The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	CT検査件数及びCT検査による集団実効線量の推定
Author(s)	西澤, かな枝; 松本, 雅紀; 岩井, 一男 他
Citation	日本医学放射線学会雑誌. 2004, 64(3), p. 151-158
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/18571
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

CT検査件数及びCT検査による集団実効線量の推定

西澤かな枝[1)]　松本　雅紀[2)]　岩井　一男[3)]　丸山　隆司[1)]

1)放射線医学総合研究所医学物理部　2)放射線医学総合研究所防護体系研究グループ
3)日本大学歯学部放射線学教室

Survey of CT Practice in Japan and Collective Effective Dose Estimation

Kanae Nishizawa[1)], Masaki Matsumoto[2)], Kazuo Iwai[3)], and Takashi Maruyama[1)]

Computed tomography (CT) has been established as an important diagnostic tool in clinical medicine and has become a major source of medical exposure. A nationwide survey regarding CT examinations was carried out in Japan in 2000. CT units per million people in Japan numbered 87.8. The annual number of examinations was 0.1 million in those 0-14 years old, 3.54 million for those 15 years old and above, and 3.65 million in total. Eighty percent of examinations for those 0-14 years old were examinations of the head, as were 40% for those 15 years old and above. The number of examinations per 1000 population was 290. The collective effective dose was 295×10^3 person·Sv, and the effective dose per caput was evaluated as 2.3 mSv.

Research Code No.: 302.2

Key words: CT, Medical exposure, Collective effective dose

Received Sep. 25, 2003; revision accepted Dec. 22, 2003

1) Division of Medical Physics, National Institute of Radiological Sciences
2) Environmental Radiation Protection Research Group, National Institute of Radiological Sciences
3) Department of Radiology, Nippon University School of Dentistry

別刷請求先
〒263-8555　千葉市稲毛区穴川4-9-1
放射線医学総合研究所医学物理部
西澤かな枝

緒　言

コンピュータ断層(以下CTという)撮影装置はおよそ30年の間に発展改良が重ねられ，臨床的有用性の向上はCTの診断装置としての重要性を確立した．その普及はめざましいものがある一方，CTによる診断は被検者の被ばく線量が比較的高い検査であるため，この点においても注目度が増している．2000年の国連科学委員会(UNSCEAR)報告書[1)]によれば，世界各国においても被検者線量は比較的高いレベルであるにもかかわらず，得られる画質と画像取得速度に対する技術開発が，ますます広範なCT検査の増加を促進しているとしている．丸山ら[2)]によれば1989年のデータで日本におけるCTの線量は国民1人当たり平均ですでに医療被ばく全体の3分の1を占めていた．CT検査時の被検者の被ばくは同じ検査部位でも装置機種により，医療施設によりかなり異なる．そこで，2000年にCT設置医療機関の協力を得て日本におけるCT検査の実態を調査した．その結果をもとに推定したCT検査件数と実効線量を報告する．

調査方法

国民衛生の動向[3)]に掲載された1999年の全国の病院におけるCT設置施設数は9,930施設，装置数は10,693台であった．新医療[4)]によれば2000年10月現在で示された稼働中のCT装置数は11,050台で3.3%の増加であった．調査は2000年に行ったが，この年のCT設置施設数が入手できないため，1999年の施設数に基づいて，以下のようにアンケート調査を行った．

i)調査対象

CTを設置している全国の医療施設を病院要覧[5)]の病床数を参考に次の4群に分け，それぞれから無作為にTable 1のように抽出した．

A：ベッド数1,000以上の病院
B：ベッド数300以上999までの病院
C：ベッド数20以上299までの病院
D：ベッド数20未満の医院または診療所

Table 1 Number of medical facilities sampled, number of respondents, and rate of return

Facilities	Number of facilities	Sampled facilities	Sampling rate (%)	Responded facilities	Response rate (%)
A	52	25	48	22	88.0
B	1268	227	18	175	77.1
C	5293	607	11.5	428	70.5
D	3317	152	4.5	97	63.8

