

Dual imaging plate による口内法 X 線撮影における空間分解能およびノイズの検討

佐々木 辰彦

日本大学大学院歯学研究科歯学専攻口腔健康科学分野
日本大学歯学部歯科放射線学講座
(指導: 松本邦史 教授, 雨宮俊彦 専任講師)

要旨

【目的】臨床的な X 線照射角度および線量条件下で, dual imaging plate (DIP) 口内法 X 線撮影のコントラスト対ノイズ比 (CNR) および空間分解能を評価することにより, 臨床応用の可能性を検討した。

【方法】臨床に即した X 線照射角度75°と線量0.71 mGy で X 線撮影した時の単一 IP (SIP), 前面 IP (FIP) および DIP 画像の CNR と空間分解能 (SWRF) を解析した。

【結果】臨床に即した X 線照射角度および線量条件でも, DIP 画像は SIP 画像および FIP 画像よりも有意に高い CNR を示した。一方, SWRF の曲線は同様の傾向を示した。

【結論】DIP 法は, 臨床に即した X 線照射角度および線量条件においても, 空間分解能を維持しながら X 線写真の画質を向上させることが示された。

キーワード: デュアルイメージングプレート, 口内法 X 線撮影, 空間分解能, コントラスト対ノイズ比

Evaluation of the spatial resolution and noise of dual imaging plate intraoral radiography

Tatsuhiko Sasaki

Nihon University Graduate School of Dentistry, Major in Oral Health Science
Department of Oral and Maxillofacial Radiology, Nihon University School of Dentistry
(Directors: Prof. Kunihito Matsumoto and Assist. Prof. Toshihiko Amemiya)

Abstract

【Purpose】To evaluate the spatial resolution and noise of intraoral dual imaging plate (DIP) radiography under clinical irradiation angles and dose conditions for assessing its clinical applicability.

【Methods】Contrast-to-noise ratio (CNR) and square wave response function (SWRF) were analyzed for single imaging plate (SIP), front imaging plate (FIP), and DIP images. All images were acquired at a clinical irradiation angle of 75° with an exposure dose of 0.71 mGy.

【Results】DIP images demonstrated a significantly higher CNR than SIP and FIP images. Moreover, the SWRF curves showed comparable trends among all three imaging methods.

【Conclusion】The DIP radiography improves image quality without compromising spatial resolution under clinical irradiation angles and dose conditions.

Keywords: dual imaging plate, intraoral radiography, spatial resolution, contrast-to-noise ratio

緒言

デジタル口内法 X 線撮影では, 検出器の特性から半導体方式とイメージングプレート (Imaging plate: IP) 方式に大別される^{1,2)}。IP は半導体と比較して薄く柔軟性に優れているため, 口腔内への挿入が容易であり, 臨床で広く使用されている³⁻⁷⁾。IP 方式では, 被写体を透過した X 線が IP 表面の輝尽性蛍光体に吸収され, エネルギーとして蓄積される。赤色のレーザー光を照射することで, 蓄積された X 線のエネルギーに相当する青色の蛍光が放出される。この蛍光を検出することで被写体の X 線画像が生成される⁸⁾。

X 線は透過性が高いため, その一部は IP を容易に透過する。IP を透過した X 線は, IP 後方の組織の被曝や散乱

線発生に伴う画質低下の要因となる⁹⁾。また, IP を透過した X 線は, 被写体の画像情報を含んでいる。この画像情報を有効活用するため, 2 枚の IP を重ねたデュアル IP 口内法 X 線撮影 (DIP 法) が開発された^{9,10)}。DIP 法では, 前面 IP (Front IP: FIP) と後面 IP (Back IP: BIP) を重ね合わせて保護袋に梱包し X 線撮影を行う。FIP のみでは失われる画像情報が BIP に捕捉されるため, この BIP 画像と FIP 画像を合成することにより DIP 画像が得られる⁹⁾。一般に X 線撮影は低線量で行われることが望ましいが, 線量の低減は画像のノイズを増加させ, 結果として診断能の低下を招く¹¹⁻¹³⁾。DIP 法はノイズを低減させることが可能であるため, 低線量条件においても診断能が維持された as low as reasonably achievable の原則に即した手法として期待されている^{9,14)}。

