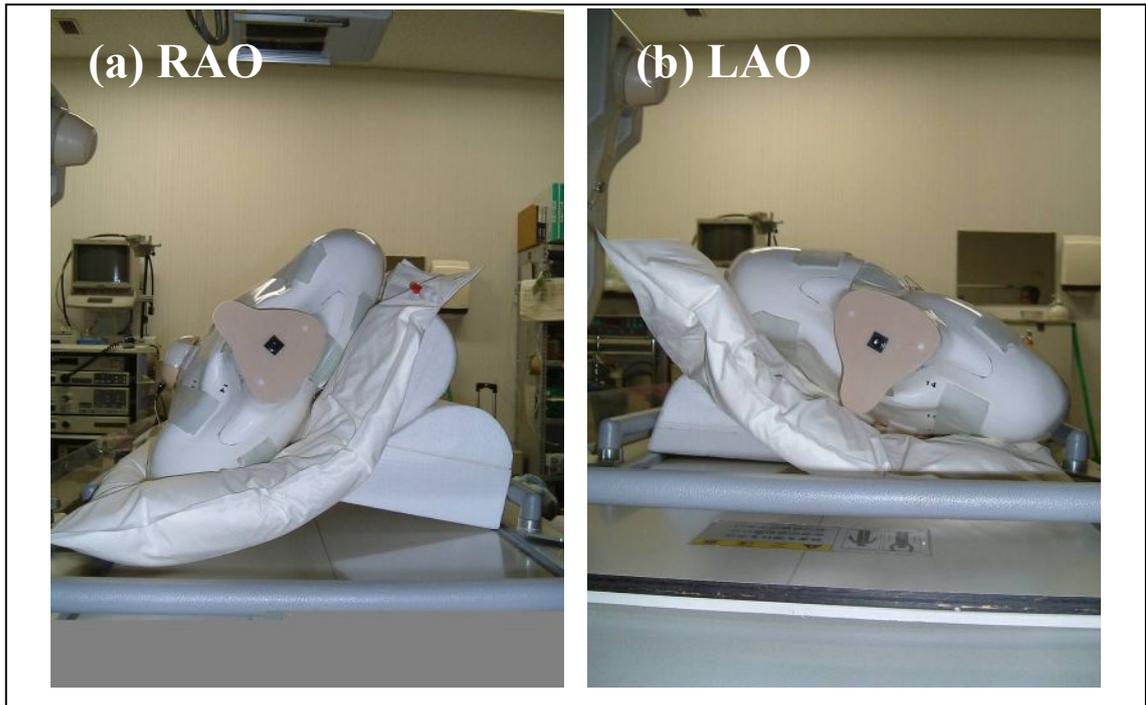


Figure 3-1 Dose measurement in upper GI tract examination for respectively (a) RAO and (b) LAO projections.

撮影時の X 線照射条件（管電圧、管電流と照射時間の積＝mAs 値）は、それぞれの撮影体位で、人体ファントムに対して自動管電圧調整器（ATR: Automatic Tube-voltage Regulator）によって自動的に得られる条件、もしくはフォトタイマーで自動的に調整された照射時間を使用した。また、装置によっては透視条件により撮影条件を決めるタイプの機種もあり、これらの場合は、あらかじめ撮影体位で人体ファントムを固定させ、数秒間 X 線透視を行うことにより管電圧を安定させ、ATR による撮影管電圧を確定させた後撮影の線量測定を行った。その撮影体位におけるファントム各部の線量を測定し、それぞれの撮影体位で求められた臓器線量および実効線量を検査手順全体で合算することにより、撮影による 1 検査あたりの線量値を算出した。

透視時の X 線照射条件は、それぞれの撮影体位で ATR によって自動的に得られる管電圧と管電流を用い、10 秒間 X 線を照射して各線量を測定し、それを臨床時の各撮影体位での平均透視時間における線量に換算した。臨床時の平均透視時間は、各施設の実際に行われた数十例分の検査における透視時間から算出した。撮影線量の場合と同様、検査手順におけるそれぞれの撮影体位で得られた臓器線量および実効線量を合算し、1 検査あたりの透視による線量値を算出した。

3-3 実験結果

各撮影体位において、撮影と透視で別々に求めた臓器および実効線量の例として、施設 A（胃がん検診車）の結果を **Table 3-3** に示す。他施設、他手技の結果については付録 A を参照していただきたい。**Table 3-3** によれば、線量が最も高くなる臓器は胃の周りに集中しているものの、体位によって異なることがわかる。

各手技において、**Table 3-3** と同様に、撮影体位ごとに撮影と透視で別々に臓器および実効線量を求め、これを 1 検査あたりに撮影と透視で別々に合計した臓器および実効線量を、それらの総合計とともに **Table 3-4** に示す。実効線量については、ICRP の Publ. 103 と Publ. 60 のそれぞれで提示された組織荷重係数^{32,33)}を使い算出したものを併記した。また、各施設の 1 検査あたりの臓器線量の結果をグラフ化したものを **Figure 3-2** に示す。撮影のための X 線照射回数は、施設 A の胃がん検診での 7 回に対し、施設 B から E の一般診療では 18 回から 22 回であった（圧迫や食道など、同様な部位を複数回撮影した場合はそれらをすべて加算した）。また、平均透視時間は胃がん検診が約 1.5 分で最も短く、一般診療では 2 分以下から 6 分以上と、3 倍超の開きがあった。

Table 3-4 および **Figure 3-2** によれば、1 検査あたりの臓器線量は、胃、膵臓、脾臓など、胃の周りの臓器が高い値を示し、それらのほとんどが 10 mGy 以上になっていることがわかる。胃の臓器線量は、最小 13.0 mGy、最大 56.7 mGy であった。一方、観察部位から離れた器官・臓器は大半が 1 mGy 以下となった。上部消化管 X 線造影検査においては、X 線射出口に取り付けられた可動絞りを使用し、X 線照射野を観察領域に絞り込むことによって直接線が入射する臓器を限局するため、胃や十二指腸などの観察臓器およびその近隣と、散乱線のみが入射する観察臓器から離れた臓器の線量に大きな差が生じたものと思われる。

最大皮膚線量（Entrance skin dose）をみると、その結果が高い値を示した体位は、右下側臥位や第 1 斜位であった。これは、X 線を透過する部分の体厚が増し、撮影条件と透視条件のそれぞれにおいて管電圧や管電流が上がり、X 線量が増えたことと、X 線管球と皮膚面との距離が近づくことの 2 つの要因によっている。一方、各臓器の吸収線量が高くなった体位は、右下側臥位や半立位第 2 斜位（シャツキー）であったが、これら

Table 3-3 Organ doses and the effective doses for each projection of upper GI tract examination in the institution A (mobile coach).

Projection Examination	Upright barium-filled		Supine right anterior oblique double contrast		Supine left anterior oblique double contrast		Prone left posterior oblique double contrast		Prone frontal double contrast		Head down supine right anterior oblique		Right lateral				
	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Total	Rad.	Fluo.
Tube voltage [kV]	80	73	82	76	80	74	80	74	80	73	83	94	98	103			
Tube current [mA]		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0		2.0			
Tube charge [mAs]	1.8		2.0		2.0		2.0		1.8		2.0		3.6				
Fluoroscopic time [s]		9		16		11		18		7		18		13			92
ORGAN															Total	Rad.	Fluo.
Thyroid gland [mGy]	0.01	0.01	0.00	0.05	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.06	0.01	0.03	0.25	0.05	0.20
Lung [mGy]	0.01	0.03	0.01	0.06	0.02	0.07	0.01	0.05	0.01	0.02	0.01	0.06	0.03	0.12	0.51	0.10	0.41
Breast [mGy]	0.01	0.04	0.01	0.09	0.01	0.03	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.10	0.04	0.15	0.57	0.10	0.47
Esophagus [mGy]	0.05	0.19	0.05	0.32	0.05	0.24	0.03	0.19	0.03	0.10	0.05	0.36	0.12	0.50	2.27	0.37	1.90
Stomach [mGy]	0.30	1.41	0.43	3.29	0.20	1.10	0.04	0.26	0.03	0.09	0.43	3.70	0.44	1.86	13.60	1.87	11.72
Pancreas [mGy]	0.26	1.18	0.28	2.08	0.27	1.46	0.04	0.32	0.04	0.12	0.28	2.34	0.14	0.59	9.41	1.32	8.09
Spleen [mGy]	0.06	0.23	0.12	0.84	0.03	0.14	0.17	1.48	0.12	0.42	0.12	0.95	1.12	4.79	10.60	1.75	8.85
Liver [mGy]	0.07	0.26	0.06	0.37	0.14	0.68	0.05	0.35	0.05	0.15	0.06	0.41	0.08	0.30	3.01	0.49	2.51
Colon [mGy]	0.11	0.49	0.11	0.78	0.14	0.72	0.05	0.37	0.05	0.14	0.11	0.88	0.06	0.22	4.22	0.62	3.60
Ovaries [mGy]	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.05	0.01	0.02	0.01	0.05	0.01	0.03	0.31	0.07	0.24
Uterus [mGy]	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.06	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.02	0.31	0.08	0.23
Bladder [mGy]	0.00	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.16	0.04	0.12
Testis [mGy]	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.02	0.18	0.04	0.14
Bone marrow [mGy]	0.01	0.05	0.02	0.09	0.02	0.06	0.02	0.15	0.02	0.06	0.02	0.11	0.03	0.10	0.75	0.13	0.62
Bone surface [mGy]	0.02	0.06	0.02	0.14	0.02	0.07	0.02	0.20	0.03	0.06	0.02	0.18	0.04	0.14	1.02	0.17	0.85
Skin [mGy]	0.01	0.07	0.02	0.14	0.01	0.09	0.01	0.15	0.01	0.06	0.02	0.15	0.01	0.02	0.78	0.09	0.69
Entrance skin dose [mGy]	0.68	3.82	0.80	7.04	0.71	4.52	0.75	7.68	0.68	2.85	0.80	7.92	0.36	1.51	40.13	4.78	35.35
ICRP 103																	
Remainder tissues [mGy]	0.06	0.28	0.06	0.44	0.06	0.31	0.04	0.32	0.04	0.11	0.06	0.50	0.14	0.60	3.03	0.47	2.56
Efective dose [mSv]	0.07	0.30	0.08	0.61	0.06	0.32	0.02	0.17	0.02	0.07	0.08	0.68	0.10	0.40	2.99	0.44	2.55
ICRP 60																	
Remainder tissues [mGy]	0.09	0.38	0.09	0.61	0.09	0.43	0.06	0.44	0.05	0.15	0.09	0.68	0.20	0.82	4.17	0.65	3.52
Efective dose [mSv]	0.07	0.29	0.08	0.59	0.06	0.31	0.02	0.17	0.02	0.06	0.08	0.66	0.09	0.38	2.89	0.43	2.46

Table 3-4 Comparison of organ and effective doses in upper GI tract examinations for 7 procedures.

Institution		A	B	C	D(R)	D(G)	E-DR	E-FPD
Number of images		7	22	21	18	21	20	20
Fluoroscopic time	[s]	91	368	238	105	318	349	349
Thyroid gland	[mGy]	0.2	3.5	2.8	2.4	3.7	0.5	0.7
Lung	[mGy]	0.5	3.0	1.3	2.3	4.1	3.3	3.0
Breast	[mGy]	0.6	4.0	1.1	1.0	2.5	1.2	1.6
Esophagus	[mGy]	2.3	5.3	3.7	3.7	8.3	11.7	9.2
Stomach	[mGy]	13.6	33.8	29.1	13.0	33.5	56.7	44.3
Pancreas	[mGy]	9.4	37.1	15.5	43.3	27.7	66.3	48.9
Spleen	[mGy]	10.6	10.6	5.5	18.5	10.3	20.3	21.1
Liver	[mGy]	3.0	8.7	4.2	7.4	17.0	15.1	16.2
Colon	[mGy]	4.2	15.2	8.8	6.7	19.0	23.4	19.3
Ovaries	[mGy]	0.3	1.1	0.5	0.4	1.2	1.7	1.0
Uterus	[mGy]	0.3	0.8	0.6	0.4	1.2	1.5	0.9
Bladder	[mGy]	0.2	0.7	0.1	0.2	0.6	0.6	0.7
Testis	[mGy]	0.2	0.7	0.3	0.2	0.4	0.8	0.6
Bone surface	[mGy]	1.0	4.1	2.2	2.0	5.2	5.6	4.1
Bone marrow	[mGy]	0.8	3.0	1.6	1.5	3.7	4.2	3.1
Skin	[mGy]	0.8	0.8	0.7	0.5	1.4	1.6	1.4
Entrance skin dose	[mGy]	40.1	131.6	104.8	45.7	122.6	177.8	137.2
ICRP 103								
Remainder tissues	[mGy]	3.0	8.0	5.5	4.2	11.3	14.5	11.6
Effective dose	[mSv]	3.0	8.9	6.2	4.0	10.2	13.7	11.1
ICRP 60								
Remainder tissues	[mGy]	4.2	11.0	7.5	5.8	15.5	19.5	15.7
Effective dose	[mSv]	2.9	8.5	6.0	3.9	9.9	13.3	10.8

の結果も上記と同様の理由による。したがって、これらの体位では体部の左側にある脾臓の吸収線量が、他より高くなっていた。同様な観点から、斜位像はX線管球側に近い臓器が高くなる傾向があった。また、圧迫撮影では照射野は小さいが、透視時間が長くなることと、圧迫台がX線照射野内に挿入されるため各X線条件が上昇すること、ま

た、撮影技術として椎体と観察部位を挟み込むようにするため、中心部の脾臓や結腸の吸収線量が高くなった。

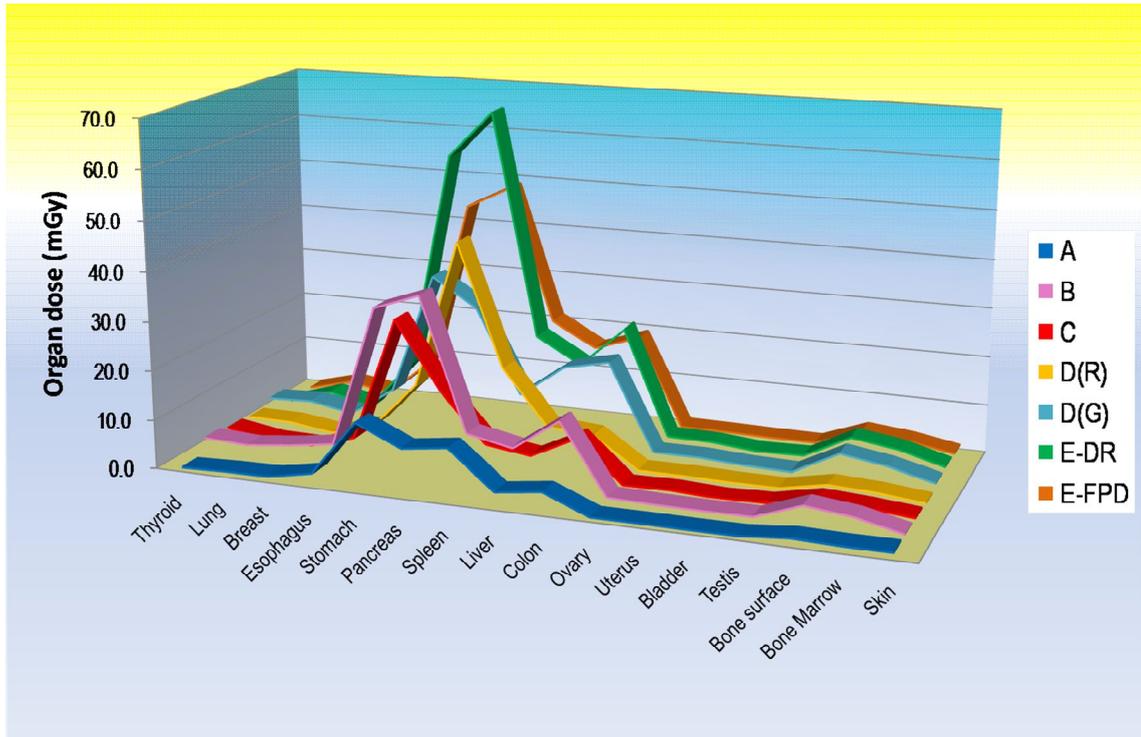


Figure 3-2 Organ doses obtained in each of 7 procedures

Table 3-4 によれば、1 検査あたりの実効線量の最低は検診施設 A の 3.0 mSv であり、最高は一般診療施設 E の DR 撮影における 13.7 mSv であった。一般診療に比べ集団で受ける検診は被ばく線量が低く抑えられており、したがって国民全体の健康への影響は小さくなるので、その意義は極めて大きい。一般診療の 6 手技による実効線量は、 9.1 ± 4.7 mSv (ICRP Pub.60 では 8.7 ± 4.7 mSv) であった。検診と一般診療とに大きな差があった理由として、検診での撮影回数が 7 回に対し、一般診療では 18 回から 22 回と約 3 倍の開きがあったことと、透視時間が前者は平均 91 秒に対し、後者は平均 105 秒から平均 368 秒と長かったことから、それぞれの検査目的による手技の違いが主な原因と考えられる。

撮影回数がほぼ同じ一般診療において、撮影のみによる実効線量の最低値は、DR 撮

影を行っている施設 D の放射線科医師が施行した 0.68 mSv、最大値は、Screen / Film 撮影を行っている施設 B の 3.16 mSv であり、両者には 5 倍もの開きがあった。一方、透視のみの実効線量を比較すると、最低値が検診 A の 2.55 mSv (透視時間 92 秒)、最高値は施設 E の DR 機種での 12.90 mSv (透視時間 349 秒) であり、その違いは 5 倍であった。X 線透視は、X 線 TV 装置の撮影系には関係なく、I.I.もしくは FPD によって画像化するものであり、単純に透視時間の違いが実効線量に大きく影響したと考えられる。

同じ機種でのデジタル撮影系において透視による実効線量の違いを比較すると、D(R) と D(G)で撮影のみの実効線量の差は僅か 8 %であるのに対し、透視による実効線量は D(R)では 3.34 mSv、また D(G)では 9.52 mSv と、3 倍の違いが見られた。これは前者と後者のそれぞれの透視時間 105 秒と 318 秒の比にほぼ一致している。この透視時間の違いは、検者の経験に基づく技術の差によることもあり得る。実際、D(R)の検者は検査経験が 20 年以上に対し D(G)の検者は 5 年未満であった。**Figure 3-3** に検査経過時間と実効線量 (透視および撮影線量を加算した値) の関係を示す。

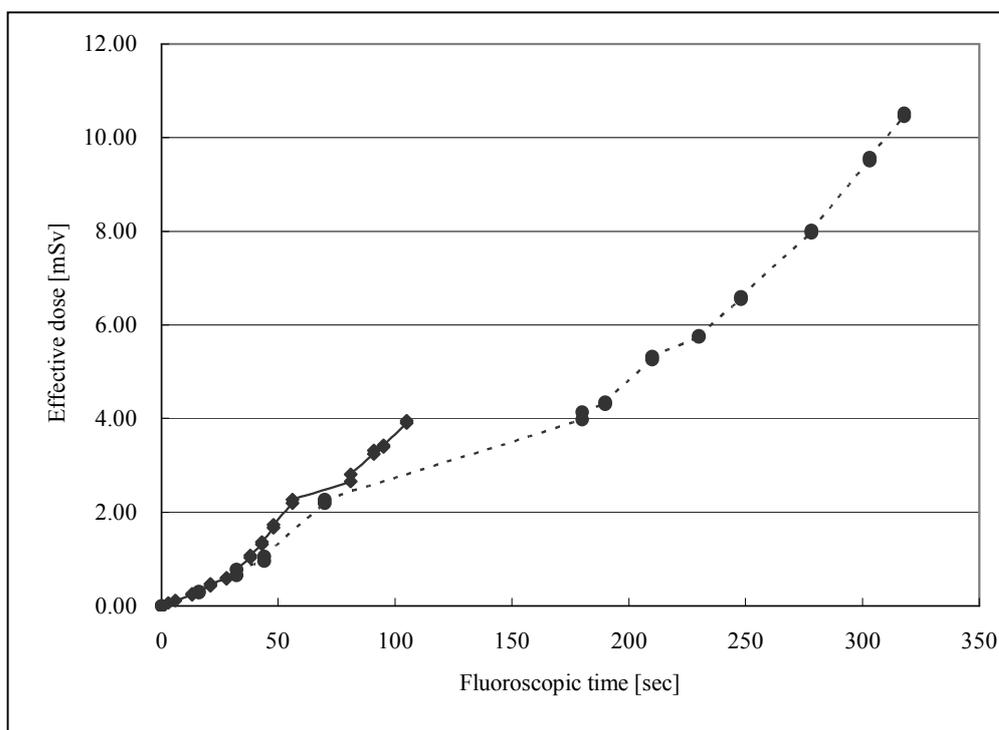


Figure 3-3 Effective doses as functions of fluoroscopic time observed for upper GI tract examinations performed by the radiologist and by the internist in the institution D.

3-4 考 察

本研究により得られた被ばく線量測定結果を以前調査された結果と比較すると、UNSCEAR 2000 年報告書¹²⁾では、日本における上部消化管 X 線造影検査の実効線量として 3.33 mSv が採用されており、検診における 2.9 mSv (ICRP Publ. 60 : 以下、本研究結果の値は ICRP Publ. 60 の組織荷重係数での値) には近いものの、一般診療における 8.7 ± 4.7 mSv に比べて大きく異なっている。この値は、丸山ら¹⁷⁾による撮影のみの実効線量 (正しくは実効線量当量) であるが、本研究による撮影のみの実効線量は、検診が 0.43 mSv、一般診療が 0.63 mSv から 4.41 mSv であり、これらとも異なっている。また、透視のみの実効線量は検診が 2.46 mSv、一般診療が 3.15 mSv から 12.54 mSv であった。透視による実効線量は、撮影に比べ同等から 15 倍もの高い線量値であり、撮影のみで上部消化管 X 線造影検査の線量評価を行うと、実際の 50%以上の過小評価となる。上部消化管 X 線造影検査は、撮影や透視を単独で行う検査ではなく、X 線透視下において観察臓器やバリウムの流れるタイミングを計りながら撮影を進めていくものであり、1 検査としての線量評価を行うためには、撮影と透視の線量の 2 つを足し合わせる必要があるので、これまでに公表された結果の取り扱いには注意が必要である。

以前調査された海外文献の報告による上部消化管 X 線造影検査の測定結果と本研究により得られた測定結果を比較した表を **Table 3-5** に示す。これによると、Ruiz-Cruces ら²⁰⁾の面積線量計を利用して得られた面積線量値 (DAP) と数学ファントムを使ったモンテカルロ計算を組み合わせて各組織・臓器の臓器線量ならびに実効線量を算出する方法で求めた上部消化管 X 線造影検査の実効線量は 8.21 ± 4.55 mSv であり、本結果の 8.7 ± 4.7 mSv とよく一致していた。同様に、Delichas ら⁴⁰⁾の ODS-60 ソフトウェアを利用し、2 か所の別々の施設で得られた結果では、 8.3 ± 4.7 mSv と 9.1 ± 2.9 mSv と算出されており、これらも本結果と概ね一致していた。これらのことは、Ruiz-Cruces らや Delichas らの使用した実効線量計算モデルが妥当なものであることを示していると思われる。一方、Vaño ら⁴¹⁾も DAP と数学ファントムを使ったモンテカルロ計算を組み合わせて計算を行っておいるが、算出された 6.83–16.31 mSv は本結果より高い値であった。また、Hart and Wall⁴²⁾や Martin⁴³⁾は Delichas らと同様の方法を用いて実効線量を計算しているが、それぞれの結果は、0.92–1.22 mSv と 1.5 ± 0.5 mSv となっており、本結果の 1/6 から 1/9 と非常に低い値となっている。透視時間や撮影回数には本研究より少ないことを

考えれば、彼らの計算による実効線量算出方法に疑問の余地が残る。

Table 3-5 Comparison of effective doses for upper GI tract examinations. Mean value with standard deviation and/or the range of effective doses in parentheses were those evaluated according to ICRP Pub. 60.

