

## 総 説

### 診療用放射線による患者被ばく

上野 淳二

徳島大学医学部保健学科診療放射線技術学講座

(平成15年3月5日受付)

(平成15年3月7日受理)

#### はじめに

医療における放射線の利用はその範囲がますます拡大し、画像診断のみならず診断手技を応用した治療 (Interventional Radiology : IVR) にも広く用いられるようになってきている。これに伴いIVRなどの手技に起因する潰瘍形成などの皮膚障害例の報告が散見されるようになってきている。ここでは核医学および放射線治療を除いた診断用放射線およびIVRなどによる患者に対する放射線の影響と障害発生予防のための方策などにつき総説する。

国際放射線防護委員会 (ICRP) は1990年勧告 (Publication 60)<sup>1)</sup>において放射線防護の主たる目的は、放射線被ばくを生ずる有益な行為を不当に制限することなく、人に対する適切な防護基準を作成することであるとしている。ICRPの放射線防護体系の基本的要素は、行為の正当化、防護の最適化、個人線量限度の適用 (医療被ばく以外) である。

#### 医療被ばく

放射線被ばくは、被ばく対象により職業被ばく、医療被ばく、公衆被ばくに大別される。患者が診療のために受ける放射線被ばくが医療被ばくである。医療被ばくのなかには集団検診および法律・医学的な目的を含む診断および治療の目的で個人が受ける被ばく、および診断または治療を受けている患者の介護と慰撫のために病院または家庭で手伝う家族および近い友人などの個人の承知のうえで自発的に受ける被ばくがある<sup>1)</sup>がここでは患者自身の被ばくにつき論じる。

#### 放射線診断による日本の国民線量

放射線被ばくを自然放射線被ばくと人工放射線被ばくに分けたとき、人工放射線被ばくのほとんどが医療被ばくによるものである。放射線診断による国民一人当たりの平均的な線量について図1に示す。日本における医療被ばくの量は他の医療先進国と比較してその量が多いが (図2)、それでもこの値は自然放射線被ばくの量と比



図1 1994年における日本の国民線量の内訳  
丸山隆司 著, 生活と放射線, NIRS-M-105, 放射線医学研究所<sup>2)</sup>より改変

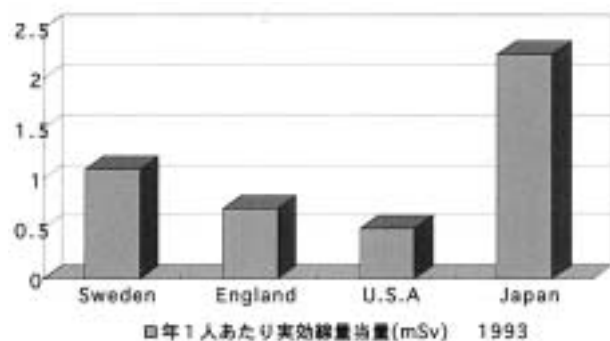


図2  
草間朋子 著, あなたと患者のための放射線防護 Q&A, 医療科学社<sup>3)</sup>より改変

しほぼ同等か少し多い程度の値であり，十分に低い値といえる。

放射線障害

放射線障害を考える場合，身体的障害と遺伝的障害の2つに分類し，身体的障害を早期障害と晩期障害に分けるという方法がある。例として，発がんや白内障，胎児障害などは晩期の障害に含まれる。また，別の角度から放射線障害を確定的影響（しきい値があるもの）と確率的影響（しきい値がないもの）と分類する方法がある。例として，発がんや遺伝的影響にはしきい値は知られていない。一例として皮膚における放射線障害と線量の関係を示す（表1）。

ここで，国民一人当たりの平均的な医療被ばく（放射線診断による）の線量が自然放射線の量とほぼ同等な程度であることを考えると，上述のような確定的影響が発生するとは考え難い。

