



Title	診断用X線による国民線量の推定(1974)第四報 胎児の被爆線量
Author(s)	橋詰, 雅; 丸山, 隆司; 隈元, 芳一
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 1976, 36(7), p. 645-651
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/16508
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

診断用X線による国民線量の推定 (1974)

第四報 胎児の被曝線量

放射線医学総合研究所物理研究部

橋 詰 雅 丸 山 隆 司

技術部

隈 元 芳 一

(昭和51年2月5日受付)

(昭和51年3月24日最終原稿受付)

Estimation of Population Doses from Diagnostic Medical Examinations in Japan, 1974

4. Dose Estimation of Fetus Exposed in Utero to Diagnostic X-rays

Tadashi Hashizume, Takashi Maruyama and Yoshikazu Kumamoto*

Division of Physics and Technical Division*, National Institute of Radiological Sciences,
9-1, 4-chome Anagawa, Chiba, Japan

Research Code No.: 302

Key Words: Population dose, Medical exposure, Diagnosis in utero exposure

The absorbed dose in fetus exposed in utero to diagnostic X-rays for the medical examinations of the mother has been estimated on the basis of a 1974 nation wide radiological survey. The results of the survey showed that the number of radiographs per year connected with pregnant women was 0.32 million for the chest examination excluding mass survey, 0.29 million for obstetric including pelvimetry and 0.21 million for abdomen and pelvis, with a total of 0.82 million.

The absorbed dose in fetus was measured with an ionization chamber placed at the hypothetical center of fetus in an average woman Rando phantom which was simulated for a maternal body by adding MixDp materials. "The collective dose" to the fetus in the pregnant women receiving a given type of examination was calculated from the number of radiographs per year connected with the pregnant women and the fetal doses. The per caput mean marrow dose (CMD), the leukemia significant dose (LSD) and the genetically significant dose (GSD) for the fetus were determined from the collective dose taking account of the birth expectancy, the child expectancy, life expectancy and significant factor for the fetus.

The collective dose to the fetus was estimated to be 9.3×10^4 man rad per year. The resultant value of CMD, LSD and GSD was 0.81 mrad per year, 0.79 mrad per person per year and 1.44 mrad per person per year, respectively.

1. 緒 言

診断用X線による国民線量を論ずる場合、被検者自身の身体的効果については骨髓線量や白血病有意線量が、また被検者の子孫への遺伝的效果については遺伝有意線量が主に考慮されている。しかし、胎内被曝による胎児の放射線感受性が高いことから、妊婦又は妊娠可能な女性のX線診断では胎児 (Embryo と Fetus) の被曝線量が問題となる。国際放射線防護委員会 (ICRP) では、胎内で被曝した人の白血病発生率が小児や成人になつて被曝した人のそれより、5～10倍も高いことを示唆している⁵⁾。広島、長崎における胎内被曝者への生物学的効果の解析結果⁶⁾¹⁰⁾¹²⁾からも、小頭症や知能発育遅滞などの障害が胎内被曝に起因することがわかつている。BEIRレポート⁹⁾にも胎児被曝による放射線障害の危険性が警告されている。放射線の医学利用においても、胎児への被曝を低減させるため妊婦や妊娠可能な女性に対するX線撮影などを制限している。しかし、X線診断の医学的価値観から、妊婦の撮影による胎児被曝の可能性はかなり高い頻度で存在しているのが実情である。原子放射線の効果に関する国連科学委員会 (UNSCEAR) はX線診断における胎児被曝の情報が乏しいことから、先進国に対してこの面での調査を行うよう呼びかけている¹¹⁾。著者らも1974年のX線診断の実態調査から、胎児被曝を考慮している。すでに第一報で報告したように、1974年に我が国で行われたX線診断の中に骨盤計測・産科的撮影が約20万件、その他の部位の撮影を含めると約68万件の妊婦に対する診断が行われた²⁾。これは女性の全撮影件数約8,660万件のほぼ0.8%にしかすぎないが、胎児の放射線感受性が高いことを考えるとこの数字は決して無視できない。

最近、第24回国連科学委員会 (UNSCEAR) は collective dose (ここでは仮に、集合線量と呼ぶことにする) を提案している⁹⁾。これは従来の Population dose とほぼ同じ概念である。