Authors Year of pub. Imaging	Ruiz-Cruces et al. 2000 Analog	Delichas et al. 2004 Analog	Vañó et al. 1993 Analog
Dose evaluation	Calculation from the Eff-Dose and DAP values	Calculation from the ODS-60 and DAP values	Calculation from the Monte Carlo simulation and DAP values
Fluoroscopy time [s]	355.8	174±108 180±108	–
Number of images	9.5	6±3 7±4	–
Effective dose [mSv]	8.21±4.55	8.3±4.7 9.1±2.9	6.83–16.31

Authors Year of pub. Imaging	Hart and Wall 1994 Analog	Martin 2004 Analog	This study
Dose evaluation	Calculation from the Monte Carlo simulation and DAP values	Calculation from the Monte Carlo simulation and DAP values	In-phantom dosimetry with photodiode dosimeters
Fluoroscopy time [s]	95–127	132 (66–168)	91 105-368
Number of images	15	11.8 (5.9–24.5)	7 18-22
Effective dose [mSv]	0.92–1.22	1.5±0.5	2.9 3.9-13.3

直線仮説 (LNT: The theory of linear non-threshold)³³⁾により、しきい値がないとされている確率的影響については、低線量被ばくにおいてもその影響が問題視される。致死がん誘発確率は、各臓器線量に ICRP Publ. 60 による組織・臓器別名目確率係数³³⁾をそれぞれに掛け合わせることで得られるが、胃に関しては、検診での結果 13.6 mGy (等価線量 13.6 mSv) より 1.5×10^{-4} 、一般診療の最高値 56.7 mGy (等価線量 56.7 mSv) より 6.2×10^{-4} が得られる。同様に、その他の臓器では、その殆どが 1.0×10^{-4} 以下と極めて小さい確率が得られる。実際には、数 100 mSv より低い線量では統計的に有意ながん誘発の増加が認められていない⁴⁴⁾ことと考え合わせれば、上部消化管 X 線造影検査による致死がん誘発の可能性は非常に小さく無視できると言っても良い。

皮膚の被ばく影響に関しては、施設 E の FPD によって撮影を行った場合の最大皮膚線量のおよそ 180 mGy が最高であるが、これは各体位の最大皮膚線量を加算した値であり、同じ皮膚面とは限らず、この値まで達する皮膚面はないと推測される。皮膚の確定的障害発生線量の最低値は、皮膚紅斑が生じるとされる 2 Gy (2000 mGy) であるが、本結果から上部消化管 X 線造影検査においてこのような値に達することはなく、放射線による皮膚障害の可能性は無いと考えられる。一方、被ばく低減を目標として日本放射線技師会の提示したガイドライン⁴⁵⁾では、最大皮膚線量の合計が 100 mGy 以下としているのに対し、一般診療の 6 手技のうち、5 手技までが 100 mGy を超える結果であった。こうした現状を把握できたことに本研究の意義は大きく、各施設の更なる被ばく低減の取り組みを促すものとなる。

上部消化管 X 線造影検査の実効線量は腹部 CT (Computed Tomography) 検査の実効線量 10 mSv 前後^{46,47)}に比べ検診を除き大きな差がなかったのに対し、胃付近の臓器線量は上部消化管 X 線造影検査が上回る場合があった。これは、CT はスキャン範囲の体内を満遍なく X 線照射するのに対し、上部消化管 X 線造影検査は観察する部位が特定されているためである。一方で、子宮線量は 0.31 mGy から 1.47 mGy であったが、これは、下腹部・骨盤 CT 検査における 9.98 mGy から 19.72 mGy⁴⁷⁾の 5%程度である。妊娠初期の胎児の大きさを考えれば、その線量は、子宮線量と同等と考えて良い。したがって、通常の胃の位置での検査であれば、観察部位が骨盤内になることは考えにくく、たとえ妊娠初期の胎児が子宮内にいたとしても、その被ばく線量は 1 mGy 程度以下である。

一方、子宮の臓器線量の最高値は、E 施設の DR 装置で得られた 1.5 mGy (Table 3-4 参照) であるが、奇形や発達遅延を引き起こすしきい線量 100 mGy に達することはなく、人工中絶の対象とすべきではない¹⁵⁾と言える。また、胎児線量が 10 mGy 以下なら、小児がん誘発のような確率的影響を考慮しても問題はないと考えられる¹⁴⁾。同様に生殖

腺被ばくも数 mGy 程度であり、不妊などの確定的影響を起こす線量（永久不妊のしきい値：精原細胞 3.5 Gy, 卵母細胞 2.5 Gy）とはなりえず、本研究結果は、上部消化管 X 線造影検査の放射線による被ばく影響に対する不安を持った被検者に対し、医師がこの検査の必要性を説明する際に科学的な根拠を与える具体的情報源として役立てることができるであろう。

本研究のもう一つの目的は、X 線 TV 装置での撮影系や透視の受像系の違いによる被検者被ばく線量の相違を明らかにすることである。それらを比較するため、各装置における立位充盈像の X 線量の比較を行った。その理由は、立位充盈像の撮影体位は立位で胃の正面像を撮影するため、各施設での角度や撮影の位置に差のない検査法であることによる。したがって、最大皮膚線量測定値の差は、それぞれの装置の特性に基づく撮影および透視条件の違いによると考えることができる。そこで、各装置の立位充盈像（Upright barium-filled）の撮影および透視の条件とそれぞれにおける最大皮膚線量を **Table 3-6** に示す。

Table 3-6 によれば、撮影線量では、施設 B（Screen / Film 撮影）の 2.69 mGy と施設 C（CR 撮影）の 2.36 mGy が他の装置に比べ 4 から 7 倍程度高い値となっており、Screen / Film 撮影や CR 撮影での撮影は DR 撮影や FPD 撮影に比べ高いことがわかる。一般にデジタル撮影は専門職である診療放射線技師の間においても、一般撮影と同様に被ばく線量が多いと考える傾向があるが、本測定から X 線 TV 装置を使用した DR 撮影や FPD 撮影は、非常に少ない線量で撮影されているという結果が得られた。その原因として、DR 撮影や FPD 撮影にて記録された X 線画像は、半切サイズの Film にて上下 2 分割もしくは 4 分割でプリントされており、Screen / Film 撮影のような等倍の画像（ライフサイズ）とはなっておらず、これにより、DR 撮影や FPD 撮影では縮小した画像を得るだけの X 線量で済むことによると考えられる。

一方、透視線量は、I.I.を使用した施設 A から E の装置に関して、B の 7.96 mGy から A の 25.49 mGy と 3.2 倍もの差があった。これは、透視条件にもよるが、I.I.の購入時期や使用年数、また、その使用頻度の差も考えられる。I.I.の使用年数や頻度に関して各施設に調査を行ったが、詳細は不明であった。一方、施設 E の最新の FPD (Flat Panel Detector)方式の結果は、I.I.の平均値 16.83 mGy と比べ若干高い値であり、また、最低値の施設 B の 7.96 mGy のおよそ 2.2 倍であった。これは、施設 E が実際の臨床時において、FPD の特性から高電圧による高線量率モードを使用し、より鮮明な透視画像を得ようとしていたためと考えられ、I.I.の平均値程度まで線量を下げ得ることは可能と思われる。

Table 3-6 Entrance skin doses for the projection of upright barium-filled, which were measured for 6 procedures. Dose values for radiography were those for one shot and doses for fluoroscopy were in 10 seconds.

		A		B		C		D		E-DR		E-FPD	
		Roll film		Film		CR		DR		DR		FPD	
		R ^{*a)}	F ^{*b)}	R	F	R	F	R	F	R	F	R	F
Tube voltage	[kVp]	80	73	84	88	82	84	83	95	80	93	95	91
Effective energy	[keV]	28.0	27.0	34.5	35.5	32.5	33.0	34.0	36.0	33.0	36.0	36.0	35.5
Tube charge	[mAs]	1.8		33.0		15.0		4.8		2.1		2.3	
Tube current	[mA]		2.0		1.6		1.5		2.4		1.8		1.8
Entrance skin dose	[mGy]	0.68	25.49	2.69	7.96	2.36	10.87	0.55	18.93	0.37	20.91	0.50	17.83

R^{*a)}: Radiography

F^{*b)}: Fluoroscopy

一方、検査当たりの撮影線量では Screen / Film 撮影が他の撮影系と比べ高かったが、過去の Screen / Film 撮影によるデータと比較すると、1972年に山本ら⁴⁸⁾によって調査された当時の X 線 TV 装置による測定結果は、立位充盈像の最大皮膚線量が 6 mGy (当時 600 mrad) と、施設 B の測定結果 2.69 mGy の 1.8 倍であった。同様に、斜位方向では 7.2 mGy (当時 720 mrad) に対し本結果は 4.05 mGy (付録 A : Table A-1)、側面方向では 13.5 mGy (当時 1350 mrad) に対し本結果は 5.82 mGy (付録 A : Table A-1) と、いずれも 2 倍前後高くなっていた。これらの結果の相違から言えることは、撮影による被検者の被ばく線量の低下は、X 線 TV 装置の発展のみならず、増感紙 (Screen) や Film の進歩、また、Film の現像方法の発達などが大きな要因となっているということであり、X 線 TV 装置における Screen / Film 撮影系に関しても、さまざまな技術を駆使し進歩し続けているので、今後、被ばく線量が減少していく可能性は十分にあると考えられる。

Figure 3-4 に各手技における検査体位ごとの透視と撮影の実効線量を重ね合わせたグラフを示す。Figure 3-4 によれば、施設 B (Screen / Film 撮影) と施設 C (CR 撮影) の撮影と透視の線量はほぼ同等であり、その他の DR および FPD 撮影においては、透視は撮影に比べ線量が数倍から 10 数倍高い値になっていることがわかる。従来の Screen / Film 撮影や CR 撮影は DR 撮影に比べ撮影線量が多い、その被ばく線量には注意が必要と考えられる。しかし、DR 撮影や FPD 撮影による撮影線量は Screen / Film 撮影の数分の 1 で、この場合には透視線量の比率が高いことがわかる。X 線 TV 装置は、Screen / Film 撮影から CR 撮影のデジタル方式へと発展したが、現在 CR 撮影機種は減少し、撮影線量の少ない DR 撮影や FPD 撮影の機種が普及しつつある。このことは、診断情報の記録として残らない透視の時間を極力短くすることで、上部消化管 X 線造影検査による被検者の被ばく線量を大きく下げることが可能であることを示している。

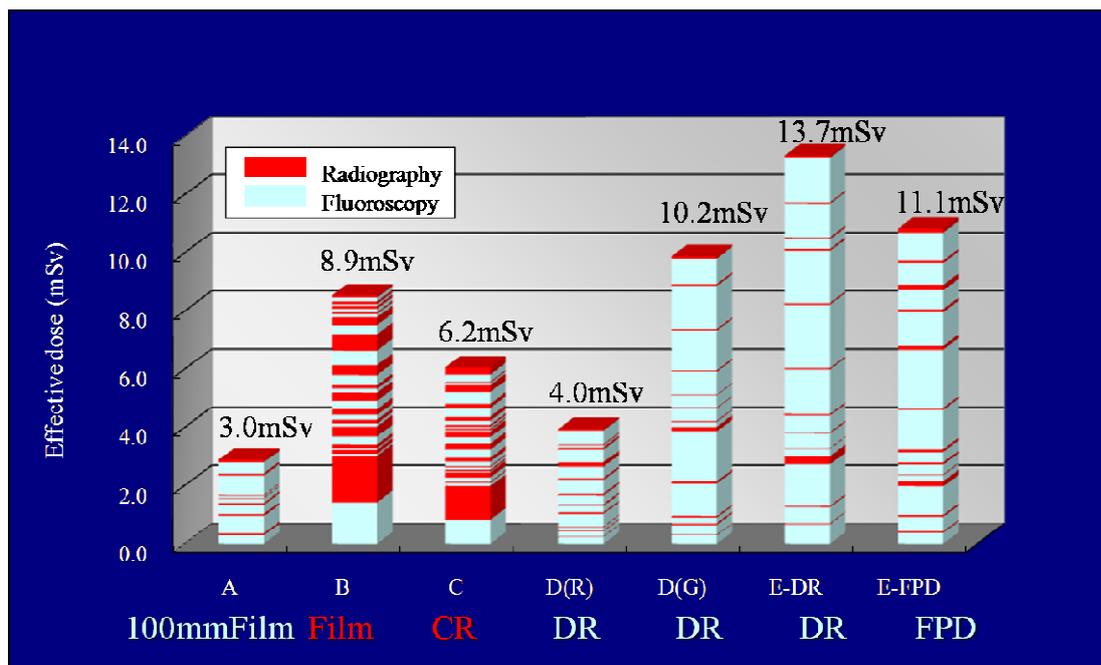


Figure 3-4 Effective dose for radiography (red) and fluoroscopy (blue) derived in each procedure of upper GI tract examination.

第4章 下部消化管 X 線造影検査における被ばく線量

4-1 序 文

わが国における大腸がんの罹患数は、食生活の欧米化に伴い増加を続けており^{49,50}、2002年現在で105,195人となっている⁴。また、死亡数は41,056人（2006年）にまで増加し⁵、日本人がん死亡者数では、女性で第1位、男性で第4位と上位を占めるに至っており、死亡率では、がん全体の約3割にもおよんでいる。今後より有効な対策がとられない限り、がん死亡者数は現在の約30万人から2020年には45万人まで増加する大幅に増加するとの試算もあり⁵¹、大腸がんの早期発見は、今日、重要な国民的課題となっている。

日本における大腸がん検診は、老人保健法に基づくがん検診において、1992年から実施されており、一次検診後の精密検査では、全内視鏡検査と並び S 状結腸内視鏡と下部消化管 X 線造影検査（通常：注腸検査）との2通りの方法が推奨されている⁵¹。大腸検査において、大腸ポリープなどの隆起病変に対する診断に関し、全内視鏡検査が最も検出能が高い検査方法であることは、日本のみならず米国でもよく知られている⁵²。しかし、米国でも日本においても、大腸癌スクリーニング検査として内視鏡検査がいまだに広く使われるには至っていない現状がある。その理由としては、内視鏡が穿孔のリスクを伴った準浸潤性の検査であり⁵³、内視鏡を扱う専門医には高い検査技術が求められるにもかかわらず、熟練した医師が少ないことが挙げられる⁵⁴。それを補う意味においても、下部消化管 X 線造影検査は、診療放射線技師によっても行える検査であり、内視鏡検査医に比べ検者の数は非常に多く、専門医のいない施設においても検査可能なことから、現在もその検査数は多いと考えられる。また、内視鏡検査に比べ、下部消化管 X 線造影検査の利点として、内視鏡検査より検者の成熟がしやすい、盲腸部までの到達率が96%と高い、粘膜襞の裏側や彎曲部の死角が少ないことなどが挙げられる。

下部消化管 X 線造影検査の検査方法は、X 線 TV 装置を使い、大腸内に逆行性にバリウムを注入した後、空気を入れ、二重造影法にて検査を行うものである。そのため常にその様子を X 線で透視しながら、重なるの無いよう、様々な体位（角度）でタイミングよく撮影を行うので、10分程度の透視時間と、15 から 20 回以上もの撮影回数が必

要となる。また、大腸は腹部内に複雑に走行しているため、X線照射部位は、腹部内臓器全体に及ぶ。したがって、被検者のX線による被ばく線量は通常の単純撮影に比較して非常に多くなると考えられる。そこで、人体ファントムに小型の半導体線量計を埋め込んだ、独自の被ばく線量計測システムを使用し、臨床条件を用いて臓器線量ならびに実効線量を評価した。

4-2 実験方法

測定に使用した人体等価ファントム線量測定システムは、第2章にて述べたものを使用した。また、皮膚線量を測定するため、ファントム表面のX線入射面および射出面の2箇所に別途同一フォトダイオード線量計を設置し、合計34個の線量計を用いて組織・臓器別吸収線量の測定と臓器線量の評価を行った。

使用したX線TV装置は、東芝社製 Winscope5000 で、X線の実効エネルギーを決定する総ろ過は、2.5 mm アルミニウム当量であった。この装置は、オーバーチューブと呼ばれる、テーブル面に対し前方にX線管球を有した、上方部よりX線が照射される装置である。また、1つのX線管球を使用して、Screen / Film を利用したアナログと、I.I. - DR (Image Intensifier - Digital Radiography) 方式のデジタルの2種類による撮影が可能であり、診療科や検者によりそれぞれを選択し使用していた。したがって、同管電圧における線質は同じであり、アナログ撮影とデジタル撮影での線量を比較する際には、他の装置を利用して比較することに比べ、各々の受像機のみ依存されるので、非常に有効であるといえる。X線透視については、アナログ撮影、デジタル撮影に関係なく、12 inch サイズのII.を利用した装置である。

本研究では、下部消化管X線造影検査をアナログ撮影で行っている検者ら(A科)と、デジタル撮影での検者ら(B科)の別々の検査法を交え被ばく線量測定を行った。それらの詳細な透視時間や撮影体位については、別途研究で使用されたデータより、実際に行われている検査について記録し、それぞれの検査手順を撮影体位(角度)や照射野の大きさ、また、撮影条件や透視条件について正確に再現し、その一つ一つについて被ばく線量測定を行った。バリウムの注入方法は、B科は左下側臥位にてバルーンカテ

ーテルを挿入したのち、その姿勢のまま X 線透視しながらバリウムを注入する一般的な手法に対し、A 科は左下側臥位にてカテーテルを挿入したのち、被検者を腹臥位に体位変換してから X 線透視を行う手法であった。また、撮影方式は、A 科がアナログ撮影であり、B 科はデジタル撮影で行っているが、フィルムにプリントしたのち診断を行っており、モニターによる診断は行っていなかった。これらの方法で行われた A 科 20 症例および B 科 20 症例の合計 40 症例について被ばく線量評価を行った。

撮影時の X 線照射条件（管電圧、管電流と照射時間の積＝mAs 値）は、それぞれの撮影体位で、実際の被検者に対して自動管電圧調整器 (ATR: Automatic Tube-voltage Regulator)によって自動的に得られる条件を使用した。その撮影体位におけるファントム各部の線量を測定し、それぞれの撮影体位で求められた臓器線量および実効線量を検査手順全体で合算することにより、撮影による 1 検査あたりの線量値を算出した。Figure 4-1 に測定風景を示す。透視時の X 線照射条件は、それぞれの撮影体位で ATR によって自動的に得られる管電圧と管電流を用い、10 秒間 X 線を照射して各線量を測定し、それを臨床時の実際の臨床で記録された、各撮影体位での透視時間における線量に換算した。撮影線量の場合と同様、検査手順におけるそれぞれの撮影体位で得られた臓器線量および実効線量を合算し、1 検査あたりの透視による線量値を算出した。



Figure 4-1 Measurement scene for barium enema examination.

4-3 実験結果

下部消化管 X 線造影検査による 1 回あたりの各科の平均透視時間は, A 科が 359 ± 71 秒 (285–481 秒), B 科が 559 ± 78 秒 (476–828 秒) となり, 透視時間には 1.5 倍以上の差があったが, 撮影回数は A 科, B 科とも 14.6 回と同等であった。また, 両科合わせた 40 例の平均透視時間は, 478 ± 147 秒となった。Table 4-1 に下部消化管 X 線造影検査における各大腸観察部位の透視時間と撮影回数の平均値を体位ごとに示す。

Table 4-1 Mean values of fluoroscopy time (with standard deviations) and number of images for each projection observed during a survey of barium enema examinations on 40 patients.

Area	<i>Rectosigmoid</i>						
	PA	RPO	LPO	L-LAT	LAO	AP	RAO
Fluo. time [s]	55.0±31.9	24.1±17.0	17.3±12.5	54.7±34.9	31.6±30.9	53.6±27.8	24.8±25.1
No. of images	1	1	1	1	1	1	1

Area	<i>Descending colon</i>	<i>Splenic flexure</i>	<i>Transverse colon</i>			<i>Hepatic flexure</i>
	LAO	LAO	AP	PA	L-LAT	RAO
Fluo. time [s]	14.4±16.8	24.2±19.1	34.0±15.7	5.3±4.0	13.3±9.2	34.2±28.9
No. of images	0.7	1	1	0.3	-	1

Area	<i>Ascending colon</i>	<i>Transverse colon and Caecum</i>			Total
	RAO	RAO	LPO 1/2	RAO 1/2	
Fluo. time [s]	18.7±9.3	20.0±8.2	21.0±16.2	32.0±27.8	478 ± 147
No. of images	1	1	0.8	0.8	14.6

Table 4-2 に下部消化管 X 線造影検査の各撮影体位における撮影と透視で別々に求めた臓器および実効線量の例として、アナログ撮影を行っている A 科の 1 例の詳細結果を示す。この結果は、A 科の平均透視時間（359 秒）にほぼ近い 341 秒で行った結果である。デジタル撮影で行っている B 科の結果の 1 例については付録 A の **Table A-7** を参照していただきたい。**Table 4-2** によれば、線量が最も高くなる臓器は体位によって異なるが、骨盤内に位置する卵巣や子宮、また胃が高い値となっていたことがわかる。撮影体位で比較すると、直腸の左下側臥位における透視と撮影の線量が他と比べて極めて高く、また、直腸の腹臥位（PA）での透視線量が多いことがわかった。

Table 4-3 に撮影体位ごとに撮影と透視で別々に臓器および実効線量を求め、これを 1 検査あたりのアナログおよびデジタル撮影と透視で別々に合計した臓器および実効線量を、下部消化管 X 線検査 1 回当たりの平均値とともに示す。実効線量については、ICRP の Publ. 103 と Publ. 60 のそれぞれで提示された組織荷重係数^{32,33)}を使い算出したものを併記した。また、**Table 4-3** に示した下部消化管 X 線造影検査 1 回当たりの臓器線量を、透視、アナログ撮影およびデジタル撮影に 3 つに分けて示したグラフ化したものを **Figure 4-2** に、同様に、透視と撮影を足し合わせた 2 つの撮影方式での下部消化管 X 線造影検査 1 回当たりの臓器線量をグラフ化したものを **Figure 4-3** に示す。

Table 4-3 によれば透視と撮影を合計した 1 検査あたりの臓器線量は、腹腔内でおおよそ 9–26 mGy 程度であり、胃や卵巣が高い値となった。これらに対し、X 線照射野にほとんど入らない精巣や、大腸部位における撮影回数あまり多くない右上部結腸に位置する肝臓は、比較的低い値を示した (**Figure 4-2, 4-3** 参照)。また、実効線量の結果をみると、透視線量は 8.8 mSv であり、これは 1 検査あたりの総線量 10 mSv に占める割合は 80 %以上であった。一方、撮影線量はアナログ撮影の 1.9 mSv に比べデジタル撮影では 0.6 mSv と、アナログ撮影の 1/3 以下であった。透視線量と撮影線量を足し合わせた、下部消化管 X 線造影検査 1 回あたりの実効線量の平均値は、アナログ撮影で 10.7 mSv、デジタル撮影で 9.3 mSv と、デジタル撮影で行った方が 2 割程度低くなった。それぞれを考量した合計 40 症例における、下部消化管 X 線造影検査による 1 検査あたりの平均実効線量は、 $10.0 \pm 2.4\text{mSv}$ であった。

Table 4-2 Organ doses and the effective doses for each projection of barium enema examination performed by the radiologist (A)

Projection Examination		Rectosigmoid														Descending colon LAO		Splenic flexure LAO	
		AP		RAO		LAO		L_LAT		RPO		PA		LPO		Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.
Tube voltage	[kV]	72	84	76	85	75	85	106	91	76	85	74	85	76	85	70	84	75	85
Tube current	[mA]	1.1		1.5		1.8		2.0		1.8		1.2		1.3		1.5		1.8	
Tube charge	[mAs]		8.0		11.5		11.2		128.0		13.4		10.2		13.4		7.2		11.2
Fluoroscopic time	[s]	44		15		10		28		15		91		8		3		15	
ORGAN																			
Thyroid gland	[mGy]	0.00	0.00	0.02	0.00	0.05	0.01	0.00	0.00	0.04	0.00	0.23	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.05	0.01
Lung	[mGy]	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.01	0.06	0.01	0.05	0.00	0.15	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.07	0.03
Breast	[mGy]	0.04	0.00	0.05	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.22	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.10	0.06
Esophagus	[mGy]	0.07	0.00	0.06	0.01	0.02	0.01	0.07	0.02	0.07	0.01	0.49	0.01	0.03	0.01	0.01	0.03	0.35	0.14
Stomach	[mGy]	0.00	0.01	0.12	0.02	0.02	0.02	0.08	0.02	0.06	0.01	0.13	0.01	0.05	0.02	0.26	0.54	2.53	1.00
Pancreas	[mGy]	0.18	0.02	0.13	0.04	0.09	0.07	0.22	0.08	0.09	0.03	0.48	0.02	0.06	0.04	0.19	0.38	1.59	0.63
Spleen	[mGy]	0.00	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.04	0.02	0.04	0.01	0.24	0.01	0.00	0.02	0.09	0.20	1.00	0.41
Liver	[mGy]	0.07	0.01	0.07	0.01	0.03	0.02	0.11	0.03	0.05	0.01	0.29	0.01	0.04	0.02	0.03	0.06	0.47	0.18
Colon	[mGy]	1.23	0.16	0.49	0.22	0.50	0.29	0.70	0.52	0.43	0.20	1.81	0.12	0.17	0.15	0.11	0.22	0.63	0.28
Ovary	[mGy]	3.39	0.42	1.90	0.79	1.00	0.55	3.60	3.44	0.35	0.15	1.83	0.14	0.13	0.11	0.01	0.03	0.07	0.02
Uterus	[mGy]	1.61	0.22	0.75	0.33	0.50	0.29	1.59	1.45	0.51	0.26	3.34	0.26	0.24	0.22	0.01	0.04	0.05	0.02
Bladder	[mGy]	3.12	0.39	1.27	0.54	0.83	0.49	1.17	1.19	0.40	0.16	2.88	0.19	0.14	0.13	0.01	0.02	0.05	0.01
Testis	[mGy]	0.50	0.09	0.12	0.06	0.06	0.03	0.33	0.20	0.16	0.06	0.93	0.05	0.08	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00
Bone marrow	[mGy]	0.62	0.08	0.33	0.14	0.18	0.11	1.24	1.22	0.27	0.12	1.28	0.08	0.10	0.09	0.02	0.03	0.12	0.04
Bone surface	[mGy]	1.02	0.15	0.39	0.25	0.19	0.13	1.98	1.88	0.32	0.15	1.63	0.09	0.11	0.15	0.03	0.04	0.18	0.06
Skin	[mGy]	0.30	0.04	0.14	0.05	0.10	0.06	0.53	0.41	0.16	0.07	0.75	0.05	0.07	0.05	0.02	0.03	0.16	0.06
Entrance skin dose	[mGy]	4.32	0.49	2.09	0.79	1.48	0.75	18.23	13.90	2.27	0.97	12.36	0.73	0.97	0.70	0.29	0.50	2.33	0.84
ICRP 103																			
Remainder tissues	[mGy]	0.54	0.07	0.27	0.11	0.19	0.11	0.37	0.23	0.11	0.04	0.67	0.04	0.05	0.04	0.06	0.12	0.47	0.20
Effective dose	[mSv]	0.57	0.07	0.28	0.11	0.19	0.11	0.47	0.40	0.16	0.06	0.78	0.05	0.06	0.29	0.06	0.12	0.51	0.21
ICRP 60																			
Remainder tissues	[mGy]	0.64	0.08	0.32	0.13	0.23	0.13	0.42	0.23	0.11	0.04	0.64	0.04	0.05	0.04	0.08	0.16	0.58	0.25
Effective dose	[mSv]	0.80	0.42	0.40	0.16	0.25	0.14	0.69	0.61	0.18	0.07	0.92	0.06	0.08	0.06	0.05	0.11	0.49	0.20

