

ポータブルX線発生装置 NOMAD™の遮蔽効果

佐藤健児／原田康雄／代居 敬／町田貴之

歯学99 秋季特集号（平成23年10月）別刷
【研究成果と臨床応用】

ポータブル X線発生装置 NOMAD™ の 遮蔽効果

佐藤 健児¹⁾ Kenji Sato
原田 康雄²⁾ Yasuo Harata
代居 敬¹⁾ Takashi Yosue
町田 貴之³⁾ Takayuki Machida

¹⁾ 日本歯科大学生命歯学部歯科放射線学講座

²⁾ 昭和大学 歯学部歯科放射線学教室

³⁾ (株)アイデンス

キーワード：
ポータブルX線発生装置／NOMAD™／散乱X線／遮蔽

はじめに

手持ち式および充電式のポータブルX線発生装置 NOMAD™ (Aribex™ 社製, 米国) は災害地, 在宅医療, および術中などにおける撮影に有効と考えられる。NOMAD™ の特徴の一つは, 患者からの後方散乱X線を遮蔽する可動式の保護シールド (backscatter radiation shielding, 後方散乱保護シールド) がコーンに取り付けられていることである。そこで, 今回は NOMAD™ 使用時の患者からの散乱X線分布を測定するとともに, 後方散乱保護シールドの遮蔽効果を評価することを目的とした。

NOMAD™ の概要

NOMAD™ とその撮影風景を図1に示す。NOMAD™ は重量4 kg, 電源として14.4V のNiCd (ニッケル-カドミウム) 電池を用い, 1回の充電で100~700回の照射が可能である。撮影者は発生装置内部の鉛と患者からの後方散乱を遮蔽する0.5mmPb 等価の鉛-アクリル製の後方散乱保護シールドによって保護される。後方散乱保護シールドを図2に示す。後方散乱保護シールドはコーン上を手動でコーン先端から焦点側まで移動できるもので, コーン先端に設置した場合が撮影者に入射する後方散乱X線の遮蔽効果は大きい (図3)。NOMAD™ は直流, 管電圧60kV と管電流2.3mA は固定, 固有ろ過1.5mmAl, 照射時間0.01~0.99s (0.01s 間隔), 焦点サイズ0.4mm, ターゲット角度12°, コーンは鉛で裏打ちされており, 焦点-コーン先端距離20cm, および照射野6 cmφ である。

方法

図4に散乱X線分布測定時の幾何学的条件を示す。被写体はCT用頭部線量測定用標準ファントム (model 20CT-6, Radcal 社製) である16cmφ×高さ15 cm のPMMA 円柱を使用した。線量測定には線量計 (type 37D/3, Pitman 社製, 英国) と電離箱 (350cc, type 393, Pitman 社製, 英国) を用い, ファントムの軸方向を床に対して垂直に設置し, コーン先端をファントムに密着させ, ファントム中心-電離箱間距

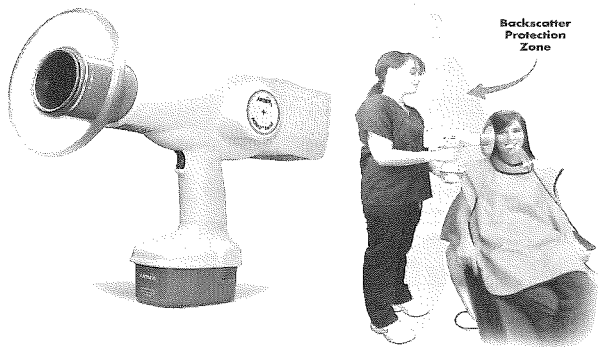


図1 ポータブルX線発生装置 NOMAD™ と撮影風景



図2 後方散乱保護シールド

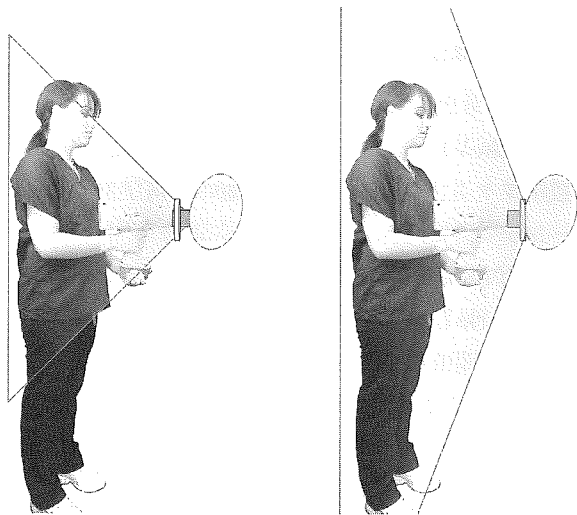


図3 後方散乱保護シールドの遮蔽効果

離は100cmとした。散乱X線分布は、入射X線の主線方向を散乱方向0°とし、床-ファントム中心間距離109cmでの床に対して水平および垂直な面で測定した。なお、後方散乱保護シールドはコーン先端に設置し、管電圧と管電流はそれぞれ60kVおよび2.3mAであった。

