

歯顎顔面用コーンビーム X 線 CT 画像の定量性評価

Quantitative Verification of Conebeam X-ray CT images for Dentomaxillofacial Region

正 小関 道彦 (東工大) 高橋 満理子 (昭和大)
正 伊能 教夫 (東工大) 榎 宏太郎 (昭和大)

Michihiko KOSEKI and Norio INOU:

Tokyo Institute of Technology, 2-12-1, O-okayama, Meguro-ku, Tokyo, JAPAN

Mariko TAKAHASHI and Koutaro MAKI:

Showa University, 2-1-1, Kitasenzoku, Ota-ku, Tokyo, JAPAN

It is well known that a standard x-ray CT scanner provides reliable CT values denoting x-ray absorption of materials in the object. In recent years, a new CT scanner named “Conebeam CT” has been developed for maxillofacial medical treatment. However, there is a problem that the new scanner provides unreliable CT values. This report examines a quantitative verification of the conebeam x-ray CT images for dentomaxillofacial region using several calibration materials and attempts to correct the images.

Keywords : Conebeam x-ray CT, Bone density, Quantitative verification, Patient-specific model.

1 はじめに

近年、X 線 CT 装置が臨床の現場で広く活用されるようになってきている。従来型の X 線 CT 装置では、X 線管および検出器が体軸廻りに回転することによってスライス画像が撮影される。そして、被写体(患者)を体軸方向に移動して得られる複数のスライス画像を積み重ねることによって被写体内部の三次元構造を構築している。このような従来型の X 線 CT 装置は、患者が横になって撮影するフラットベッド型であるため、設置面積が大きく高価格となる傾向がある。

これに対し最近では、歯科医師や口腔外科を対象として歯顎顔面に特化した X 線 CT 装置が製品化されている。この歯顎顔面用 X 線 CT 装置の多くは、椅子に座った状態の患者頭部に対しコーンビームと呼ばれる X 線を照射することによって撮影が行われる。すなわち、コーン(円錐)型に照射した X 線を二次元平面型の X 線検出器によってセンシングしているため、体軸方向に移動することなく広い範囲の三次元情報を取得可能であることがコーンビーム X 線 CT 装置の特長である。

しかし、歯顎顔面用コーンビーム X 線 CT 装置は一般に、再構成画像の輝度を CT 値に対応させることが構造的に困難であると言われている。筆者らは、X 線 CT 画像に基づく個別モデルを用いて顎骨形態の生体力学的な特徴について検討している [1]。その際、骨組織の不均質な物性を CT 画像から算出しており、CT 画像の定量性が必須となっている。そこで本研究では、歯顎顔面用コーンビーム X 線 CT 装置が出力する CT 画像の定量性について検証し、これを補正することを試みた。

2 再構成画像の定量性検証

歯顎顔面用コーンビーム X 線 CT 装置が出力する CT 画像の定量性を検証するため、キャリブレーション用材料を X 線撮影用頭部ファントムと並べて撮影した。キャ

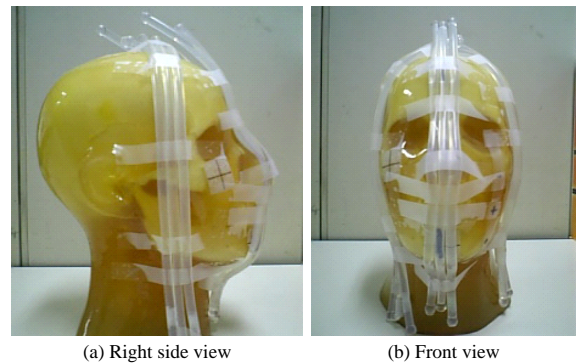


Fig. 1: Head phantom with calibration materials.

リブレーション用の材料としては、ハイドロキシアパタイト ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{OH}_2$) と同等の X 線吸収係数を有するリン酸水素二カリウム (K_2HPO_4) 水溶液を用いた [2]。水溶液濃度を $300\text{mg}/\text{cm}^3 \cdot 600\text{mg}/\text{cm}^3 \cdot 900\text{mg}/\text{cm}^3$ に調製し、シリコン製チューブに封入したものを、頭部ファントムの顔面および左右にテープで固定して撮影を行った。撮影に用いた頭部ファントムを図 1 に示す。

撮影には、フラットベッド型 X 線 CT 装置 (LightSpeed QX/i: ジーイー横河メディカルシステム) および歯顎顔面用コーンビーム X 線 CT 装置 (CB MercuRay: 日立メディコ) を用いた。得られた CT 画像の一例を図 2 に示す。このように CT 画像では、頭部ファントムの顔面前方および左右に配置した 9 本の K_2HPO_4 水溶液を封入したチューブが写し出されている。

次に、この CT 画像を積層して頭部の三次元構造を構築し、 K_2HPO_4 水溶液が写っている領域の CT 値 (画素値) を体軸方向にプロットした。前顔面に沿って設置した 3 種類の濃度の K_2HPO_4 水溶液それぞれについてプロットした結果を図 3 に示す。なお図 3(a) および図 3(b) のグラフは、縦軸を CT 値 (画素値)、横軸を体軸方向の座標とし、横軸の範囲は下顎骨下端から約 10mm の位置を

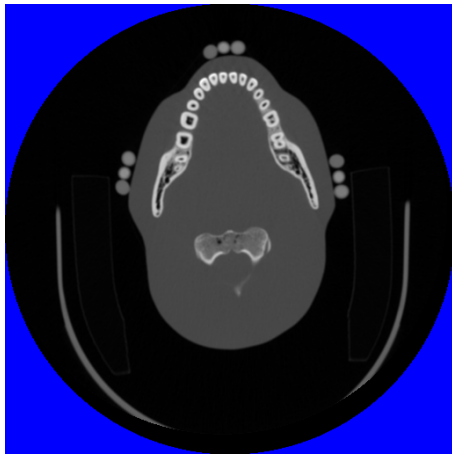


Fig. 2: CT image of the phantom (LightSpeed QX/i).