Table 4-2 (continued)

Projection	Examination	Transverse colon			Hepatic flexure		Ascending colon			Ascending colon and Caecum		Total	Rad.	Fluo.
		L_LAT Fluo.	AP Fluo.	Rad.	RAO Fluo.	Rad.	R_LAT Fluo.	LPO (1/2) Fluo.	Rad.	RAO (1/2) Fluo.	Rad.			
Tube voltage	[kV]	87	71	84	72	84	87	76	85	72	90			
Tube current	[mA]	2.0	1.1		1.1		2.0	1.3		1.1				
Tube charge	[mAs]			9.0		9.3			13.1		7.0			
Fluoroscopic time	[s]	8	38		25		15	10		16				341
ORGAN														
Thyroid gland	[mGy]	0.03	0.08	0.01	0.03	0.01	0.03	0.03	0.01	0.02	0.00	0.69	0.08	0.62
Lung	[mGy]	0.12	0.36	0.14	0.26	0.12	0.12	0.02	0.01	0.05	0.01	1.67	0.35	1.31
Breast	[mGy]	0.04	0.21	0.07	0.10	0.03	0.00	0.03	0.01	0.05	0.01	1.11	0.21	0.89
Esophagus	[mGy]	0.25	8.19	0.13	0.54	0.14	0.54	0.06	0.04	0.09	0.02	11.42	0.57	10.85
Stomach	[mGy]	0.26	3.86	0.62	1.92	0.44	4.20	0.18	0.11	0.12	0.02	16.61	2.84	13.77
Pancreas	[mGy]	0.87	3.32	0.53	2.18	0.56	1.73	0.16	0.99	0.47	0.13	15.29	3.53	11.76
Spleen	[mGy]	0.10	0.88	0.16	0.33	0.08	5.13	1.03	0.67	0.07	0.01	10.66	1.63	9.03
Liver	[mGy]	1.10	1.35	0.24	1.35	0.36	0.42	0.05	0.29	0.38	0.14	7.18	1.37	5.80
Colon	[mGy]	0.86	1.58	0.25	1.16	0.30	0.70	0.15	0.09	0.47	0.16	13.96	2.96	10.99
Ovary	[mGy]	0.05	0.03	0.01	0.11	0.01	0.06	0.04	0.01	0.10	0.04	18.40	5.74	12.66
Uterus	[mGy]	0.05	0.06	0.01	0.08	0.01	0.07	0.42	0.02	0.07	0.03	12.50	3.16	9.34
Bladder	[mGy]	0.02	0.00	0.00	0.08	0.01	0.03	0.04	0.01	0.05	0.01	13.25	3.15	10.10
Testis	[mGy]	0.04	0.06	0.01	0.05	0.00	0.06	0.04	0.01	0.03	0.01	3.04	0.58	2.46
Bone marrow	[mGy]	0.11	0.21	0.03	0.17	0.04	0.18	0.07	0.04	0.10	0.03	7.02	2.05	4.97
Bone surface	[mGy]	0.15	0.39	0.12	0.32	0.11	0.25	0.10	0.05	0.14	0.04	10.43	3.22	7.20
Skin	[mGy]	0.14	0.31	0.04	0.18	0.04	0.26	0.05	0.03	0.05	0.02	4.18	0.95	3.23
Entrance skin dose	[mGy]	3.05	4.56	0.57	2.90	0.67	5.83	1.50	0.91	1.72	0.50	86.21	22.32	63.89
ICRP 103														
Remainder tissues	[mGy]	0.55	0.97	0.24	0.69	0.21	0.86	0.15	0.09	0.26	0.09	7.80	1.59	6.21
Effective dose	[mSv]	0.30	0.96	0.18	0.61	0.16	0.78	0.09	0.05	0.15	0.05	7.80	1.85	5.95
ICRP 60														
Remainder tissues	[mGy]	0.59	1.09	0.20	0.76	0.20	1.15	0.20	0.13	1.52	0.10	10.12	1.74	8.38
Effective dose	[mSv]	0.28	0.91	0.16	0.60	0.15	0.75	0.08	0.05	0.15	0.05	8.86	2.23	6.62

Table 4-3 Organ dose [mGy], entrance skin dose [mGy] and the effective dose [mSv] in barium enemas for fluoroscopy (Fluo.), for analog and digital radiography (Radi.), and for a single procedure including fluoroscopy and radiography (Fluo.& Radi.).

	Analog			Digital		Mean dose of Fluo.&Radi.
	Fluo.	Radi.	Fluo.&Radi.	Radi.	Fluo.&Radi.	
Thyroid gland	0.9	0.1	1.0	0.1	1.0	1.0
Lung	1.8	0.4	2.2	0.1	2.0	2.1
Breast	1.1	0.2	1.4	0.1	1.2	1.3
Oesophagus	11.4	0.6	12.0	0.2	11.6	11.8
Stomach	20.1	2.8	22.9	0.9	21.0	22.0
Liver	8.9	1.4	10.3	0.4	9.3	9.8
Colon	16.7	3.0	19.7	0.9	17.6	18.6
Ovaries	20.3	5.7	26.0	1.2	21.5	23.8
Uterus	12.8	3.2	16.0	0.8	13.6	14.8
Bladder	14.0	3.2	17.2	0.8	14.9	16.0
Testes	3.1	0.6	3.7	0.2	3.3	3.5
Bone marrow	7.3	2.1	9.4	0.5	7.8	8.6
Bone surface	10.6	3.3	13.9	1.6	12.2	13.0
Skin	4.7	1.0	5.6	0.2	4.9	5.3
Entrance skin dose ^{*a)}	97.3	22.4	119.8	4.5	101.8	110.8
ICRP 103						
Remainder tissues	9.5	1.6	11.1	0.5	10.0	10.6
Effective dose [mSv]	8.8	1.9	10.7±1.2	0.6	9.3±2.0	10.0±2.4
ICRP 60						
Remainder tissues	13.4	1.8	15.1	0.7	14.1	14.6
Effective dose [mSv]	9.9	1.9	11.8±1.4	1.0	10.9±2.4	11.3±3.0

*a) Sum of local entrance skin doses

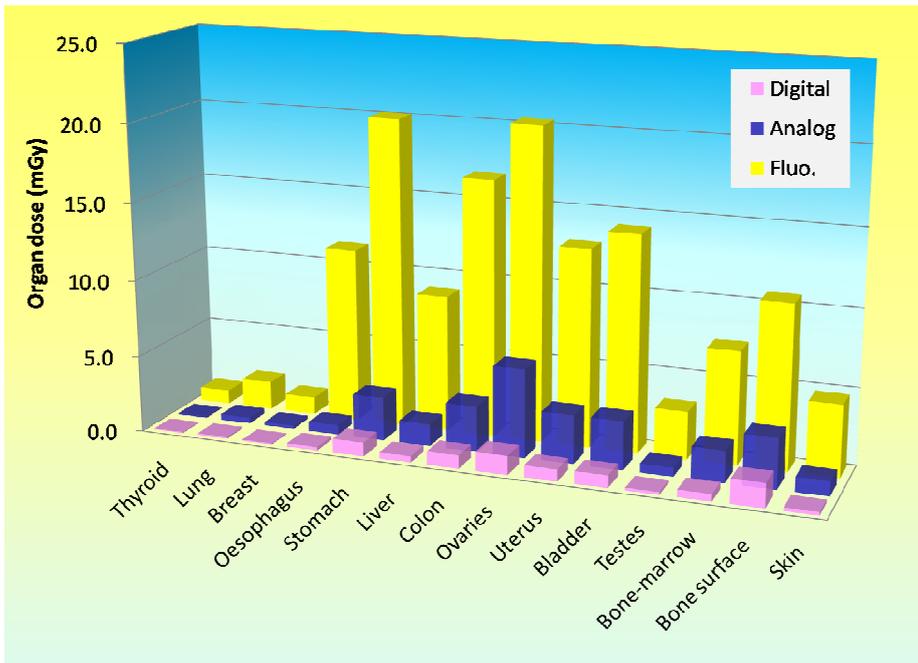


Figure 4-2 Organ doses in a barium enema examination obtained for fluoroscopy, and for digital and analog radiography.

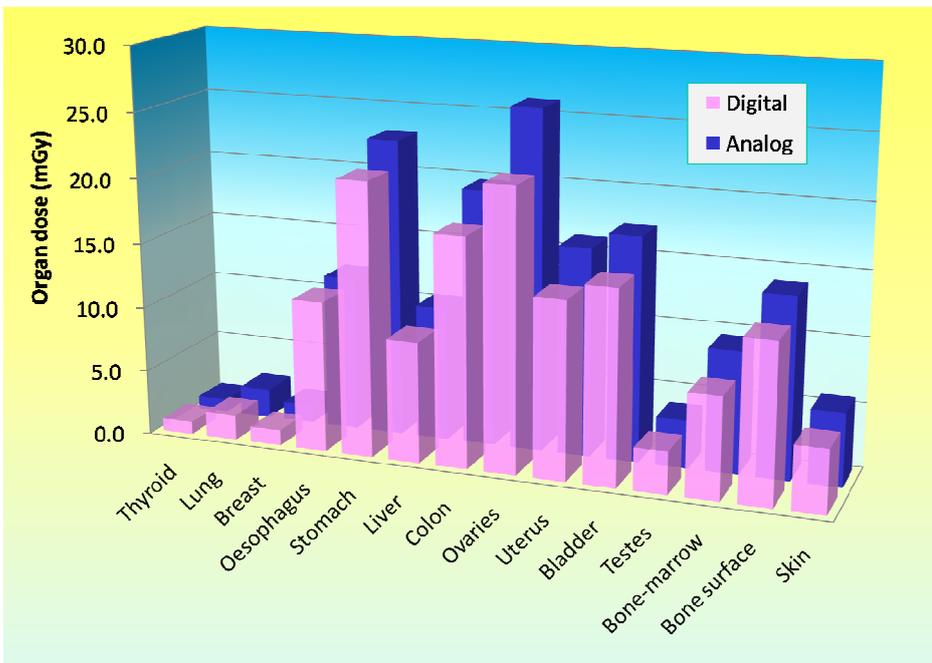


Figure 4-3 Organ doses in barium enema examinations obtained for digital radiography and fluoroscopy, and for analog radiography and fluoroscopy.

4-4 考 察

本研究の結果から、臓器線量の中で胃が高くなった要因として、X線TV装置がオーバーチューブであり、脾湾曲 LAO（左斜位）体位での比較的長い透視時間により、臓器位置的に左前方にある胃が高い値を示したものと考えられる。また、卵巣が高値となった要因は、S状結腸が骨盤腔内で複雑に走行しているため、バリウムを注入の際の透視時間が長くなり、また、平均撮影回数も7回と多かったことと、卵巣は横行結腸撮影以外での他の結腸撮影の多くでも、1次線が入る臓器であるためと考えられる。皮膚の被ばくに関して、最大皮膚線量（Entrance skin dose）の合計が100 mGyを超える場合があったが、これは各体位の最大皮膚線量を合算した値であり、同じ皮膚面ではないと考えられるが、たとえ同じ皮膚面であったとしても、放射線皮膚障害による紅斑が起こり得るしきい線量の2 Gy³³⁾からは大きく離れている。

一方、下部消化管X線造影検査は、透視や撮影の際、直接X線が骨盤内に入る検査であるが、子宮の臓器線量は10–20 mGy程度であり、妊娠していたとしても胎児の奇形や発達遅延を引き起こすしきい線量100 mGyに達することはなく、上部消化管X線造影検査と同様、1回の検査では人工中絶の対象とすべきではない¹⁵⁾と言える。また、胎児線量が100 mGy未満であれば、10 mGy以上の被ばくで可能性のある小児がんの発生を考慮してもその確率は小さく、出生後に重大な健康リスクが発現するであろうと考える理由は現在のところ存在しない^{14,32)}。しかし、透視時間が30分を超えるような長時間に及んだ場合には、子宮線量が100 mGyに達する可能性は否定できない。生殖腺被ばくに関しては、精巣は数mGy程度、卵巣は比較的高い値を示したものの10–30 mGy程度であり、不妊などの確定的影響を起こす線量（永久不妊のしきい値：精原細胞3.5 Gy、卵母細胞2.5 Gy）とはなりえない。

致死がん誘発確率は、組織・臓器別名目確率係数³³⁾をそれぞれの臓器に掛け合わせ計算されるが、結腸に関して、アナログ撮影で行った場合19.7 mGy（等価線量19.7 mSv）より 1.7×10^{-4} 、デジタル撮影17.6 mGy（等価線量17.6 mSv）より 1.5×10^{-4} が得られる。比較的高かった、卵巣の30 mGy（等価線量30.0 mSv）でも、 3.0×10^{-5} となり、他の臓器はそれ以下であるため、上部消化管X線造影検査と同様、極めて小さな確率となる。

一方、ICRP Publ. 103によって提示された組織荷重係数を使って計算した実効線量は、

ICRP Publ. 60 の結果に比べ 10 %程度少なかったが，下部消化管 X 線造影検査は腹部全体，特にがん好発部位である直腸や S 状結腸などが位置する下腹部を中心とした検査であり，腹部下方に位置する生殖腺の組織荷重係数が 0.20³³⁾から 0.08³²⁾へ減少した (Table 2-3 参照) ことが大きな要因と考えられる。

以前調査された海外文献による下部消化管 X 線造影検査の測定調査の報告と，本研究の測定結果を比較した表を Table 4-4 に示す。

Table 4-4 Comparison of effective doses for barium enemas. Mean value with standard deviation and/or the range of effective doses in parentheses were those evaluated according to ICRP Pub. 60.

Authors Year of pub. Imaging	Ruiz-Cruces et al. 2000 Analog	Vano et al. 1993 Analog	Delichas et al. 2004 Analog	Hart and Wall 1994 Analog
Dose evaluation	Calculation from the Eff-Dose and DAP values	Calculation from the Monte Carlo simulation and DAP values	Calculation from the ODS-60 and DAP values	Calculation from the Monte Carlo simulation and DAP values
Fluoroscopy time [s]	227	–	252±216 132±90	79–176
Number of images	7.7	–	10±3 10±4	13
Effective dose [mSv]	11.69±5.28	6.83–16.31	27.8±19.4 19.6±6.1	2.84–5.82

Authors Year of pub. Imaging	Martin 2004 Analog	Lampinen et al. 1999 Analog	This study Analog&Digital
Dose evaluation	Calculation from the Monte Carlo simulation and DAP values	Calculation from the ODS-60 and DAP values	In-phantom dosimetry with photodiode dosimeters
Fluoroscopy time [s]	114 (66–240)	108–306	478±147
Number of images	12.2 (4.1–23.3)	11–19	14.6
Effective dose [mSv]	3.5±0.7	1.7–6.8	11.3±3.0 (7.2–20.5)

Table 4-4によると、実効線量は、Ruiz-Cruces ら²⁰⁾の 11.69 ± 5.28 mSv の $6.83 - 16.31$ mSv に対し、本結果の 11.3 ± 3.0 mSv (実効線量は ICRP Publ. 60 の組織荷重係数で計算；以下同様)とほぼ同等であった。また、Vaño⁴¹⁾らの結果においても $6.83 - 16.31$ mSv と、本結果の $7.45 - 15.32$ mSv と同等な結果であった。一方、Delichas ら⁴⁰⁾の 27.8 ± 19.4 mSv は、本結果に比べ2倍程度高い値であり、Hart and Wall⁴²⁾の 2.84 mSv、また、Martin⁴³⁾の $3.7 - 6.8$ mSv とは、2-3倍低い結果となった。その理由として、調査した際の透視時間や撮影時の X 線条件に大きく左右されたことが挙げられる。これは欧米で行われている下部消化管 X 線造影検査の手法が、本邦で行われているような二重造影法に徹していないため、透視時間があまり長くない傾向にあるとことが1つの要因と考えられるものの、DAPから算出させる間接的方法は、信頼性の高い結果を得るためには、実測による検証を待つ必要がある。

一方、UNSCEAR 2000 年報告書¹²⁾では、日本における下部消化管 X 線造影検査の実効線量として 2.68 mSv が採用されているが、この値は他の諸外国と比べても非常に低い値となっており、本研究の結果と比較しても4倍程度の開きがある。この値は、丸山ら¹⁷⁾による撮影のみの実効線量（正しくは実効線量当量）であり、透視による実効線量 4.11 mSv は加わっていない。下部消化管 X 線造影検査は、撮影や透視を単独で行う検査ではなく、X 線透視下において各結腸位置におけるバリウムや空気量を確認しながら検査を進めていくものであり、1検査当たりの線量評価を行うためには、撮影と透視の線量の2つを足し合わせる必要があるので、両方を加えた 6.79 mSv とすべきであり、したがって、その結果は、本研究結果 11.3 mSv の $3/4$ 程度であった。

本研究では、2つの診療科で実際に行われている、それぞれの検査方法を詳細に再現し測定を行った。その手順や方法で大きく異なっていた点は、バリウム注入開始時の被検者の体位が、A科は腹臥位であったのに対し、B科は側臥位であったことと、撮影方式が、前者がアナログ、後者がデジタルであったことである。そこで、**Table 4-5** に直腸・S 状結腸撮影 (rectosigmoid) における体位のうち、腹臥位正面 (PA) および左下側臥位 (L-LAT) 撮影時での、アナログとデジタル撮影の撮影条件と透視条件、および、大腸の臓器線量と最大皮膚線量 (Entrance skin dose)、ならびに、実効線量を示す。**Table 4-5** によれば、撮影管電圧は PA よりも L-LAT の方が $6 - 9$ kV 高く、mAs 値に関してもアナログで10倍以上、デジタルで5倍程度高い値であった。また、アナログ撮影での側臥位の最大皮膚線量は 13.9 mGy であり、腹臥位の 0.73 mGy の20倍近い値となっており、デジタル撮影においても、それぞれ 1.7 mGy、 0.24 mGy と7.5倍も高く、非常に多くの撮影線量が必要であった。透視に関しても同様な傾向であり、管電圧は

30 kV 以上高く、最大皮膚線量も PA が 0.54 mGy に対し、L-LAT が 2.60 mGy と 5 倍程度高く、実効線量では 2 倍上高い値となった。これは、側臥位の場合、腹臥位正面に対し体厚が厚くなり X 線照射条件が非常に高くなったことと、X 線管球から皮膚面までの距離が側臥位の方が短くなったためである。したがって、本検査を行う検者は、これらの体位による、透視および撮影線量の相違を十分把握し施行する必要がある。

Table 4-5 Colon dose, entrance skin dose and effective dose for posterior (PA) and left lateral (L-LAT) positions in rectosigmoid observation.

		PA			L-LAT		
		Analog	Digital	Fluo.	Analog	Digital	Fluo.
Tube voltage	[kV]	85	84	74	91	93	106
Tube charge	[mAs]	10.2	3.9		128.0	19.8	
Colon dose	[mGy]	0.12	0.05	0.08	0.52	0.08	0.10
Entrance skin dose	[mGy]	0.73	0.24	0.54	13.90	1.79	2.60
Effective dose (ICRP 103)	[mSv]	0.05	0.02	0.03	0.40	0.06	0.07

Figure 4-4 にアナログ撮影 A 科 20 例及びデジタル撮影 B 科 20 例の下部消化管 X 線造影検査における撮影と透視の平均実効線量を積み上げたグラフを示す。アナログ撮影を行っている A 科の撮影線量はデジタル撮影を行っている B 科と比べると、撮影回数が同じであることから 2 倍高いことがわかる。一方、透視線量は A 科に比べ B 科の値が 2 倍以上高いが、これは透視時間が、A 科は 359 秒に対し B 科は 559 秒と、後者が 1.5 倍長い時間 X 線透視を必要としたことによるものであった。両科の下部消化管 X 線造影検査による 1 検査あたりの実効線量を比較すると、A 科が 7.3–10.2 mSv、B 科が 8.8–14.4 mSv と B 科の方が高く、また、その平均値はそれぞれ、 $8.3 \pm 1.2 \text{ mSv}$ と $11.0 \pm 1.8 \text{ mSv}$ であり、A 科の方が 3/4 程度低い値であった。これらの結果から、検査技術、特に体位変換を行う際の X 線透視方法ならびに使用時間が、両科の実効線量に差を生じさせた大きな要因であると考えられる。

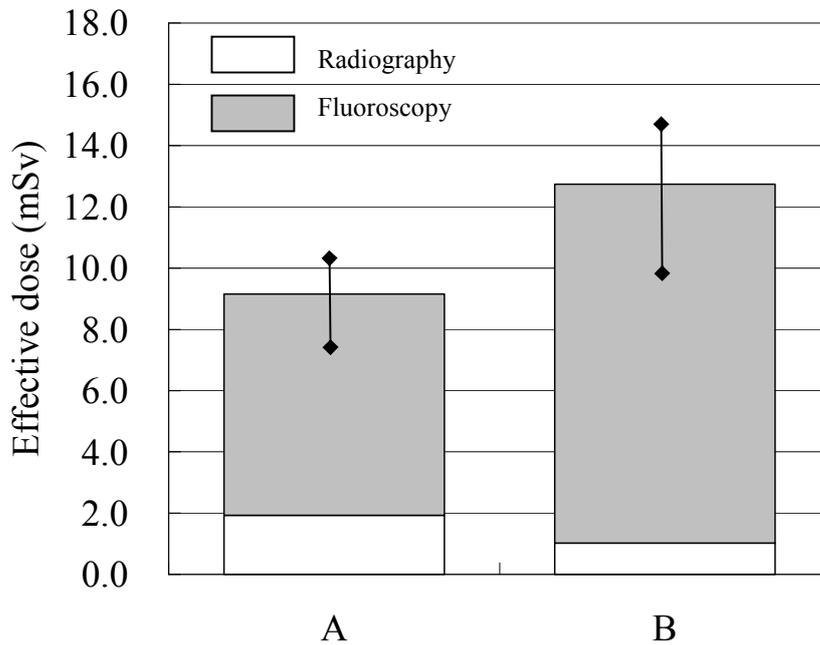


Figure 4-4 Average effective doses in barium enema examination for each department of A using analogue imag-detector (Screen / Film) and of B using digital image-detector (I.I.-DR).