(受付: 令和 8 年 1 月 28 日)

責任著者連絡先: 佐々木辰彦

日本大学歯学部歯科放射線学講座

〒101-8310 東京都千代田区神田駿河台 1-8-13

TEL: 03-3219-8104

FAX: 03-3219-8354

E-mail: sasaki.tatsuhiko@nihon-u.ac.jp

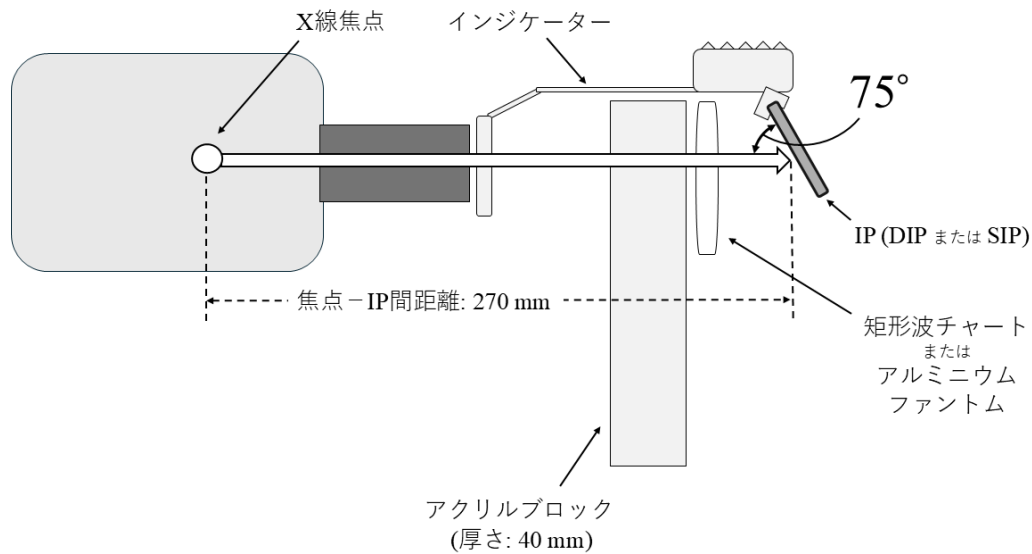


図1 口内法 X 線撮影用インジケータを用いた X 線の中心線と IP の配置図
焦点-IP 間距離は270 mm, IP に対する照射角度は75°とした。

IP : imaging plate, DIP : dual imaging plate, SIP : single imaging plate

これまで DIP 法の画質については、平行法 X 線撮影で検討が行われてきた。国内で一般的な二等分法 X 線撮影のように、X 線束の中心線が IP に対して斜めに照射する場合、FIP 画像と BIP 画像の2枚に歪みが生じ、DIP 画像の合成不良や鮮鋭度の低下を引き起こす可能性が指摘されている⁹⁾。また、これまで DIP 法の有用性は極めて低線量な条件でしか検討されていないため、臨床で用いられている線量条件では画像合成による輝度飽和の発生も懸念されている⁹⁾。

そこで本研究では、DIP 法の臨床応用を念頭に、臨床で用いられている照射角度および撮影条件における DIP 画像の画質を検討することを目的とした。

材料および方法

1. 撮影条件

X 線装置には、Xspot-TS (アサヒレントゲン工業, 京都) を使用した。撮影条件は、管電圧70 kV, 管電流6 mA, 照射時間0.1秒とした。

IP は、Digora Optime Imaging Plate (Size 2 : 31 × 41 mm ; Soredex PaloDEX Group Oy, Tuusula, Finland) を使用した。この IP の背面に接着している薄い鉄板を撤去し、FIP として使用した。その後、FIP の後面に BIP を重ね合わせ、遮光性のあるビニール性保護袋 (標準型 ; ホリスティックホールディングス, 東京) に梱包し、DIP を10組作製した。対照群として、IP を1枚封入した単一 IP (single IP : SIP) を10枚作製した。