Interventional Radiology (IVR) による皮膚放射線障害の発生

最近放射線診断技術の治療分野への応用が進み，透視や血管造影の技術を応用した各種IVRが急速に発展し，低侵襲的治療や診療効率の向上などに役立っている。この一方で1990年台前半頃より，心臓カテーテル検査による皮膚放射線障害の症例報告をはじめとして，IVR手技による放射線皮膚障害の例が報告されるようになってきた<sup>4,7)</sup>。ここでいう皮膚障害は放射線被ばくに起因する障害のうち「確定的影響」にあたるもので「しきい値」が存在するとされている。「しきい値」とは感受性の高い人に影響が現れる最小限の線量で，被ばくした集団の中の1～5%に影響が現れる線量である。つまり，しきい値以下の被ばくでは影響が現れないということであるから，診療においてこの「確定的影響」にあたる障害が発生することには問題があるといわざるを得ない。

主なIVRの被ばく線量の推計

このような事態を避けるためには個々の医療行為による被ばく線量が実際どのくらいかをまず知る必要がある。

表1 Radiation-Induced Skin Injuries

Effect	Hours of Fluoroscopic "On Time" to Reach Threshold* at :			
	Typical Threshold Absorbed Dose (Gy)*	Usual Fluoro. Dose Rate of 0.02 Gy/min (2 rad/min)	High-Level Dose Rate of 0.2 Gy/min (20 rad/min)	Time to Onset of Effect**
Early transient erythema	2	1.7	0.17	hours
Temporary epilation	3	2.5	0.25	3 wk
Main erythema	6	5.0	0.50	10 d
Permanent epilation	7	5.8	0.58	3 wk
Dry desquamation	10	8.3	0.83	4 wk
Invasive fibrosis	10	8.3	0.83	
Dermal atrophy	11	9.2	0.92	>14 wk
Telangiectasis	12	10.0	1.00	>52 wk
Moist desquamation	15	12.5	1.25	4 wk
Late erythema	15	12.5	1.25	6-10 wk
Dermal necrosis	18	15.0	1.50	>10 wk
Secondary ulceration	20	16.7	1.67	>6 wk
Radiation-induced cancer not known				>15 y

\* The unit for absorbed dose is the gray (Gy) in the international System of units. One Gy is equivalent to 100 rad in the traditional system of radiation units.

\* Time required to deliver the typical threshold dose at the specified dose rate.

\*\* Time after single irradiation to observation of effect.

放射線皮膚障害における線量 反応関係, Wagner LKら, Potential Biological Effects Following High X-ray Dose Interventional Procedures<sup>9)</sup>より改変

以下に主な IVR の被ばく線量の調査結果を紹介する(表 2, 図 3 a c)

IVR 手技のように照射部位が変化し, 管球皮膚間距離も変化するものでは推計による誤差は大きいことや<sup>9)</sup>, 積算皮膚線量を使用しての直接測定も照射範囲が一定でないことより正確な測定は困難である<sup>10)</sup>とされている。上記のデータにも誤差が原因のばらつきは存在すると思われるが, それを考慮に入れたとしても, 個々の症例や, 施設間での線量格差が大きく, 一般的な線量と一桁違うような検査が存在する。最大の線量を示すような検査が数回繰り返されると容易に20Gy 程度の線量を受ける可能性があり, 皮膚潰瘍などの確定的影響が発生しても不思議ではない状態にあることが理解される。

医療被ばくと線量限度

職業被ばく, 公衆被ばくには線量限度が定められているが, 他の被ばくと異なり医療被ばくには線量限度が定められていない。医療被ばくにおいては, その行為が正当化 (justification) されており, かつ防護が最適化 (optimization) されていれば, 患者の受ける線量は医学上の目的と両立する程度の低さであろうと考えられること。また, 何らかの限度を設けると患者の損害になるかもしれない。したがって ICRP は線量限度を適応すべきでないと勧告している<sup>1)</sup>。