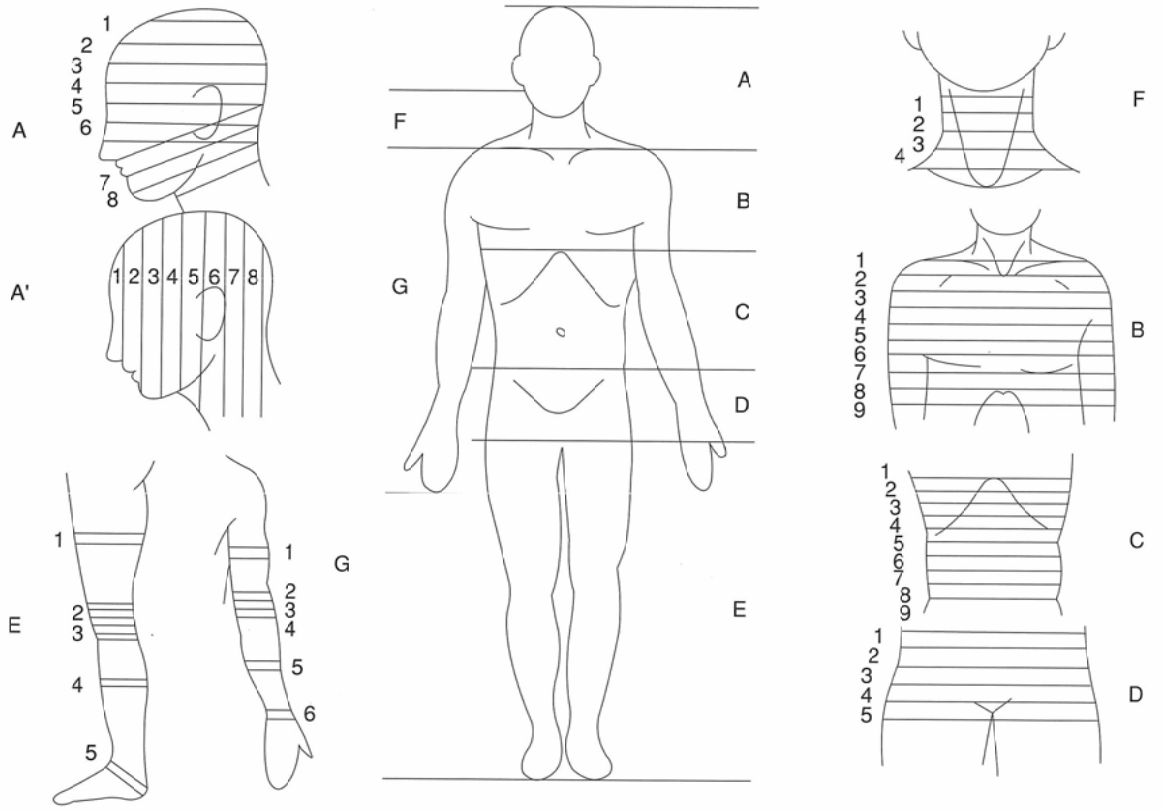

Fig. 1 Scanning position classification.

ii)調査期間

調査期間は2000年11月のうちの連続した1週間とした．しかし，複数の装置を保有するなど1日の検査数が極めて多い場合はなるべく平均的と思われる1日についての記載を依頼した．また，調査月，週を含む年の月ごとの検査数が1年のうちの平均と大きく隔たっている場合の補正，および，年間数の把握のため，2000年の月ごとの検査件数および患者数の記載を依頼した．

iii)調査項目

以下のような4種類の調査用紙を用意した．

調査用紙1：使用しているCT機種および，部位ごとの平均撮影条件(管電圧，管電流，ビーム厚，スキャン時間など)．

調査用紙2：調査期間中に行われたCT検査の，被検者ごとの年齢・性別・検査部位(スキャン位置)・スキャン数及びスキャン条件．スキャン条件は用紙1で記入された条件の中から選ぶものとした．人体部位はGamgarelliら[6]の図を参考にした区分図(Fig. 1)を調査用紙中に示し，その分類により，また，複数の装置を使用している場合は装置ごとに記入することとした．