X 線撮影には、口内法 X 線撮影用インジケータ (CID-4 ; 阪神技術研究所, 大阪) を使用した。このインジケータでは、X 線束の中心線が IP に対して75°となるように

設計されている。焦点-IP 間距離を270 mm に設定し、軟組織の代替として被写体の前に厚さ40 mm のアクリルブロックを設置した (図1)。

被写体には、コントラスト対ノイズ比 (Contrast-to-noise ratio : CNR) 測定用として、厚さ1 mm のアルミニウムを12段の階段状に配置した円形アルミニウムファントムを使用した。また、空間分解能評価の矩形波応答関数 (Square wave response function : SWRF) 測定用に、厚さ0.1 mm のタングステン板で構成された矩形波チャート (micro chart R-1W100 ; Hüttner Röntgenteste, Bayern, Germany) を使用した。この矩形波チャートは、1.25, 1.6, 2.0, 2.5, 3.2, 4.0, 5.0 の7種類のラインペア (line pairs per millimeter : lp/mm) のスリットで構成されている。それぞれの被写体に対し、DIP または SIP を用いて X 線撮影を行った。

2. 画像処理

Digora Optime DXR-60 (Soredex PaloDEX Group Oy) を用いて、撮影後の DIP および SIP をスキャンした。撮影済み DIP の梱包を解き、FIP と BIP を取り出した。BIP と SIP はそのままスキャンし、FIP は鉄板を再装着してからスキャンを行った。スキャン画像は、8 bit グレースケールビットマップ形式で出力した。マトリックスサイズは1,333 × 1,020ピクセル、ピクセルサイズは30 × 30 μ m とした。

出力した FIP 画像と BIP 画像を位置合わせした後、各ピクセルの濃度値を加算平均して DIP 画像を合成し、各測定に使用した。画像合成処理には、独自に作成したソフトウェア (開発言語 : Visual Studio 2019 C# ; Microsoft,

Redmond, WA, USA) を使用した。SIP 画像には画像処理はせず、測定に使用した。その後、DIP 画像、SIP 画像および FIP 画像の CNR と SWRF を測定した。

1) CNR の測定

ImageJ (Version 1.53k; National Institutes of Health, Bethesda, MD, USA) を用いて、各 DIP 画像、SIP 画像および FIP 画像における階段状ステップの濃度値を計測した。アルミニウムファントムの厚さ 1 mm および 5 mm のステップに 50 × 50 ピクセルの関心領域を設定し、濃度値の平均 ($\text{Mean}_{(\text{Al } 5 \text{ mm})}$) と標準偏差 ($\text{SD}_{(\text{Al } 5 \text{ mm})}$) を算出した。この値をもとに、以下の式により CNR を算出した。

$$\text{CNR} = \frac{\text{Mean}_{(\text{Al } 5 \text{ mm})} - \text{Mean}_{(\text{Al } 1 \text{ mm})}}{\sqrt{\frac{\text{SD}_{(\text{Al } 5 \text{ mm})}^2 + \text{SD}_{(\text{Al } 1 \text{ mm})}^2}{2}}}$$

2) SWRF の測定

ImageJ を用いて、各 DIP 画像、SIP 画像および FIP 画像のラインプロファイルから $\text{Count}_{\max(\text{LP})}$ 、 $\text{Count}_{\min(\text{LP})}$ 、 $\text{Count}_{\max(\text{ref})}$ および $\text{Count}_{\min(\text{ref})}$ を測定し、以下の式から SWRF を算出した。

$$\text{SWRF} = \frac{\text{Count}_{\max(\text{LP})} - \text{Count}_{\min(\text{LP})}}{\text{Count}_{\max(\text{ref})} - \text{Count}_{\min(\text{ref})}}$$