行為の正当化とは, 放射線被ばくが引き起こす放射線損害を相殺するのに十分な便益を生むのでなければ採用すべきでないということである。個々の患者に対する正当化には, 一般的な正当化がなされている単純な診断手法を, その手法が一般的に正当化されている症状の患者に適応する場合には, 必要な情報がこれまで得られていないことをチェックすれば十分である。複雑な診断および治療の手法の場合には, 一般的正当化だけでは不十分

で, 放射線科医と担当医による個別の正当化が重要である。提案される診断および治療の手法とあらゆる代替手段の詳細, 個々の患者の特徴, 予測される患者の線量, 過去とこれから行う検査または治療に関する情報の入手が含まれる。

一方, 防護の最適化とは, すべての被ばくは経済的および社会的な要因を考慮に入れながら, 合理的に達成で

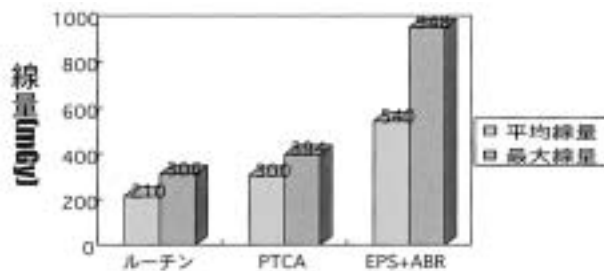


図 3 a 心血管造影検査および治療

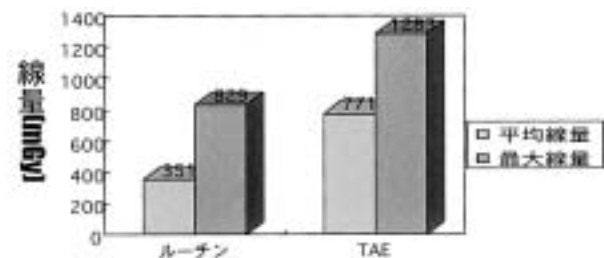


図 3 b 腹部血管造影検査および治療

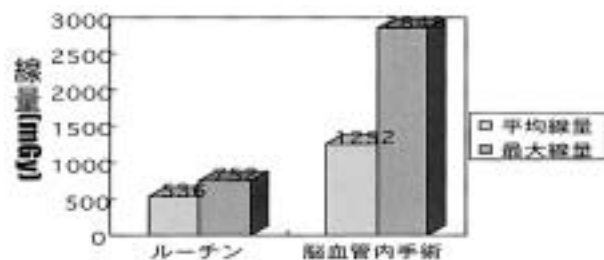


図 3 c 脳血管造影検査および治療

図 3 a, b, c

徳島大学医学部附属病院における IVR の被ばく線量測定結果

表 2 各部位別の主な IVR の被ばく線量推計結果

単位: mGy

部位	術式	透視線量	撮影線量	総線量	最大値	最小値	較差
頭部	血栓溶解 (DSA)	358.8	954.4	1313	2484	155	16.0倍
	動脈塞栓 (DSA)	538.8	153.6	512.4	1364	165.8	8.2倍
胸部	血管形成 (シネ)	579.6	732.8	1312	3722	303	12.3倍
	血栓溶解 (シネ)	504	732.8	1237	3722	292	12.7倍
腹部	動脈塞栓 (DSA)	300.8	512.2	813	2699	75.7	35.7倍

IVR における被曝線量の現状と低減への試み: IVR 調査測定班資料<sup>8)</sup>より改変

きる限り低く保つこと。このことは“as low as reasonable achievable” ALARA (アララ) の原則と呼ばれている。建物、設備および手法の設計から適用にいたるまで放射線利用のあらゆる段階において行われるべきで、具体的には、「設備と施設の設計と構築」、「日々の作業方法」の二つに大別されるが、医療被ばくにおいては後者が特に重要である (ICRP 勧告<sup>1)</sup>より)。