本報告は1974年のX線診断の実態調査にもとにして、胎児の集合線量を推定し、さらに胎児の一

人当たり平均の骨髓線量 (per caput mean marrow dose)、白血病有意線量および遺伝有意線量を算定したものである。

2. 妊婦の撮影件数

全国の医療施設を規模別に、A (300ベッド以上)、B (20～299ベッド)、C (19ベッド以下)、D (保健所) および E (ドック) の5つのグループに分けた。これらのグループからそれぞれ10, 5, 2, 5および20%の割合で無作為に抽出された総数1,431施設を対象に、1974年11月の一週間の撮影、透視件数を性別、年齢別および診断部位別に調査し、特に女性の診断では妊娠か否かを調べた²⁾。回答率はA, B, C, DおよびEグループの施設でそれぞれ85, 67, 66, 76および67%であつた。抽出率および回答率を用い、さらに1年を52週として、調査結果から年齢別、診断部位別に妊婦の撮影件数の年間総数を推定した。それらの結果を表1に示す。DおよびEグループの施設では妊婦の撮影はゼロであつた。

3. 撮影条件と胎児の線量

胎児の線量を測定するため、妊婦の撮影を行つたA, BおよびCグループの施設からそれぞれ23, 43および64施設を無作為に抽出し、妊婦の撮影の物理的条件を調査した。施設グループ別、撮影部位別に調査から得られた平均の撮影条件を表5に示す。

妊婦の撮影のうち、胸部、腹部および腰部 (臀部を含む) の撮影は妊娠初期に行われると考え、産科的撮影 (骨盤計測を含む) は妊娠末期に行われると考えた。胎児の位置は妊娠月数や個体差などによつて異なるが、産科学の教科書¹²⁾やX線写真によつて決めた。妊娠初期では胎児の中心は恥骨結合上端の皮膚面から9 cmの深さとし、RAND女性ファントムを用いて胎児の線量を測定した。妊娠末期では妊婦の腹厚を30 cmとして、30×20×30 cmの Mix Dp ファントムでRANDファントムの腰腹部をおきかえて胎児の線量を測定した。この時期の子宮底の高さはほぼ30 cmであるとして、胎児の中心は腸骨突起の高さで腹部中央皮膚面から8 cmの深さとした。線量計にはX線フィ

Table 1. Number in thousands of X-ray radiographs by maternal age and type of examination.

Type of Examination	Size of Medical Installation***	Maternal Age Group (yr-old)					Sub-Total
		15—19	20—24	25—29	30—34	35—	
Chest*	A	—	43.0	60.8	22.8	4.4	131.0
	B	—	11.7	15.7	12.0	—	39.4
	C	—	20.4	68.4	63.5	—	152.3
	Sub-Total	—	75.1	144.9	98.3	4.4	322.7
Abdomen	A	—	33.6	30.4	5.0	3.8	72.8
	B	—	17.3	15.6	4.6	0.6	28.1
	C	—	13.0	13.0	—	—	26.0
	Sub-Total	—	63.9	59.0	9.6	4.4	136.9
Pelvis	A	—	6.3	14.5	—	2.5	23.3
	B	3.5	20.5	5.2	6.9	—	36.1
	C	—	8.7	—	—	—	8.7
	Sub-Total	3.5	35.5	19.7	6.9	2.5	68.1
Obstetric**	A	—	8.2	22.8	25.3	3.8	60.1
	B	—	8.7	31.3	3.3	—	43.3
	C	—	85.8	87.0	8.9	—	182.5
	Sub-Total	—	103.7	140.9	37.5	3.8	285.9
Total		3.5	278.2	364.5	152.3	15.1	813.6

* excluding mass survey of the chest.

** including pelvimetry.

*** The medical installations on which the radiological survey were made were categorized by bed numbers as follows: A; 300 beds and more; B: 20 beds to 299 beds; C: 19 beds and less.

Table 2. Technical factor used for a given type of examination* and Fetal dose**

Type of Examination	Size of Medical Installation	Tube Voltage (kV)	Exposure Condition (mAs)	Source to Skin Distance (cm)	Field Size (cm × cm)	Frequency of Field Projection***			Averaged Fetal Dose** (mrad)
						PA	AP	L(%)	
Chest	A	114	12	180	36 × 36				
	B	116	16	190	40 × 40	75	8	17	0.32
	C	60	19	165	34 × 35				
Abdomen	A	77	44	105	34 × 30				
	B	78	45	100	35 × 35	60	40		60
	C	79	30	99	29 × 32				
Pelvis	A	72	72	96	32 × 33				
	B	81	78	100	35 × 34		100		110
	C	67	70	95	33 × 35				
Obstetric	A	77	114	100	31 × 31				
	B	78	111	100	34 × 34	20	63	17	270
	C	83	80	100	35 × 35				

* The technical factors were obtained from the hospitals and clinics randomly sampled in the frequency survey. The technical factors were those under average conditions for each type of examination.