$\text{Count}_{\max(\text{LP})}$: 各ラインペア内の最大濃度値

$\text{Count}_{\min(\text{LP})}$: 各ラインペア内の最小濃度値

$\text{Count}_{\max(\text{ref})}$: 背景部の最大濃度値

$\text{Count}_{\min(\text{ref})}$: 背景部の最小濃度値

3) 照射線量の測定

照射線量として、線量測定器 (RaySafe ThinX : RaySafe, Hovås, Sweden) を用いて入射空気カーマ (incident air kerma : IKA) を測定した。

3. 統計解析

DIP 画像、SIP 画像および FIP 画像の CNR について、Shapiro-Wilk 検定により正規性を、Levene 検定により等分散性を確認した後、一元配置分散分析を実施した。有意差が認められた場合には、Bonferroni 補正を併用した Student の t 検定を用いて事後比較を行った。統計解析には、SPSS Statistics (Version 25.0 : IBM, Armonk, NY, USA) を用いた。有意水準は $p < 0.05$ に設定した。SWRF は、グラフ上の曲線の類似性を視覚的に評価した⁹⁾。

結 果

DIP 画像の CNR は、SIP 画像および FIP 画像と比較し

て有意に高かった。一方、SIP 画像と FIP 画像の CNR に有意差は認められなかった (図 2)。

SWRF 曲線は、DIP 画像、SIP 画像および FIP 画像の 3 者ではほぼ同一型であり、空間分解能に差は認められなかった (図 3)。また、本研究で得られた DIP 画像において、輝度飽和や画像合成の不具合は認められなかった。

IKA の平均は 0.71 mGy であった。

考 察

これまで報告されている DIP 法の研究では、IP を梱包したビニール性保護袋を被写体に密着させた状態に配置し、X 線束の中心線が IP に対して垂直に照射される理想的な条件で画質の検討が行われてきた⁹⁾。しかし、臨床での X 線撮影では、被写体と IP が厳密に密着することはない。したがって、被写体と IP の間に距離がある場合は、その距離に応じて半影が大きくなり、空間分解能の低下につながる。また、国内では二等分法やインジケータを利用して IP に対して斜めに照射する口内法 X 線撮影が一般的であるため、画像に歪みが生じる。本研究では、DIP 法の臨床応用を目的として、臨床に即した X 線束の中心線、被写体および IP との位置関係において、DIP 法のノイズ低減効果と空間分解能が維持されているかを検討した。

本研究の結果、照射角度が 75 度である場合においても、DIP 画像は照射角度が垂直な場合と同様に、SIP 画像および FIP 画像よりも高い CNR を示した。DIP 法は、FIP で捕捉されなかった X 線光子を BIP で捕捉しており、FIP 画像と BIP 画像を合成した DIP 画像では、SIP 画像や FIP 画像と比べてより多くの光子を取得しているため、ノイズが低減されたと考えられる。

DIP 画像、SIP 画像および FIP 画像間で、SWRF の曲線は類似した。FIP 画像と BIP 画像が一致しない状態で、DIP 画像が合成された場合、各ラインペアにボケが生じて、DIP 画像の空間分解能が低下すると考えられる。しかし、本研究において、3 種類の画像の空間分解能が類似したことは、画像合成が有効に機能したことを示唆している。

本研究の撮影条件では、半影に伴うボケが画像に生じて鮮鋭度が低下しなかった。今回、FIP 画像と BIP 画像を合成させた DIP 画像の CNR は高く、SWRF は維持された。さらに、X 線束の照射角度が 75 度の場合でも、DIP 法は空間分解能を維持しつつノイズを低減できた。また、FIP 画像と SIP 画像の間で CNR に有意差は認められず、両者の SWRF 曲線も同一型であった。今後の研究において DIP 画像の比較対照として FIP 画像も利用可能であることを示した。