### 最適化における拘束値の使用

医療被ばくは、被ばくする患者に直接の利益をもたらすことを意図している。患者の線量は主に医学的な必要性により決定される。そのため前述のように患者への線量拘束値の適応は不適切である。それにもかかわらず、IVR による皮膚障害例の発生などから、診断による医療被ばくにある程度の制限は必要であるということで、ICRP は Publication 73で「診断参考レベル」<sup>11)</sup>を用いることを勧告した。また、ICRP 1990年勧告<sup>1)</sup>を受け国際原子力機関 (IAEA) を中心とした6機関でも合同で SAFETY SERIES No. 115<sup>12)</sup>を刊行し、「ガイダンスレベル」を提示している。日本でも社団法人日本放射線技師会が「医療被ばくガイドライン (低減目標値)」<sup>13)</sup>を提示している。

「診断参考レベル」<sup>11)</sup>は空気中または単純な標準ファントムあるいは代表的患者の体表面における組織等価物質中の吸収線量といった容易に測定できる量に適用される。診断参考レベルは患者の線量が異常に高い状況を確認するための簡単なテストとしての使用を意図したもの

である。ある手法が常に診断参考レベルを超えることが見つければ、防護が十分最適化されているかどうかを調べるためにその手法と装置をその施設で検討すべきである。もし、十分最適化されていなければ、線量低減の措置をとるべきであるとされている。

以下に被ばく線量低減目標値として示されたガイドラインを紹介する (表3)。

### 透視系検査 (消化管検査、血管造影検査) と治療目的の IVR

通常透視による X 線の線量率は、皮膚吸収線量率で 20mGy/min ~ 50mGy/min であるが、1時間程度の透視でも皮膚障害が発生する可能性があり、IVR など患者被ばく線量 1 Gy 以上になる場合には、適応の判断、診療手技、合併症への対応方法と併せて被ばく線量の記載が必要である。3 Gy 以上になる場合には皮膚障害の可能性を説明し、経過観察が行われなければならない。なお、IVR における被ばく低減の方策については ICRP Publication 85, 2001<sup>14)</sup>に取り上げられており、中村の論文<sup>15)</sup>にその要点が紹介されている (表4)。

### 上部消化管 X 線検査のガイドライン

透視で 15 ~ 20mGy/min、撮影で 0.5 ~ 3mGy/枚程度とすると透視時間によって被ばく線量は 1 桁以上違う可能性がある。透視時間 5 分、撮影枚数を 10 ~ 15 枚程度 (直接撮影) として、ガイドライン (低減目標値) は 1 検査あたりの線量 100mGy (透視線量 70mGy 撮影線量 30mGy) とされている<sup>13)</sup>。

表3 X線単純撮影における医療被曝ガイドライン (低減目標値) (単位: mGy)

頭部 (正面)	3	足関節	0.3
頭部 (側面)	2	前腕部	0.2
頸椎 (正側面)	0.9	手指部	0.1
胸椎 (正面)	4	グスマン法	9
胸椎 (側面)	8	マルチウス法	10
胸部 (正面)	0.3	0才胸部	0.2
胸部 (側面)	0.8	3才胸部	0.2
腹部 (正面)	3	5才胸部	0.2
腰椎 (正面)	5	0才腹部	0.3
腰椎 (側面)	15	3才腹部	0.5
骨盤 (正面)	3	5才腹部	0.7
股関節 (正面)	4	乳幼児股関節	0.2
大腿部	2	乳房撮影	平均乳腺線量 2
膝関節	0.5	グリッド	(+) 入射表面線量 10

(社)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)」<sup>13)</sup>より改変

表4 IVRのガイドライン(低減目標値)

部位	透視線量	撮影線量	総線量
頭部	0.5Gy	1.0Gy	1.5Gy
心臓	0.6Gy	0.7Gy	1.3Gy
胸部・腹部	0.3Gy	0.5Gy	0.8Gy

