

2014 年度 博士学位論文要約

学位論文題名

小児放射線診療における医療被ばく実態調査および線量評価

学位の種類： 博士（放射線学）

首都大学東京大学院

人間健康科学研究科 人間健康科学専攻 放射線科学域

満期退学時学修番号／研究生番号：09005

氏名：仲田 佳広

（指導教員名：八木 一夫）

本論文は7章から構成されている。以下追って要約する。

第1章は序論とし、研究背景から問題設定を行い、必要性を述べた。臨床的背景として、放射線診療における被ばくを考えた場合、UNSCEAR 2008年レポートから、世界における放射線診療検査は単純X線撮影が80%以上を占めているが、集団実効線量にすると単純X線は全体の30%程度だが、CT検査が全体の34%と一番高い被ばくとなる。また学術的背景からも、2001年のBrenner博士の“小児CT検査の医療被ばくによるがん死亡の生涯リスクを推定”をテーマに、成人と小児の単位線量あたりのがん死亡リスクを比較すると年齢の低い小児で高くなるという内容である。他にも2004年に英国のBerrington博士が先進国間における発がんリスクを評価し、日本が一番高いと結論づけている。このような背景から本研究では、医療被ばくをテーマに“小児”と“CT検査”をキーワードに、15歳未満の小児を対象とした放射線検査の診療実態や検査による被ばく実態の全数調査と人体模擬ファントムによる実測と線量評価の結果から、被ばく線量低減化と最適化の方法を考察する研究である。

第2章では、基本的な放射線量の定義と単位について書き、またその放射線の人体への健康影響についてもまとめた。本研究で使用する放射線量は、照射線量と吸収線量と実効線量である。それぞれの単位について、防護体系の関係からまとめた。人体影響では実際に放射線のどのような機序により、どのような症状が現れるかを解説した。最後に医療放射線の最適化のためにICRPから発表されている、診断参考レベル(DRL)についても解説した。

第3章では、CT装置の進化の歴史、原理と被ばく低減技術を紹介した。CT装置が1972年に開発されて以来約40年の歴史があり、装置も第5世代まで進化した。主にコンピュータとX線検出器の進化とともに、高速・薄層撮影となった。1990年代にはらせん状に撮影可能なヘリカルスキャン型CT装置が登場し、間もなく多列型検出器を備えた装置も登場した。しかしこれら装置の進化とともに撮影による被ばく線量は増加の一途をたどった。2000年代になり、CTの管電流を患者の吸収にあわせ、自動調節する自動露出機構(AEC)が登場した。AECについては、人体模擬ファントムによる線量評価により、どの程度の被ばく低減可能であるか論じている。本研究の線量実態調査ではCT検査の線量指標($CTDI_{vol}$ 、DLP)を収集した。 $CTDI$ 値は、CT撮影時の撮影条件で規格化された16、32cm径のアクリルファントムを撮影した場合の吸収線量値である。 $CTDI_{vol}$ の指標撮影距離(cm)を積算したものが、DLPとなる。今回の $CTDI_{vol}$ 、DLPの値は、アクリルファントム径16cmで統一して表示している。

第4章では、病院診療実態とCT撮影被ばく実態についての調査方法と結果を示し考察をした。線量実態における情報は、CT画像のDICOMヘッダに書かれた情報(管電圧、管電

流、撮影時間、ピッチ、撮影距離、患者情報)を全撮影枚数収集した。全数収集する理由は、AECの使用により撮影画像ごと管電流値が変化するため、全スライス数の管電流値を平均化したものを患者の撮影管電流とした。診療実態の情報源は、主に病院のHISであり、患者のCT撮影目的や診療科について収集した。本研究は、現場の技師や医師がこのような調査を簡単に行えるように、特殊なソフトウェアは用いなかった。調査したCT撮影件数は、6,718件であり、人数は4,227人であった。撮影件数を年齢別に解析すると、4歳までが3,318件と全体のおよそ半分を占めていることがわかった。小児の場合、年齢の低い時期に心臓などに奇形や臓器不全が発見され、治療のための画像検査を行うために低年齢のCT検査が多いと考えられる。

年齢別に各病院のCTDI_{vol}とDLPについて比較をした。頭部CT撮影について、各病院の平均値とICRP pub.87によるDRL値とCTDI_{vol}を比較すると、それぞれICRPの値以下であった。しかしDLPはすべての年齢で超えており、撮影範囲が広いことが考えられる。胸部CTについては、AECを使用している施設と使用していない施設との線量差は約2~3倍であった。腹部CTも胸部と同じくAEC有無により2~3倍の線量差が生じた。しかし腹部はDLPのばらつきが他の部位よりも大きく、呼吸や体動による撮影範囲のばらつきによるものであると考える。また胸部、腹部CTでは、12歳前後からCTDI_{vol}とDLPともに線量が上昇する傾向がある。これは12歳前後で小児撮影プロトコルと成人撮影プロトコルを切り替えるために線量が上昇したと考えられる。成人プロトコルは、小児よりもヘリカルピッチを小さくし、ノイズの少ない画質とするため、結果撮影線量が大きくなる。