本研究における照射線量は 0.71 mGy であり、これは日本の診断参考レベルにおける小児下顎犬歯部の IAK に相当する¹⁵⁾。また、Watanabe ら⁹⁾ の研究で用いられた線量

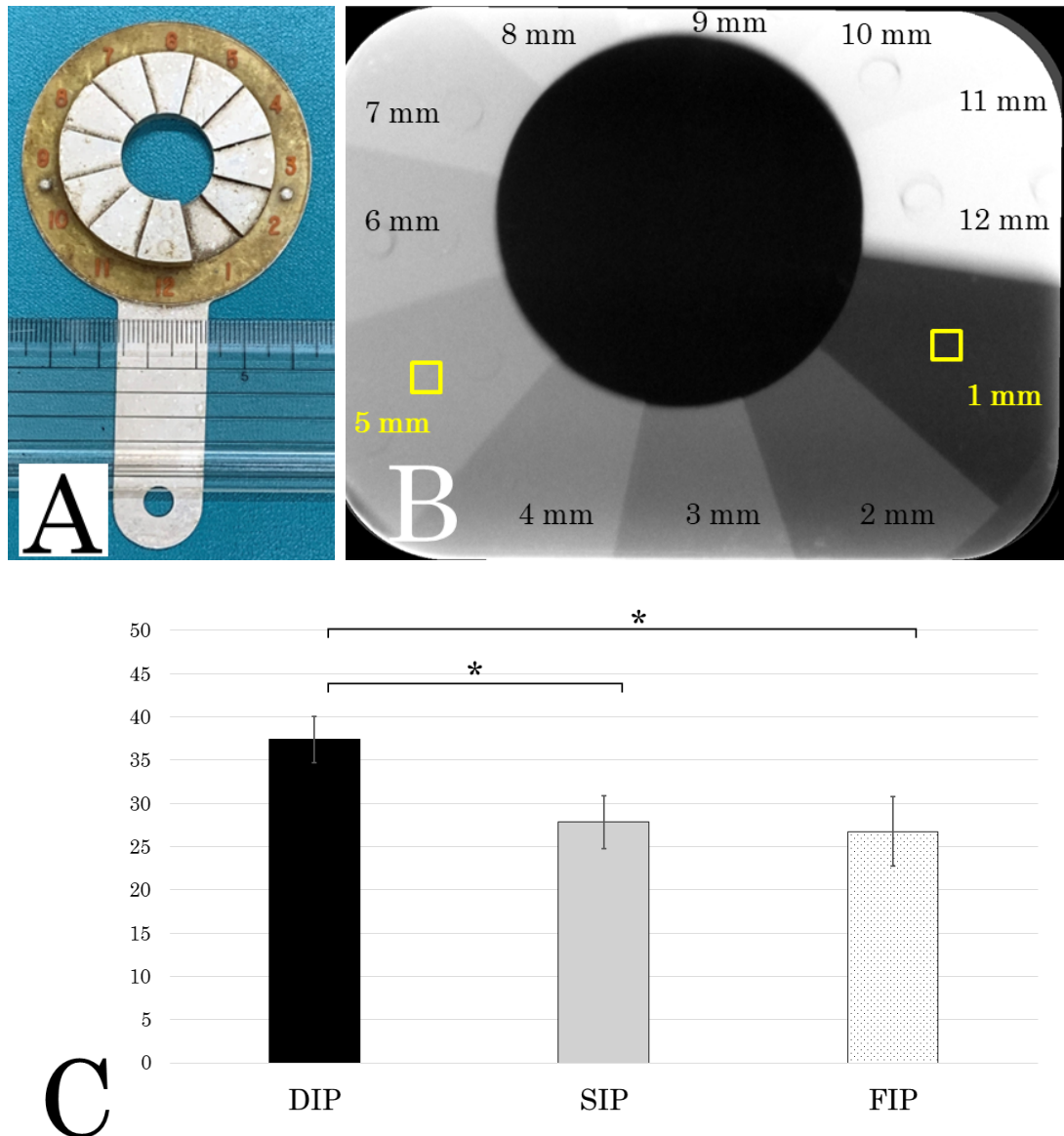


図2 contrast-to-noise ratio (CNR) の測定
アルミニウムファントム (A) を撮影した X 線画像の 1 mm および 5 mm のステップに 50 × 50 ピクセルの関心領域 (黄枠) を設定した (B)。3 画像の CNR の平均と標準偏差を示す (C)。* $p < 0.05$ 。