調査用紙3：CT透視などの特殊検査を行っている場合，撮影条件や被検者ごとに関する調査用紙1および2の事項．

調査用紙4：2000年1年間の月別性別検査件数および患者数．

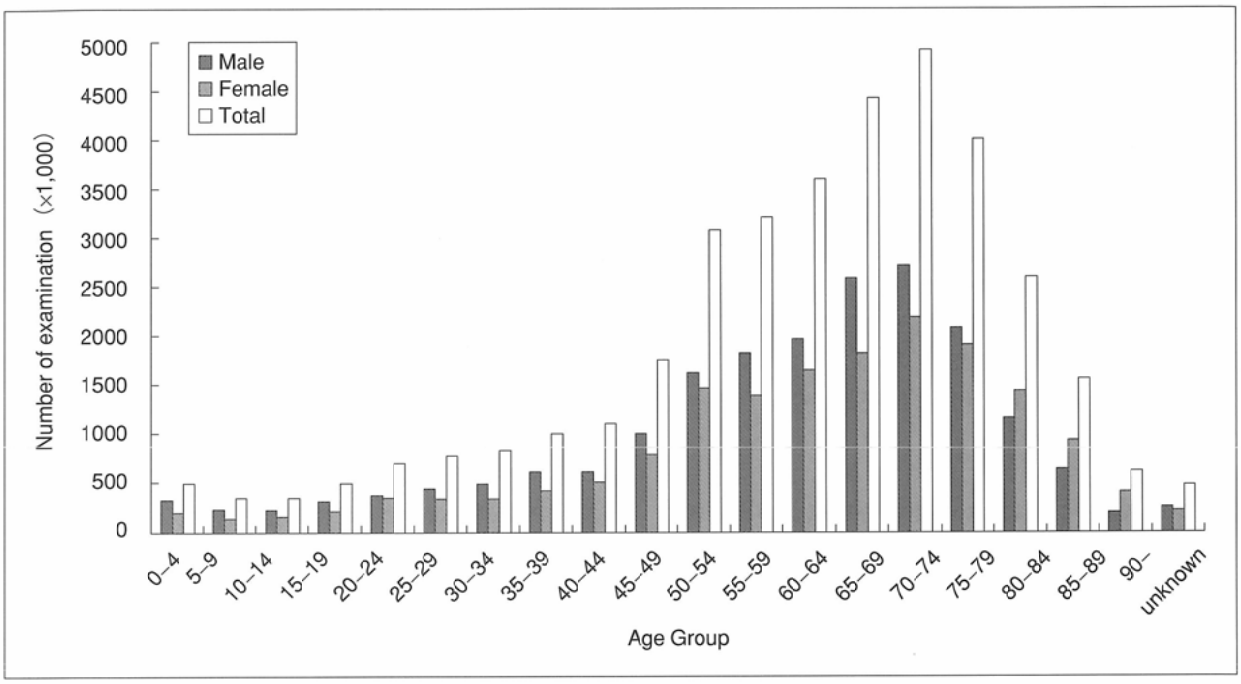

Fig. 2　Annual number of CT examination by age group (×1,000).

調査結果

i) 回答率

調査表を発送した1,011施設のうち722施設から回答があった．回答率は医療施設の群別によるが63.8％から88.0％であった．これらをTable 1 に示す．

ii) 集計

調査用紙 1 によるCT機種および，部位ごとの平均的な撮影条件を調査用紙 2 の被検者個々のデータに取り入れ，後述の集団実効線量推定計算に用いた．

調査用紙 2 の，被検者ごとのスキャンに関するアンケートは 1 週間のデータであった場合はそのまま使用し，1 日分のデータを提供された場合，5 倍して 1 週間のデータとした．さらに 1 年の診療週を51週とし，1 年間のデータとした．性別が不明の場合は明らかであるデータの数の比で男女に分配した．年齢が不明の場合は成人として計算した．

調査用紙 3 はCT特殊検査に関してのアンケートであったが，該当する病院はA群 6，B群28，C群13，D群で 0 施設であった．

調査用紙 4 により年間の月別検査件数と被検者数を訊ねた．年度ごとに記録を集計する施設もあり，1 月から12月の設定は不都合な場合があった．月ごとの頻度傾向を検討する場合は毎月にデータのあった医療施設数のみで平均した．

ii) 年間の検査件数

調査用紙 2 の被検者ごとの記録から集計し，各回答期間，抽出率，回答率を考慮して年間数に推計した 1 年間の検査件数は男性1,971万件，女性1,684万件，合計3,655万件であった．年齢群別の検査件数をFig. 2 に示した．0～14歳が男性71万件，女性43万件，合計114万件，15歳以上が男性1,900万件，女性1,641万件，合計3,541万件であった．一方，調査用紙 4 による月ごとの件数からの集計によると，男女合計件数は3,906万件で，約251万件の違いがあったが今回の集計には調査用紙 2 による結果を採用した．Fig. 3 に月毎の検査件数を年間の数で割った比を示した．月毎の検査数の変動は年間で最大 2％であった．1 年を100％とした

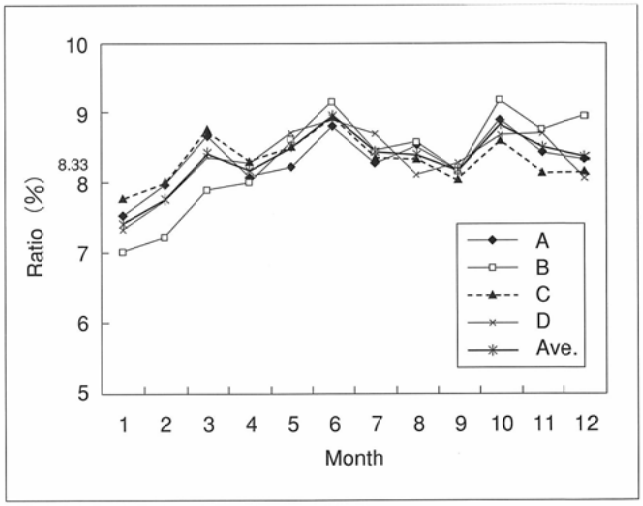

Fig. 3　Ratio of the number of monthly examinations.