** The absorbed dose in fetus was measured with an ionization chamber in a phantom exposed to diagnostic X-rays according to the technical factors. Taking into account of the number of radiographs by the size of medical installation and the frequency of incident field projection, the average fetal dose was determined.

*** PA: Postero-anterior; AP: Antero -posterior; L: Lateral

ルムベース（厚さ0.44mm）の内面に導電性塗料（アカダック）を塗布した直径2cm、長さ4cmの円筒型空気電離箱を用いた。撮影用X線装置として、東芝製 KXO-8を用いた。電離箱をRANDファントム中の胎児の位置にセットし、表2に示した部位別、施設グループ別撮影条件に従ってX線を照射して胎児の線量を測定した。撮影部位別に測定した線量を撮影時の方向使用率と表1に示す施設グループ別撮影照射回数で加重平均し、1回の撮影当りの胎児の平均線量を算出した。表2にその結果を示す。

4. 集合線量 Collective dose の推定

UNSCEAR の資料⁹⁾によれば、ある線源 k からの放射線傷害は集合線量 S_k によつて評価できるとして、 S_k （単位は $\text{man} \cdot \text{rads}$ ）を次のように定義した。

$$S_k = \sum_i D_{ki} N_i \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 D_{ki} はあるグループでの個人に線源 k によつて寄与される吸収線量、 N_i はそのグループ内の個人の数である。集合線量は世界の全集団、各国の集団あるいは個人にも適用できる広汎な量である。医療被曝では、あるタイプ x の診断や治療によるある臓器 p の集合線量 $S_{p,x}$ はグループ i が1人からなるとして次式で与えられている。

$$S_{p,x} = 1 \text{man} \sum_i D_{p,x,i} \quad \dots\dots\dots (2)$$

しかし、実際にはある医療被曝 X を受けたグループ x の全員について、個々に臓器 p への集合線量を推定することは困難である。そのため、医療被曝 X を受けた集団から任意抽出法などによつて抽出した標本（標本の数 n_x ）を作成し、標本の集合線量 S_{p,x,n_x} から集団全体の集合線量 $S_{p,x}$ を次式で推定する。

$$S_{p,x} = \frac{N_x}{n_x} S_{p,x,n_x} \quad \dots\dots\dots (3)$$

集合線量は遺伝有意線量や白血病有意線量に比べて、算出が容易であり、比較しやすい線量である。放射線の危険度の評価を行う場合、 man rad 当りの放射線傷害発生率などを議論するのに好都合な量である。“per caput” dose $\bar{D}_{p,x}$ もこの集合線量を全人口 N で除すことによつて容易に求

められる。

$$D_{p,x} = \frac{S_{p,x}}{N} \quad \dots\dots\dots (4)$$

しかし、遺伝的効果や発癌効果を考える場合には、子供期待率や平均余命などの補正が必要であり、単に個人の受けた線量のみで被曝によつて起り得る生物学的危険度を評価することはできない。そのような場合には、従来通り、子供期待率や平均余命等を考慮した遺伝有意線量（GSD）や白血病有意線量（LSD）などが用いられる。

a) 胎児の集合線量

本報告では、(3)式に基づいて胎児の集合線量を算出する。任意抽出法によつて作成した標本での撮影1回当りの胎児の線量（表2）は(3)式の $S_{p,x,n_x}/n_x$ に相当する。妊婦は一人の胎児しか持つていないと仮定すれば、Table 1の妊婦の撮影回数は(3)式の N_x に相当する。Table 1とTable 2の値から胎児の集合線量が求められる。その結果をTable 3に示すが、 $9.3 \times 10^4 \text{ man} \cdot \text{rad}$ であった。

b) 胎児の一人当たり平均骨髓線量と白血病有意線量

白血病に関係する主要な決定臓器はほぼ全身に分布している骨髓中の赤色髄とされている。胎児についても、赤色髄が白血病の主要な決定臓器であると考えられる。一方、母体内における胎児の位置は胎齢や個人差だけでなく、母体の条件などいろいろな因子に左右される。胎児の母体内での姿勢も変化しているので、胎児の骨髓線量を決定することは困難である。今回の線量推定では、胎児の中心と決めた位置に全赤色髄が集中している仮定し、胎児の骨によるX線の減弱や骨梁からの二次電子による超過線量などは無視することにした。