一方、Table 4-5 に示すように、側臥位と腹臥位の被検者の被ばく線量には大きな差があった。B 科の透視線量が大きく増加となる要因の 1 つとして、バリウム注入開始時の体位が側臥位であったため、側臥位の透視線量が腹臥位に比べ最大皮膚線量で 5 倍、各臓器線量においても数倍高くなったことが挙げられる。これらを考慮するならば、検査開始時の体位は、一般に多く用いられている側臥位よりも腹臥位にて行った方が被検者の被ばく低減へつながると言える。下部消化管 X 線造影検査では、透視線量が 1 検査あたり総線量の 80 %以上を占めること、また、アナログ撮影に比べデジタル撮影では撮影線量が 1/3 以下に減少することが明らかになったが、この検査で被ばく線量を低減させるには、最近のデジタル撮影方式を採用し、検査手順を合理化して透視時間を減らすことがもっとも効果的であると考えられる。

第5章 CT-Colonography における被ばく線量

5-1 序 文

従来、X線装置を用いた消化管診断検査といえば、第3章および第4章で述べたような、硫酸バリウムを利用した消化管X線造影検査が一般的であった。一方、これまでのCT (Computed Tomography) 検査の主な役割と言え、悪性病変があった場合の術前診断における周囲臓器や転移の診断などであり、消化管そのものの病変を評価することは稀であった⁵⁵⁾。しかし、X線CT装置は、従来の1回転1スキャン(いわゆるConventional CT) からシングルスライス螺旋型CTへと移行し、それにより得られたボリュームデータから作成された三次元画像が診断にも応用されるようになってきた。無論、消化管診断に対しても応用が試みられ、研究も数多く行われてきたが⁵⁶⁾、内視鏡診断の発達したわが国においては、臨床診断に応用されるケースは少なかった。

しかしながら、CT装置における検査法や性能技術は革命的な進歩を遂げ、近年の多列検出器CT (MDCT) 装置の開発により、体軸方向の分解能が高まり、より精細なスライスデータを短時間かつ広範囲に得ることが可能となった⁵⁷⁾。今やCT画像は、単純な撮影断層像(輪切り像)からボリュームデータを再構成して、得られる任意の断層像(MPR像)を良質かつ容易に作成することが可能となり、また、高速画像処理ワークステーションを利用し精細な三次元画像表示による画像診断へと変革してきている。これらを利用し、従来あまり行われてこなかった下部消化管病変診断への臨床応用も可能となってきた(通称:CT-Colonography)⁵⁸⁻⁶¹⁾。本邦では、一般に馴染みの深い検査法ではないが、欧米ではMDCTが開発される以前の、いわゆるシングルヘリカルCTが開発された1990年代半ばから研究されている検査法である⁵⁵⁾。

一方、これまで行われてきた臨床試験結果や画質から、CT-Colonography検査は内視鏡検査と比較してポリープなどの検出能が著しく劣るのではないかという懸念があった。これに対し、米国では、米国政府の外郭団体(American College of Radiology Imaging Network)が15施設での約2,500症例を対象とした、内視鏡検査とCT-Colonography検査の両検査を受診して、その効果を比較するという大規模試験(National CT Colonography Trial)が行われた⁶²⁾。同様に、Wisconsin大学においても約3,000症例の

CT-Colonography 検査の臨床試験が行われた⁶³⁾。これら大規模な臨床試験の結果では、CT-Colonography 検査は内視鏡検査にほぼ匹敵するほどの感度があると報告され、有効な大腸がんスクリーニング検診法としてガイドラインに掲載された⁶⁴⁾。これらの結果を受けて、米国では CT-Colonography 検査による大腸がんスクリーニングに保険が適用されるようになり、今後、臨床現場に普及していくことが予想されている。

一方、本邦における CT の普及率は世界第 1 位であり、その数は国民 100 万人当たり 65 台と、第 2 位の米国の 27 台、第 3 位のオーストラリアの 20 台に比べ群を抜いている¹²⁾。したがって、今後、大規模病院を中心に、また、それ以外の CT を導入した多くの中・小の病院において、CT-Colonography 検査が大腸疾患におけるスクリーニング検査や精査検査として幅広く取り入れられるものと考えられる。しかしながら、CT 検査は、X 線一般撮影検査と比較して被検者被ばく線量が多い検査と言われており⁶⁵⁾、次節で述べるように腹臥位・仰臥位の 2 回撮影を行う CT-Colonography 検査では、通常腹部 CT 撮影条件を用いることは問題があると思われる。また、一般の CT 検査における被検者の被ばく線量は、weighted CT dose index (CTDI_w)を測定し、人体の数学ファントムを使った計算値による評価が多く行われているが^{26,66)}、CT-Colonography 検査での詳細な被検者被ばく線量は、現状のところ解明されていない。

本研究では、これまでほとんどデータのない CT-Colonography 検査における被検者の臓器線量および実効線量を、実際に臨床で行われている条件に基づいて調査するものである。また、X 線検査に関し、これまで行われてきた検査から置き換わった新しい検査方法において、被ばく線量が従来法である下部消化管 X 線造影検査と比較してどのように変化したかを調査することは、新しい検査方法の妥当性を評価するとともに、被検者のさらなる被ばく低減を図る上で極めて重要である。したがって、第 2 章で述べた人体ファントム内線量計システムを使用し、CT-Colonography 検査における被検者被ばく線量測定を行い、下部消化管 X 線造影検査との比較評価を行った。

5-2 実験方法

本研究で使用した Multi-detector X 線 CT 装置（以下：MDCT）は、東芝社製 Aquillion 16 (16DAS)である。この CT 装置における日本国内の設置台数は 480 台（2007 年 8 月現在）と、国内 16 列 MDCT 設置台数 2,323 台の 47.5%にあたり、16 列 MDCT では最も普及している装置であった。

本研究にて測定を行った X 線条件は、日本で実際に行われている CT-Colonography 検査の標準的な撮影条件であり^{67,68)}、その条件は、管電圧 120 kV、管電流 200-300 mA（管電流変調方式：Real-EC）、回転時間 0.5 秒、ビーム幅 1.0 mm×16 列、ビームピッチ 15/16 (0.9375)、画像のノイズ指標となる標準偏差（SD）は 10 である。Real-EC とは、位置決め画像から得られデータを用い、全スライスが同一 SD で画像表示できる最低 mA を計算し、撮影中に電流制御を行うものである。

検査方法の詳細は、経肛門的に空気を注入し、管腔を十分に拡張させ撮影を行うが、完璧な前処置が可能でないため、腸液による病変の水没や固形残渣による虚像の発生が考えられるため、腹臥位および仰臥位の 2 つの体位により、一呼吸下にて大腸全体を 2 回撮影し、画像診断を行う方法をとらざるを得ない。その理由としては、Air-image 三次元画像を作成する際の CT 値は空気に合わせるため、大腸管内に残渣や液体があった場合、それらの辺縁で三次元画像が作成されてしまい、本来必要な大腸壁面の画像ではないので偽画像となってしまいうため、体位を変えること（腹臥位および仰臥位）で、腸液等の位置を変え、2 体位での画像を使い診断を行っている。腹臥位および仰臥位で CT 撮影をしたのち、1mm スライスで再構成画像を作成し、ワークステーションに転送したのち、大腸全体の外観を観察する Air-image 三次元画像を作成し、大腸の病変を診断するものである。この三次元画像に不透明度を 30%から 40%に設定し、腸管内部を透かして大腸全体を多方向から観察することが可能な CT 二重造影法（DCCT：double-contrast CT）や視点を大腸内部に置いて粘膜面を観察する仮想大腸内規鏡法（VC：virtual-colonoscopy）（いずれも **Figure 5-1** 参照）、また、CT 値情報を損なわないで表示可能な多断面変換表示画像（MPR：multi-planar-reconstruction）などの構築を行い、大腸の病変を診断するものである⁶⁷⁾。

本研究では、臨床検査と同様に、まず人体ファントムを CT 装置の寝台に腹臥位に乗

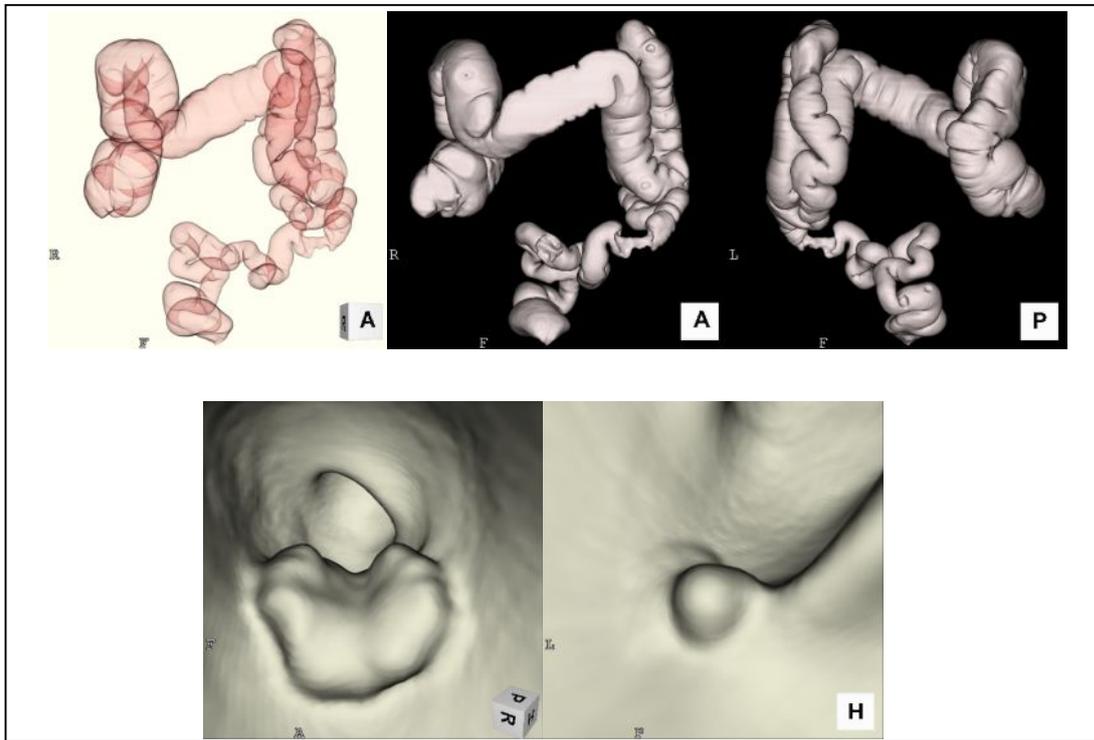


Figure 5-1 DCCT (double - contrast CT) imaging (upper three) and VC (virtual - colonoscopy) imaging (lower two) in CT-Colonography. (Source: Yamashita Hospital)

せ、撮影範囲を設定するために必要なスキャン計画撮影（Scano 像）の線量測定を行った。Scano 像撮影は、撮影範囲の位置決めをするほかに、可変電流機構（Real-EC：現在は Volume-EC と名称変更）を利用した、体型に依存することなく同一 Noise 指標（SD）で画質を最適化させるための情報を得るために必要な撮影でもある。Scano 像の撮影範囲は横隔膜上部から恥骨下縁を十分に含んだ 540 mm で、撮影条件は通常使用されている 120 kV・50 mA とし、その時の臓器線量および実効線量を測定した。次に、Real-EC を使用した可変電流機構による上記臨床撮影条件で、肝臓上部から恥骨下縁までの腹部全体 460 mm を撮影した際の臓器線量および実効線量を測定した。これら Scano 像および CT 画像撮影時の 2 つの線量結果を足し合わせた値を腹臥位における CT-Colonography 線量結果とした。同様に、人体ファントムを仰臥位に配置し、腹臥位のとくと全く同様の方法を用い、仰臥位における CT-Colonography 線量測定を行い、これら全ての結果を足し合わせたものを通常条件における CT-Colonography 検査 1 回当たりの線量結果とした。 **Figure 5-2** に測定時のファントム設置状況を示す。

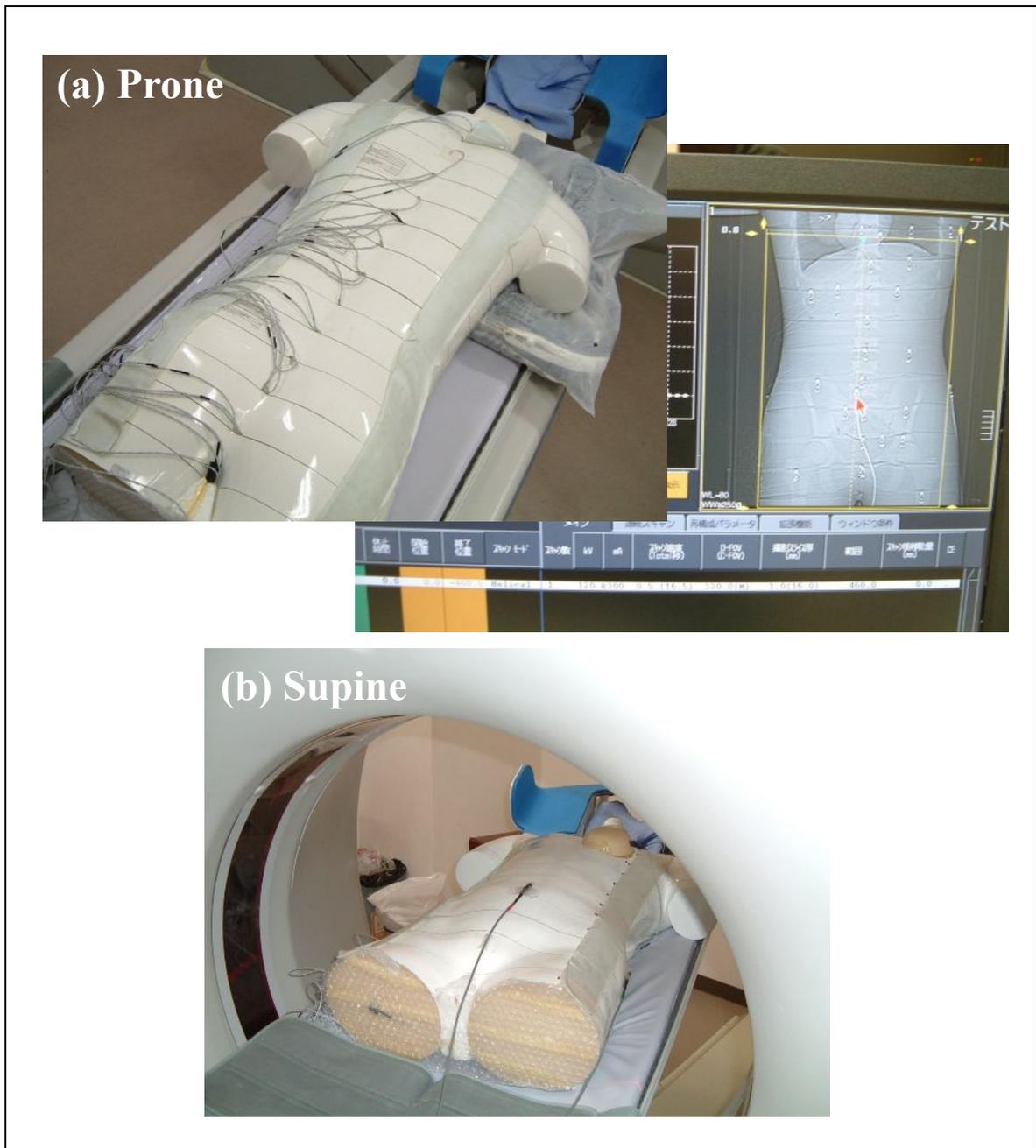


Figure 5-2 Dose measurement in CT-Colonography for respectively (a) prone and (b) spine positions.

一方、これとは別に、CT-Colonography 検査は空気で充満した腸管がターゲットであるため通常の腹部 CT 検査より被ばく低減が可能と考え、Real-EC を使用せず管電流 50

mA に統一した条件で、腹部全体 460 mm を上記と同様な方法を用い、低線量における CT-Colonography 検査 1 回当たりの線量を測定した。この 50 mA での条件における臨床応用については、今回測定を行った施設とは別の施設においてトライアル的に行われ、その結果、肝臓などの質的臓器診断には応用しにくいだが、CT-Colonography 検査の大腸三次元画像としては臨床応用可能との意見による。

5-3 実験結果

Table 5-1 に通常臨床で使われる撮影条件と、管電流を 50 mA と低電流にした場合における CT-Colonography 検査の臓器線量および実効線量を示す。また、Table 5-1 に示したそれぞれの条件における臓器線量を Figure 5-3 にグラフとして示す。通常条件での Real-EC を利用した平均管電流は、腹臥位は 228 mA、仰臥位は 219 mA であり、実効管電流時間(mAs)は、122 mAs, 117 mAs であった。Table 5-1 によると、CT-Colonography 検査における臓器線量は、腹臥位と仰臥位を別々に評価すると、1 回あたりの CT 撮影において腹部内の各臓器はおよそ 15–23 mGy 程度であり、それぞれの臓器間で大きな違いは見られなかった。また、皮膚吸収線量の最大値 (Entrance skin dose) は 27 mGy 程度であり、一方で、1 次線の入らない臓器では 5 mGy 以下となった。1 検査あたりの CT-Colonography における結果は、計画スキャン (Scano 撮影) を行った後、仰・腹臥位の 2 回撮影を行うため、それらを合算すると、30–44 mGy 程度になった。これに対し、管電流を 50 mA に下げ低線量(低電流)で行った場合には、腹部内の各臓器は 10 mGy 程度で、それ以外の臓器はおよそ 3 mGy 以下になった。また、計画スキャン撮影 (Scano) を含んだ実効線量は、腹臥位で 11.3 mSv、仰臥位で 12.1 mSv であり、これらを足した CT-Colonography 検査 1 回あたりの実効線量は 23.4 mSv となり、同様に算出した管電流 50 mA による低線量での実効線量は 5.7 mSv であった。

Table 5-1 Organ dose [mGy], maximum local skin dose [mGy] and the effective dose [mSv] in CT-Colonography under the routine and the low-dose scan protocols. The doses are subdivided by those for the prone and the supine position, each including doses for a single abdominal scan and scout imaging.

	Routine			Low-dose		
	Prone	Supine	Total	Prone	Supine	Total
Thyroid	0.4	0.3	0.7	0.1	0.1	0.2
Lung	5.1	4.6	9.7	1.5	1.3	2.8
Breast	3.6	4.1	7.7	1.1	1.6	2.7
Oesophagus	8.0	7.8	15.9	2.2	2.3	4.5
Stomach	17.4	18.9	36.3	4.4	5.6	10.0
Liver	14.6	15.0	29.7	4.1	4.2	8.3
Colon	17.4	20.3	37.7	4.4	5.2	9.7
Ovaries	20.5	23.4	43.9	3.7	5.3	9.0
Uterus	19.5	19.9	39.4	4.1	4.3	8.4
Bladder	18.6	21.1	39.6	4.1	5.2	9.3
Testes	16.0	19.9	35.9	4.4	5.2	9.6
Bone-marrow	8.9	9.0	17.9	2.1	2.1	4.2
Bone surface	16.6	17.6	34.2	4.1	4.4	8.5
Skin	5.3	5.6	11.0	1.5	1.4	2.9
Maximum local skin dose	26.9	27.1	54.0	8.1	6.9	15.0
ICRP 103						
Remainder tissues	12.0	13.0	25.1	3.0	3.2	6.3
Effective dose [mSv]	11.3	12.1	23.4	2.8	2.9	5.7
ICRP 60						
Remainder tissues	12.1	13.6	25.7	3.2	3.7	6.9
Effective dose [mSv]	12.6	14.0	26.5	3.1	3.7	6.8

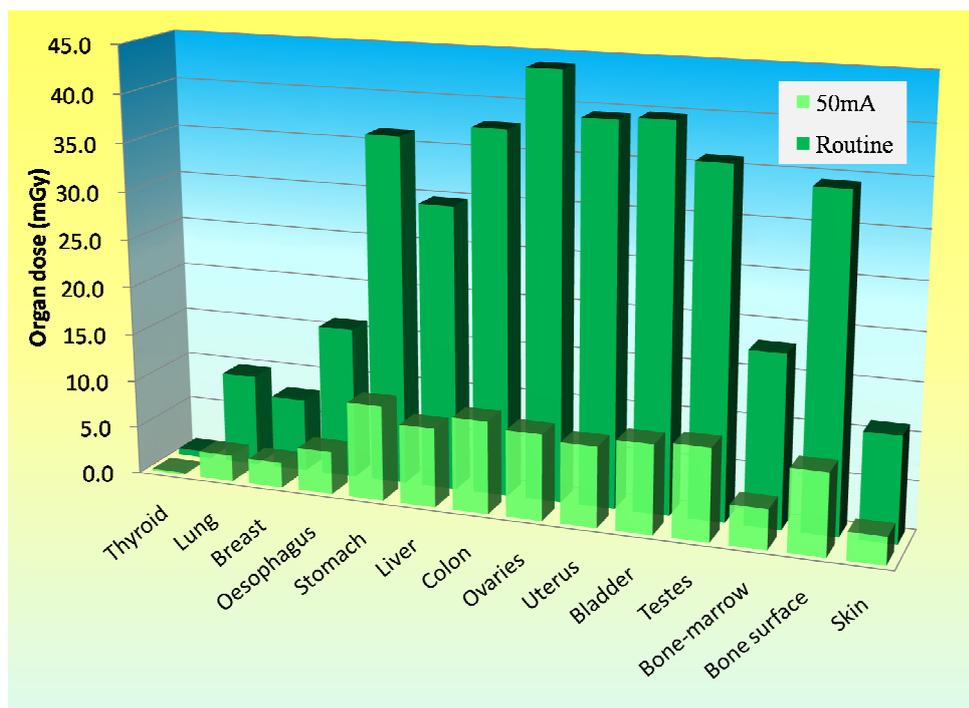


Figure 5-3 Comparison of organ doses in routine and low-dose CT-Colonography.

5-4 考 察

本結果より得られた CT-Colonography 検査における ICRP Publ. 60 示された組織荷重係数を用い計算した実効線量は、腹臥位で 12.6 mSv、仰臥位で 14.0 mSv となった。これらの値は、Cohnen ら²⁵⁾によって行われた、CTDI_w を測定し人体の数学ファントムを使った計算値による上下腹部 CT 検査結果の 12.4–16.1 mSv と同等であった。一方、以前、川浦ら⁶⁹⁾によって本ファントムを使用した調査では 26.3 mSv であり、本結果は、その 2 分の 1 であった。したがって、本結果は、通常 MDCT を使って行われている上下腹部 CT 検査と比べ、同等もしくは少ないように思われたが、CT-Colonography 検査は腹臥位と仰臥位の 2 回撮影を行うため、CT-Colonography 1 検査あたりで考えると、26.5 mSv (ICRP Publ. 103 では 23.4 mSv) となり、結果的に上下腹部 CT 検査と同等から 2 倍程度高い線量となった。また、Molen ら²⁶⁾の 16-slice CT の調査では、本調査と同じ Toshiba Aquilion 16 における上下腹部 CT 検査の結果として 6.8 mSv と算出している。これは、

CTDI_w からの計算値であるが、撮影条件は、管電圧 120 kV、実効管電流時間積 (effective tube charge) 70 mAs、ビームピッチ 1.4375 であり、本調査よりも実効管電流時間積が 3 分の 1 低く、ビームピッチは 1.5 倍大きい撮影条件での結果であり、これらの差が結果に大きく影響されたと考えられる。

CT-Colonography 検査における撮影パラメータとICRP Publ. 60で示された組織荷重係数を用い計算した実効線量の値について、本研究で得られた結果と他の文献とを比較した表を**Table 5-2**に示す。実効管電流時間積 (平均管電流 (mA) ×1回転時間 (sec) / ビームピッチ) と実効線量の値について、Jenschら⁷⁰⁾は欧米における CT-Colonography検査の調査結果として、実効管電流時間積の平均値は67 mAs (20–200 mAs)、実効線量の平均値は10.2 mSv (2.4–23.4 mSv) であったと報告している。また、Iannacconeら⁷¹⁾は、低線量CT-Colonographyのシミュレーションの結果として、CTDI_wからの計算値より実効管電流時間積10 mAsで2.1 mSvとし、これは本研究の119 mAsで 25.6 mSvと1桁以上の差がある。Iannacconeらの撮影条件は、管電圧140 kV、実効管電流時間積10 mAs、ビームピッチ0.875 (17.5 mm/sec × 0.5 sec / [4×2.5 mm])であったが、実効管電流時間積は本研究の47 mAsの2割程度の10 mAsであり、この結果、実効線量がかかなり低くなったと考えられる。一般に、CT製造会社 (機種)、撮影管電圧および撮影範囲により、実効管電流時間積と実効線量が比例している⁷²⁾ことが認知されており、実効管電流時間積を減少させることはCT-Colonography検査において被検者の被ばくを減らす効率的な方法であるといえる。現在の研究において画質の比較評価については、困難を極めるため言及できないが、フィルターや検出器などの改善で画質を維持できるなら、大きな被ばく低減が期待され、今回調査した撮影条件をより低くできる可能性は十分にあると思われる。

Table 5-2 Effective doses evaluated according to ICRP Pub. 60 for paired (prone and supine) abdominal CT scans in CT-colonography, where the values in parentheses include the doses for scout imaging.

Authors Manufacturer Setup	Jensch et al.		
	GE	Siemens	GE
Dose evaluation	Calculation from the ImPACT Patient Dosimetry Calculator		
Tube voltage [kV]	120	120	120
Effective tube charge ^{*a)} [mAs]	74	55	34
Rotation time [s]	0.5	0.5	0.5
Beam width [mm]	1.25×16	0.75×16	2.5×16
Beam pitch	0.68	0.91	1.75
Effective dose [mSv]	11.0	6.6	5.2

Authors Manufacturer Setup	Iannaccone et al.	This study	
	Siemens Low-dose	Toshiba Routine	Toshiba Low-dose
Dose evaluation	Calculation from the WinDose and CTDI _w value	In-phantom dosimetry With PD dosimeters	
Tube voltage [kV]	140	120	120
Effective tube charge ^{*a)} [mAs]	10	119	27
Rotation time [s]	0.5	0.5	0.5
Beam width [mm]	2.5×4	1.0×16	1.0×16
Beam pitch	0.875	0.9375	0.9375
Effective dose [mSv]	2.1 ^{*b)} (2.45 ^{*b)})	25.6 (26.5)	5.8 (6.8)

^{*a)} (Average tube current [mA] × Rotation time [s]) / Beam pitch

^{*b)} Average dose value between male and female

Figure 5-4 に、アナログおよびデジタル撮影で行った下部消化管 X 線造影検査の実効線量と、通常の臨床条件および低線量で行った際の CT-Colonography 検査の実効線量を示す。第 4 章でも述べたように、アナログ撮影における下部消化管 X 線造影検査の実効線量は 10.7 mSv で、これはデジタル撮影によって行われた下部消化管 X 線造影検査

よりも 13 %高い値であり，また，臨床で用いられている通常条件の CT-Colonography 検査の実効線量は 23.4 mSv と下部消化管 X 線造影検査の 2 倍，また，50 mA で行った低線量 CT-Colonography 検査では 5.7 mSv とおよそ半分であった。したがって，現在，日本で行われている通常条件の CT-Colonography 検査は海外よりも高く，また，下部消化管 X 線造影検査よりも高い被検者被ばく線量となっていることがわかった。

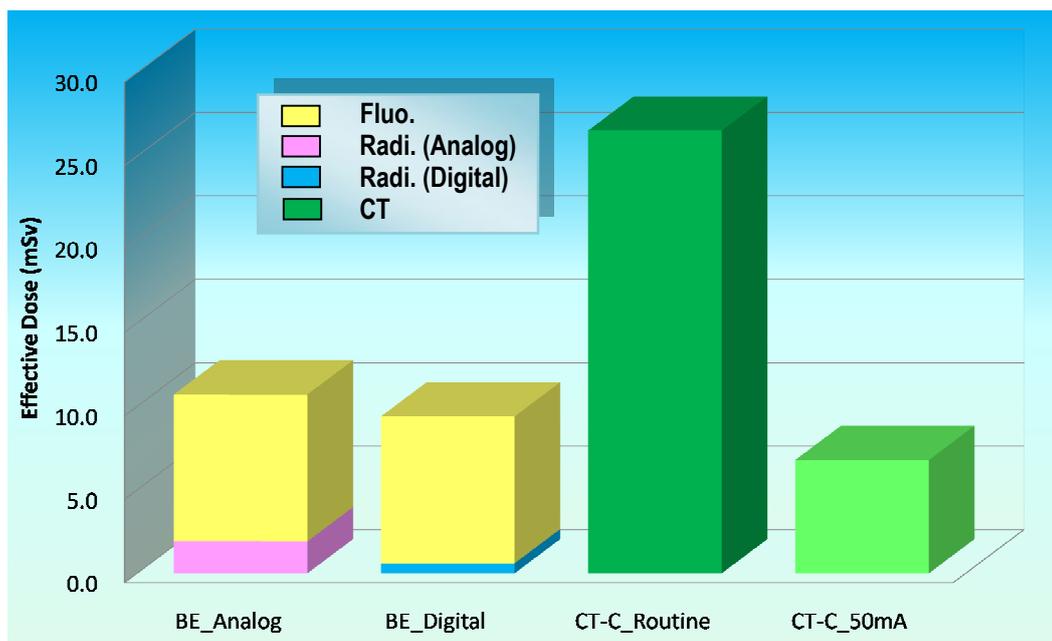


Figure 5-4 Comparison of effective doses for barium enemas (BE) using respectively analog and digital radiography and for routine and low-dose CT-Colonography (CT-C). Effective doses in barium enemas are subdivided by fluoroscopy and radiography.