結果

散乱X線分布

表1と図5に床に対して水平および垂直な面における散乱X線分布を示す。線量は入射X線によるファン

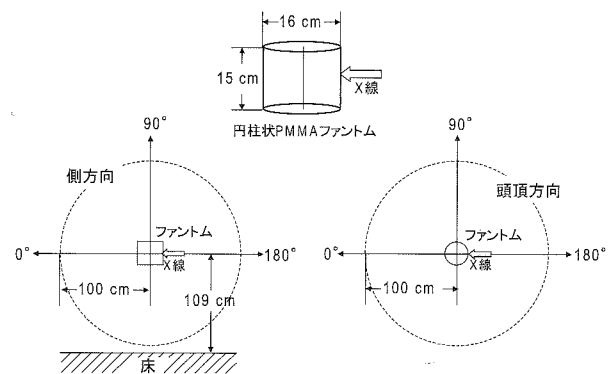


図4 CT用頭部線量測定用標準ファントムを使用した散乱X線分布測定の幾何学的条件

表1 ファントム中心から100cm位置での散乱X線分布。線量は入射X線のファントム表面位置での空気カーマ1 Gy 当りの μGy である

散乱角度 (°)	空気カーマ (μGy)	
	床に対して水平	床に対して垂直
0	660	660
15	556	—
30	208	171
60	241	218
90	398	255
120	287	185
150	64.8	64.8
180	13.9	13.9

コーン先端における自由空気中の照射線量率は432mR/sである。

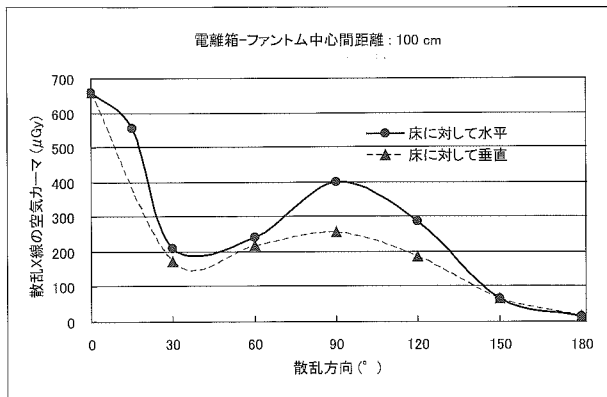


図5 ファントム中心から100cm位置での散乱X線分布。線量は入射X線のファントム表面位置での空気カーマ1 Gy 当りの μGy である。

トム表面位置における自由空気中の空気カーマを1 Gyに規格化した値である。散乱X線による線量は、ファントムが円柱状であることから、床と水平な面での値が垂直な面での値より大きく、両者とも散乱方向90°で最大であり、散乱方向が90°から小さくまたは大きくなるにしたがって減少し、利用線錐近傍の30°と180°で最小となる。散乱方向0°の大きな線量はファントムを透過した一次X線の影響によるものである。

後方散乱保護シールドの遮蔽効果

図6に今回測定した床と垂直な面における散乱X線分布とMonte Carlo計算¹⁾による散乱X線分布を示す。Monte Carlo計算では管電圧60kV(自己整流, 総ろ過2.0mmAl, 半価層1.95mmAl, 実効エネルギー

表2 NOMAD™撮影者における実効線量率の試算結果と実効線量限度

試算による実効線量率	医療法施行規則による実効線量限度
NOMAD™撮影者	放射線診療従事者
15.5mSv/5年	①100mSv/5年(平均20mSv/年)
3.1mSv/年	②50mSv/年
0.78mSv/3月	③5mSv/3月(女子)
	施設
0.78mSv/3月	管理区域, 病室: 1.3mSv/3月
0.062mSv/週	X線診療室の画壁: 1mSv/週

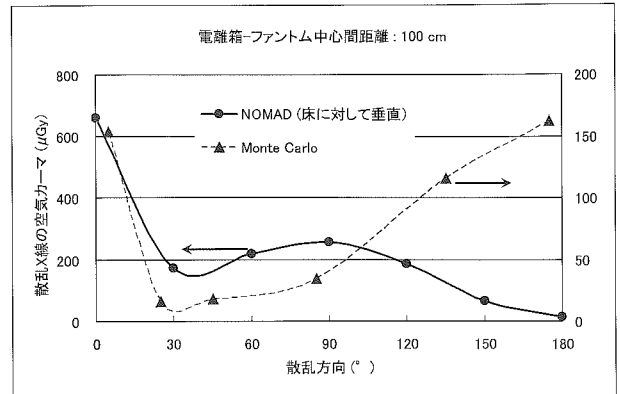


図6 ファントム中心から100cm位置での散乱X線分布。線量は入射X線のファントム表面位置での空気カーマ1 Gy 当りの μGy である。Monte Carlo計算では直径18cmの球形水数学ファントムを使用した散乱X線分布を求めている。

