

# 学位論文内容の要旨

愛知学院大学

論文提出者

長坂 健央

論文題目

口内法 X 線撮影におけるイメージングプレート後方  
線量低減のためのタングステンシートの有用性に  
ついて

緒言

フィルムを用いた通常の口内法 X 線撮影では、フィルムパッケージ内の鉛箔によってフィルムパッケージ後方の線量の低減が図られる。直接的な遮蔽効果は約 70 $\mu$ m の厚さの鉛箔の場合、60kVp の X 線では入射 X 線の 77%、90kVp の X 線では 56% が低減されると推定されている。フィルムパッケージを保持する撮影用のデバイスを使用しない場合には、患者は指でパッケージを保持することになるので、指も被爆するが、鉛箔によって指の被曝線量も低減される。最近普及の著しいデジタル口内法 X 線撮影システムではフィルムを用いる方法に比較して、一般的に被曝線量は少なくなっているものの、鉛箔による遮蔽は通常行われぬ。国際放射線防護委員会の勧告する “as low as reasonably achievable” (ALARA) の法則によれば、患者の吸収線量をできる限り低く抑える努力が常に行わなければならない。デジタル口内法撮影システムにおいても、線量低減のために鉛箔を使用することを推奨した研究論文はこれまでに一編だけが報告されている。この報告では、鉛箔を検出器の後方に密着させた場合には鉛箔を使用しない場合に比較して、特定の臓器の吸収線量が輝尽蛍光体イメージングプレート (Storage phosphor imaging plate: SPP) で平均 32% に半導体センサーの一種である相補型金属酸化膜半導体センサー (Complementary metal oxide semiconductor: CMOS) で平均 59% になることが報告されている。

しかしながら、鉛箔の直接的な効果すなわち患者の指の位置における線量は評価されていない。一方、鉛箔をパケットの外側で使用すると、直接的に指や口腔内組織に接触し、鉛の有毒作用が懸念される。無機性の鉛は人の唾液に容易に溶解するので、もし歯科医院等のスタッフがフィルムを現像した後に使用した手袋を交換しなかったり、手を洗わなかったりした場合には鉛の危険にさらされる可能性が増加する。従って、このような方法で繰り返して鉛箔に触れることは、X線撮影や画像の形成に関わるスタッフを鉛の危険にさらすことになる。さらに環境汚染との関連からも鉛の使用と廃棄は厳しく制限されている。このような状況の下で現在では、様々な産業で鉛の代替としてタングステンが使用されている。放射線診療の領域でも放射線防護の材料として鉛をタングステンに置き換える多くの試みがなされている。したがって口内法 X線撮影においてもタングステンシートが鉛箔におきかわる可能性は大きい。

この研究の目的は SPP パケット後方の線量を低減するために鉛箔の代替品としてタングステンシートが有用か否かを線量の観点から検証することである。

## 材料と方法

口内法 X 線撮影の練習用の頭部ファントムを用いて線量の計測を行った。通常の口内法用のフィルムパッケージと 1 枚の SPP を入れた SPP 用のパッケージをファントムの 6 カ所（上下顎の前歯部、犬歯部、臼歯部）に設置して X 線発生装置を用いてメーカーの推奨する条件で撮影した。管電圧は 60kVp, 管電流は 7mA に固定した。最初に SPP のみで遮蔽材料を含まないパッケージを用いて撮影を行った。その後、先に述べたフィルムパッケージに含まれる鉛箔あるいは最近 SPP 用に発売されたタングステンシートを SPP 後面に封入して撮影を行った。

線量計としては高感度の線量計 RaySafe X2 を使用した。ここではフィルムパッケージまたは SPP パッケージ後方で計測した線量を後方線量と定義した。計測では検出器の部分をフィルムパッケージや SPP パッケージの後方に密接して指を模した固定装置で固定して 5 回の照射を行った。平均と 95% 信頼区間を計算した。

## 統計的解析

後方線量の比較は SPSS 統計解析ソフトウェアを用いて、対応のない t 検定を行った。危険率 5% 以下を統計的有意差ありとした。

## 結果

フィルムパッケージと遮蔽材料を含まない SPP パッケージとでは、計測した 6 部位のいずれでも後方線量に有意差はなかった。SPP パッケージの後方線量は鉛箔でもタングステンシートでもそれを使用しない場合に比較して、すべての計測部位で有意に低減していた。鉛箔は SPP パッケージの後方線量を平均で 37.6% に減少させたが、タングステンシートではすべての部位で 20% 以下になり、平均で 14.7% に低減した。

## 考察

口内法 X 線撮影は従来のフィルムを用いる方法からデジタルシステムに徐々に置き換わりつつある。撮影条件は従来法に比較するとデジタルシステムでは比較的低いと考えられるが、従来法でフィルムパッケージ内に使用されている鉛箔のような遮蔽材料は通常は使用されない。