とき月ごとの割合は8.33％であるので調査を行なった11月はほぼ平均であった．最も平均的なのは8月であった．

調査用紙4の月別検査件数および被検者数から推定した検査件数と被検者数との比は患者1に対し，検査件数1.3で，1人の患者に対し，およそ1.3回の検査が行われていた．

Table 2に部位別検査件数を示した．Fig. 4に0～14歳までと，15歳以上に分けた部位別検査件数の割合を示した．0～14歳では，頭部検査が全体の80％を占め圧倒的に多かった．15歳以上でも40％が頭部または頭部を含む検査であった．

2000年の日本人の総人口12,589万人[7]を用いて計算した人口千人当たりの検査件数は290件と推定された．

iv）スキャン数

プレーンのスキャン数についても調査用紙2の被検者ごとの記録から集計し，各回答期間，抽出率，回答率を考慮し年間数に推計した結果，男性507百万，女性398百万，合計906百万スキャンとなった．単純に検査件数で割ると1件当たり24.8スキャン行われていることになる．ダイナミックスキャンなどを加えると，スキャン総数は男性740百万，女性558百万，合計1,298百万スキャンとなった．Fig. 5に部位別の平均スキャン数を示す．頭部から体幹部まで，あるいは胸腹部など続けてスキャンする場合は当然多くなるが，胸部で32，エンハンススキャンなどとの合計35.7スキャン，腹部ではプレーン約28，エンハンススキャンなどを加えると48.5スキャンに達した．

v）特殊検査

CT透視が行われている病院は回答のあった病院のうち，Aグループは31.6％，Bは19％，Cは5％と推定された．したがって，全国でCT透視が行われている割合も同様であると仮定して，1年間に23,700件が行われたと推定した．症例数が少なく，回答のあった医療施設の平均で月2例程度であった．この件数は一般の検査件数の0.06％であり，大きな影響はないと思われたため，集団実効線量計算には含めなかった．検査件数と患者数の比は1：1.12であった．

実効線量の推定

CT検査による被検者の被ばく線量はスキャン部位，スキャン条件によっても大きく異なるのは当然であるが，機種によっても異なる．個人の被ばくは臓器組織線量の評価が重要であるが，本調査の目的である集団実効線量評価は個々の体格などには着目できないため以下のような計算を行った．

実効線量の推定はCT線量指標（CTDI[8), 9)]）を用いる方法[9), 10)]で行った．この方法では，各CT装置の管電圧ごとのnCTDIw（mAs当たりに標準化されたCT線量指標）データを必要とする．寄せられた回答では6つのメーカーの52機種

Table 2 Annual number of CT examination by scan region (×1,000)

Scan region	Male	Female	Total
Head	8,247	7,763	16,010
Head–Chest	203	162	365
Head–Abdomen	98	69	167
Head–Pelvis	40	31	71
Chest	2,889	2,115	5,004
Chest–Abdomen	2,415	2,072	4,487
Chest–Pelvis	741	569	1,310
Abdomen	2,963	2,184	5,147
Abdomen–Pelvis	1,751	1,493	3,244
Pelvis	262	290	552
Others	99	96	195
Total	19,708	16,844	36,552

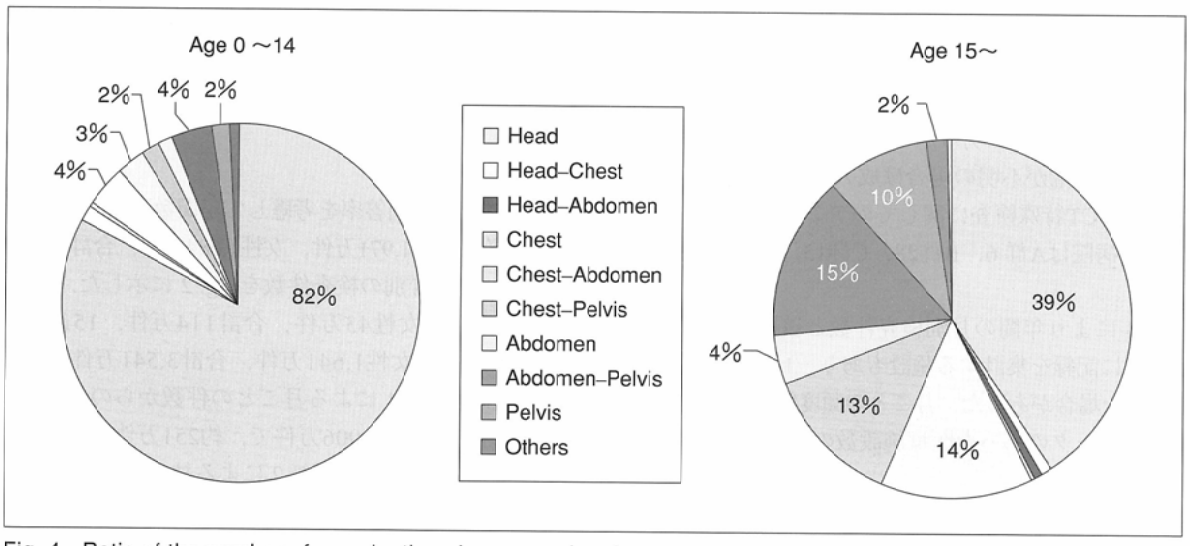

Fig. 4 Ratio of the number of examinations by scanned region.