第5章では、各病院のCT装置による小児人体模擬ファントム(0歳、1歳、6歳)とガラス線量計による線量測定とその評価をした。頭部CT、胸部CT、腹部CT撮影について、各病院のCT撮影条件を使用し、臓器吸収線量と実効線量を算出した。実効線量については、過去の文献と比較するため、ICRP pub.103とICRP pub.60の2種類の組織荷重係数を用いて、算出した。さらに実測した値と実効線量変換係数(k-factor)を用いた値と、モンテカルロ計算をベースとしたソフトウェアの算出した値の3通りの方法を比較した。

頭部CTの実効線量の結果は、実測値で高い施設、低い施設で約2倍の線量差があった。また年齢の若い0歳が一番高く、6歳の実効線量が一番低かった。年齢の若い小児ほど、撮影部位の頭部から生殖腺の腹部までの距離が短く、撮影線量が低くても、全身の被ばくは高くなると考える。ICRP pub.102による値は、実測値に比較してどの年齢よりも約1.5倍程度高い値として、算出された。またシミュレーションによる結果は、実測とほぼ同じであった。胸部CT撮影については、実効線量の高い施設と低い施設では約5倍の差があった。これはAECの有無によるものであるが、AECを計算に考慮しないICRP pub.102やシミュレーション値は実測とほぼ同じ値であった。また年齢順に実効線量は高くなる傾向であった。腹部CT撮影の実効線量は、計算値とシミュレーション値が最大で約30%程度高く算出された。これはAECによる管電流変調が制御不可のため、誤差を生じたと考えられる。TLDを使用した他の文献からも、実測値との誤差が40%前後生じることから、ファントムによる実測値と計算値では、常に30%~40%の誤差が生じると考える。

第6章では、医療被ばく低減に向け、英国と米国の取り組みを紹介し、最後に各国のDRLと本研究の平均値を比較した。英国ではすでに1985年頃から最適化に向けた実態調査を行い、英国の健康保護庁(HPA)が規定した線量から外れた病院に注意を促すといった方法により、20年間で一般撮影の分野では入射表面線量が約半分に減少した。米国の国立がん研究所(NCI)は、小児CTの被ばくは社会問題であるという認識の上で、広く医師や放射線技師にCT被ばくを最小限に抑えるための注意点を挙げ協力を呼び掛けている。また米国国立衛生研究所(NIH)ではX線CT装置メーカーに対しても被ばく低減のための対策を要請している。日本では日本版のNIHの設置が決定しており、今後米国のような取り組みが期待される。また学会や専門家、メーカーが協力して医療被ばくに関する情報を共有する、医療被ばく研究情報ネットワーク(J-RIME)が設立され、現在被ばく線量最適

化のための意見交換をしているところである。

頭部、胸部、腹部 CT 検査の線量実態調査の結果を、年齢を 0 歳、1-4 歳、5-9 歳、10-14 歳のグループに分けて、他国の DRL と比較した。調査した病院の頭部 CT 検査の CTDI と DLP はどの年齢でも、他国 DRL を上回っていた。胸部 CT 検査と腹部 CT 検査の結果は同じであり、AEC を使用している施設は他国 DRL より低い結果であったが、AEC を使用しない施設はすべての年齢で上回っていた。3 部位の中では、頭部 CT 検査について、撮影プロトコルの見直し、撮影範囲の見直しが必要であると考ええる。胸部、腹部 CT 撮影では小児の場合、AEC を使用した撮影は必須であると考ええる。今回の調査は病院における患者全数について実態を調査した。他国の DRL のための調査では、アンケート調査が一般的であり、その被ばく線量については、標準体型を標準プロトコルで撮影した場合の線量を想定して、DRL としている。しかし、実際の小児 CT 撮影の場合、体動や呼吸の不規則な動きを加味して、あらかじめ撮影範囲を広くとる場合があり、線量はその分増えることが予測される。本研究のような全数調査では、このような理由からも他国よりも線量が高いという理由が考えられる。

第 7 章は全体の総括をした。本研究の実態調査結果から、CT 撮影では年齢の低い小児、特に 4 歳以下が全体の半分を占めていた。また撮影頻度も多い病院では平均 1.9 回の頻度で CT 撮影を繰り返していることがわかった。小児は成人と違った病気により CT の撮影部位割合も小児特有である。このため DRL も頭部、胸部、腹部 CT に限定することなく、心臓や聴器のような部位も設定すべきであると考ええる。AEC の使用により DLP や実効線量が 2~3 倍の線量差を生じることから、小児 CT 撮影は AEC が必須であると考ええる。実態調査では、小児専門病院と総合病院に限定したが、大学病院や診療所における調査を含んだ DRL を設定すべきであると考ええる。また線量の低減目標値と同時に画質についても画像ノイズを指標とした客観評価も実験に加え、DRL と同時に提案するのが望ましいと考える。

以上の実態調査と線量評価を繰り返すことで、日本独自の診断参考レベルが設立され、被ばく線量の最適化に貢献するものと考ええる。