患者の吸収線量は照射条件によって変化するので、後方線量の測定結果を適切に臨床に反映させるには、臨床で使用している照射条件の妥当性を検証することが前提となる。そのため、タングステンシートによる遮蔽効果を計測する前に、日常臨床で使用している照射条件における入射線量を検討した。その結果、今回の実験に使用した入射線量は日本における口内法撮影の診断参考レベルよりも低く、適切であることが確認できた。

口内法撮影用のフィルムパッケージ内の鉛箔には二つの役割がある。一つはフィルムパッケージ後方の組織の吸収線量を低減することであり、他の一つは画質を維持するためにそのような組織から発生してフィルムに達する散乱線を防ぐことである。遮蔽材料なしの SPP パッケージ後方の線量は鉛箔を有するフィルムパッケージの後方線量と違いが無かった。この結果は SPP 自身が鉛箔を含むフィルムパッケージと同等の線量低減効果を有していることを示している。しかしながら、この結果は ALARA の法則に基づくと遮蔽材料の必要性を否定するものではない。現在では改訂されたために手に

入れることはできないが、Arakiらの論文によると、1976年に刊行された国際規格3665には、50 $\mu\text{m}$ より厚い鉛箔かそれと同等のX線減弱効果を有する柔軟な材料をフィルムの後方に置く必要があると記載されている。

Arakiらは約70 $\mu\text{m}$ の鉛箔は60kVpの管電圧では入射X線を77%減弱すると結論している。新しく2016年に刊行されたISO3665では、減弱に必要な適切な厚さについて実際の数値は示されていないが、500 $\mu\text{m}$ 厚さのタングステンシート(130 $\mu\text{m}$ の鉛当量)は十分な線量低減効果を持っていると考えられる。実際、タングステンシートは80%以上の減弱効果を示した。

Nejaimらはデジタルシステムにおいて様々な部位の臓器線量を低減する鉛箔の効果を報告している。彼らは熱蛍光線量計を用いて全顎口内法X線撮影時の様々な部位における臓器線量を計測している。結果として、鉛箔はSPPシステムにおいて臓器線量を約32%低減するとしている。彼らの結果と今回の結果とを直接比較することはできないが、鉛箔がSPPシステムでも減弱効果を示すという点においては、彼らを支持する結果となった。矩形絞りの使用で患者の吸収線量はさらに低減できるであろう。

散乱線の遮蔽についてPriceらは65 $\mu\text{m}$ 厚の鉛箔は散乱線を減弱できるが、それは検出することができないと述べている。さらに2016年のISO3665では口内法X線撮影用のフィルムやフィルムパッケージについて、商品の仕様として以下のような記載が見られる。すなわち「0.038mmの厚さの鉛箔あるいはそれと同等の材料は後方散乱を抑えて画質を19lp/mmに

維持する。これより厚い鉛箔は使用可能であるが、画質の向上や後方散乱の遮蔽に有意な貢献をすることはない。」というものである。以上より、タングステンシートはパケットの後方に位置する組織からの散乱線を十分に防ぐことが可能と考えられる。Arakiらは鉛箔はフィルム後方組織による散乱線からフィルムを守り解像度を良好に保つが、それ自体が散乱線の原因となりフィルムの感度や解像度に影響を与えると述べている。タングステンシートは鉛箔の約2倍の鉛当量を有しているので、その散乱線の影響は今後の研究で明らかにされなければならない。

Nejaimらはデジタルシステムにおいても鉛箔の有用性を確認しているが、彼らの方法ではCMOSセンサーを使用する際には鉛箔と口腔内組織や指が直接的に触れることになる。SPPシステムを使用する場合でも、パケットに鉛箔を装填する際や撮影後のプレートの読み取りなどの画像形成作業を行うときには指が鉛箔に直接触れることになる。鉛の毒性はよく知られており、その使用は電気機器や電子機器では制限されている。タングステンシートは明らかな危険性がないために、口内法X線撮影においても有用となる可能性を秘めている。タングステンシートはすでに商品化されているが、臨床での使用にはまだ問題が残っていると思われる。パケット全体の厚さが1.7mmになることは撮影中の患者に対して不快感を起こさせることになるかもしれない。ISOは2.0mm以下のフィルムパケットを推奨しており、タングステンシートを含むパケットはこれを超えてはいないけ



れど、患者の不快感については明らかになっておらず、将来的に検証されなければならない。 今回の結果に基づいて、我々はプレート方式のデジタル口内法 X 線撮影において、パケットの後方線量を低減するためにタングステンシートを使用することを推奨したい。

#### 結論

鉛の代替遮蔽材料としてのタングステンシートは SPP パケットの後方線量をそれを使用しない場合に比較して 20% 以下に低減することができた。