Table 3　Value of nCTDIw (mGy/100 mAs) drawn from imPACT data

Tube voltage (kV)		Head	Body
80	nCTDIw	6.95	3.20
	S.D.	2.65	1.07
100	nCTDIw	10.36	5.06
	S.D.	6.07	3.07
120	nCTDIw	17.83	8.70
	S.D.	6.87	4.47
140	nCTDIw	22.18	11.54
	S.D.	8.00	2.65

Table 5　Age dependency of E_{DPL} for effective dose calculation (Average value of three CT units) (After Khursheed A, et al.[12])

Age	Adult	15	10	5	1	New
Head and Neck	1	1.05	1.16	1.45	1.97	2.28
Trunk	1	1.08	1.27	1.38	1.56	1.76

が使われていた．欧米では例えばFDA（米国食品医薬品局 Food and Drug Administration）のような強制力を持ってCTDIの収集を行っているが，日本ではそのような機関がないため，データの入手は極めて困難である．そこで，イギリスに事務局を置くimPACT[11]という組織が収集しているnCTDIwデータを使用した．imPACTが収集しているデータのうち，アンケート調査で現れなかったメーカーと機種のデータを取り除き，残りを管電圧ごとに平均した．この値をTable 3 に示す．

計算は次式に従って，個々の患者ごとに行い，集計した．

$$DLP = \Sigma nCTDIw \cdot d \cdot A \cdot t \quad (1)$$

$$E_{eff} = E_{DPL} \cdot DLP \quad (2)$$

ここで，dはスライス厚(cm)，Aは管電流と照射時間の積(mAs)，tはスライス数である．DLPは線量とスキャン範囲を考慮した値(Dose Length Product)で，nCTDIwにビーム幅と管電流，スキャン時間をかけて求められる．E_{eff}は実効線量，E_{DPL}は実効線量に変換するための係数でスキャン部位による[8]．この値をTable 4 に示す．この値は欧米人の成人に対し決定された値である．日本人の体格は成人の場合で，欧米人の15歳程度にほぼ相当すると考えられるので，このまま適用するには問題がある．そこでKhursheedら[12]が示したメーカーの異なる3機種によるE_{DPL}の年齢依存に関するデータを用いて補正を行った．その違いは3機種の平均で成人の場合，頭部スキャンで5%，体幹部のスキャンで8%程度である．子供に対してはもっと大きな値になる．この値をTable 5 に示した．

Table 4　E_{DPL} value after EUR16262[9]

Scan region	Conversion factor E_{DPL} [mSv/(mGy·cm)]
Skull	0.0023
Neck	0.0054
Thorax	0.017
Abdomen	0.015
Pelvis	0.019

Table 6　Annual collective effective dose by age group (×1,000 person Sv)

Age Group		Male	Female	Total
0	–4	1.47	1.26	2.73
5	–9	1.37	0.74	2.11
10	–14	1.15	0.57	1.72
15	–19	1.59	0.79	2.38
20	–24	1.99	2.47	4.46
25	–29	2.70	2.28	4.98
30	–34	3.32	2.27	5.59
35	–39	4.66	3.17	7.83
40	–44	4.79	4.28	9.07
45	–49	9.48	7.17	16.65
50	–54	14.01	12.05	26.06
55	–59	16.03	12.00	28.03
60	–64	18.87	12.46	31.33
65	–69	24.74	15.91	40.65
70	–74	27.13	17.05	44.18
75	–79	17.39	13.81	31.20
80	–84	8.77	9.39	18.16
85	–89	5.53	5.36	10.89
90	–	1.27	2.03	3.30
Unknown		2.03	1.80	3.83
Total		168.3	126.9	295.2

集計結果を年間に推計した集団実効線量は男性168×10^3人Sv，女性127×10^3人Sv，合計295×10^3人Svであった．Table 6 に年齢群別に，Fig. 6 にスキャン部位別に示した．年齢別では男女とも65～74歳が最も多く，全体のおよそ30%を占めていた．部位別では上腹部が最も多く，男女合計で64×10^3人Svであった．頭部検査は1件ごとの実効線量は多くはないが件数が多いため集団実効線量における割合が大きくなった．また，2000年の日本人の総人口を用いて集団実効線量を除して求めた国民1人当たりの線量は2.3mSvと推定された．