(社)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)」<sup>13)</sup>より改変

その他問題となる放射線被ばく

子宮の被ばくに伴う影響

被ばくによる接合体、胚、あるいは胎児への影響であるが、これには感受期というものがあり、各時期によって発生する影響と発生率、しきい値などが知られている(表5)。これらのしきい値は100mSv, 200mSvなどと、いずれも比較的低い値であることに注意が必要である。各種放射線診断の際の胎児の受ける被ばく線量を表6に示す。

小児のX線検査

BrennerらはAJR2001年2月号に「小児CTにおけ

表5 胎児の放射線被曝による影響

影響	感受期 (受精後)	発生率 (/Sv)	しきい線量 (mSv)
死亡	0-9日		50-100
奇形	2-8週		100
精神発達遅延	8-15週	0.4	120-200
	16-25週	0.1	
発癌	2週~	0.1-0.15	
遺伝的影響	2週~	0.01	

草間朋子, 妊娠と放射線<sup>16)</sup>より改変

る放射線誘発致死癌の推計」という論文を発表し、小児に対するCT検査での放射線誘発癌による死亡率が成人に比し多いと報告した<sup>17)</sup>。一般に、放射線被ばくの影響は小児においては成人よりも格段に大きいとされ<sup>1,18)</sup>、一般に小児の方が成人よりも被ばく後の生存期間が長いため、放射線障害の発生率も高い。また、わずかな照射野の変化が小児にとっては全身照射となる危険性があるなど、小児の撮影においては専用固定具などを使用して動きを防ぎ、再撮や必要以上の線量を照射しないことが大切である。

小児のCT検査に対してはFDA(Food and Drug Administration)から以下のような通達が出されている。まず、患者の体重やサイズ、部位にあわせてCT撮影のパラメータを症例毎に調整すること。それには管電流をまず減らすこと。患者の体重あるいはサイズ、部位に基づく管電流設定の表を作成し使用すること。CT寝台の撮影中の移動速度を増加させることで線量低減を図ること。必要以上の高解像能の撮影をしないこと。単純CTと造影CTを同時に行うようなことは避け、造影CTだけに限ること。多相撮影を避けること。他の検査で代用できる場合にはこれらの検査方法で代替することで線量低減を図ること。などが挙げられている<sup>19)</sup>。

CTにおける被ばく

医療被ばくのなかでCTの占める割合が増加しているが<sup>20,21)</sup>、西谷らはCTにおける被ばくの問題点として以下のような点を挙げている<sup>22)</sup>。線量が多いほど画質が良いので多い線量の条件を選択しがちであること。撮影条件設定が多くはマニュアルで撮影者、装置、施設ごとに著しく異なること。撮影条件が多様化して、被ばく線量の把握が困難であること。検査が高速化して容易に

表6 放射線診断の際の胎児被ばく線量

通常のX線検査	最小	平均	最大	CT検査	最小	平均	最大
上部消化管	1.1		5.8	骨盤	25.0	26.0	79.0
腹部	1.4	2.9	4.2	腹部	8.0	8.0	49.0
逆行性大腸造影	6.8	16.0	24.0	胸部	0.06	0.6	0.96
経静脈性尿路造影	1.7	3.6	10.0	頭部	<0.005	<0.005	<0.005
腰椎	1.7	3.5	10.0	腰椎	2.4		8.6
骨盤	1.1	1.7	4.0	ICRPおよびNCRP (単位 mSv)			
頭部	<0.01	<0.01	<0.01				
胸部	<0.01	<0.01	<0.01				
胸椎	<0.01	<0.01	<0.01				

草間朋子, 妊娠と放射線<sup>16)</sup>より改変

広い照射野が検査でき、不必要な部位も照射しがちとなること。CT が第一選択となる場合が増加していることや、多相撮影を必要とする検査が増加しているなど検査回数の増加が起きていることなどである。最近導入されたマルチスライスCT では、かならずしも1回あたりの線量が増すわけではない<sup>23)</sup>が、ピッチの設定によってはシングルヘリカルCT よりもはるかに被ばくが多い領域が生じる可能性がある<sup>22)</sup>。以下にCT 検査時の線量(表7)とCT の線量ガイダンスレベル(表8)を示す。