一方，Table 5-1 および Figure 5-3 によると，CT-Colonography 検査による臓器線量は，腹腔内の各臓器に対し大きな差はなく，それらは下部消化管 X 線造影検査と同様な傾向であった。また，高い値を示した臓器に関しても，下部消化管 X 線造影検査とほぼ同様であり，最高は卵巣の 44 mGy であった。したがって，この値から女性にとって不妊などの確定的影響を起こす 2.5–6.0 Gy とはなりえないと言える。また，子宮の吸収線量は 39 mGy であったが，妊娠女性の場合，下部消化管 X 線造影検査と同様に，直接 X 線が子宮に入るにもかかわらず，胎児に奇形や発達遅延を引き起こすしきい胎児線量

100 mGy に達することはなく、1 回の検査では人工中絶の対象とすべきではないと言えた。また、CT-Colonography 検査は、CT を利用した検査法であり、検者の撮影技術に関係なく被検者の体型（可変電流機構による撮影条件）で決まり、本研究で使用した標準的な日本人の体型であれば、線量に変化はないと考えて良く、子宮線量が 100 mGy に達する可能性は無いと考えられた。しかしながら、ICRP Publ. 84¹⁴⁾によれば、10 mGy 以上での胚や胎児への被ばくについては、小児がんの発生が 0.06 % 増えるという報告もあり、低線量 CT-Colonography 検査を除いて、妊婦への X 線を使った下部消化管検査は避けなければならないと言える。

致死がん誘発確率に関しては、結腸は 37.7 mGy（等価線量 37.7 mSv）から 3.2×10^{-4} と計算される。各臓器線量が下部消化管 X 線造影検査と同等、もしくは、せいぜい 2 倍程度の結果が得られており、他の臓器においても、その殆どが 1.0×10^{-4} 以下と極めて小さな確率が得られる。それらの値は、X 線 TV を使った検査に比べ高いものの、致死がん誘発の可能性は非常に小さく無視できると言って良いと考えられる。

本章の序文でも述べたように、米国では早くから CT-Colonography 検査が注目され、研究が重ねられてきた^{55,73)}。その要因は、現在の米国では、人口比で 0.02% 程度の内視鏡検査医しかおらず、スクリーニングに必要な内視鏡検査医と施設をまかなうことは、現在・将来ともに不可能に近いことが挙げられる。また、内視鏡を用いても、5–10 mm のポリープの 12–13 %、また、10 mm 以上のポリープの 6% は見落とされていると推定されている⁷⁴⁾。さらに、内視鏡検査は 2,000–5,000 例に 1 例の割合で穿孔あるいは重大な出血のリスクを伴っている⁵³⁾。このようなリスクは、決して無視することのできない、内視鏡検査の重大なる改善課題である。一方、CT-Colonography 検査について最大のリスクは、放射線による被ばくであると言って良いであろう。

下部消化管 X 線造影検査と比較して、現在の通常条件での CT-Colonography 検査は被検者の被ばく線量が多い結果となったが、それを軽減させるには、2 つの方法が考えられる。一つは、本研究でも試みた、X 線撮影条件を下げた検査を行うことである。CT-Colonography 検査で大腸三次元画像を作製する際に必要な CT 値は、空気の CT 値であり、人体組織の CT 値と大きくかけ離れているため、画像作成に必要なしきい値を容易に設定できる。しかし、線量を下げた場合、通常の Axil 像や MPR 像の画質は大きく劣化すると考えられ、実際に臨床の現場では、他の腹腔内臓器の診断は困難との報告を受けている。

もう一つは、現在の CT-Colonography 検査では、腹臥位と仰臥位の 2 回撮影を行うことにより多くの被ばく線量となるため、それを 1 回のみの撮影で診断に必要な情報を得

ようとするものである。そのためには、三次元画像を作成する際、不必要な情報である残渣や腸液を抽出し、それらを削除させるという試みが報告されている。これは、残渣マーキング法と呼ばれ、経口造影剤を用いて腸管内の残渣をある一定のCT値に置き換えるものである。経口造影剤としては、上部消化管X線造影検査に使用する硫酸バリウムを造影剤として用いるか^{75,76)}、あるいは水溶性のヨード系造影剤を用いる⁷⁷⁻⁷⁹⁾。これにより、残渣のCT値が高くなり、一方、経口造影剤であるため、大腸壁の一部であるポリープは原理的には強調されず、そのため形態がポリープと紛らわしい残渣でもCT値の差で区別することができるというものである。これらが容易に応用できるなら、現在の臨床に用いられているCT-Colonography検査の条件においても腹臥位で11.3 mSv、仰臥位で12.1 mSvと、下部消化管X線造影検査の10.0 mSvにほぼ同等の値となり、骨盤内臓器の線量も20 mGy程度まで引き下げられる。検査の煩雑さや被検者の負担を考えるなら、後者は有用な方法であると言える。

今回調査した16列MDCTを利用したCT-Colonography検査は、20秒程度の息止めで撮影が終了するが、更に多列化したMDCTにおいては、撮影時間は、その数分の1となり被検者の負担は軽くなる。CT-Colonography検査は、内視鏡検査と比べ比較的侵襲に、かつ大腸だけでなく周辺臓器の情報も同時に得られというメリットもあり、また、下部消化管X線造影検査や内視鏡検査が施行不能な、たとえば、高度の腸管の狭窄や癒着、動きの悪い高齢者に対し有用な検査法と言える。今後、現在の画質を維持しつつ、上記のような方法を応用し、被検者の被ばく線量の低減が可能となるなら、本邦においても、大腸がん検診にも有用な検査法として着目されるであろう。

第6章 消化管検査の将来像

6-1 医療被ばくと最適化

X線など放射線を用いた画像診断は、人体を傷つけることなく、また、痛みを感じることもなく人体内部を詳細に診断できる極めて有用な検査である。しかしながら、最大のリスク要因は放射線による人体への被ばくによる影響である。UNSCEAR 2000によれば、人口1,000人当たり診断X線検査件数は日本が一番多いと報告され¹²⁾、将来的にも増加する傾向があるとしている。特に胸部X線直接撮影検査と上部消化管X線造影検査が多く（検査件数の割合は、それぞれ42%と8%であり、検査当たり平均実効線量は、0.057 mSvと3.33 mSv（この数値は間違っていると考えられるが）、全検査合計も世界で第1位である。また、日本のCTにおける集団実効線量調査は、西澤ら⁸⁰⁾よって行われており、その推定値は国民一人当たり2.3 mSvとされ、これは医療被ばく全体の1/3を超えるものであったと報告されている。

一方、日本における全死亡原因の第1位であるがんを早期に発見するためには、X線を利用した画像診断は欠かせないものとなっている。特に大腸がんは死亡率・罹患率が増加を続けており、将来的に、男女とも罹患率において上位のがんになることが予想されていることから、対策の強化が求められている。そのため、第1章で述べたように、消化管がんに対する国の取り組み、特に検診によって行われる様々なX線検査は、がんを早期に発見するという意味で、その恩恵は非常に大きい。しかし、現在の日本人全体の検診受診率は18%台と低迷しており、大腸がんにおいては、初期の段階で自覚症状がほとんどないことなどから、早期発見を遅らせる原因となっていると考えられる。その原因の1つとして、消化管X線造影検査や内視鏡検査の煩雑さにより、多くの施設で行えないという現状が考えられる。したがって、検診では、多くの施設で行うことができ簡易な検査であるなら、その受診率は上がり、その結果、がんの早期発見につながると考えられ、費用対効果も大きくなるであろう。しかし、「検診」や「健診」を言い換えるなら、多くの健常人々に対してX線検査を行っているとも言える。ICRP Publ.103では、正当化されない被ばくとして、個人及び集団の利益が損失を相殺するのに十分な場合を除いた、症状のない集団に対して集団検診を行うことを挙げている³²⁾。

このような観点からも、消化管 X 線検査の被検者被ばく線量を可能な限り低減させつつ診断能を向上させ、検診の最適化を図ることは、極めて重要な課題であると言える。

6-2 X 線 TV 装置を利用した消化管検査の将来像

胃がん検診に限った上部消化管 X 線造影検査の偶発症発生率の報告は殆どなく⁸¹⁾、また、大腸検査では、下部消化管 X 線造影検査での偶発症発生率は、大腸内視鏡検査に比べると 1 桁少ない⁸²⁾。したがって、懸念される被検者の被ばくを低減させるには、第 3 章ならびに第 4 章の結果から得られたように、アナログ撮影からデジタル撮影方式へ移行することが有効な手段として挙げられる。これについては、検診車に対しても DR 装置を搭載したものが普及し始めており⁸³⁾、被検者の被ばく線量低減に結びつくものと考えられる。今後、X 線 TV 装置に搭載された受像検出器が、例えば、近年使用し始められた FPD のような、X 線に対する感度の高いものを使用することが可能となれば、撮影線量のみならず、透視線量も低くなることが予想され、より一層、被検者の被ばく線量低減につながるであろう。

しかし、本結果から得られたもう一つの重要なポイントは、検者の検査に対する技術力と、被検者に対する被ばくの影響に関する知識（簡潔に言うならば放射線に関する知識）が欠落しており、線量増加の大きな要因となったことを挙げたい。X 線 TV 装置を使った検査では、透視線量が非常に大きなウェイトを占めていたが、検者が検査中に不必要な X 線透視を行ったり、被検者の体位による線量の違いを把握していなかったりした場合に、被検者の被ばく量増加をまねくということが確認された。検者が、検査手順を合理化し透視時間を減らすことにより、被検者被ばく線量低減に結びつき、その結果、線量の最適化が図られることとなる。

一方、本研究の結果から、上部および下部消化管 X 線造影検査による被検者の受ける各臓器線量は 100 mGy を超えることはなく、実効線量は 10–20 mSv 程度であった。したがって、各消化管検査の 1 回の検査では、確定的影響は起き得ないが、実効線量の 10 mSv 程度の数値では、放射線影響が起こりえるのかが、今の科学では証明されていない不確実な領域である。しかし、もっとも重要なことは、被検者の被ばく低減のみを

考えるのではなく、それらの検査に対する被検者の便益を優先し、かつ、不必要な被ばくを避けるということである。これらについては、ICRP Publ. 85⁸⁴⁾および Publ.105⁸⁵⁾に明確に謳っている。機器の発展に期待する以上に、放射線を取り扱うあらゆる従事者に、正しい放射線に関する知識向上を望むところである。

6-3 CT を利用した消化管検査の将来像

前節に対し、第5章でも述べたが、CTは被検者の被ばく線量に関し、被検者の体格には依存するが、検査の技術には依存しない検査である。しかし、近年のCTの普及に基づき、医療被ばくの大幅な増加を懸念する声もある⁸⁶⁻⁸⁹⁾。Hallら⁸⁹⁾は、CT利用の顕著な増加に関し、LNT仮説の立場から発がんのリスクに結果としてつながるとしている。特にCTによるスクリーニング検査の有効性についても問題を提示しており、CT-Colonography検査もその中に含まれている。また、MDCTにおける被検者被ばく線量について、ICRPは現状を踏まえ様々な角度から警告をしている⁹⁰⁾。国連科学委員会によれば、世界における総CT検査はX線検査の中において、件数では5%であるが、総線量としては34%を占めているとの報告がある。

X線を使った大腸検査が、X線TV装置を利用した下部消化管X線造影検査からCT-Colonography検査へ移行する可能性は、米国の取り組みを見ても十分にあると考えられる。しかし、本結果から、現状の撮影条件におけるCT-Colonography検査の被検者被ばく線量は、下部消化管X線造影検査に比べ2倍にもなることが確認された。したがって、まずは下部消化管X線造影検査並みに線量を低減させて、大腸の病変を診断可能か検討する必要があると思われる。前章でも触れたが、撮影時の管電流を下げるか、または、撮影回数を1回にするかによって、被検者の被ばく線量は、現在の半分以下になると考えられる。前者に対しては、診断に耐えうる画質とのバランスとなり、これは線量と画質の最適化について、読影医らと詳細に検討する必要がある。したがって、CT-Colonography検査を検診に応用するには、低線量CTを用いた肺がん検診のような研究を行い、その指針を早期に確立すべきであり、低線量CT-Colonography検査の検診有効性調査が必要であると考えられる。

一方、後者に関しては、検査方法そのものより、前処置が問題となってくる。大腸検査に関しては、下部消化管 X 線造影検査、大腸内視鏡に限らず、大量の下剤を用いるため、被検者に心理的な抵抗が大きいことは言うまでもない。CT-Colonography 検査の前処置は、第 4 章の下部消化管 X 線造影検査に用いられるブラウン変法や、内視鏡検査で用いられる腸管洗浄液法が一般的であるが、前者は腸管内に残渣が残る場合があり、後者は多量の洗浄液が残存するため、水没した粘液面が観察できない欠点を有している。しかし、最近では、前章でも述べた方法のうのような、腸管洗浄液に陽性造影剤を混和させ、電子的に画像処理を施す、エレクトリッククレンジング法 (electronic cleansing)⁹¹⁻⁹³⁾ が開発され、コンピュータ上で腸管洗浄の処理を行う研究もなされており、大幅にブラインド・エリアが減少したと報告されている。したがって、近い将来、前処置なしで検査が行える日が来るであろう。また、下剤による腸管洗浄がなくなるため、CT-Colonography 検査が検診をはじめとした、様々な機会に応用できる可能性が示唆され、簡易な検査であれば、大腸検査における第一次検査として CT-Colonography 検査を推奨されることも考えられる。

一方、診断を人の目に頼るのではなく、コンピュータを使った画像診断支援システム (Medical Imaging Computer-Aided Detection: CAD) も飛躍的に進んでいる。CAD はスクリーニング診断法としての可能性も考えられ、すでに多くの施設で実際の診療に利用しながら、前向きな検討がなされている。Hara ら^{94,95)}は 5 mm 以上の隆起性病変の拾い上げ感度は 66 %、特異度は 63 %であるが、10 mm 以上の病変ではそれぞれ 75 %、90 %と報告し、Fenlon⁹⁶⁾らは 6 mm 以上のポリープは全例診断可能であったと報告されている。また、CT-Colonography は大腸の表面型病変は描写しにくいと言われているが、展開画像などを応用することにより、5mm 以上の表面型病変の 66.7 %が描出可能であったという報告もある⁹⁷⁾。近い将来、大腸スクリーニング検査における基本診断システムとして、より精密な CAD 診断が確立されるであろう。

CT-Colonography 検査が一般に普及し、検診などにも応用されるようになれば、CT 検査としての国民総線量は増加するが、一方で、下部消化管 X 線造影検査の線量は減少する。したがって、CT-Colonography 検査における撮影線量が下部消化管 X 線造影検査を下回れば、それだけ国民全体の線量を軽減することにつながると考えられる。医療の発展は極めて速く、同様に放射線機器も日々進化しており、それに応じ検査法も変わってきている。例え過去に線量調査された検査であったとしても、装置の発達とともに、被検者の被ばく線量測定を行わなければならない。それは現在の医療の進歩のスピードからすると、数年おきに測定を行う必要があると考えられ、それを怠るとその時代に合

った正確な被検者被ばく線量を評価することには繋がらない。本研究において、X 線 TV 装置については、アナログ方式からデジタル方式へ移行することで、線量低減が確認できた。CT 装置は、今後、検出器の更なる多列化が予想され、それを利用して行う CT-Colonography 検査についても、検出器の性能向上や大幅なビームピッチの変更により、撮影条件が大きく変わることが予想される。したがって、新しい機種が開発され、様々な撮影手法が応用されるその都度、被検者の被ばく線量調査を行っていく必要があるだろう。

第7章 結 論

本研究は、日本における全死亡原因の第1位であるがんの中でも、罹患数・死亡数がともに非常に多い消化管がんにおいて、その早期発見のために必要とされる X 線検査として実際に行われている、上部および下部消化管 X 線造影検査、ならびに、今後普及していくと思われる CT-Colonography 検査の被検者被ばく線量調査について、標準的な日本人成人を模した独自の人体ファントム被ばく線量計測システムを使用し臓器線量ならびに実効線量を総合的に評価した。本研究の結果を総合的にまとめると、以下のようになる。

1. 上部消化管 X 線造影検査

- ・ 胃の臓器線量は、手技により 13.0 mGy から 56.7 mGy と大きな開きがあった。一方、観察部位以外の組織・臓器では、数 mGy 以下もしくは 1 mGy 未満となった。
- ・ 上部消化管 X 線造影検査による実効線量は、検診で 3.0 mSv、一般診療では 4.0 mSv から 13.7 mSv (9.1 ± 4.7 mSv) となった。
- ・ 撮影による被ばく線量は使用する撮影方式により大きく異なり、間接撮影や DR・FPD 撮影に比べ Screen / Film 撮影や CR 撮影のほうが大きかった。今後、DR 方式や FPD 方式の普及により、撮影線量はより少なくなることが期待される。
- ・ 上部消化管 X 線造影検査における被検者の被ばく線量の多くは、診断には直接利用されない X 線透視であり、特に右下側臥位や半立位第 2 斜位は、単位時間あたりの線量が多かった。透視による被ばく線量は透視時間に比例して高くなるので、検者は、不必要な X 線透視を行わないことが重要である。

2. 下部消化管 X 線造影検査

- ・ 腹腔内の臓器線量は、およそ 9 mGy から 26 mGy 程度であり、胃や卵巣が高い値となった。一方、観察部位以外の組織・臓器では、数 mGy 以下もしくは 1 mGy 未満となった。
- ・ 下部消化管 X 線造影検査による実効線量は、アナログ撮影で 10.7 mSv、デジタル撮影で 9.3 mSv となり、平均で 10.0 ± 2.4 mSv であった。
- ・ 撮影による被ばく線量は使用する撮影方式により異なり、I.I.-DR 撮影に比べ Screen / Film 撮影のほうが 2 割程度多かった。
- ・ 下部消化管 X 線造影検査における被検者の被ばく線量の多くは、診断には直接利用されない X 線透視であり、特に、側臥位での透視線量は非常に多くなるので、バリウム注入時は腹臥位の方が被検者の被ばく軽減につながる。

3. CT-Colonography 検査

- ・ 腹腔内の臓器線量は、通常の場合で、30 mGy から 44 mGy 程度であり、骨盤内の臓器が高い値となり、低線量では 10 mGy 前後であった。一方、腹腔内以外の組織・臓器では、数 mGy 以下もしくは 1 mGy 未満となった。
- ・ 通常の場合における CT-Colonography 検査の実効線量は 23.4 mSv、管電流を 50 mA まで下げた低線量での実効線量は 5.7 mSv であった。
- ・ 通常の場合における実効線量は、下部消化管 X 線造影検査のおよそ 2 倍、低線量では 1/2 程度であった。
- ・ 現在の日本における通常撮影条件の CT-Colonography 検査における被検者被ばく線量は、世界で報告された値より有意に高い数値であった。

本研究の結果によれば、各種消化管 X 線検査において、最大皮膚線量は 100 mGy 程度以下で、皮膚紅斑が生じるしきい線量 2 Gy (2000 mGy)からは、大きく離れており、放射線による皮膚の確定的影響については問題ないと考えられた。また、臓器線量は、線量によるリスクが確率的影響を考える際の目安とされる 10000 人に 1 人程度以下となる値であり、X 線によるがん誘発などの影響についても問題はないと考えられた。これらを考慮するなら、検診などでこれらの X 線検査が用いられることは、有識者らの報告として、がん早期発見に多大な効果があるとされていることを考えれば、十分な利益があると言えた。

妊娠女性に対する各種消化管 X 線検査では、直接 X 線が子宮に入るにもかかわらず奇形や発達遅延を引き起こすしきい胎児線量 100 mGy に達することはなく、1 回の検査では人工中絶の対象とすべきではないと言えた。また、胎児線量が 100 mGy 未満であれば、10 mGy 以上の被ばくで可能性のある小児がんの発生を考慮してもその確率は小さく、出生後に重大な健康リスクが発現するであろうと考える理由は現在のところ存在しない。しかし、下部消化管 X 線検査は、長時間（数十分）の透視時間によっては子宮線量が 100 mGy に達する可能性が否定できない。一方、CT-Colonography は、術者に関係なく被検者の体型で決まり、本研究で使用した標準的な日本人成人体型であれば線量に変化はないと考えて良く、子宮線量が 100 mGy に達する可能性は無いと言えた。

以上より、上部消化管 X 線造影検査、下部消化管 X 線造影検査、ならびに CT-Colonography 検査における被検者の被ばく線量は、本人、および妊娠女性の場合には胎児にも、確定的および確率的影響が問題になるレベルでは無いことがわかり、放射線による被ばく影響に対する不安を持った被検者に対し、医師が各種消化管 X 線検査の必要性や検査方法の選択などを説明する際に、科学的な根拠を与える具体的情報源として役立てることができるであろう。

一方、本研究で使用した人体ファントムを利用した臓器線量計測システムは、電子式線量計の採用により、X 線照射後、瞬時にデータをコンピュータに記録させ、次の計測を始めることができるので、繰り返し計測が容易である。また、直接各臓器の吸収線量を測定するため、種々の仮定のもとにモンテカルロ計算する方法に比べて線量評価値の信頼性および精度は高い。各種消化管 X 線検査のような、X 線照射条件や照射野の大きさ、体位変換など、複雑な X 線検査における線量測定に適しており、様々な X 線診断検査の簡便かつ詳細な臓器線量および実効線量評価に極めて有効な手段となった。

本研究により、これまで臨床に即した正確な評価が行われておらず、不明であったわが国における各種消化管 X 線検査による被検者の被ばく線量を、初めて総合的に明らかにすることができた。

謝 辞

本論文は、平成16年4月に名古屋大学大学院医学系研究科博士課程に入学してから、これまでの間、著者が青山研究室で行なった研究成果をまとめたものです。その間、多くの方々のご指導やご支援を頂きました。

まず、本研究の指導教員である、青山隆彦教授には、初めて本研究室を訪ねて以来、終始ご指導ならびにご助言いただきました。また、何度となく遠路各地へ、ときには宿泊をしながら被ばく線量測定にご同行いただき、ご負担お掛けしつつも、5年間のすばらしい研究生生活を与えていただきました。深甚なる感謝を申し上げます。

つぎに、本論文の副査である、石榑信人教授、ならびに、太田勝正教授には、貴重なお時間を頂戴し、重要なお意見、アドバイス等をしていただき、厚く御礼申し上げます。

また、被ばく線量測定にあたり、終止ご指導いただいた小山修司博士、ならびに、有益なお助言をいただいた川浦稚代博士には、線量測定に同行していただき、時には細部まで本質を捉えたご意見までいただき、深く感謝いたします。

研究室の大学院学生藤井啓輔氏には、線量測定の際、いつもご協力願ひ、測定結果の整理も手伝っていただきました。また、同じく研究室の大学院生で名古屋第二赤十字病院診療放射線技師長でもある瀬口繁信氏には、社会人学生としての苦悩を共にし、励まし合うことが出来き、心強い相談相手でもありました。心より感謝いたします。

私の前職場である、国立病院機構名古屋医療センターの遠藤登喜子放射線科部長をはじめ、前技師長山本進氏、現技師長若山卓也氏、同放射線科のあらゆるスタッフには、随時、暖かい励ましの言葉を頂きました。また、同科の診療放射線技師諸氏には、線量測定の際、時間外にも関わらず遅くまで手伝っていただきました。お礼申し上げます。

山下病院山崎通尋診療放射線技師長には、CT-Colonographyの基礎から最新情報までご提供いただき、色々なことを学ばせていただきました。同病院診療放射線技師諸氏ともども、心より感謝いたします。また、上部消化管 X 線造影検査の線量測定にご協力いただいた、オリエンタルクリニック、豊橋市民病院、名古屋掖済会病院、小牧市民病院、名古屋大学附属病院の診療放射線技師諸氏に深く感謝いたします。

現在の私の職場である、セントメディカル・アソシエイツ LLC の代表加納裕士医師をはじめ職場スタッフには、私の研究のため仕事の面でご負担かけながらも、陰ながら見守っていただき、お礼申し上げます。

最後に、私のわがまを寛大に受け入れてくれ、いつも理解を示してくれた妻佐知子と我が家族に、心から感謝いたします。

なお、本研究は、平成18年度～平成20年度科学研究費補助金（基盤研究（C））、課題番号：18510043、研究代表者：青山隆彦）により実施したもので、財政的援助をいただいた文部科学省（日本学術振興会）に謝意を表します。

研究業績

【研究論文】

・ Y. Hirofuji, T. Aoyama, S. Koyama, C. Kawaura and K. Fujii; “Evaluation of patient dose for barium enemas and CT-colonography in Japan”, *The British Journal of Radiology*, to be published (Accepted in May 13, 2008)

・ 広藤喜章, 青山隆彦, 小山修司, 川浦稚代; “人体ファントム内線量計測に基づいた上部消化管 X 線検査における被検者の被曝線量評価(Evaluation of Patient Doses from Upper Gastrointestinal Tract Examinations Based on the Dosimetry in an Anthropomorphic Phantom)”, *保健物理*, **40** (4), 341-353 (2005)

平成 18 年 6 月 8 日, 日本保健物理学会「論文賞」受賞

【研究報告書】

主任研究者: 広藤喜章; 研究課題名: ”X 線診断検査による放射線被曝影響評価のための人体内部臓器線量の測定と被曝低減方法の検討”, 平成 17,18 年度国立病院機構共同臨床研究 総括研究報告書 全 63 ページ, 平成 19 年 5 月