考　察

アンケート方式による調査の回答率は4群とも60%を超え，全体で71%の回答を得た．Table 2 およびFig. 2 に示し

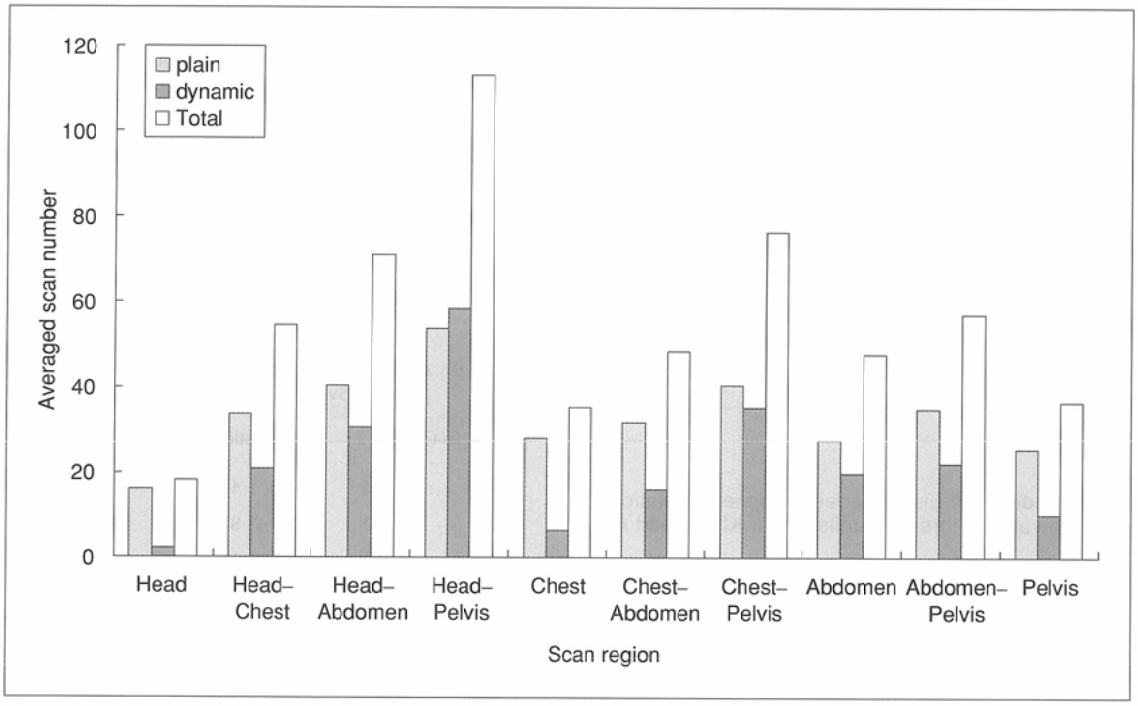

Fig. 5 Scan number according to scanned region (×1,000).

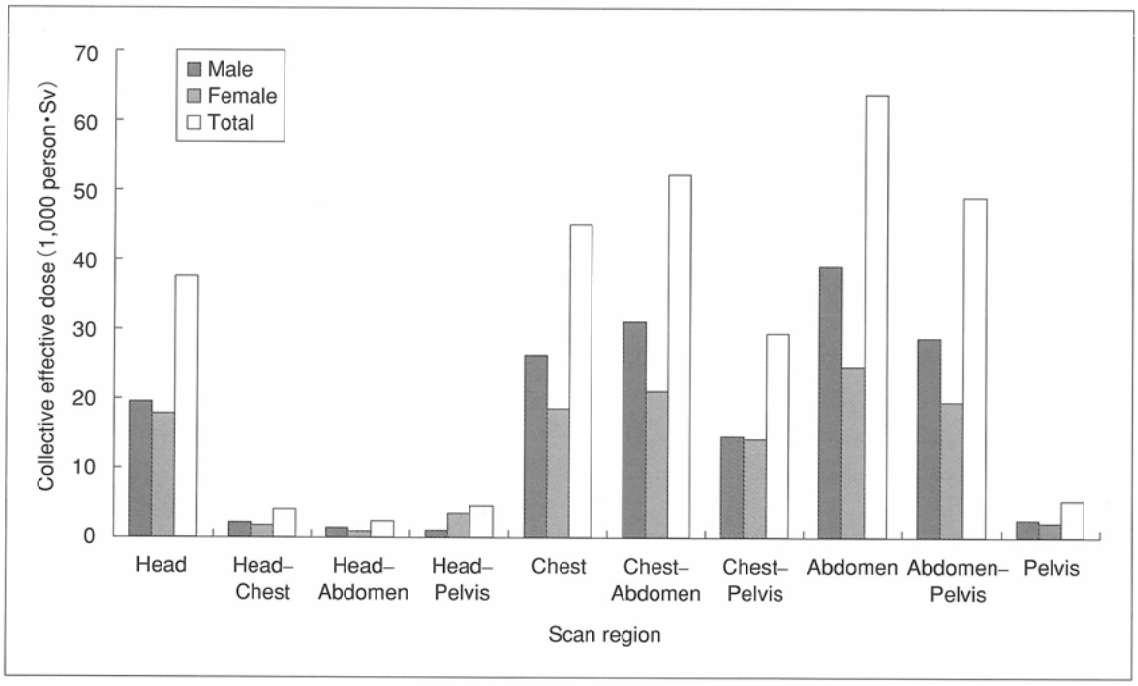

Fig. 6 Annual collective effective dose by part scanned (×1,000 person Sv).