より安全な放射線診療に向かって

より安全な放射線診療のために、EBM (Evidence Based Medicine) の実践がなされ、正当化、最適化がより一層計られねばならない。また、検査前に患者に対し、放射線の影響による障害の可能性について十分な説明がなされ、線量が多い場合は検査後の適切な観察がなされねばならない。今後の課題として、個々の検査における線量の測定が重要となるであろう。測定された線量データに基づく運用の改善が図られるよう検討が必要である。

表7 頭部、腹部CT 検査時の線量(1998)  
(単位:mGy)

部位	平均	標準偏差
頭部CT	上部	40.4 ± 10.80
	中心	45.43 ± 12.15
	下部	40.15 ± 11.55
腹部CT	上部	10.94 ± 3.13
	中心	19.74 ± 5.93
	下部	17.09 ± 5.18

鈴木昇一, 診断で患者の受ける放射線量<sup>24)</sup>より改変

表8 CT の線量ガイダンスレベル

部位	多撮影(1検査)の平均線量(mGy)
頭部	50
腰椎	35
腹部	25

(社)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)」<sup>19)</sup>より改変

謝 辞

資料提供頂きました徳島大学医学部教授の西谷弘先生、徳島大学医学部助教授の吉田秀策先生、徳島大学附属病院診療放射線技師の天野雅史氏に厚く感謝の意を表します。

文 献

- 1) ICRP Publication 60, 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Adopted by the Commission on November 1990, Annals of the ICRP 21, Nos. 1-3, 1991; ICRP 勧告翻訳検討委員会(訳) ICRP Publication 60, 国際放射線防護委員会の1990年勧告, 日本アイソトープ協会・丸善, 1991
- 2) 丸山隆司: 生活と放射線, NIRS M 105, 放医研環境セミナーシリーズ; No. 23放射線医学研究所, 千葉, 1995
- 3) 草間朋子: あなたと患者のための放射線防護 Q&A, 医療科学社, 東京, 1996
- 4) Wagner, L.K., Eifel, P.J., Geise, R.A.: Potential Biological Effects Following High X-ray Dose Interventional Procedures. Journal of Vascular and Interventional Radiology 5: 71-84, 1994
- 5) 神谷秀喜, 瑞雄山栄, 北島康雄: 経皮的冠血管拡張術(PTCA)施行後に生じた放射線潰瘍の1例. 皮膚臨床 40: 1927-1930, 1998
- 6) 稲岡峰幸, 早川和人, 塩原哲夫, 吉野秀朗 他: 経皮的冠動脈形成術後に生じた放射線皮膚炎の3例, 皮膚臨床 41: 1561-1564, 1999
- 7) 西谷弘: 医療被曝の現状と対策, 新医療 28(10): 64-66, 2001
- 8) 日本放射線技術学会関東・東京部会放射線管理研究会: IVRにおける被曝線量の現状と低減への試み, IVR 調査測定班資料, 1997
- 9) Mcparland, B.J.: Entrance skin dose estimates derived from dose-area product measurements in interventional radiological procedures. British J. Radiol., 71, 1288-1295, 1998
- 10) 日本放射線技術学会学術委員会: 血管撮影領域における放射線被曝と防護, 放射線医療技術学叢書(17), pp. 22-25, 社団法人日本放射線技術学会出版委員