0として眼窩上縁から約10mmまでの領域である。理解を容易にするため、図3(c)に三次元構築した顎骨形状をグラフと同位置に図示している。

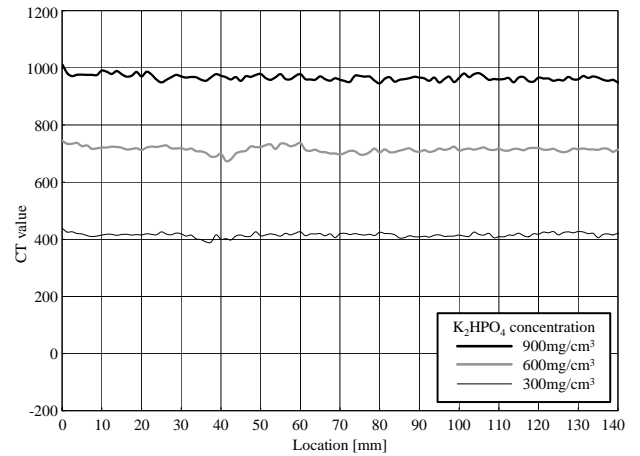
従来X線CT装置の結果である図3(a)では、各濃度の K_2HPO_4 水溶液はそれぞれ部位に依らずほぼ一定のCT値を示している。これに対し図3(b)に示した歯顎顔面用コーンビームX線CT装置の結果では、いずれの濃度の水溶液についても下顎骨下端の10mm付近で急激に画素値が変化し、歯列がある50mm付近や眼窩の90~130mmの領域で画素値が大きく変動している。このように K_2HPO_4 水溶液で一定の画素値が出力されないことは、その近傍にある骨組織についても画素値が不適切となっていることを示唆している。このような現象が発生する原因としては、ビームハードニングなどが考えられるが、その詳細についてはこれから検討したい。

3 再構成画像の補正

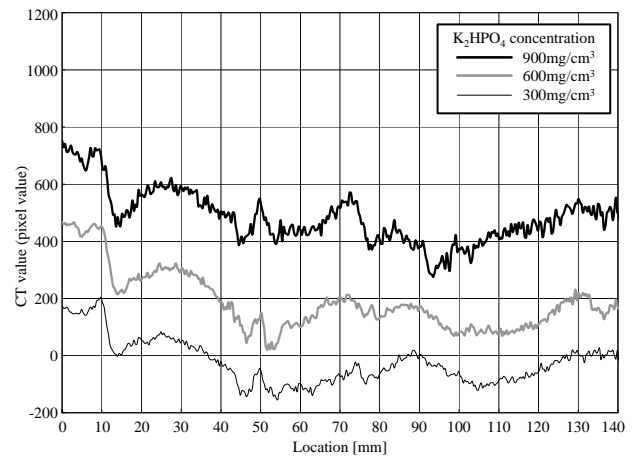
歯顎顔面用コーンビームX線CT装置が出力するCT画像を、 K_2HPO_4 水溶液領域で得られた画素値に基づいて補正することを試みた。今回は簡単のため、頭部前方および左右の3箇所に配置された $600mg/cm^3$ の K_2HPO_4 水溶液の画素値を参照し、3点からの距離に応じて各画素の補正量を線形的に求めた。従来型のX線CT装置ではCT値=1800を示している切歯部について比較したところ、コーンビームX線CTのオリジナルCT画像で約850の画素が補正により約1600となり、補正の効果を確認した。しかし、補正によって樹脂領域のCT値が一定とならない現象がみられ、さらに適切に補正する必要があることがわかった。

4 まとめ

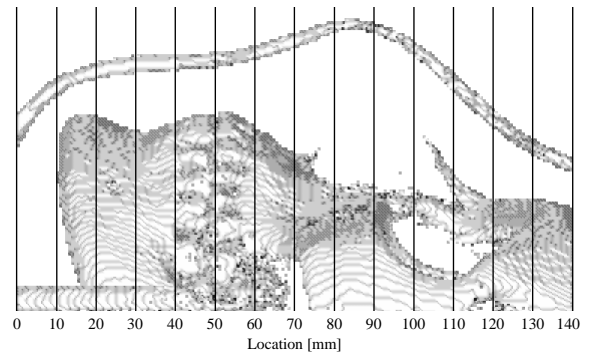
歯顎顔面用コーンビームX線CT装置が出力する再構成画像をそのまま利用して生体組織の物性について定量的な考察を行うことは現状ではまだ難しいことを報告した。しかし、歯科用コーンビームCT装置は開発されてからまだ日が浅く、性能向上が日々進められているため、その成果に期待したい。また、本稿で提案した補正は非常に簡単なものであるため、歯顎顔面用コーンビームCTにさらに適した補正手法について検討したい。



(a) Standard CT.



(b) Conebeam CT.



(c) 3D reconstructed image of the phantom at same location with above graphs.

Fig. 3: CT values of K_2HPO_4 phantoms.

謝辞

画像の補正処理にご協力いただいた、東京工業大学工学部機械科学科の中村玄君に感謝する。

参考文献

- [1] 小関道彦・伊能教夫・榎宏太郎: 咀嚼筋の活動状態の推定と個別応力解析; 日本機械学会 2005 年度年次大会講演論文集 (5), [05-1], (2005), 155-156.
- [2] 津田貴博・山子剛・高野玲子・徳永邦彦・原利昭: 骨組織の石灰化度とねじり特性との関連性; 日本機械学会 第 19 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, [06-65], (2007), 398-399.