たように1年間の全国の検査件数は部位別では頭頸部が最も多く，頭部から胸部，頭部から上腹部や腰部まで続けてスキャンすることもありこれらを含めると全件数の半数近くに達した．Fig. 4に示したように0～14歳の場合は80%が頭部検査であった．年齢別では50～54歳から急に増加し70～74歳が最も多かった．この年齢までは各年齢群とも男性の方が多かったが，80歳以上では女性の方が多くなった．

年間の検査件数の月変動は最も変動幅の大きかったB群がほぼ2%で，他の院群では1%程度であった．傾向的には違いが少なかった(Fig. 3)．一般に12月は年末を控え検査件数

は減少すると考えていたが，1，2月が最も少なく6，10月が最も多いことが分かった．本調査を行った11月はほとんど平均の月の調査であったが，調査用紙2による個々の被検者数の合計から推定した結果は調査用紙4の月別検査件数による集計結果より，6.7%少なかった．本報に報告した結果は調査用紙2から推計した．

検査1件あたりのスキャン数はスキャン部位が広ければ当然多くなるが，総件数とスキャン数から単純に平均すると，1件当たりプレーンスキャン数が24.8，総スキャン数35.5であった(Fig. 5)．装置の画像構成時間の短縮，コンピュータ容量の格段の増加の結果と考えられる．

実効線量評価にあたり，西澤ら[13]が以前に人体型組織等価ファントム(ランド女性ファントム163cm 58kg)を使用して，全肺野スキャン時の種々の臓器組織線量を測定しICRP60に基づいて算出した実効線量と，同条件(ビーム厚，管電圧，mAs，スキャン数)でimPACTによるnCTDIwデータを用いて(1)式により計算した例を比較したところ，数%の誤差で一致した．Table 7にUNSCEAR 2000年報告書Annex DのTable 19に示されている「Dose to patients from computed tomography」から計算した部位別1検査当たりの実効線量と本調査で推定し使用した実効線量の平均を示した．両者は10%程度の違いであった．よって，本調査で使用した方法による実効線量推定は許容できないほどの誤差ではないと考える．

Table 8に1979年[14]，1989年[2]に行われたCTの実態調査結果との比較を示した．CT装置数は1979年から1989年の10年間に約7倍，1989年から2000年の11年間におよそ2倍となった．1年間のCT検査件数はそれぞれ8.2倍，3.1倍，スキャン数はそれぞれ16.4倍，3.7倍であった．1979年から1989年のスキャン数の延びは，頭部専用CTから全身用への移行と技術の進歩により，1件当たりのスキャン数が急激に増加したものと推定されたが，1989年から2000年ではそれほどの劇的な変化は見られなかった．しかし，今後はマルチCTの普及によってかなりの変化が見られると予想される．集団実効線量および国民一人当たりの実効線量は1979年には評価されていなかった．1989年の評価は1977年ICRP勧告に基づいたものであったため，1990年勧告に基づく今回の評価とは厳密には異なるものであるが集団実効線量・国民1人当たりの実効線量とも11年間でおよそ3倍となった．今回の調査による国民1人当たりの実効線量は2.3mSvと推定されたが，これはほぼ世界の自然放射線により1人当たりが1年間に受ける量に匹敵する[1]．

国際的状況との比較では，Shrimptonら[15]によれば1997年には世界中でおよそ20,000台のCT装置が稼働し，年間6,700万件の検査が行われている．したがって，年代は異なるが世界中のCT装置数のおよそ半分近くが日本にあり，半数近くの検査が行われていると言っても過言ではない．UNSCEAR 2000年報告書では1991～1996年の人口百万人当たりのCT装置数はスイス・アメリカが約26台，日本はそのおよそ2.4倍の約64台で世界一であった．今回の調査時のCT装置数は人口百万人当たり87.8台で，5年間でおよそ1.3倍に増加したことになる．

