

学位論文の全文に代えてその内容を要約したもの

愛知学院大学

甲 第 号	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、フィルムポケット内の鉛箔（原子番号 82）によってフィルムポケット後方の線量の低減が図られる。直接的な遮蔽効果は約 70  $\mu\text{m}$  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。フィルムポケットを保持する撮影用のデバイスを使用しない場合には、患者は指でポケットを保持することになるので、指も被曝するが、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ていない。国際放射線防護委員会 (ICRP) 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を常に行わなければならない、このことは特に若年者にとって重要とされている。デジタル口内法 X 線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、鉛箔をポ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毒性にさらされる可能性が増加することになる。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、患者、歯科医師、診療放射線技師あるいは X 線撮影や画像の形成に関わるその他のスタッフを鉛の毒性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（原子番号 74）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置き換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

## 1. 使用機材

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。このファントムは正常の歯列を有する成人の乾燥頭蓋骨を含み、口腔粘膜や皮膚を模した軟組織等価物質で覆われている。また指を模したフィルム固定装置も装備している。

通常の口内法用のフィルムポケット (INSIGHT, Carestream, Health, Inc., NY, USA) と 1 枚の SPP (YCR Imaging Plate, Toshiba Dental Mfg., Co., Ltd., Tokyo, Japan) を入れた SPP 用のポケット (Flat Bag, Flat Co., Kobe, Japan) 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、円形のコリメータを備えた X 線発生装置 (Maxi, J, Morita Mfg. Corp.,

Kyoto, Japan) 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。口内法用のフィルムパッケージは日常臨床に使用しているもので 2 枚のフィルムと 72 $\mu$ m の厚さの鉛箔を含んでいる。SPP パッケージは大きさの異なる内袋と外袋で構成され、非照射側は透明の材料で作られている。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 (X-ray Shield Plate, Falt Co., Kobe, Japan) を SPP 後面に封入して撮影を行った。このタングステンシートは 500 $\mu$ m (130 $\mu$ m 鉛等量) の厚さを有し、ポリオレフィンで覆われており、アルコール消毒が可能である。柔軟で水洗も可能で、90%のタングステンと 10%の酸化鉄からなる。また食品衛生法や食品添加物に関する日本の法律にも適合している。パッケージの厚さをノギスで計測したところフィルムパッケージは 1.2mm、タングステンシートを使用した場合の SPP パッケージは 1.7mm であった。

## 2. 線量測定

線量計としては、高感度の線量計 RaySafe X2 (Unfors RaySafe, Billdal, Sweden) 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。この線量計はディスプレイを有する本体に連結されており、照射後直ちに線量が掲示される。大きさは厚さ 14mm, 幅 22mm, 長さ 79mm で重さは 42 g である。仕様書によると管電圧 40~150kVp の間で、1nGy から 9999Gy の検出が可能で、計測誤差は 5%あるいは 5nGy とされている。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、指を模した固定装置で固定して 5 回の照射を行った。その後、計測値の平均と 95%信頼区間を計算した。

後方線量を計測する前に、今回使用した撮影条件すなわち日常臨床で使用している撮影条件が妥当なものであるか否かを検証するために入射線量 (Patient entrance dose: PED) を計測した。後方線量の計測に使用したのと同じ線量計を X 線発生装置の照射筒の端に置き、それぞれの条件で 3 回照射した。焦点皮膚間距離は 23cm とし、計測結果を平均した。その結果、使用している条件は日本における口内法 X 線撮影の診断参考レベルよりも低く、妥当なものであると判定された。

## 3. 統計的解析

後方線量の比較は SPSS 統計解析ソフトウェア (IBM Co., NY, USA) 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。デジタルシステムの撮影条件は従来法に比較すると比較的低いと考えられるが、従来法でフィルムポケット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。従って、イメージングプレートの後方線量を検討して、デジタルシステムにおいても遮蔽材料の有用性を検証することは価値あることである。

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 X 線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 X 線撮影用のフィルムポケット内の鉛箔には二つの役割がある。一つはフィルムポケット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ぎ、画質を維持することである。遮蔽材料なしの SPP パケット後方の線量は鉛箔を有するフィルムポケットの後方線量と同等であった。この結果は SPP 自身が鉛箔を含むフィルムポケット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 (International standard 3665 : ISO3665) 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 2011 年に刊行された ISO3665 では、減弱に必要な鉛箔の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。SPP システムにおける遮蔽効果を比較すると、タングステンシートは鉛箔の約 2 倍の効果を示した。これはタングステンシートでは鉛相当の厚さが約 2 倍であることによるものと考えられる。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。患者の吸収線量は矩形絞りの使用で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 2011 年の ISO3665 では、口内法 X 線撮影用のフィルムやフィルムポケットについて、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「 $0.038\text{mm}$  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、鉛箔が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ものの、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ため、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、ポ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。また、タングステンシートは明らかな危険性がないために、すでに様々な分野で取り入れられているが、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。今回使用した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。ポ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以下のフィルムポケットを推奨しており、タングステンシートを含むポ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。もう一つの欠点は比較的高価であるということであるが、今回用いたタングステンシートは繰り返して使用することができるので、この問題は解決できるであろう。

今回の結果に基づいて、プレート方式のデジタル口内法X線撮影において、ポ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が推奨される。

#### 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ポ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。