ギー28.2keV)の入射X線スペクトルと18cmφの球形水数学ファントムを用い、その他の幾何学的条件は焦点-ファントム表面間距離20cm, ファントム中心-光子集計領域間距離100cmで実測と同じであった。Monte Carlo計算による散乱X線分布は、X線発生装置がない理想的な条件下のものである。散乱X線量は散乱方向180°で最大であり、散乱方向が小さくなるにしたがって減少し、利用線錐近傍で最小となる。実測とMonte Carlo計算による散乱X線分布の違いから、NOMAD™における後方散乱保護シールドの遮蔽効果は散乱方向が90°を超えるとともに高まることが認められた。

考察および結論

NOMAD™使用時の撮影者の実効線量を以下の撮影条件について試算した。ここでの実効線量は国際放射線防護委員会(International Commission on Radiological Protection, ICRP)1990年勧告²⁾の定義によるものであり、ICRP2007年勧告³⁾によるものではない。

1) NOMAD™の後方散乱保護シールドはコーン先端に設定した。

2) 撮影時間: 0.4s

取扱説明書ではInsight film(Kodak, 米国)

- に対する成人上顎大白歯部の撮影時間である。
- 3) 撮影者表面-ファントム中心間距離: 50cm
 - 4) 撮影者への散乱X線の空気カーマ率: $1.50\mu\text{Gy/s}$
この値は表1と図5における床に対して垂直な面での散乱角度 120° と 180° の散乱X線分布, およびコーン先端における自由空気中の照射線量率 43.2mR/s から求めた平均空気カーマ率である。高さ50cm, 頂角 120° の二等辺三角形の底辺の長さは約173cmとなるが, 身長170cmの撮影者が患者から50cmはなれた位置で作業をした際に, $1.50\mu\text{Gy/s}$ の散乱X線を均等に被曝するものと仮定した。
 - 5) 実効線量への換算係数: $f_x = 0.416\text{Sv/Gy}$ (30keV)^{4,5)}

散乱X線の空気カーマから実効線量を推定するためには換算係数が必要である。このためにはNOMAD™からの散乱X線の実効エネルギーを測定する必要があるが非常に困難である。そこで, Monte Carlo 計算¹⁾の値を採用した。Monte Carlo 計算では散乱角度範囲 $130\sim 140^\circ$ および $170\sim 180^\circ$ における散乱X線の実効エネルギーはそれぞれ29.7および29.1keVであったことから, 光子エネルギー30keVの換算係数 $f_x = 0.416\text{Sv/Gy}$ (30keV)^{2,3)}を採用した。

- 6) 撮影回数: 50回/日

ただし, 5日/週および50週/年とした。

放射線診療従事者の放射線防護に必要な事項は, 医療法施行規則によって定められ, また医薬発第188号厚生労働省医薬局通知によって, その施行上の留意点

などが通知されており⁶⁾, 放射線診療従事者は実効線量限度によって守られている。上記の撮影条件から試算したNOMAD™撮影者の実効線量率と実効線量限度を表2に示す。NOMAD™撮影者の実効線量率は 0.062mSv/週 , 0.26mSv/月 , 0.78mSv/3月 , および 3.1mSv/年 となった。また放射線診療従事者の線量限度は 100mSv/5年 (平均 20mSv/年)であり, 1年間で 50mSv を超えてはならないとされている。女子については, これらの限度に, さらに3ヶ月間で 5mSv を超えてはならないという項目が追加されている。施設に関する実効線量限度は, 管理区域と病室で 1.3mSv/3月 , X線室の画壁で 1mSv/週 である。

今回の試算では, 医療法施行規則における実効線量限度を下回ることが十分可能であることが示唆された。

文 献

- 1) 佐藤健児, 古本啓一: 歯科X線撮影時における散乱X線の線量と線質について—コンピュータ・シミュレーション—. 歯科放射線, 23, 189~203, 1983.
- 2) ICRP Publ. 60: 1990 Recommendations for the International Commission on Radiological Protection. Ann. ICRP, 21 (1~3), 1991.
- 3) ICRP Publ. 103: 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. Ann. ICRP, 37 (2~4), 2008.
- 4) 日本アイソトープ協会編集: アイソトープ法令集(1) 2001年版, 日本アイソトープ協会, 東京, 2001.
- 5) ICRP Publ. 74: Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation. Ann. ICRP, 26 (3~4), 1996.
- 6) 佐々木武人, 島野達也 編: 新版 歯科診療における放射線の管理と防護, 第1版, 医歯薬出版, 東京, 2009.