スキャン数，被検者の被ばく線量はCT装置の発展・操作性の向上により今回の調査でも見られたように頭部から骨盤まで，あるいは胸部から骨盤まで一気にスキャンが行われること，1検査当たりのスキャン数も多くなることが予想される．また，今後は透視や3次元画像の取得など応用範囲はさらに拡大されるであろう．もとより，医療被ばくは線量が多いこと自体が問題なのではなく，臨床的必要により正当化されていれば被検者の利益になることではある．したがって，個々の検査における最適化の確保が一層重要である．近年，装置の発展は患者個々の体格により自動的に最適な検査条件が選択される装置の開発をもたらし，被ばくの最適化が期待されるところまで来ていることは朗報ではあろう．

Table 7　Comparison of effective dose per examination by scan region with averaged value shown on UNSCEAR 2000[1]

Scan region	UNSCEAR 2000			Present study
	Minimum	Maximum	Average	Average
Head	0.8	5.0	2.2	2.4
Chest	4.6	20.5	10.2	9.1
Abdomen	6.0	27.4	13.7	12.9
Pelvis	6.9	11.0	9.5	10.5

Table 8　Comparison with previous survey results

Surveyed Year	Number of CT units	Annual number of examinations×1,000	Annual number of scans×10,000	Collective effective dose (ED) person・Sv	ED/person mSv
1979[a]	712	1,454	1,485		
1989[b]	5,382	11,904	24,370	99,000[d]	0.80
2000[c]	11,050	36,550	90,600	295,000	2.3

a): after Nisizawa et al[14]
b): after Maruyama[2]
c): Present study
d): Collective effective dose equivalent

まとめ

2000年のCT検査に関する実態調査を郵送によるアンケート方式で行った．この年全国で行われたCT検査件数は男性1,971万件，女性1,684万件，合計3,655万件であった．人口千人当たりの検査件数は290件であった．これらのうち，成人では約40%，子供では80%が頭部検査であった．エンハンススキャンなどを含めた全スキャン数は男性740百万，女性558百万，合計1,298百万であった，造影などを含まないプレーンのスキャン数は頭部では1検査当たり16，胸部29，上腹部28，骨盤部26であった．

集団実効線量は男性168×10^3人Sv，女性127×10^3人Sv，合計295×10^3人Svであった．部位別では検査件数は頭部が最も多かったが集団実効線量は上腹部が最も多く，男女合計で64×10^3人Svであった．国民1人当たりの線量は2.3mSvと推定された．

CT検査は今後とも増加が予想され，透視など応用も拡がってゆくものと思われる．しかし一方で装置の発展もめざましく，患者個々の体格により自動的に最適な検査条件が選択される装置が開発され，被ばくの最適化が期待される．

謝　辞

稿を終わるにあたり，お忙しい時間を割いてアンケート調査にご協力いただいた病院・医療施設の皆様に深甚の謝意を表します．

文　献

1) United Nations: Sources and Effects of Ionizing Radiation, Volume I. Sources. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. 2000 Report to the General Assembly, with scientific annexes. UN Sales Publication, No E.00.IX3. New York, 2000
2) 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．放射線医学総合研究所，1995
3) 病院における診療機器保有状況：国民衛生の動向・厚生の指標49(9)，2002
4) X線CT設置台数および稼働機種別一覧．月刊新医療 27(10)：118–119，2000
5) 厚生省健康政策局総務課編：病院要覧2000年版．医学書院，東京，2001
6) Gamgarelli J, Gurinel G, Chelvot L and Mattei M: Computed axial tomography. Springer-Verlag, Berlin, Heidelblg, New York, 1977
7) 人口推計月報(総務庁統計局)http://www.stat.go.jp/data/jinsui/index.htm
8) European Commission: European Guidelines on Quality Criteria for Computed Tomography. European Communities. Report EUR 16262, Luxemburg, 1999
9) International Electro technical Commission. Evaluation and Routine Testing in Medical Imaging Departments. Constancy Tests-X-ray Equipment for Computed Tomography. Publication IEC 1223–2–6, 1994
10) Leits W, Axelsson B and Szendro G: Computed tomography dose assessment—A practical approach. Radiat. Prot. Dosim. 57: 377–380, 1995
11) imPACT: St. Jones Hospital, London. http//www.impactscan.org
12) Khursheed A, Hillier M.C, Shrimpton P.C, and Wall B.F: Influence of patient age on normalized effective doses calculated for CT examinations. BJR 75: 819–830, 2002
13) 西澤かな枝，丸山隆司，高山　誠，岩井一男，古屋儀郎：CT検査による被検者の被曝線量．日本医放会誌55；763－768，1995
14) 西澤かな枝，岩田猛男，古屋儀郎，丸山隆司，橋詰　雅：CT検査によるリスクの推定(1979)第一報 スキャン回数及び検査件数．日本医放会誌 41：45–49，1981
15) Shrimpton P.C, Jessen K.A, Geleijins J. Panzer W and Tosi G: Refference Dose in Computed Tomography. Radiat. Prot. Dosim. 80: 55–59, 1998