【学会報告】

・ 広藤喜章, 青山隆彦, 小山修司, 川浦稚代; “下部消化管 X 線検査（注腸検査）の実測に基づく被検者の被ばく線量評価”, 日本保健物理学会第 40 回研究発表会（広島）, 平成 18 年 6 月

・ 広藤喜章, 青山隆彦, 小山修司, 川浦稚代; “人体ファントム内線量測定にて評価した腹部 CT 検査と上部消化管 X 線検査の被ばく線量の比較”, 日本放射線技術学会第 33 回秋季学術大会（鹿児島）, 平成 17 年 10 月

・ 広藤喜章, 河原義則, 水野漢祥, 星野都男, 青山隆彦, 小山修司; “人体ファントムを使用した上部消化管 X 線検査における被ばく線量評価”, 国立病院総合医学会第 59 回国立病院総合医学会 (広島), 平成 17 年 10 月

・ 広藤喜章, 青山隆彦, 小山修司; “上部消化管 X 線検査における被ばく線量評価”, 日本保健物理学会第 39 回研究発表会 (青森), 平成 17 年 7 月

Itou A, Hirofuji Y, Yamashita Y, Ishibashi K, Saiga O, Kondou Y; “The present research and evaluation of patient doses from upper gastrointestinal tract examinations in Aichi Prefecture - The 1st report -“, 15Th Asian Conference of Radiological Technologists (千葉), 平成 17 年 11 月

Yamashita M, Hirofuji Y, Kobayashi K, Akaiwa N, Kondou Y; “The present research and evaluation of patient doses from upper gastrointestinal tract examinations in Aichi Prefecture - The 2nd report -“, 15Th Asian Conference of Radiological Technologists (千葉), 平成 17 年 11 月

参考文献

- 1) Ikeda K and Yano K; The Estimation of the Leading Cause-specific Mortality in Japan, *Ann. Rep. Tokyo. Metr. Inst.P.H.*, **57**, 395–400 (2006).
- 2) 厚生労働省ホームページ
Accessed at <http://www.mhlw.go.jp/houdou/2003/07/h0725-3.html>
- 3) 厚生省がん検診の有効性評価に関する研究班. がん検診の有効性評価に関する研究班報告書, 東京, 財団法人日本公衆衛生協会, (1998).
- 4) 厚生労働省統計表 平成 14 年患者調査の概要 3 閲覧第 1 表, (2003).
- 5) 厚生労働省統計表 平成 18 年度人口動態統計年報 主要統計表第 7 表 死因簡単分類別にみた性別死亡数・死亡率 (人口 10 万対) , (2007).
- 6) 国立がんセンターがん対策情報センター／統計
Accessed at <http://ganjoho.ncc.go.jp/professional/statistics/index.html>
- 7) 厚生労働省統計表 平成 13 年度国民生活基礎調査健康票; 第 2 巻第 43 表, がん検診受診状況・性・健康状態別.
- 8) 乳がん検診及び子宮がん検診における事業評価の手法について, 厚生労働省がん検診に関する検討会中間報告, (2005).
- 9) 大島明, 黒石哲生, 田島和雄. がん・統計白書—罹患/死亡/予後—2004, 篠原出版, (2004).
- 10) Morson BC; The evolution of colorectal carcinoma. *Clin Radiol*, **35** (6), 425–431 (1984).
- 11) Winawer SJ, Zauber AG, Ho MN, et al.; Prevention of colorectal cancer by colonoscopic polypectomy. The National Polyp Study Workgroup, *N Engl J Med*, **329** (27), 1977–1981 (1993).
- 12) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; Sources and effects of ionizing radiation, UNSCEAR 2000 Report to the General Assembly with Scientific Annexes, Volume 1: SOURCES. United Nations, New York, (2000).
- 13) Shiralkar S, Rennie A, Snow M, et al.; Doctors' knowledge of radiation exposure: questionnaire study, *Br. Med. J.*, **327**, 371–372 (2003).
- 14) Pregnancy and medical radiation; 1999 recommendations of the International Commission on Radiological Protection No.84, In: *Annals of the ICRP*, Vol.30, No.1, Oxford, England, Pergamon, (2000).

- 15) 館野之男; “放射線と健康”, p. 224–225 (2001), 岩波書店, 東京.
- 16) Bennett P; Understanding responses to risk: some basic findings. “In Risk Communication and Public Health (eds P. Bennett and K. Calman)”, Oxford University Press, Oxford, 3–19 (1999).
- 17) 丸山隆司, 岩井一男, 西澤かな枝, 他; X線診断による臓器・組織線量, 実効線量および集団実効線量, *RADIOISOTOPES*, **45**, 761–773 (1996).
- 18) 丸山隆司編; 放医研環境セミナーシリーズ No.22, “生活と放射線” p.97 (1995), 放射線医学総合研究所, 千葉.
- 19) 渡利一夫, 稲葉次郎, 他; “放射能と人体”, p.85, (1999), 研成社, 東京.
- 20) Ruiz-Cruces R, RUIT F, et al.; Patient dose from barium procedures, *Br. J. Radiol.*, **73**, 752–761 (2000).
- 21) Geleijns J, Broerese JJ, et al.; A comparison of patient dose for examinations of the upper gastrointestinal tract at 11 conventional and digital x-ray units in The Netherlands, *Br. J. Radiol.*, **71**, 745–752 (1998).
- 22) Philippe L, Stefaan G, Jesse M, et al.; CT Colonography After Fecal Tagging with a Reduced Cathartic Cleansing and a Reduced Volume of Barium, *Am J Roentgenol*, **184**, 1836–1842 (2005).
- 23) Perry JP, Andrew JT, Pickhardt PJ, et al.; Extracolonic Findings Identified in Asymptomatic Adults at Screening CT Colonography, *Am J Roentgenol*, **186**, 718–728 (2006).
- 24) Gonzalez BA and Darby S; Risk of cancer from diagnostic x-rays: estimates for the UK and 14 other countries, *The LANCET*, **363**, 345–351 (2004).
- 25) Cohnen M, Poll LW, Puettmann C, et al.; Effective doses in standard protocols for multi-slice CT scanning, *Eur Radiol.*, **13**, 1148–1153 (2003).
- 26) Molen AJ, Veldkamp WJ and Geleijns J; 16-slice CT: achievable effective doses of common protocols in comparison to recent CT dose surveys, *Br. J. Radiol.*, Published online before print October 12, 2006.
- 27) Herzog P and Rieger CT; Risk of cancer from diagnostic x-rays. *The Lancet*, **363**, 340–341 (2004).
- 28) 平岡武; ファントム材料の基礎データ, *医用標準線量*, **4**(2), 17–32 (1999).
- 29) 尾内能夫, 楠本五郎; 水と等価な固形 phantom の試作, *日本医学放射線学会誌*, **19**(5), 1012–1016 (1959).

- 30) Aoyama T, Koyama S and Kawaura C; An in-phantom dosimetry system using pin silicon photodiode radiation sensors for measuring organ doses in x-ray CT and other diagnostic radiology, *Phys Med.*, **29**, 1504–1510 (2002).
- 31) Sasada Y and Koyama S; Analysis of Xray Energy Change at Various Points in Two Types of Cylindrical Phantom Undergoing Xray CT Scan Using Monte Carlo Simulation: Proceedings of the Fourteenth EGS Users' Meeting in Japan, *High Energy Accelerator Research Organization*, 92–101 (2007).
- 32) 2007 recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 103. In: *Annals of the ICRP 37* (Nos. 2-4), Oxford, England, Pergamon, (2007).
- 33) 1990 recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publication 60, In: *Annals of the ICRP 21* (Nos. 1-3), Oxford, England, Pergamon, (1991).
- 34) Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides. A Report of a Task Group of Committee 2 of the International Commission on Radiological Protection publication No.67, In: *Annals of the ICRP 23* (Nos. 3-4), Oxford, England, Pergamon, (1994).
- 35) Reference Man; Anatomical, Physiological and Metabolic Characteristics. A Report of a Task Group of Committee 2 of the International Commission on Radiological Protection publication No. 23, Oxford, England, Pergamon, (1975).
- 36) Basic Anatomical & Physiological Data for use in Radiological Protection; The Skeleton. A Report of a Task Group of the International Commission on Radiological Protection publication No.70, In: *Annals of the ICRP 25* (Nos. 2), Oxford, England, Pergamon, (1996).
- 37) Hubbell JH and Seltzer S.M; Tables of X-Ray Mass Attenuation Coefficients 1 keV to 20 MeV for Elements Z=1 to 92 and 48 additional Substance of Dosimetric Interest, NISTIR 5632, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, (1995).
- 38) 愛知県放射線技師会学術部; 標準的放射線技術「放射線業務で知っておきたい被ばく線量—上部消化管造影検査編」, *平成16年度第3回研修会誌*, 5–16 (2004).
- 39) 日本消化器集団検診学会 胃 X 線撮影法標準委員会; 新・胃 X 線撮影法 (間接・直接) ガイドライン. 株式会社メディカルレビュー社, 東京, (2005).
- 40) Delichas MG, Hatzioannou K, Papanastassiou E, et al.; Radiation doses to patients undergoing barium meal and barium enema examinations, *Radiat Prot Dosimetry*, **109**, 243–247 (2004).

- 41) Vañó E, Velasco A, Morán P, et al.; Evolution of diagnostic radiology in a big hospital during a 5 year period, and the derived collective dose, *Br J Radiol.*, **66**, 892–898 (1993).
- 42) Hart D and Wall B F; Estimation of effective dose from dose-area product measurements for barium meals and barium enemas, *Br J Radiol.*, **67**, 485–489 (1994).
- 43) Martin CJ; A review of factors affecting patient doses for barium enemas and meals, *Br J Radiol.*, **77**, 864–868 (2004).
- 44) Brenner DJ, Doll R, Goodhead DH, et al.; Cancer risks attributable to low doses of ionizing radiation: Assessing what really know, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*, **100**, 13761–13766 (2003).
- 45) 日本放射線技師会・医療被ばくガイドライン委員会; 患者さんのための「医療被ばくガイドライン (低減目標値)」, *日本放射線技師会誌*, **47**, 1694–1750 (2000).
- 46) Aoyama T, Koyama S and Kawaura C; Proceedings of 11th International Congress of the International Radiation protection Association; "Organ dose measurement in x-ray CT and other diagnostic radiology by using novel photodiode dosimeters installed in an anthropomorphic phantom," IRPA 11, 3h9 (2004).
- 47) Nishizawa K, Maruyama T, Takayama M, et al.; Dose evaluation and effective dose estimation from multi detector CT, *Phys Med.*, **22**, 152–158 (2002).
- 48) 高橋信次, 佐久間貞行; “X 線撮影と X 線検査”, p. 382 (1972), 南山堂, 東京.
- 49) World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research; Food, nutrition and prevention of cancer: a global perspective. American Institute for Cancer Research, Washington DC, (1997).
- 50) World Health Organization; Diet, nutrition and prevention of chronic diseases. –WHO technical report series 916: Report of a joint WHO/FAO expert consultation –Geneva: WHO, (2003).
- 51) 平成 16 年度 厚生労働省がん研究助成金「がん検診の適切な方法とその評価法の確立に関する研究」班 ; 有効性評価に基づく大腸がん検診ガイドライン, *Jpn J Cancer Chemother.*, **32**(6), 901–915 (2005).
- 52) Waye JD; What is a gold standard for colon polyps?, *Gastroenterology*, **112**(1), 292–294 (1997).
- 53) 金子榮藏, 棟方昭博, 岩男 泰, 他 ; 大腸内視鏡検査の偶発症防止のための指針, *日本消化器内視鏡学会誌*, **45** (9), 1939–1945 (2003).
- 54) Rex DK; Screening colonoscopy: can we drive? In: DennisJJ, ed. 65th Annual Meeting of the American College of Gastroenterology. New York, NY (2000).

- 55) Vining DJ; 3-D spiral CT of bowel yields virtual colonoscopy. *Diagnostic image*, 13–15 (1994).
- 56) Ogura T, Koizumi K, Kai S, et al.; Three-dimensional CT colonoscopy: comparison with colonoscopy and barium enema examination, *Radiol.*, **197**, 444 (1995).
- 57) 小倉敏裕, 小泉浩一, 甲斐俊吉, 他; ヘリカルスキャン CT を利用した直腸癌の三次元表示, *日本消化器内視鏡学会雑誌*, **37**, 1148–1156 (1995).
- 58) Dachman AH and Zalis ME; Quality and consistency in CT colonography and research reporting, *Radiol.*, **230**, 319–323 (2004).
- 59) Steve H, Douglas GA, Stuart AT, et al.; CT Colonography in the Detection of Colorectal Polyps and Cancer: Systematic Review, Meta-Analysis, and Proposed Minimum Data Set for Study Level Reporting¹, *Radiol.*, **237**, 893–904 (2005).
- 60) Lefere P, Gryspeerdt S, Marrannes J, et al.; CT Colonography After Fecal Tagging with a Reduced Cathartic Cleansing and a Reduced Volume of Barium, *Am J Roentgenol*, **184**, 1836–1842 (2005).
- 61) Perry JP and Andrew JT; Extracolonic Findings Identified in Asymptomatic Adults at Screening CT Colonography, *Am J Roentgenol*, **186**, 718–728 (2006).
- 62) The National CT Colonography Trial; American College of Radiology Imaging Network, 2006. (Accessed at http://www.acrin.org/6664_protocol.html.)
- 63) David HK, Perry JP, Andrew JT, et al.; CT Colonography versus Colonoscopy for the Detection of Advanced Neoplasia, *N Engl J Med*, **357**, 1403–1412 (2007).
- 64) American Cancer Society Colorectal Cancer Advisory Group, US Multi-Society Task Force, American College of Radiology Colon Cancer Committee; Screening and Surveillance for the Early Detection of Colorectal Cancer and Adenomatous Polyps; A Joint Guideline From the American Cancer Society, the US Multi-Society Task Force on Colorectal Cancer, and the American College of Radiology, *Gastroenterology*, **134**, 1570–1595 (2008).
- 65) David J. Brenner and Eric J. Hall; Computed Tomography — An Increasing Source of Radiation Exposure, *N Engl J Med*, **357**, 2277–2284 (2007).
- 66) Mathias C, Ludger WP, Claudia P, et al.; Effective doses in standard protocols for multi-slice CT scanning, *Eur Radiol.*, **13**, 1148–1153 (2003).
- 67) 山崎 通尋, 野々垣 秀彦, 原 浩二, 他; Multi-slice CT (MSCT)を用いた大腸スクリーニング検査の有用性の検討, *日本放射線技術学会雑誌*, **61**(6), 852–860 (2005).

- 68) Pickhardt PJ; Screening CT colonography: how I do it, *Am J Roentgenol*, **189** (2) , 290–298 (2007).
- 69) Kawaura C, Aoyama T, Koyama S, et al.; Organ and effective dose evolution in diagnostic radiology based on in-phantom dose measurements with novel photodiode-dosimeters, *Rad. Protection Dosimetry*, **118** (4), 421–430 (2006).
- 70) Jensch S, Van Gelder RE, Venema HW, et al.; Effective radiation doses in CT colonography: results of an inventory among research institutions, *Eur Radiol.*, **16**, 981–987 (2006).
- 71) Iannaccone R, Laghi A, Catalano C, et al.; Detection of colorectal lesions: Lower-dose multi-detector row helical CT colonography compared with conventional colonoscopy, *Radiol.*, **229**, 775–781 (2003).
- 72) Van Gelder RE, Venema HW, Serlie IW, et al.; CT colonography at different radiation dose levels: Feasibility of dose reduction, *Radiol.*, **224**, 25–33 (2002).
- 73) Ferrucci JT; Virtual colonoscopy for colon cancer screening: further reflections on polyps and politics, *Am J Roentgenol*, **181**(3), 795–797 (2003).
- 74) Rex DK, Cutler CS, Lemmel GT, et al.; Colonoscopic miss rates of adenomas determined by back-to-back colonoscopies, *Gastroenterology*, **112**(1), 24–28 (1997).
- 75) Lefere PA, Gryspeerdt SS, Dewyspelaere J, et al.; Dietary fecal tagging as a cleansing method before CT colonography: initial results—polyp detection and patient acceptance, *Radiol.*, **224**(2), 393–403 (2002).
- 76) Lefere P, Gryspeerdt S, Baekelandt M, et al.; Laxative-free CT Colonography, *Am J Roentgenol*, **18**(34), 945–948 (2004).
- 77) Bielen D, Thomeer M, Vanbeckevoort D, et al.; Dry preparation for virtual CT colonography with fecal tagging using water-soluble contrast medium: initial results, *Eur Radiol*, **13**(3), 453–458 (2003).
- 78) Thomeer M, Carbone I, Bosmans H, et al.; Stool tagging applied in thin-slice multidetector computed tomography colonography, *J Comput Assist Tomogr*, **2**(72), 132–139 (2003).
- 79) Iannaccone R, Laghi A, Catalano C, et al.; Computed tomographic colonography without cathartic preparation for the detection of colorectal polyps, *Gastroenterology*, **127**(5), 1300–1311 (2004).
- 80) 西澤かなえ, 松本雅紀, 岩井一男, 他; CT 検査件数 および CT 検査による集団実効線量の推計, *日本医放会誌*, **64**, 151–158 (2004).

- 81) 久道茂, 渡邊能行, 深尾彰; 新たながん検診手法の有効性評価報告書, 日本公衆衛生協会, 81-114 (2001).
- 82) 金子栄蔵, 原田英雄, 春日井達造, 他; 消化器内視鏡関連の偶発症に関する第 3 回全国調査報告-1993 年より 1997 年までの 5 年間, *日本消化器内視鏡学会*, **42**, 308-313 (2000).
- 83) 北川まゆみ; 胃がん検診の現状と今後 —胃 X 線検査の立場から—, *日本放射線技術学会誌*, **61**, 881-886 (2005).
- 84) International Commission on Radiological Protection. Publication 85. Avoidance of radiation injuries from medical interventional procedures, ICRP Annals of the ICRP, **30**(2). Oxford, Pergamon (2000).
- 85) Radiological protection in medicine. A Report of a Task Group of the International Commission on Radiological Protection publication No.105, In Ann ICRP, 37(6), Oxford, England, Pergamon, (2007).
- 86) Lautin EM, Novick MK, and Jean-Bapitiste R; Tailored CT: primum non nocere, *Br. J. Radiol.*, **81**, 442-443 (2008).
- 87) W Pilling; Are we doing more harm than good?, *Br. J. Radiol.*, **81**, 441 (2008).
- 88) Lee CI, Hains AH, Monici EP, et al.; Diagnostic CT scans: assessment of patient, physician and radiologist awareness of radiation dose and possible risks, *Radiol.*, **231**, 393-398 (2004).
- 89) Hall EJ and Brenner DJ; Cancer risks from diagnostic radiology, *Br. J. Radiol.*, **81**, 362 – 378 (2008).
- 90) Managing patient dose in multi-detector computed tomography (MDCT). A Report of a Task Group of the International Commission on Radiological Protection publication No.102. In Ann ICRP, Oxford, England, Pergamon, (2007).
- 91) Wax MR, Liang Z, Chen D, et al.; Electronic colon cleansing for virtual colonoscopy. In: *Proceedings of the first international symposium on virtual colonoscopy*. Boston: Boston University, 94, (1998).
- 92) Perry JP and Jong-Ho RC; Electronic Cleansing and Stool Tagging in CT Colonography: Advantages and Pitfalls with Primary Three-Dimensional Evaluation, *Am J Roentgenol*, **181**, 799-805 (2003).
- 93) Lefere P, Gryspeerdt S, Baekelandt M, et al.; Laxative-free CT Colonography, *Am J Roentgenol*, **18**(34), 945-948 (2004).

- 94) Hara AK, Johnson CD, Reed JE, et al.; Detection of colorectal polyps with CT colonography: initial assessment of sensitivity and specificity, *Radiol.*, **205**, 59–65 (1997).
- 95) Hara AK, Johnson CD, Reed JE, et al; Reducing data size and radiation dose for CT colonography, *Am J Roentgenol*, **168**, 1181–1184 (1997).
- 96) Fenlon HM, Nunes DP, Clarke PD, et al.; Colorectal neoplasm detection using virtual colonoscopy: A feasibility study, *GUT*, **43**, 806–811 (1998).
- 97) Koizumi K, Ogura T, Takatsu K, et al.; Three-dimensional CT imaging of colorectal flat neoplasms. Proc. of 27th Annual Meeting of Society of Gastrointestinal Radiologists, 32, (1998).

付録 A 上・下消化管 X 線造影検査の被ばく線量測定結果

Table A-1 から **Table A-6** に、上部消化管 X 線造影検査による施設 B から E の各装置の線量測定結果の詳細を示す。なお、施設 A の検診車による測定結果の詳細は、本文の第 3 章 **Table 3-3** に記載してある。

Table A-7 に、下部消化管 X 線造影検査による B 科の線量測定結果の詳細の 1 例を示す。なお、A 科による測定結果の詳細の 1 例は、本文の第 4 章 **Table 4-2** に記載してある。

Table A-1 Organ doses and the effective doses for each projection of upper GI tract examination in the institution B.

Projection Examination	Esophagus (fluoroscopy)	Upright compression (1/4×8)		Upper Esophago- graphy (1/2)		Lower Esophago- graphy (1/2)		Upright barium-filled		Prone barium- filled (fluoroscopy)	Supine right anterior oblique double contrast with a little air (1/4)		Supine frontal double contrast (1/4)		Right lateral (1/4)		Supine right anterior oblique double contrast (1/4)		
	Rad.	Fluo.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	
Tube voltage [kV]	80	84		81		82		84		86	87	84		90		87			
Tube current [mA]	1.4	400		400		400		400		1.6	400	400		360		400			
Tube charge [mAs]		34.0		24.0		30.0		33.0			44.0	34.0		50.0		44.0			
Fluoroscopic time [s]	16	×8	109		9		9		17		3		10		14		16		15
ORGAN																			
Thyroid gland [mGy]	1.04	0.05	0.11	1.23	0.59	0.03	0.01	0.01	0.02		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.02	
Lung [mGy]	0.25	0.08	0.15	0.26	0.14	0.41	0.20	0.04	0.03		0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.30	0.13	0.01	0.03
Breast [mGy]	0.02	0.11	0.16	0.02	0.01	0.03	0.03	0.04	0.03		0.00	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.01	0.01
Esophagus [mGy]	0.17	0.34	0.37	0.17	0.09	0.39	0.15	0.18	0.06		0.01	0.04	0.04	0.04	0.05	0.34	0.47	0.04	0.06
Stomach [mGy]	0.01	9.55	7.19	0.01	0.00	0.06	0.01	1.41	1.23		0.02	0.26	0.16	1.19	0.92	0.26	0.35	0.26	0.24
Pancreas [mGy]	0.02	7.51	5.82	0.01	0.01	0.05	0.02	1.22	1.16		0.04	1.55	0.94	0.94	0.75	1.44	1.70	1.55	1.41
Spleen [mGy]	0.02	1.71	1.55	0.01	0.01	0.03	0.02	0.34	0.30		0.03	0.07	0.06	0.21	0.20	0.12	0.18	0.07	0.09
Liver [mGy]	0.03	0.32	0.36	0.02	0.01	0.37	0.14	0.40	0.24		0.02	0.11	0.08	0.04	0.05	1.26	1.42	0.11	0.12
Colon [mGy]	0.02	2.29	1.89	0.01	0.01	0.02	0.01	0.71	0.57		0.04	0.51	0.32	0.29	0.24	0.72	0.62	0.51	0.48
Ovaries [mGy]	0.02	0.07	0.14	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.04		0.00	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04	0.02	0.03
Uterus [mGy]	0.00	0.05	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.03		0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01
Bladder [mGy]	0.00	0.09	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.03		0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.00
Testis [mGy]	0.00	0.08	0.16	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.04		0.00	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.03
Bone marrow [mGy]	0.11	0.27	0.31	0.12	0.06	0.10	0.06	0.11	0.07		0.01	0.06	0.05	0.03	0.04	0.08	0.09	0.06	0.08
Bone surface [mGy]	0.12	0.29	0.47	0.13	0.09	0.12	0.08	0.13	0.10		0.02	0.07	0.08	0.05	0.05	0.09	0.15	0.07	0.14
Skin [mGy]	0.01	0.10	0.07	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02		0.00	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.03	0.02	0.02
Entrance skin dose [mGy]	1.62	19.85	14.72	1.82	0.91	2.52	1.30	2.69	2.26		0.40	4.05	2.05	2.48	1.89	5.82	6.41	4.05	3.08
ICRP 103																			
Remainder tissues [mGy]	0.11	1.04	0.87	0.11	0.06	0.08	0.02	0.35	0.32		0.01	0.21	0.14	0.13	0.11	0.42	0.48	0.22	0.21
Effective dose [mSv]	0.11	1.64	1.33	0.12	0.06	0.12	0.05	0.35	0.29		0.01	0.14	0.09	0.21	0.17	0.28	0.29	0.14	0.14
ICRP 60																			
Remainder tissues [mGy]	0.15	1.44	1.19	0.15	0.08	0.11	0.02	0.48	0.44		0.02	0.30	0.19	0.18	0.15	0.57	0.66	0.30	0.29
Effective dose [mSv]	0.12	1.60	1.31	0.13	0.07	0.12	0.06	0.34	0.28		0.01	0.13	0.09	0.20	0.17	0.28	0.29	0.13	0.13

Table A-1 (continued)