最近の統計によれば、全国の出産数は年間204万件で、そのうち、生産数は年間191万件である。

この出産数は生産、死産および流産数の和である。従つて、生産率は93.6%であり、胎児はこの割合で生まれてくる。胎児期被曝に起因する一人当たり平均骨髓線量（CMD）や白血病有意線量

Table 3. Collective dose to fetus by maternal age and type of examination (man rads)

Type of Examination	Maternal Age Group (yr-old)					Sub-Total
	15—19	20—24	25—29	30—34	35—	
Chest	—	24	46	32	1	103
Abdomen	—	3,834	3,540	576	264	8,214
Pelvis	385	3,905	2,167	759	275	7,491
Obstetric	—	27,999	38,043	10,125	1,026	77,193
Total	385	35,762	43,796	11,492	1,566	93,001

(LSD)を推定する場合には、この生産率を考慮せねばならない。CMDは胎児の集合線量に0.936を乗じ、1975年の人口 1.08×10^8 で除すことによつて求められる。その結果、胎児期被曝に起因するCMDは0.81mrad/yearであつた。胎児期被曝児の白血病発生の有意率は0～4歳のそれと同じで、0.98である⁴⁾とする。胎児期被曝に起因するLSDはCMDに0.98を乗ずることによつて求められ、0.79mrad/person/yearであつた。

c) 遺伝有意線量

従来遺伝有意線量(GSD)は将来生れてくる子供への遺伝的効果を考える一つの目安として、UNSCEARが提案している重要な集団線量の一つである。生殖腺の集合線量に子供期待率を加重し、集団全員から将来生れてくる子供の数で除した一種の加重平均値としてGSDが与えられている。胎児の場合には性別が不明であるため、生殖腺の位置は胎児の中心にあるとし、子供期待率は0～4歳児の男女の平均値を用いて胎児期被曝に起因するGSDを求めた。表3に与えた集合線量に生産率：0.936と子供期待率³⁾： $(2.02 + 2.11)/2$ との積を将来の子供期待数²⁾： 1.21×10^8 で除して、胎児期被曝に起因するGSDとした。その結果、GSDは1.44mrad/person/yearであつた。

5. 考 察

(1) 超音波による胎児の診断が普及しつつあり、X線による胎児の診断は減少の傾向にあるといわれている。しかし、母体の健康保持の立場か

ら妊婦のX線診断は行われている。これまで我が国で妊婦のX線診断について調査報告がないので、過去のデータとの比較はできない。第一報に述べたように1974年に妊婦の受けたX線撮影の回数は約80万回で、出産数約200万件の40%に相当する。このうち、産科的撮影件数は約20万件であつた²⁾。今回の調査においても、これを上回る撮影回数を得られたが、少くとも10%が母体内で直接線に被曝したことになる。

(2) 線量推定のために重要な因子である妊娠月数例の撮影回数の調査ができなかつたため、一般的な考え方に従い産科的撮影は妊娠末期に行われ、他は妊娠初期に行われると仮定した。胎児の成長が進むにつれて、胎児にあたる直接腰部の撮影のとき、直接線錐中に入っている割合線、散乱線ともに増加する。従つて、今回推定した胎児の線量は産科的撮影以外で過少評価していることがあるかも知れない。

(3) 国連科学委員会(UNSCEAR)から提案された集合線量(collective dose)³⁾の考えを胎児の線量推定への適用を試みた。この線量は胎児の放射線損傷の評価に関連する量であり、生産率の補正はすべきではないと考えた。

(4) 胎児の赤色髄は胎児の中心に集中していると仮定し、CMDを推定した。この仮定は、表2に示すように産科的撮影が大きな照射野で行われていることから、第一近似と考えられる。胎児の場合、母体内の位置や姿勢が一定でないため、理論的にも実験的にも、胎児の線量を精度よく測

Table 4. Population dose from diagnostic medical X-ray examinations in Japan, 1974

Type of Population Dose	Population Dose (mrad per person per year)		
	General Population*	Fetus**	
	Radio-graphy	Fluoro-scropy	Radio-graphy
per Caput Mean Marrow Dose (CMD)	37.0	70.0	0.81
Leukemia Significant Dose (LSD)	32.1	61.2	0.79
Genetically Significant Dose (GSD)	11.1	5.4	1.44

* Refs (3) and (4)

** Present Data

Table 5. Genetically Significant Dose from fetus exposed in Utero to Diagnostic X-rays by Countries*