DIP : dual imaging plate, SIP : single imaging plate, FIP : front imaging plate

である 0.33~0.66 mGy よりも高かったが、DIP 画像に輝度飽和は認められず、画質の特徴は維持されていた。このことから、DIP 法は臨床で用いられる線量条件でも高画質な画像が得られることが分かった。

さらに、DIP 法は低線量でも画質を損なわないため、診断能を維持しつつ被曝を最小化できる。IP 方式の口内法 X 線撮影は、CCD センサーと比較して、口腔内挿入時の不快感が少なく咬翼法にも適している^{7,16)}。そのため、DIP 法は臨床において有用な選択肢となり得る。DIP 法の有効性が確立されれば、口内法 X 線撮影に新たな利点をもたらす。さらに、DIP 法は X 線照射時間の短縮を可能とするため、小児や障がい者、体動により IP の保持が困難な

患者において特に有用である⁷⁾。

携帯型 X 線装置による撮影では、固定源が無い状態で撮影されることが多く、露光中の動きによるアーチファクトや位置誤差が生じる可能性がある¹⁷⁾。DIP 法により X 線照射時間を短縮することができれば、画像のぶれを軽減するとともに、意図しない領域への放射線被曝を低減することが可能である。さらに、パノラマ撮影や Computed tomography が実施不可能な状況において、口内法 X 線撮影が代替検査として用いられる場合においても有用である¹⁸⁾。また、広範囲な画像診断が必要な場合においても、DIP 法の低線量でも高画質な画像が得られるという特徴は有利に働くと考えられる。

