

## 論文の内容の要旨

氏名：関 口 敬 人

博士の専攻分野の名称：博士（歯学）

論文題名：Intraoral radiography using dual imaging plates with 12-block horizontal enlargement correction

(12分割水平方向拡大率補正を使用した dual imaging plate による口内法 X 線撮影)

Imaging plate (IP) によるデジタル口内法 X 線撮影（以下、口内法）は、1990 年代に実用化され、現在では広く普及している。IP は支持層、photostimulable phosphor (PSP) などから構成されている。PSP は X 線照射によりエネルギーを吸収・保持し、読み取り装置内で赤色レーザーが照射されると吸収エネルギーに応じた強度の青色光を発光する。青色光は、読み取り装置内の光電子増倍管で検出され、アナログ→デジタル変換され、デジタル X 線画像が生成される。スキャンされた IP に強い可視光線を照射することで、PSP の画像情報を消去し、IP は繰り返しの利用が可能である。IP は 200~1,000 回繰り返し利用することができるが、口内法では IP の包装作業や口腔内への挿入作業を繰り返すことにより、徐々に IP が変形し、X 線画像に歪みを生じることがある。また、IP の読み取り装置の経年劣化によって読み取り速度が不規則に変化し、1 枚の IP のスキャンであっても、領域によって X 線画像に歪みを生じる可能性がある。

Dual IP (DIP) 法は、前方 IP (front IP : FIP) と後方 IP (back IP : BIP) の 2 枚を重ねて撮影して得られた画像を重ね合わせ、画素値を加算平均することで、解像力を低下させることなくノイズを低減させることができる。また、感度が上昇することから被曝線量の低減が期待される。DIP 法では、FIP 画像と BIP 画像の位置ずれを可能な限りゼロに収束させる必要がある。FIP 画像から BIP 画像の位置合わせには、最小二乗法を利用する。FIP 画像と BIP 画像の位置合わせをする際に、BIP 画像の位置を上下左右方向の移動量、回転方向の回転角、水平方向の拡大率を補正して、差分画像の画素値の標準偏差 (standard deviation : SD) が最小になるように、探索を繰り返す。しかし、2 つの画像に良好な収束が得られない場合、画像にボケを生じ、鮮鋭度が低下する。これは FIP 画像と BIP 画像のどちらか、あるいは両方にゆがみがあることに起因する。本研究では、追加画像処理として、得られた画像を水平方向に 12 分割し、各領域内で拡大率を補正することで、DIP 画像生成に係わる FIP 画像と BIP 画像の位置合わせをより正確にすることを試みた。また、追加画像処理に要する処理時間を計測した。

12 枚の IP を使用し、FIP と BIP を重ね合わせてビニールで包装し 6 組の DIP を作成した。X 線発生装置は標準的な口内法 X 線装置を使用し、撮影条件は管電圧 60 kV、管電流 6 mA、照射時間 0.1 秒、焦点-IP 間距離 40 cm とした。被写体には 1 mm メッシュの距離測定用ファントム（以下、メッシュファントム）とレジンに包埋されたブタ下顎骨ファントム（以下、下顎骨ファントム）を使用した。DIP は被写体の後方に設置し、平行法で撮影した。撮影後の IP は、Digora Optime でスキャンし、8 ビットグレイスケールのビットマップ形式で出力した。画像処理には Visual Studio 2019 C#を用い、以下の手順で行った。

- 1) FIP 画像から BIP 画像の差分画像を合成した（以下、シフト前）。
- 2) 上下左右方向に BIP の位置をシフトさせ、最小二乗法によって差分画像の SD が最小になる位置を探索した（以下、上下左右方向処理）。
- 3) 回転による位置合わせを追加し、差分画像の SD が最小になる位置を探索した（以下、回転処理）。
- 4) BIP 画像を水平方向に拡大率を修正し、差分画像の SD が最小になる位置を探索した（以下、拡大処理）。
- 5) BIP 画像を水平方向に 12 分割し、個々の領域の水平方向の拡大率を変化させて、差分画像の SD が最小になる位置を探索した（以下、12 分割水平方向拡大率補正）。

1) から 4) の一連の画像処理を従来法、従来法に 12 分割水平方向拡大率補正を追加した 1) から 5) の画像処理を 12 分割 DIP 法とした。6 組の DIP に対し、それぞれ 3 回メッシュファントムと下顎骨ファントムを撮影し、各 FIP 画像、BIP 画像に対して、1) から 5) の各処理を行った後、FIP 画像と BIP 画像の差分画像を構築した。差分画像に内接する 1,080,000 画素の関心領域を設置し、各処理によ

て分散に差があるかを統計学的に評価した。さらに、12分割水平方向拡大率補正では、12分割された領域の拡大率を求めた。また、一般的なパーソナルコンピュータを使用して、従来法と12分割DIP法のそれぞれ6組のDIP画像の処理時間を評価した。

処理を段階的に追加して得られた差分画像の画素値の分散は、メッシュファントムでは、シフト前、上下左右方向処理、回転処理、拡大処理および12分割水平方向拡大率補正で、それぞれ、1518.99, 1253.75, 413.32, 291.65 および 233.67 であり、処理を重ねるごとに分散は有意に低下した ( $P < 0.05$ )。従来法と12分割DIP法の画像処理時間は、10.82秒、15.96秒であり、12分割水平方向拡大率補正の追加に伴い有意に延長した ( $P < 0.05$ )。同様に下顎骨ファントムにおいても、シフト前、上下左右処理、回転処理、拡大処理および12分割水平方向拡大率補正を追加して得られた差分画像の画素値の分散は、それぞれ、129.14, 103.25, 87.34, 64.12 および 58.36 であり、処理を重ねるごとに分散は有意に低下した ( $P < 0.05$ )。画像処理時間は、12分割水平方向拡大率補正の追加に伴い11.27秒から18.22秒に有意に延長した ( $P < 0.05$ )。また、下顎骨ファントムにおける12分割水平方向拡大率補正による画像処理時間の延長は平均6.96秒 (95%信頼区間: 5.72-8.20) であった。

以上のように本研究の結果から以下の結論が得られた。

1. DIP画像生成において、従来法に追加して、12分割水平方向拡大率補正を行うことによって、FIP画像とBIP画像の差分画像の画素値の分散は減少し、良好な収束が得られた。
2. 12分割水平方向拡大率補正の追加による画像処理時間の延長は10秒以下であった。
3. 12分割DIP法を臨床応用することで、被曝線量の低減に加え、従来法よりも解像力の高いDIP画像を得られることが示唆された。