Projection	Supine frontal double contrast		Semi-upright left anterior oblique double contrast (1/2)		Supine right anterior oblique (1/2)		Prone frontal double contrast (1/2)		Prone left posterior oblique double contrast (1/2)		Semi-upright left posterior oblique double contrast (1/2)		Semi-upright right anterior oblique double contrast (1/2)				
	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.			
Examination	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.			
Tube voltage [kV]	84		85		90		83		84		84		86				
Tube current [mA]	400		400		360		400		400		400		400				
Tube charge [mAs]	33.0		48.0		50.0		33.0		46.0		46.0		36.0				
Fluoroscopic time [s]		21		21		18		29		21		12		28	368		
ORGAN															Total	Rad.	Fluo.
Thyroid gland [mGy]	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.06	0.01	0.05	0.01	0.03	0.01	0.05	3.53	1.41	2.12
Lung [mGy]	0.04	0.04	0.20	0.21	0.09	0.08	0.01	0.03	0.02	0.02	0.02	0.01	0.02	0.04	2.98	1.55	1.43
Breast [mGy]	0.04	0.04	2.75	0.39	0.04	0.07	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	4.05	3.14	0.91
Esophagus [mGy]	0.18	0.08	0.32	0.46	0.31	0.27	0.02	0.07	0.04	0.11	0.04	0.06	0.14	0.24	5.32	2.57	2.75
Stomach [mGy]	1.41	1.51	2.41	2.66	0.75	0.92	0.06	0.15	0.04	0.08	0.04	0.05	0.19	0.39	33.80	17.91	15.89
Pancreas [mGy]	1.22	1.43	1.30	1.41	1.53	1.89	0.16	0.38	0.26	0.40	0.26	0.23	0.18	0.35	37.11	19.16	17.95
Spleen [mGy]	0.34	0.37	0.20	0.23	0.14	0.20	0.15	0.25	0.17	0.20	0.17	0.11	1.09	1.93	10.58	4.82	5.75
Liver [mGy]	0.40	0.29	0.30	0.38	0.54	0.60	0.07	0.15	0.17	0.23	0.17	0.13	0.05	0.11	8.67	4.31	4.36
Colon [mGy]	0.71	0.70	0.40	0.45	0.64	0.76	0.19	0.37	0.36	0.46	0.36	0.26	0.12	0.17	15.23	7.86	7.37
Ovaries [mGy]	0.08	0.05	0.01	0.03	0.03	0.05	0.01	0.05	0.02	0.05	0.02	0.03	0.01	0.05	1.08	0.43	0.66
Uterus [mGy]	0.06	0.04	0.01	0.01	0.02	0.02	0.01	0.02	0.02	0.07	0.02	0.04	0.02	0.07	0.76	0.35	0.42
Bladder [mGy]	0.02	0.04	0.00	0.04	0.00	0.00	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.70	0.20	0.50
Testis [mGy]	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.04	0.01	0.04	0.01	0.03	0.01	0.02	0.00	0.00	0.74	0.20	0.55
Bone marrow [mGy]	0.11	0.09	0.08	0.06	0.08	0.10	0.06	0.13	0.09	0.13	0.09	0.07	0.06	0.11	2.99	1.40	1.59
Bone surface [mGy]	0.17	0.14	0.17	0.10	0.12	0.13	0.10	0.21	0.14	0.20	0.10	0.09	0.07	0.14	4.05	1.65	2.49
Skin [mGy]	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.04	0.82	0.43	0.39
Entrance skin dose [mGy]	2.69	2.79	4.34	4.66	5.42	5.67	2.34	3.83	3.84	3.96	3.84	2.27	3.01	5.04	131.64	68.78	62.86
ICRP 103																	
Remainder tissues [mGy]	0.35	0.39	0.22	0.25	0.42	0.42	0.07	0.13	0.11	0.16	0.11	0.09	0.15	0.27	8.02	3.04	4.98
Effective dose [mSv]	0.35	0.36	0.75	0.52	0.28	0.32	0.05	0.12	0.09	0.12	0.09	0.07	0.08	0.14	8.90	3.16	5.74
ICRP 60																	
Remainder tissues [mGy]	0.48	0.54	0.30	0.34	0.57	0.57	0.09	0.18	0.15	0.21	0.15	0.12	0.20	0.36	10.98	5.46	5.52
Effective dose [mSv]	0.34	0.34	0.56	0.50	0.27	0.31	0.05	0.12	0.09	0.13	0.09	0.07	0.07	0.13	8.53	4.40	4.13

Table A-2 Organ doses and the effective doses for each projection of upper GI tract examination in the institution C.

Projection Examination	Abdominal fluoroscopy	Esophagus (fluoroscopy)	Upright compression (1/4×8)		Esophagus (fluoroscopy)	Upright barium-filled		Prone barium- filled (1/2)		Prone frontal double contrast (1/2)		Supine frontal double contrast (1/2)		Head down supine left anterior oblique double contrast (1/2)		Right lateral (1/4)	
	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.
Tube voltage [kV]	84	85	83	85	85	82	84	82	84	82	84	82	82	84	87	95	110
Tube current [mA]	1.5	1.3		1.5	1.3		1.5		1.5		1.5		1.5		1.6		2.4
Tube charge [mAs]			23.0			17.5		25.5		17.0		16.0		18.0		35.0	
Fluoroscopic time [s]	7	14	×8	42	12		10		8		21		11		12		10
ORGAN																	
Thyroid gland [mGy]	0.01	1.29	0.06	0.04	1.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.03	0.01	0.01	0.02	0.03	0.02	0.02
Lung [mGy]	0.01	0.18	0.10	0.07	0.16	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.06
Breast [mGy]	0.01	0.01	0.13	0.06	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04	0.08	0.11
Esophagus [mGy]	0.02	0.23	0.29	0.14	0.20	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.02	0.03	0.06	0.09	0.28	0.34
Stomach [mGy]	0.47	0.02	6.32	3.12	0.02	0.81	0.68	0.09	0.06	0.06	0.15	0.69	0.78	1.15	1.55	1.09	1.26
Pancreas [mGy]	0.56	0.03	6.35	3.19	0.02	0.99	0.80	0.16	0.11	0.11	0.28	0.71	0.80	0.84	1.16	0.13	0.16
Spleen [mGy]	0.05	0.03	0.46	0.29	0.03	0.08	0.07	0.12	0.07	0.08	0.19	0.14	0.16	0.13	0.19	2.20	2.44
Liver [mGy]	0.04	0.02	0.49	0.24	0.02	0.08	0.06	0.12	0.07	0.08	0.19	0.11	0.12	0.16	0.22	0.17	0.22
Colon [mGy]	0.21	0.02	1.97	1.00	0.01	0.36	0.29	0.13	0.09	0.09	0.23	0.23	0.27	0.27	0.38	0.05	0.06
Ovaries [mGy]	0.02	0.01	0.06	0.06	0.01	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01
Uterus [mGy]	0.01	0.01	0.08	0.06	0.01	0.02	0.02	0.02	0.02	0.01	0.05	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02
Bladder [mGy]	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
Testis [mGy]	0.00	0.00	0.04	0.06	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01
Bone marrow [mGy]	0.03	0.13	0.21	0.11	0.11	0.05	0.04	0.07	0.04	0.05	0.11	0.03	0.03	0.03	0.05	0.03	0.03
Bone surface [mGy]	0.03	0.15	0.32	0.12	0.17	0.05	0.05	0.08	0.06	0.06	0.14	0.04	0.05	0.03	0.05	0.04	0.03
Skin [mGy]	0.01	0.02	0.08	0.04	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.03
Entrance skin dose [mGy]	1.27	2.77	15.85	7.20	2.38	2.36	1.81	2.75	1.50	1.84	3.92	1.64	1.80	2.17	2.73	6.68	6.73
ICRP 103																	
Remainder tissues [mGy]	0.12	0.13	0.88	0.45	0.11	0.21	0.17	0.07	0.05	0.05	0.12	0.13	0.15	0.15	0.21	0.26	0.30
Effective dose [mSv]	0.11	0.12	1.20	0.60	0.11	0.18	0.15	0.05	0.04	0.04	0.10	0.14	0.16	0.21	0.29	0.21	0.24
ICRP 60																	
Remainder tissues [mGy]	0.16	0.18	1.20	0.62	0.15	0.29	0.23	0.10	0.06	0.07	0.17	0.18	0.20	0.20	0.29	0.36	0.41
Effective dose [mSv]	0.10	0.13	1.16	0.59	0.11	0.17	0.14	0.05	0.04	0.03	0.09	0.13	0.15	0.20	0.28	0.19	0.23

Table A-2 (continued)

Projection Examination	Prone frontal double contrast (1/4)		Supine right anterior oblique double contrast (1/4)		Supine frontal double contrast (1/4)		Supine frontal double contrast (1/2)		Semi-upright left anterior oblique double contrast (1/2)		Lower Esophago- graphy (1/2)		Supine right anterior oblique (1/2)				
	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.			
Tube voltage [kV]	84	87	84	87	83	85	82	82	84	90	81	81	86	94			
Tube current [mA]		1.6		1.6		1.5		1.5		1.7		1.4		1.9			
Tube charge [mAs]	26.0		22.0		23.0		16.0		21.0		15.0		34.0				
Fluoroscopic time [s]		9		10		10		22		15		15		10			238
ORGAN															Total	Rad.	Fluo.
Thyroid gland [mGy]	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	2.83	0.18	2.63
Lung [mGy]	0.03	0.04	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.02	0.04	0.06	0.10	0.06	0.07	1.32	0.43	0.88
Breast [mGy]	0.08	0.08	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.03	0.04	0.07	0.03	0.05	0.06	0.06	1.13	0.51	0.63
Esophagus [mGy]	0.15	0.13	0.02	0.02	0.04	0.03	0.02	0.06	0.14	0.24	0.14	0.21	0.33	0.33	3.72	1.55	2.18
Stomach [mGy]	0.12	0.12	0.06	0.08	0.79	0.74	0.69	1.55	1.54	2.53	0.10	0.16	1.18	1.11	29.10	15.33	15.73
Pancreas [mGy]	0.08	0.08	0.78	0.83	0.79	0.76	0.71	1.59	0.68	1.15	0.04	0.07	0.97	0.93	25.87	13.95	13.76
Spleen [mGy]	0.34	0.26	0.03	0.03	0.06	0.07	0.14	0.32	0.61	1.06	0.05	0.09	0.18	0.19	10.14	4.67	5.65
Liver [mGy]	0.08	0.08	0.07	0.09	0.06	0.06	0.11	0.25	0.12	0.22	0.09	0.14	0.20	0.21	4.17	1.96	2.29
Colon [mGy]	0.03	0.04	0.28	0.30	0.25	0.24	0.23	0.53	0.21	0.35	0.02	0.04	0.33	0.33	8.83	4.59	4.67
Ovaries [mGy]	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.02	0.52	0.18	0.33
Uterus [mGy]	0.01	0.02	0.02	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.01	0.03	0.00	0.03	0.01	0.03	0.61	0.22	0.37
Bladder [mGy]	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.11	0.04	0.07
Testis [mGy]	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02	0.30	0.10	0.23
Bone marrow [mGy]	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.03	0.03	0.07	0.02	0.03	0.02	0.04	0.05	0.06	1.62	0.63	0.93
Bone surface [mGy]	0.03	0.03	0.05	0.09	0.05	0.04	0.04	0.11	0.03	0.05	0.04	0.05	0.05	0.07	2.20	0.94	1.25
Skin [mGy]	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.04	0.01	0.02	0.04	0.04	0.68	0.33	0.35
Entrance skin dose [mGy]	3.05	2.22	2.17	2.11	1.98	1.71	1.64	3.61	2.88	4.40	1.81	2.53	4.67	4.64	104.82	51.28	52.85
ICRP 103																	
Remainder tissues [mGy]	0.06	0.06	0.12	0.13	0.11	0.11	0.13	0.30	0.17	0.29	0.03	0.05	0.18	0.18	5.47	2.67	2.80
Efective dose [mSv]	0.05	0.05	0.07	0.08	0.15	0.14	0.14	0.32	0.25	0.42	0.04	0.07	0.25	0.24	6.19	3.07	3.12
ICRP 60																	
Remainder tissues [mGy]	0.09	0.08	0.16	0.17	0.15	0.15	0.18	0.41	0.23	0.40	0.04	0.07	0.24	0.24	7.49	3.60	4.21
Efective dose [mSv]	0.05	0.05	0.06	0.07	0.14	0.14	0.13	0.31	0.24	0.41	0.04	0.07	0.24	0.24	6.02	2.96	3.35

Table A-3 Organ doses and the effective doses for each projection of upper GI tract examination performed by the radiologist in the institution D.

Projection Examination	Upper Esophagus (fluoroscopy)	Lower Esophagus (fluoroscopy)	Prone frontal double contrast		Upper Esophago- graphy (1/2)		Lower Esophago- graphy (1/2)		Supine frontal double contrast		Supine right anterior oblique double contrast		Supine left anterior oblique double contrast		Semi-upright left anterior oblique double contrast		Semi-upright compression (1/4×8)	
	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.
Tube voltage [kV]	88	94	82	96	81	88	88	94	83	95	84	97	86	103	85	103	100	105
Tube current [mA]	2.0	2.3	200	2.4	200	2.0	200	2.3	200	2.4	200	2.5	200	2.8	200	2.8	320	2.9
Tube charge [mAs]			3.4		2.2		3.8		3.2		3.6		3.8		4.0		2.7	
Fluoroscopic time [s]	3	3		7		8		7		10		5		5		8	×8	25
ORGAN																		
Thyroid gland [mGy]	0.54	0.01	0.01	0.01	0.19	1.44	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02
Lung [mGy]	0.15	0.10	0.02	0.07	0.05	0.39	0.04	0.23	0.02	0.12	0.02	0.09	0.03	0.10	0.02	0.11	0.02	0.04
Breast [mGy]	0.00	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.03	0.01	0.10	0.01	0.03	0.03	0.13	0.03	0.20	0.00	0.08
Esophagus [mGy]	0.10	0.11	0.03	0.18	0.04	0.26	0.05	0.26	0.04	0.34	0.05	0.19	0.05	0.24	0.05	0.37	0.06	0.11
Stomach [mGy]	0.01	0.04	0.04	0.18	0.01	0.03	0.03	0.10	0.20	1.87	0.18	0.79	0.31	1.43	0.35	2.42	0.37	1.04
Pancreas [mGy]	0.00	0.05	0.03	0.21	0.00	0.01	0.02	0.12	0.04	1.60	0.20	0.91	0.21	0.96	0.20	1.46	1.43	4.16
Spleen [mGy]	0.01	0.02	0.10	0.58	0.01	0.03	0.02	0.04	0.07	0.55	0.04	0.16	0.12	0.57	0.16	1.20	0.09	0.22
Liver [mGy]	0.01	0.21	0.07	0.43	0.01	0.03	0.08	0.50	0.07	0.66	0.13	0.56	0.07	0.36	0.06	0.46	0.13	0.38
Colon [mGy]	0.00	0.02	0.04	0.24	0.01	0.01	0.01	0.04	0.08	0.76	0.11	0.47	0.08	0.39	0.08	0.56	0.48	1.32
Ovaries [mGy]	0.00	0.00	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.06	0.05
Uterus [mGy]	0.00	0.01	0.01	0.04	0.00	0.01	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.01	0.03	0.05	0.04
Bladder [mGy]	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00	0.03	0.01
Testis [mGy]	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.05	0.02
Bone marrow [mGy]	0.06	0.05	0.02	0.10	0.03	0.15	0.03	0.12	0.01	0.09	0.01	0.05	0.01	0.06	0.01	0.10	0.07	0.16
Bone surface [mGy]	0.06	0.06	0.03	0.11	0.04	0.18	0.03	0.13	0.02	0.13	0.02	0.08	0.02	0.07	0.02	0.16	0.08	0.28
Skin [mGy]	0.01	0.01	0.01	0.03	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.05	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.06	0.01	0.04
Entrance skin dose [mGy]	0.75	1.00	0.37	2.01	0.28	2.01	0.39	2.34	0.37	3.15	0.48	1.93	0.51	2.12	0.59	3.75	3.07	8.85
ICRP 103																		
Remainder tissues [mGy]	0.05	0.05	0.03	0.19	0.02	0.12	0.02	0.11	0.05	0.45	0.05	0.24	0.05	0.24	0.05	0.39	0.21	0.60
Effective dose [mSv]	0.06	0.05	0.02	0.13	0.02	0.16	0.02	0.11	0.05	0.45	0.05	0.23	0.07	0.31	0.07	0.49	0.15	0.42
ICRP 60																		
Remainder tissues [mGy]	0.06	0.06	0.05	0.26	0.02	0.16	0.03	0.14	0.07	0.61	0.07	0.32	0.07	0.33	0.07	0.53	0.29	0.82
Effective dose [mSv]	0.06	0.05	0.02	0.12	0.03	0.17	0.02	0.11	0.05	0.43	0.05	0.23	0.07	0.30	0.07	0.47	0.15	0.39

Table A-3 (continued)

Projection Examination	Upright barium-filled		Prone barium- filled		Upright right anterior oblique double contrast				
	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.			
Tube voltage [kV]	83	95	82	96	90	105			
Tube current [mA]	200	2.4	200	2.4	360	2.9			
Tube charge [mAs]	4.8		5.1		3.6				
Fluoroscopic time [s]		10		4		10			105
ORGAN							Total	Rad.	Fluo.
Thyroid gland [mGy]	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00	2.38	0.25	2.13
Lung [mGy]	0.02	0.12	0.02	0.04	0.05	0.45	2.29	0.31	1.99
Breast [mGy]	0.02	0.10	0.02	0.02	0.00	0.08	0.95	0.14	0.81
Esophagus [mGy]	0.05	0.34	0.05	0.10	0.06	0.59	3.72	0.53	3.19
Stomach [mGy]	0.31	1.87	0.05	0.11	0.13	1.14	13.02	1.97	11.05
Pancreas [mGy]	0.05	1.60	0.05	0.12	0.22	1.83	15.49	2.47	13.03
Spleen [mGy]	0.10	0.55	0.15	0.33	0.13	0.27	5.51	0.98	4.53
Liver [mGy]	0.10	0.66	0.11	0.24	0.21	1.80	7.35	1.05	6.30
Colon [mGy]	0.13	0.76	0.06	0.14	0.10	0.82	6.71	1.19	5.53
Ovaries [mGy]	0.02	0.04	0.01	0.02	0.01	0.03	0.45	0.16	0.29
Uterus [mGy]	0.01	0.03	0.01	0.02	0.01	0.03	0.44	0.15	0.30
Bladder [mGy]	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01	0.23	0.10	0.13
Testis [mGy]	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.17	0.09	0.08
Bone marrow [mGy]	0.02	0.09	0.03	0.06	0.01	0.12	1.46	0.26	1.21
Bone surface [mGy]	0.03	0.15	0.06	0.10	0.02	0.16	2.03	0.42	1.61
Skin [mGy]	0.01	0.05	0.01	0.02	0.01	0.08	0.50	0.08	0.42
Entrance skin dose [mGy]	0.55	3.15	0.55	1.15	0.73	5.63	45.71	7.87	37.84
ICRP 103									
Remainder tissues [mGy]	0.07	0.45	0.05	0.11	0.07	0.57	4.23	0.73	3.50
Effective dose [mSv]	0.08	0.45	0.04	0.07	0.05	0.48	4.04	0.70	3.34
ICRP 60									
Remainder tissues [mGy]	0.10	0.61	0.07	0.15	0.09	0.78	5.78	0.93	4.85
Effective dose [mSv]	0.07	0.43	0.03	0.07	0.05	0.48	3.94	0.63	3.32

Table A-4 Organ doses and the effective doses for each projection of upper GI tract examination performed by the internist in the institution D.

Projection Examination	Barium thin method in the prone position		Upper Esophago-graphy (1/2×2)		Lower Esophago-graphy (1/2×2)		Upright barium-filled		Semi-upright compression (1/4×8)		Prone barium-filled		Prone right posterior oblique double contrast		Prone left posterior oblique double contrast		Supine frontal double contrast		Supine right anterior oblique double contrast	
	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.
Tube voltage [kV]	82	96	81	88	83	94	83	95	100	105	82	96	84	97	86	103	83	95	84	97
Tube current [mA]	200	2.4	200	2.0	200	2.3	200	2.4	320	2.9	200	2.4	200	2.5	200	2.8	200	2.4	200	2.5
Tube charge [mAs]	3.4		2.2		2.8		4.8		2.7		5.2		3.6		3.8		3.2		3.6	
Fluoroscopic time [s]		16	×2	16	×2	12		26	×8	110		10		20		20		18		30
ORGAN																				
Thyroid gland [mGy]	0.01	0.03	0.39	2.89	0.02	0.05	0.00	0.04	0.00	0.08	0.01	0.02	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.03	0.00	0.01
Lung [mGy]	0.02	0.15	0.11	0.78	0.08	0.39	0.02	0.30	0.02	0.18	0.02	0.10	0.02	0.22	0.01	0.16	0.02	0.21	0.02	0.53
Breast [mGy]	0.01	0.08	0.00	0.03	0.02	0.05	0.02	0.25	0.00	0.34	0.02	0.05	0.00	0.03	0.01	0.12	0.01	0.17	0.01	0.21
Esophagus [mGy]	0.03	0.41	0.08	0.51	0.09	0.45	0.05	0.87	0.06	0.49	0.05	0.26	0.04	0.56	0.03	0.53	0.04	0.60	0.05	1.14
Stomach [mGy]	0.04	0.42	0.01	0.07	0.05	0.16	0.31	4.87	0.37	4.59	0.05	0.26	0.03	0.52	0.04	0.79	0.20	3.37	0.18	4.76
Pancreas [mGy]	0.03	0.47	0.00	0.01	0.04	0.20	0.05	4.16	1.43	18.31	0.05	0.29	0.04	0.78	0.04	0.80	0.04	2.88	0.20	5.44
Spleen [mGy]	0.10	1.32	0.01	0.05	0.03	0.07	0.10	1.44	0.09	0.97	0.15	0.82	0.10	1.68	0.22	3.88	0.07	1.00	0.04	0.94
Liver [mGy]	0.07	0.98	0.01	0.06	0.16	0.85	0.10	1.71	0.13	1.67	0.11	0.61	0.11	1.73	0.06	1.08	0.07	1.19	0.13	3.37
Colon [mGy]	0.04	0.55	0.01	0.01	0.03	0.07	0.13	1.96	0.48	5.82	0.06	0.34	0.06	0.99	0.05	0.81	0.08	1.36	0.11	2.83
Ovaries [mGy]	0.01	0.08	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.10	0.06	0.24	0.01	0.05	0.01	0.10	0.01	0.10	0.01	0.07	0.01	0.11
Uterus [mGy]	0.01	0.08	0.00	0.01	0.02	0.03	0.01	0.09	0.05	0.16	0.01	0.05	0.01	0.11	0.01	0.12	0.01	0.06	0.01	0.12
Bladder [mGy]	0.00	0.03	0.04	0.02	0.03	0.03	0.01	0.02	0.03	0.06	0.01	0.02	0.00	0.06	0.00	0.04	0.00	0.02	0.00	0.04
Testis [mGy]	0.00	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.01	0.03	0.05	0.11	0.00	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.03
Bone marrow [mGy]	0.02	0.22	0.05	0.30	0.05	0.21	0.02	0.25	0.07	0.69	0.03	0.14	0.02	0.31	0.02	0.31	0.01	0.17	0.01	0.31
Bone surface [mGy]	0.02	0.25	0.08	0.33	0.08	0.25	0.03	0.27	0.10	0.96	0.03	0.22	0.03	0.37	0.02	0.50	0.01	0.31	0.03	0.55
Skin [mGy]	0.01	0.07	0.00	0.03	0.00	0.03	0.01	0.14	0.01	0.16	0.01	0.05	0.01	0.13	0.01	0.13	0.01	0.09	0.01	0.16
Entrance skin dose [mGy]	0.37	4.59	0.56	4.02	0.78	4.01	0.55	8.20	3.07	38.94	0.55	2.87	0.54	8.01	0.52	8.20	0.37	5.68	0.48	11.56
ICRP 103																				
Remainder tissues [mGy]	0.03	0.43	0.03	0.24	0.04	0.18	0.07	1.16	0.21	2.64	0.05	0.27	0.04	0.69	0.04	0.78	0.05	0.81	0.05	1.42
Effective dose [mSv]	0.02	0.29	0.05	0.31	0.05	0.19	0.08	1.17	0.15	1.83	0.04	0.18	0.03	0.44	0.03	0.43	0.05	0.81	0.05	1.40
ICRP 60																				
Remainder tissues [mGy]	0.05	0.59	0.05	0.33	0.05	0.25	0.10	1.59	0.29	3.61	0.07	0.37	0.06	0.95	0.06	1.06	0.07	1.10	0.07	1.94
Effective dose [mSv]	0.02	0.28	0.06	0.34	0.05	0.19	0.07	1.13	0.15	1.72	0.03	0.18	0.03	0.43	0.03	0.41	0.05	0.78	0.05	1.37

Table A-4 (continued)

Projection	Supine left anterior oblique double contrast		Semi-upright left anterior oblique double contrast				
	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.			
Examination	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.			
Tube voltage [kV]	86	103	85	103			
Tube current [mA]	200	2.8	200	2.8			
Tube charge [mAs]	3.8		4.0				
Fluoroscopic time [s]		25		15	318		
ORGAN					Total	Rad.	Fluo.
Thyroid gland [mGy]	0.00	0.06	0.00	0.03	3.73	0.47	3.26
Lung [mGy]	0.03	0.51	0.02	0.21	4.12	0.39	3.73
Breast [mGy]	0.03	0.64	0.03	0.37	2.49	0.16	2.32
Esophagus [mGy]	0.05	1.20	0.05	0.69	8.34	0.62	7.72
Stomach [mGy]	0.31	7.16	0.35	4.53	33.46	1.95	31.52
Pancreas [mGy]	0.21	4.82	0.20	2.74	43.25	2.34	40.91
Spleen [mGy]	0.12	2.85	0.16	2.24	18.47	1.20	17.27
Liver [mGy]	0.07	1.79	0.06	0.86	17.01	1.10	15.91
Colon [mGy]	0.08	1.94	0.08	1.06	18.96	1.21	17.75
Ovaries [mGy]	0.01	0.09	0.01	0.03	1.20	0.20	1.00
Uterus [mGy]	0.01	0.14	0.01	0.06	1.19	0.17	1.02
Bladder [mGy]	0.01	0.11	0.00	0.00	0.59	0.14	0.46
Testis [mGy]	0.00	0.03	0.01	0.01	0.41	0.11	0.30
Bone marrow [mGy]	0.01	0.29	0.01	0.19	3.71	0.34	3.37
Bone surface [mGy]	0.03	0.52	0.02	0.24	5.22	0.47	4.77
Skin [mGy]	0.01	0.16	0.01	0.10	1.35	0.09	1.26
Entrance skin dose [mGy]	0.51	10.58	0.59	7.04	122.57	8.87	113.70
ICRP 103							
Remainder tissues [mGy]	0.05	1.22	0.05	0.73	11.31	0.74	10.57
Effective dose [mSv]	0.07	1.55	0.07	0.92	10.20	0.68	9.52
ICRP 60							
Remainder tissues [mGy]	0.07	1.67	0.07	0.99	15.47	1.01	14.45
Effective dose [mSv]	0.07	1.48	0.07	0.88	9.88	0.68	9.20

Table A-5 Organ doses and the effective doses for each projection of upper GI tract examination with a DR system in the institution E.