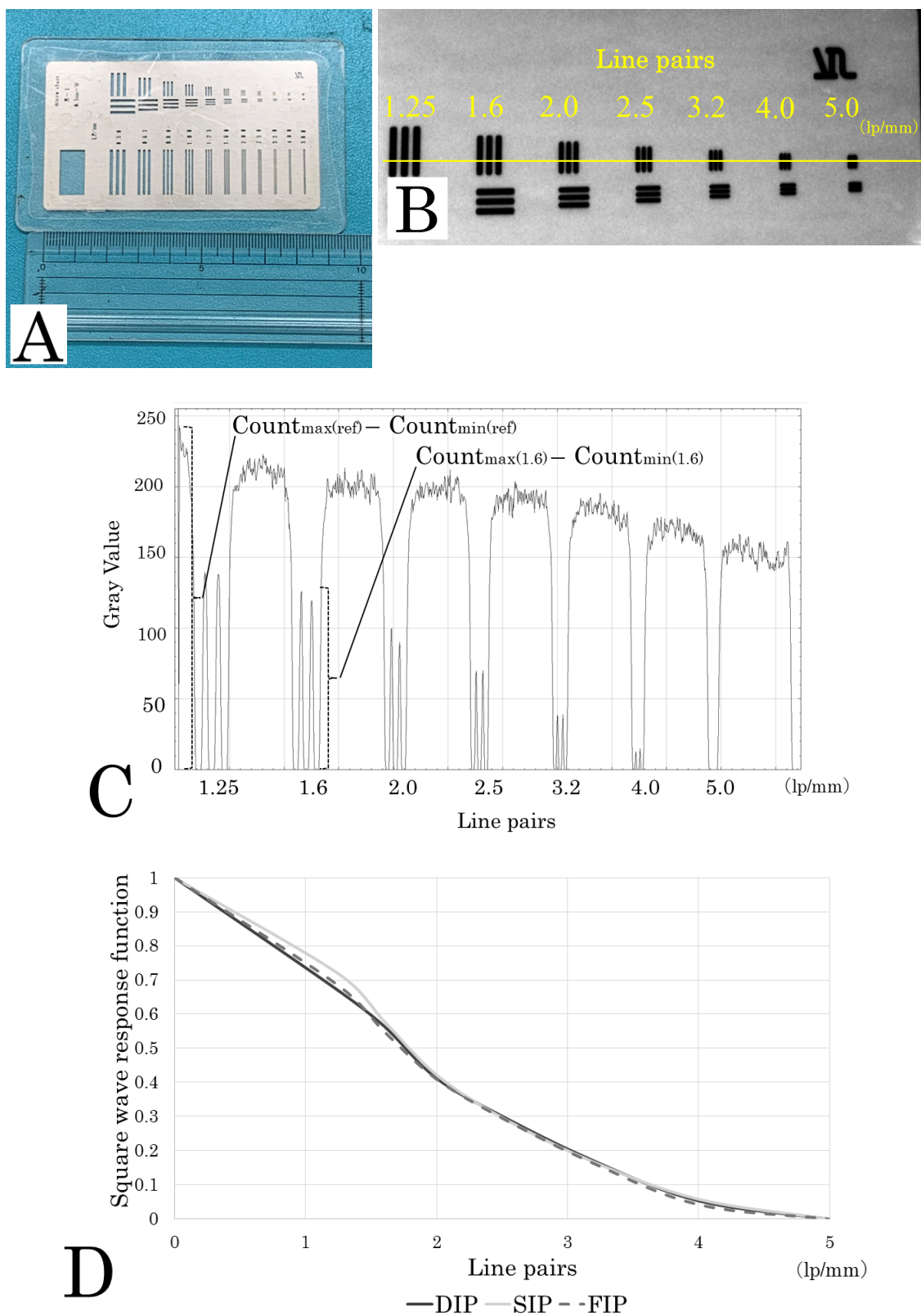


図3 各画像の square wave response function (SWRF) の測定

矩形波チャート (A) を撮影した X 線画像のラインペアチャート (B) に線状関心領域 (黄線) を設定した。線状関心領域のラインプロファイル (C)。各画像の SWRF (D)。

lp/mm : line pairs per millimeter, $\text{Count}_{\max(\text{LP})}$: 各ラインペア内の最大濃度値, $\text{Count}_{\min(\text{LP})}$: 各ラインペア内の最小濃度値, $\text{Count}_{\max(\text{ref})}$: 背景部の最大濃度値, $\text{Count}_{\min(\text{ref})}$: 背景部の最小濃度値, DIP : dual imaging plate, SIP : single imaging plate, FIP : front imaging plate

今後、スキャン時間を含めたDIP画像の処理時間やDIP法を利用するときの適正線量などの詳細な検討も必須である。これらの課題を解決することで、IP方式の利点を損なうことなく高画質で低線量なX線撮影法として、DIP法の臨床応用が期待される。

結 論

本研究で設定した照射角度の条件において、DIP画像のCNRはSIP画像およびFIP画像と比較して有意に高かった。また、3画像のSWRF曲線は類似していた。よって、DIP法は臨床的な撮影条件においても、空間分解能を損なうことなくノイズ低減による画質向上効果があることが示された。

本研究を行うにあたり、格別なるご指導およびご高見を賜りました日本大学歯学部歯科放射線学講座の松本邦史教授ならびに雨宮俊彦専任講師に心より感謝申し上げます。

本研究は、JSPS科研費（基盤研究（C）JP 25K11047）、令和7年度日本大学歯学部総合歯学研究所研究費（B）、令和5年度日本大学歯学部佐藤研究費（研究）の助成を受けて行われた。