Country	Genetically Significant Dose (mrad per person per year)
Czechoslovakia	1.39
Finland	3.88
Germany	0.02
New Zealand	2.21
U.K.	1.69
U.S.A.	0.9
Japan (present data)	1.44

* Ref, (11)

定することは困難である。国民線量を推定するための胎児の位置や姿勢について、さらに検討をつづけていきたい。

(5) Table 4 に直接撮影による国民線量を一般人^{3),4)}と胎児について比較した。胎児期被曝に起因するGSDは一般人のそのほぼ10%に相当している。

(6) Table 5 に今回推定した胎児期被曝に起因するGSDを諸外国の値¹¹⁾と比較した。フィンランドとドイツの値を除けば、我が国の値はほぼ中央値である。ドイツやU.S.A.が低いのは、妊娠時の撮影を制限しているからである。我が国でも、妊娠時の撮影は如何にあるべからず権威ある機関から勧告されるべきである。

(6) 白血病発生の危険度は1 rad 当り100万人当り約20人⁹⁾とされている。もし、胎児がこの10倍の危険度をもつとすれば、胎児の受けた集合

線量 $9.3 \times 10 \text{ man} \cdot \text{rad}$ によつて、将来に20人弱の白血病発生の危険があることになる。

(7) 一般に、3 カ月以内に妊娠を知るとは困難とされているため、今回の実態調査では、明らかに妊娠と判断されている女性だけが対象となっている。

6. 結 語

(1) 胎児が被曝したと思われるX線撮影回数は1974年には約81万回であつた。そのうち胸部撮影が32万回で全体のほぼ40%を占め、胎児の線量が最も大きいと考えられる産科的撮影が29万回で36%もあつた。

(2) 母体のX線撮影による胎児の集合線量 (collective dose) は年間で $9.3 \times 10 \text{ man} \cdot \text{rad}$ であつた。この83%は産科的撮影によつている。

(3) 母体のX線撮影による胎児期被曝に起因する一人当り平均骨髓線量 (CMD) は0.81mrad/year, であり、白血病有意線量 (LSD) は0.79 mrad/person/yearで、遺伝有意線量 (GSD) は1.4mrad/person/year であつた。

(この研究の一部は文部省科学研究費(北畠班)によつて行なわれた。)

本稿を終るに当たり、常に有益な御助言を賜つた御園生圭輔所長に深甚の謝意を表すと共に、データ整理に御協力下さつた田中和子嬢に感謝します。

文 献

- 1) Hasegawa, T.: Sankagaku, Vol. 1. Nanzando Press (Tokyo), 1970.
- 2) Hashizume, T., Maruyama, T. and Kumamoto, Y.: Estimation of population doses from diagnostic medical examinations in Japan, 1974. 1) The number of radiographs, radiographic and fluoroscopic examinations. Nippon Acta Radiol., 36 (1976), 47—54.
- 3) Hashizume, T., Maruyama, T. and Kumamoto, Y.: Estimation of population doses from diagnostic medical examinations in Japan, 1974. 2) Estimation of genetically significant dose. Nippon Acta Radiol., 36, (1976).
- 4) Hashizume, T., Maruyama, T. and Kumamoto, Y.: Estimation of population doses from diagnostic medical examinations in Japan, 1974. 3) per Caput mean marrow

- dose and leukemia significant dose. Nippon Acta Radiol., 36, (1976).
- 5) International Commission on Radiological Protection: ICRP Publication 16. Pergamon Press (Oxford, London, New York), 1971.
- 6) Jablon, S. and Kato, H.: Childhood cancer in relation to prenatal exposure to atomic bomb radiation, Lancet, 7681, (1970), 1000.
- 7) Ministry of Health and Welfare in Japan (Division of Statistics): Private Communication, (1975).
- 8) Misono, K.: Hoshasen Kagaku, 19, (1976), 1. (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation; A/AC. 82/R. 304, 1975).
- 9) National Academy of Sciences: BEIR-Report, National Research Council Washington, D.C. (1972).
- 10) Tabuchi, A., Hirai, T., Nakagawa, S., Shimada, K. and Fujito, J.: Clinical findings on in utero exposed microphalic children, ABCC-TR, 28—67, (1967).
- 11) United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: Ionizing Radiation; Levels and Effects, Vol. 1. United Nations, (1972).
- 12) Wood, W., Johnson, K.G., Omori, Y., Kawamoto, S. and Keehn, R.J.: Mental retardation in children exposed in utero to the atomic bombs in Hiroshima and Nagasaki, ABCC-TR 10—66, (1966).