Projection Examination	Esophago- graphy (1/2×2)		Upright barium-filled		Upright compression (1/4×8)		Prone barium- filled		Supine frontal double contrast with a little air (1/2)		Supine right anterior oblique double contrast with a little air (1/2)		Supine frontal double contrast		Supine right anterior oblique double contrast		Supine left anterior oblique double contrast		Right lateral (1/2)	
	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.
Tube voltage [kV]	82	91	80	93	100	110	86	103	87	105	89	108	80	93	87	105	87	104	90	110
Tube current [mA]	250	1.8	250	1.8	320	2.4	250	2.2	250	2.2	250	2.4	250	1.8	250	2.3	250	2.2	250	2.4
Tube charge [mAs]	1.4		2.0		1.7		2.4		2.4		2.5		2.0		2.4		2.4		7.4	
Fluoroscopic time [s]	×2	41		12	×8	107		13		10		11		33		38		28		14
ORGAN																				
Thyroid gland [mGy]	0.02	0.21	0.01	0.02	0.04	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.02	0.01	0.01
Lung [mGy]	0.06	1.49	0.01	0.09	0.04	0.18	0.01	0.11	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.24	0.01	0.34	0.01	0.21	0.02	0.09
Breast [mGy]	0.01	0.35	0.01	0.04	0.03	0.09	0.01	0.05	0.00	0.02	0.00	0.02	0.01	0.11	0.01	0.17	0.01	0.09	0.01	0.05
Esophagus [mGy]	0.11	2.89	0.04	0.45	0.19	0.32	0.03	0.50	0.01	0.12	0.01	0.16	0.04	1.23	0.05	2.03	0.04	1.46	0.08	0.45
Stomach [mGy]	0.03	0.69	0.20	2.43	0.12	1.53	0.04	0.54	0.24	2.80	0.24	2.97	0.20	6.68	0.22	9.50	0.31	9.56	0.36	2.07
Pancreas [mGy]	0.02	0.29	0.17	2.14	1.16	20.53	0.04	0.59	0.20	2.36	0.24	2.99	0.17	5.88	0.25	10.70	0.23	7.22	0.04	0.23
Spleen [mGy]	0.02	0.69	0.05	0.63	0.07	0.65	0.11	1.60	0.05	0.66	0.04	0.57	0.05	1.73	0.04	1.70	0.08	2.41	0.54	3.18
Liver [mGy]	0.04	0.89	0.06	0.74	0.07	0.69	0.06	0.83	0.05	0.53	0.06	0.77	0.06	2.03	0.08	3.60	0.06	1.78	0.05	0.28
Colon [mGy]	0.01	0.13	0.08	1.01	0.74	6.61	0.02	0.29	0.06	0.74	0.08	0.93	0.08	2.79	0.09	3.77	0.08	2.40	0.02	0.08
Ovaries [mGy]	0.00	0.11	0.01	0.07	0.39	0.36	0.01	0.04	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.18	0.00	0.18	0.01	0.10	0.01	0.01
Uterus [mGy]	0.01	0.05	0.01	0.07	0.40	0.31	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.18	0.01	0.12	0.01	0.08	0.01	0.01
Bladder [mGy]	0.00	0.04	0.01	0.02	0.20	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.07	0.00	0.07	0.01	0.05	0.01	0.01
Testis [mGy]	0.01	0.03	0.01	0.02	0.33	0.13	0.01	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.03	0.00	0.01
Bone marrow [mGy]	0.03	0.86	0.01	0.13	0.38	0.95	0.02	0.19	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.35	0.01	0.47	0.01	0.29	0.01	0.04
Bone surface [mGy]	0.04	0.94	0.02	0.14	0.57	1.14	0.02	0.20	0.01	0.06	0.01	0.08	0.02	0.42	0.01	0.75	0.01	0.52	0.02	0.08
Skin [mGy]	0.01	0.21	0.00	0.06	0.01	0.20	0.01	0.09	0.00	0.04	0.00	0.05	0.00	0.15	0.00	0.17	0.01	0.19	0.02	0.12
Entrance skin dose [mGy]	0.65	16.18	0.37	4.18	2.98	49.22	0.52	6.56	0.48	5.07	0.60	6.55	0.37	11.50	0.56	20.68	0.52	14.67	1.88	8.80
ICRP 103																				
Remainder tissues [mGy]	0.02	0.31	0.05	0.61	0.30	2.74	0.04	0.49	0.04	0.49	0.05	0.63	0.05	1.69	0.06	2.45	0.05	1.56	0.07	0.40
Effective dose [mSv]	0.03	0.64	0.05	0.57	0.25	1.52	0.02	0.26	0.05	0.53	0.05	0.60	0.05	1.57	0.05	2.25	0.06	1.84	0.06	0.36
ICRP 60																				
Remainder tissues [mGy]	0.02	0.42	0.07	0.83	0.41	3.70	0.05	0.67	0.06	0.67	0.07	0.85	0.07	2.28	0.08	3.31	0.07	2.11	0.09	0.54
Effective dose [mSv]	0.03	0.67	0.05	0.56	0.28	1.42	0.02	0.25	0.05	0.51	0.05	0.58	0.05	1.53	0.05	2.19	0.06	1.79	0.06	0.35

Table A-5 (continued)

Projection	Supine left anterior oblique (1/2)		Semi-upright left anterior oblique double contrast				
	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.			
Examination							
Tube voltage [kV]	87	104	90	110			
Tube current [mA]	250	2.2	250	2.4			
Tube charge [mAs]	2.4		2.5				
Fluoroscopic time [s]		23		19			349
ORGAN					Total	Rad.	Fluo.
Thyroid gland [mGy]	0.00	0.01	0.01	0.03	0.54	0.12	0.43
Lung [mGy]	0.01	0.07	0.01	0.22	3.33	0.21	3.12
Breast [mGy]	0.00	0.03	0.01	0.10	1.22	0.11	1.12
Esophagus [mGy]	0.01	0.22	0.06	1.22	11.71	0.66	11.04
Stomach [mGy]	0.26	6.53	0.42	8.79	56.72	2.63	54.09
Pancreas [mGy]	0.21	5.37	0.24	5.07	66.33	2.97	63.36
Spleen [mGy]	0.08	2.07	0.15	3.19	20.34	1.28	19.07
Liver [mGy]	0.04	0.83	0.07	1.45	15.11	0.68	14.43
Colon [mGy]	0.07	1.68	0.08	1.59	23.43	1.41	22.01
Ovaries [mGy]	0.01	0.06	0.01	0.05	1.66	0.46	1.19
Uterus [mGy]	0.01	0.04	0.01	0.05	1.47	0.48	0.99
Bladder [mGy]	0.01	0.05	0.00	0.02	0.64	0.25	0.39
Testis [mGy]	0.00	0.02	0.01	0.02	0.80	0.39	0.41
Bone marrow [mGy]	0.01	0.11	0.01	0.21	4.21	0.52	3.69
Bone surface [mGy]	0.02	0.20	0.02	0.28	5.56	0.76	4.82
Skin [mGy]	0.00	0.09	0.01	0.17	1.63	0.09	1.53
Entrance skin dose [mGy]	0.53	11.75	0.68	12.52	177.82	10.14	167.68
ICRP 103							
Remainder tissues [mGy]	0.04	1.05	0.06	1.20	14.46	0.82	13.64
Efective dose [mSv]	0.05	1.19	0.08	1.57	13.70	0.80	12.90
ICRP 60							
Remainder tissues [mGy]	0.06	1.42	0.08	1.62	19.52	1.11	18.41
Efective dose [mSv]	0.05	1.15	0.08	1.54	13.34	0.82	12.52

Table A-6 Organ doses and the effective doses for each projection of upper GI tract examination with a FPD system in the institution E.

Projection Examination	Esophago- graphy (1/2×2)		Upright barium-filled		Upright compression (1/4×8)		Prone barium- filled		Supine frontal double contrast with a little air (1/2)		Supine right anterior oblique double contrast with a little air (1/2)		Supine frontal double contrast		Supine right anterior oblique double contrast		Supine left anterior oblique double contrast		Right lateral (1/2)	
	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.
Tube voltage [kV]	83	88	95	91	100	99	85	91	86	95	88	98	95	91	89	100	86	93	95	110
Tube current [mA]	250	1.6	250	1.8	320	2.0	250	1.8	250	1.9	250	2.0	250	1.8	250	2.1	250	1.8	250	2.4
Tube charge [mAs]	3.5		2.3		3.0		4.0		4.5		4.8		2.3		5.3		4.3		10.3	
Fluoroscopic time [s]	×2	41		12	×8	107		13		10		11		33		38		28		14
ORGAN																				
Thyroid gland [mGy]	0.02	0.08	0.01	0.02	0.04	0.10	0.01	0.03	0.01	0.01	0.00	0.02	0.01	0.04	0.01	0.09	0.01	0.06	0.01	0.03
Lung [mGy]	0.07	0.67	0.01	0.14	0.04	0.10	0.02	0.10	0.01	0.04	0.02	0.08	0.01	0.37	0.04	0.57	0.02	0.21	0.03	0.10
Breast [mGy]	0.02	0.19	0.01	0.11	0.00	0.00	0.01	0.04	0.01	0.02	0.01	0.04	0.01	0.30	0.01	0.20	0.02	0.14	0.04	0.12
Esophagus [mGy]	0.18	1.81	0.06	0.36	0.05	0.24	0.05	0.28	0.06	0.24	0.08	0.37	0.06	0.99	0.11	1.68	0.07	0.87	0.14	0.48
Stomach [mGy]	0.06	0.52	0.30	2.19	0.23	1.20	0.05	0.34	0.42	1.74	0.42	1.89	0.30	6.03	0.43	7.14	0.49	5.77	1.04	3.56
Pancreas [mGy]	0.03	0.21	0.26	1.87	2.05	13.43	0.06	0.40	0.31	1.31	0.15	0.69	0.26	5.15	0.50	8.29	0.36	4.28	0.37	1.31
Spleen [mGy]	0.04	0.30	0.08	0.65	0.11	0.54	0.19	1.18	0.10	0.42	0.07	0.34	0.08	1.78	0.08	1.38	0.16	1.89	1.92	6.38
Liver [mGy]	0.05	0.46	0.10	0.77	0.12	0.57	0.11	0.67	0.10	0.44	0.20	0.92	0.10	2.12	0.31	5.22	0.12	1.41	0.10	0.37
Colon [mGy]	0.02	0.08	0.12	0.82	0.69	4.39	0.07	0.40	0.10	0.41	0.05	0.24	0.12	2.27	0.25	4.05	0.15	1.73	0.15	0.54
Ovaries [mGy]	0.01	0.04	0.01	0.04	0.07	0.24	0.01	0.05	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.11	0.01	0.13	0.01	0.08	0.01	0.04
Uterus [mGy]	0.01	0.02	0.01	0.03	0.07	0.21	0.01	0.05	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.08	0.01	0.10	0.01	0.08	0.01	0.04
Bladder [mGy]	0.02	0.05	0.01	0.02	0.05	0.17	0.01	0.03	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.06	0.01	0.06	0.01	0.06	0.01	0.02
Testis [mGy]	0.01	0.04	0.01	0.01	0.05	0.12	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.01	0.05	0.01	0.06	0.01	0.02
Bone marrow [mGy]	0.05	0.42	0.02	0.11	0.12	0.62	0.03	0.16	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	0.29	0.03	0.40	0.02	0.23	0.05	0.17
Bone surface [mGy]	0.05	0.47	0.03	0.12	0.18	0.75	0.04	0.18	0.01	0.04	0.01	0.05	0.03	0.35	0.03	0.64	0.02	0.41	0.09	0.31
Skin [mGy]	0.01	0.08	0.01	0.06	0.02	0.12	0.01	0.06	0.01	0.03	0.01	0.03	0.01	0.17	0.02	0.26	0.01	0.14	0.03	0.08
Entrance skin dose [mGy]	1.20	11.39	0.50	3.57	4.35	29.18	0.70	4.05	0.78	3.13	0.99	4.11	0.50	9.80	1.24	18.62	0.84	8.97	3.99	12.31
ICRP 103																				
Remainder tissues [mGy]	0.02	0.16	0.07	0.47	0.29	1.80	0.06	0.35	0.07	0.31	0.07	0.31	0.07	1.29	0.13	2.16	0.09	1.02	0.26	0.90
Effective dose [mSv]	0.04	0.35	0.07	0.51	0.18	1.04	0.04	0.21	0.08	0.34	0.08	0.36	0.07	1.41	0.13	2.04	0.10	1.20	0.20	0.69
ICRP 60																				
Remainder tissues [mGy]	0.03	0.22	0.09	0.63	0.39	2.44	0.08	0.47	0.10	0.42	0.09	0.42	0.09	1.74	0.17	2.92	0.12	1.38	0.36	1.21
Effective dose [mSv]	0.04	0.38	0.07	0.50	0.18	0.98	0.03	0.21	0.08	0.33	0.08	0.36	0.07	1.36	0.12	2.00	0.10	1.17	0.19	0.65

Table A-6 (continued)

Projection	Supine left anterior oblique (1/2)		Semi-upright left anterior oblique double contrast				
	Rad.	Fluo.	Rad.	Fluo.			
Examination							
Tube voltage [kV]	86	94	87	95			
Tube current [mA]	250	1.9	250	1.9			
Tube charge [mAs]	4.5		4.3				
Fluoroscopic time [s]		23		19			349
ORGAN					Total	Rad.	Fluo.
Thyroid gland [mGy]	0.01	0.04	0.01	0.04	0.67	0.13	0.55
Lung [mGy]	0.01	0.07	0.03	0.21	2.98	0.31	2.67
Breast [mGy]	0.00	0.02	0.03	0.20	1.56	0.17	1.39
Esophagus [mGy]	0.02	0.19	0.10	0.75	9.23	0.97	8.26
Stomach [mGy]	0.42	4.03	0.69	5.00	44.25	4.85	39.41
Pancreas [mGy]	0.36	3.56	0.43	3.18	48.85	5.17	43.69
Spleen [mGy]	0.11	1.08	0.26	1.98	21.12	3.20	17.92
Liver [mGy]	0.08	0.76	0.13	0.99	16.22	1.51	14.71
Colon [mGy]	0.12	1.16	0.16	1.19	19.28	2.01	17.27
Ovaries [mGy]	0.01	0.05	0.01	0.05	1.04	0.18	0.86
Uterus [mGy]	0.01	0.04	0.01	0.04	0.88	0.17	0.71
Bladder [mGy]	0.01	0.05	0.01	0.05	0.73	0.14	0.58
Testis [mGy]	0.01	0.05	0.01	0.03	0.58	0.13	0.45
Bone marrow [mGy]	0.01	0.09	0.03	0.17	3.10	0.38	2.72
Bone surface [mGy]	0.02	0.16	0.04	0.23	4.14	0.54	3.68
Skin [mGy]	0.01	0.06	0.02	0.11	1.37	0.15	1.21
Entrance skin dose [mGy]	0.80	7.38	1.11	7.69	137.19	16.99	120.20
ICRP 103							
Remainder tissues [mGy]	0.07	0.74	0.10	0.78	11.59	1.30	10.29
Efective dose [mSv]	0.08	0.78	0.14	0.99	11.13	1.21	9.92
ICRP 60							
Remainder tissues [mGy]	0.10	1.00	0.14	1.05	15.65	1.76	13.89
Efective dose [mSv]	0.08	0.76	0.13	0.96	10.83	1.18	9.64

Table A-7 Organ doses and the effective doses for each projection of barium enema examination performed by the radiologist (B)

Projection Examination	Rectosigmoid														Descending colon LAO		Splenic flexure LAO	
	AP		RAO		LAO		L_LAT		RPO		PA		LPO		Fluo.	Rad.	Fluo.	Rad.
Tube voltage [kV]	72	82	76	85	75	85	106	93	76	85	71	82	76	85	70	80	75	85
Tube current [mA]	2.2	100.0	0.6	200.0	2.6	200.0	6.0	200.0	2.6	200.0	2.2	100.0	2.6	200.0	2.0	50.0	2.6	200.0
Tube charge [mAs]	3.4		4.0		3.6		19.8		4.4		3.4		4.4		3.0		3.4	
Fluoroscopic time [s]	38		45		45		48		58		0		25		36		26	
ORGAN																		
Thyroid gland [mGy]	0.00	0.00	0.06	0.01	0.25	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.01	0.07	0.01	0.04	0.00	0.08	0.01
Lung [mGy]	0.00	0.00	0.07	0.00	0.05	0.00	0.10	0.01	0.19	0.00	0.00	0.02	0.02	0.00	0.05	0.01	0.12	0.01
Breast [mGy]	0.04	0.00	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.17	0.02
Esophagus [mGy]	0.06	0.00	0.19	0.01	0.11	0.01	0.12	0.01	0.27	0.01	0.00	0.03	0.09	0.01	0.16	0.01	0.60	0.04
Stomach [mGy]	0.00	0.00	0.35	0.01	0.09	0.01	0.13	0.01	0.22	0.01	0.00	0.03	0.14	0.01	3.09	0.15	4.38	0.29
Pancreas [mGy]	0.15	0.01	0.38	0.02	0.40	0.02	0.38	0.02	0.37	0.01	0.00	0.03	0.19	0.02	2.28	0.12	2.76	0.18
Spleen [mGy]	0.00	0.00	0.16	0.01	0.06	0.01	0.07	0.01	0.15	0.01	0.00	0.10	0.00	0.01	1.06	0.06	1.73	0.12
Liver [mGy]	0.06	0.01	0.20	0.01	0.13	0.01	0.18	0.01	0.20	0.01	0.00	0.07	0.12	0.01	0.33	0.02	0.81	0.06
Colon [mGy]	1.06	0.06	1.46	0.07	2.26	0.09	1.20	0.08	1.66	0.06	0.00	0.04	0.55	0.05	1.29	0.07	1.10	0.07
Ovary [mGy]	2.92	0.15	5.69	0.25	4.51	0.17	6.17	0.46	1.36	0.05	0.00	0.01	0.41	0.04	0.18	0.01	0.12	0.01
Uterus [mGy]	1.39	0.08	2.25	0.11	2.24	0.09	2.73	0.20	1.96	0.08	0.00	0.01	0.75	0.07	0.17	0.01	0.09	0.01
Bladder [mGy]	2.69	0.14	3.81	0.17	3.74	0.14	2.00	0.16	1.56	0.05	0.00	0.01	0.45	0.05	0.10	0.01	0.08	0.00
Testis [mGy]	0.43	0.02	0.36	0.02	0.25	0.01	0.57	0.03	0.62	0.02	0.00	0.01	0.24	0.02	0.04	0.00	0.00	0.00
Bone marrow [mGy]	0.54	0.03	0.99	0.05	0.81	0.04	2.12	0.17	1.05	0.04	0.00	0.02	0.31	0.03	0.20	0.01	0.20	0.01
Bone surface [mGy]	0.88	0.13	1.18	0.15	0.84	0.09	3.40	0.65	1.25	0.10	0.00	0.26	0.36	0.08	0.35	0.03	0.31	0.04
Skin [mGy]	0.26	0.01	0.41	0.02	0.46	0.02	0.91	0.05	0.63	0.02	0.00	0.01	0.22	0.02	0.23	0.01	0.28	0.02
Entrance skin dose [mGy]	3.73	0.17	6.26	0.25	6.65	0.23	31.25	1.79	8.77	0.29	0.00	0.18	3.04	0.23	3.42	0.15	4.03	0.24
ICRP 103																		
Remainder tissues [mGy]	0.46	0.03	0.80	0.04	0.84	0.03	0.64	0.04	0.44	0.02	0.00	0.04	0.16	0.02	0.69	0.04	0.81	0.06
Effective dose [mSv]	0.49	0.03	0.83	0.04	0.83	0.03	0.80	0.06	0.60	0.02	0.00	0.02	0.20	0.02	0.68	0.04	0.89	0.06
ICRP 60																		
Remainder tissues [mGy]	0.55	0.03	0.96	0.22	1.02	0.04	0.72	0.04	0.44	0.02	0.00	0.04	0.15	0.02	0.90	0.05	1.00	0.07
Effective dose [mSv]	0.69	0.04	1.19	0.05	1.11	0.04	1.19	0.09	0.70	0.02	0.00	0.02	0.23	0.02	0.66	0.04	0.85	0.06

Table A-7 (continued)

Projection	Examination	Transverse colon			Hepatic flexure		Ascending colon				Ascending colon and Caecum			Total	Rad.	Fluo.
		L_LAT Fluo.	AP Fluo. Rad.		RAO Fluo.	Rad.	RAO	R_LAT Fluo.	LPO (1/2) Fluo. Rad.		RAO (1/2) Fluo.	Rad.	RAO (1/4) Rad.			
	Tube voltage [kV]	87	71	82	72	82	73	73	76	85	72	100	84			
	Tube current [mA]	3.8	2.2	100.0	2.2	100.0	2.4	2.4	2.6	200.0	2.2	320.0	320.0			
	Tube charge [mAs]			3.3		3.2				4.4		1.8	9.0			
	Fluoroscopic time [s]	16	54		26		51	51	16		10					564
	ORGAN													Total		
	Thyroid gland [mGy]	0.05	0.11	0.00	0.03	0.01	0.21	0.21	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00	1.31	0.07	1.24
	Lung [mGy]	0.24	0.51	0.02	0.27	0.02	0.32	0.32	0.04	0.01	0.03	0.01	0.01	2.43	0.13	2.30
	Breast [mGy]	0.08	0.30	0.00	0.10	0.01	0.14	0.14	0.05	0.01	0.03	0.00	0.00	1.42	0.07	1.35
	Esophagus [mGy]	0.51	11.64	0.04	0.56	0.04	0.90	0.90	0.10	0.01	0.05	0.01	0.01	16.76	0.25	16.50
	Stomach [mGy]	0.52	5.48	0.21	2.00	0.15	4.75	4.75	0.28	0.04	0.07	0.01	0.01	29.51	0.94	28.57
	Pancreas [mGy]	1.74	4.72	0.18	2.27	0.17	5.46	5.46	0.25	0.04	0.30	0.05	0.03	25.65	0.90	24.75
	Spleen [mGy]	0.20	1.26	0.06	0.35	0.03	0.68	0.68	1.65	0.20	0.04	0.01	0.01	16.71	0.62	16.09
	Liver [mGy]	2.21	1.92	0.08	1.40	0.11	1.98	1.98	0.08	0.01	0.24	0.05	0.01	11.18	0.48	10.71
	Colon [mGy]	1.72	2.25	0.08	1.20	0.09	2.93	2.93	0.25	0.03	0.29	0.06	0.05	22.21	0.93	21.28
	Ovary [mGy]	0.10	0.04	0.00	0.11	0.01	0.22	0.22	0.06	0.01	0.06	0.02	0.01	24.19	1.24	22.95
	Uterus [mGy]	0.09	0.08	0.00	0.08	0.01	0.22	0.22	0.67	0.01	0.04	0.01	0.01	15.31	0.78	14.52
	Bladder [mGy]	0.04	0.00	0.00	0.09	0.01	0.03	0.03	0.07	0.01	0.03	0.01	0.01	17.00	0.82	16.18
	Testis [mGy]	0.08	0.09	0.01	0.05	0.00	0.10	0.10	0.06	0.01	0.02	0.00	0.00	3.66	0.18	3.48
	Bone marrow [mGy]	0.21	0.29	0.01	0.17	0.01	0.39	0.39	0.12	0.02	0.06	0.01	0.01	8.88	0.50	8.38
	Bone surface [mGy]	0.30	0.56	0.04	0.33	0.05	0.55	0.55	0.16	0.04	0.09	0.04	0.03	13.56	1.80	11.76
	Skin [mGy]	0.27	0.45	0.01	0.19	0.01	0.46	0.46	0.08	0.01	0.03	0.01	0.00	5.91	0.23	5.68
	Entrance skin dose [mGy]	6.10	6.48	0.18	3.01	0.20	6.41	6.41	2.40	0.27	1.07	0.17	0.18	113.23	4.77	108.46
	ICRP 103															
	Remainder tissues [mGy]	1.10	1.38	0.06	0.72	0.06	1.78	1.78	0.24	0.03	0.16	0.03	0.01	12.50	0.50	12.00
	Effective dose [mSv]	0.59	1.37	0.05	0.63	0.05	1.38	1.38	0.14	0.02	0.10	0.02	0.01	11.79	0.57	11.21
	ICRP 60															
	Remainder tissues [mGy]	1.19	1.55	0.06	0.79	0.06	2.14	2.14	0.33	0.04	0.95	0.04	0.01	15.67	0.75	14.92
	Effective dose [mSv]	0.55	1.30	0.05	0.62	0.05	1.32	1.32	0.13	0.02	0.09	0.10	0.01	13.06	0.72	12.35