本研究に関して、開示すべき利益相反はありません。

文 献

- Berkhout E, Sanderink G, van der Stelt P (2003) Digital intra-oral radiography in dentistry : Diagnostic efficacy and dose considerations. *Oral Radiol* 19, 1-13.
- Farrier SL, Drage NA, Newcombe RG, Hayes SJ, Dummer PMH (2009) A comparative study of image quality and radiation exposure for dental radiographs produced using a charge-coupled device and a phosphor plate system. *Int Endod J* 42, 900-907.
- Wenzel A, Frandsen E, Hintze H (1999) Patient discomfort and cross-infection control in bitewing examination with a storage phosphor plate and a CCD-based sensor. *J Dent* 27, 243-246.
- Gonçalves A, Wiesel VG, Gonçalves M, Hebling J, Sannomiya EK (2009) Patient comfort in periapical examination using digital receptors. *Dentomaxillofac Radiol* 38, 484-488.
- Kalathingall SM, Shrout MK, Comer C, Brady C (2010) Rating the extent of surface scratches on photostimulable storage phosphor plates in a dental school environment. *Dentomaxillofac Radiol* 39, 179-183.
- Wenzel A, Møystad A (2010) Work flow with digital intraoral radiography : A systematic review. *Acta Odontol Scand* 68, 106-114.
- Juneja S, Dalvi S, Aggarwal R, Sukhija M, Singh S, Bansal S (2024) Assessment of perception of pain with E-speed film, CCD sensor and photostimulable phosphor plates for intraoral radiographs in children using three pain rating scales. *Indian J Dent Res* 35, 54-58.
- White SC, Pharoah MJ (2018) *Oral radiology : principles and interpretation*. 8th ed, Elsevier, St. Louis, 139-141.
- Watanabe K, Imanishi Y, Kato M, Kimoto H, Sekiguchi T, Amemiya T, Matsumoto K, Arai Y (2022) Preliminary evaluation of dual imaging plate intraoral radiography. *J Oral Sci* 64, 69-73.
- Workman A, Cowen AR (1995) Improved image quality utilizing dual plate computed radiography. *Br J Radiol* 68, 182-188.
- Lubinsky AR, Whiting BR, Owen JF (1987) Storage phosphor system for computed radiography : Optical effects and detective quantum efficiency (DQE). *Proc SPIE* 767, 167-177.
- Ramamurthy R, Canning CF, Scheetzl JP, Farman AG (2004) Impact of ambient lighting intensity and duration on the signal-to-noise ratio of images from photostimulable phosphor plates processed using DenOptix® and ScanX® systems. *Dentomaxillofac Radiol* 33, 307-311.
- Gomi T, Nakajima M, Umeda T (2015) Wavelet denoising for quantum noise removal in chest digital tomosynthesis. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 10, 75-86.
- European Commission (2004) Radiation protection no. 136 : European guidelines on radiation protection in dental radiology : The safe use of radiographs in dental practice. <https://www.sergas.es/docs/European%20Guidelines%20on%20radiation%20protection%20in%20Dental%20Radiology.pdf>, 85-86. (2025年12月20日アクセス).
- 医療被ばく研究情報ネットワーク. 日本の診断参考レベル (2025年版). https://j-rime.qst.go.jp/report/JapanDRLs2025_ja.pdf, 10. (2025年12月20日アクセス).
- Kamburoglu K, Kolsuz E, Murat S, Yuksel S, Ozen T (2012) Proximal caries detection accuracy using intraoral bitewing radiography, extraoral bitewing radiography and panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol* 41, 450-459.
- Berkhout WE, Suomalainen A, Brüllmann D, Jacobs R, Horner K, Stamatakis HC (2015) Justification and good practice in using handheld portable dental X-ray equipment : A position paper prepared by the European Academy of DentoMaxilloFacial Radiology (EADMFR). *Dentomaxillofac Radiol* 44, 20140343.
- Dave M, Coulthard P, Patel N, Seoudi N, Horner K (2020) Letter to the editor : Use of dental radiography in the COVID-19 pandemic. *J Dent Res* 99, 1112.