- 会, 京都, 1999
- 11) ICRP Publication 73, Radiological Protection and Safety in Medicine, Annals of the ICRP 26, No. 2, 1996; ICRP 勧告翻訳検討委員会(訳) ICRP Publication 73, 医学における放射線の防護と安全, 日本アイソトープ協会・丸善, 1997
- 12) IAEA Safety Series No. 115 I: International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. FAO・IAEA・ILO・NEA・OECD・PAHO・WHO, Vienna, 1994
- 13) (社)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)」. 日本放射線技師会雑誌 47(573): 1694-1750, 2000
- 14) ICRP Publication 85: Avoidance of Radiation Injuries from Medical Interventional Procedures, 2001, Annals of the ICRP 30, No. 2, 2001
- 15) 中村仁信: 放射線診療における被曝・総論, 日本医学放射線学会誌 62: 340-342, 2002
- 16) 草間朋子: 妊娠と放射線, 日本医師会雑誌, 124(3): 367-370, 2000
- 17) Brenner, D.J., Elliston, C.D., Hall, E.J., Berdon, W.E.: Estimated risk of radiation-induced fatal cancer from pediatric CT. AJR 176: 289-296, 2001
- 18) Shimizu, Y., Kato, H., Schull, W. J., Life Span Study Report II. Part 2, Cancer Mortality in the Years 1950-85 Based on the Recently Revised Dose (DS 86) RERF TR 5-88. Radiation Effects Research Foundation, Hiroshima, 1988
- 19) FDA Public Health Notification: Reducing radiation risk from computed tomography for pediatric and small adult patients, November 2, 2001
- 20) Nickoloff, E.L., Alderson, P.O.: Radiation exposures to patients from CT: Reality, public perception, and policy. AJR 177: 285-291, 2001
- 21) Shrimpton, P.C., Wall, B.F., Hart, D.: Diagnostic medical exposures in the U.K. Applied Radiation and Isotopes 50: 261-269, 1999
- 22) 西谷弘, 安友基勝, 富永正英, 福居寿人, 他: CTにおける被曝. 日本医学放射線学会誌 62: 347-351, 2002
- 23) 片倉俊彦, 本田清子, 新野真也, 村上克彦, 他: マルチスライスCTの被曝について, 映像情報 32(2): 39-43, 2000
- 24) 鈴木昇一: 診断で患者の受ける放射線量, 日本医師会雑誌, 124(3): 348-352, 2000

## *Diagnostic medical exposures and your patient*

*Junji Ueno*

*Department of Radiologic Technology, School of Health Sciences, The University of Tokushima, Tokushima, Japan*

### SUMMARY

All medical exposures should be justified (more benefit than risk). This requires not only knowledge of medicine but also of the radiation risks. The magnitude of risk from radiation is dose-related with higher amounts of radiation being associated with higher risks. The aim of managing radiation exposure is to minimise the putative risk without sacrificing, or unduly limiting, the obvious benefits in the prevention, diagnosis and also in effective cure of diseases (optimization). Various diagnostic radiology procedures cover a wide dose range based upon the procedure. There may be a wide variation in the dose given for the same procedure on a specific individual when performed at different facilities. This variation may be up to a factor of ten and is often due to differences in the technical factors for the procedure.

Interventional Radiology is increasingly used by practitioners in many specialties to reduce morbidity and mortality. However, there is a growing literature on serious skin injuries to patients from IVR procedures. The frequency of CT examinations is also increasing rapidly. The absorbed dose to tissues from CT can often approach or exceed the levels known to increase the probability of cancer as shown in epidemiological studies. Especially both the fetus and children are thought to be more radiosensitive than adults. Diagnostic radiology is extremely unlikely to result in doses that cause malformations or a decrease in intellectual function. The main issue following in-utero or childhood exposure at typical diagnostic levels (<50 mGy) is cancer induction.

Now diagnostic reference levels can be used to help manage the radiation dose to patients so that the dose is commensurate with the clinical purpose. Appropriate equipment and training are needed to minimize this risk. Patient counseling should be undertaken routinely, and follow up when appropriate.

Key words : radiation risk, interventional radiology (IVR), computed tomography (CT), diagnostic reference level