

論文の要約

氏名：林 悠 介

博士の専攻分野の名称：博士（歯学）

論文題名：パノラマ X 線，歯科用コーンビーム CT および医科用 CT における下顎下縁皮質骨厚さ計測の精度と信頼性

骨粗鬆症は、骨密度の低下によって病的骨折のリスクが高まることを特徴とする全身性骨代謝異常と定義され、世界中で年間約 890 万件の病的骨折の発症に関与している。高齢者の骨粗鬆症に起因する骨折は、生活の質を著しく低下させ、医療費や介護費の増加を招く。これらを抑制するために、骨折発生前の骨粗鬆症の早期発見と予防介入が非常に重要である。

歯科領域で利用される画像検査の一つであるパノラマ X 線撮影（panoramic radiography：PR）の画像所見が、骨粗鬆症や骨塩量減少（骨減少症）のスクリーニングとしての指標になることが知られている。Klemetti らと田口らは、それぞれ PR 上のオトガイ孔相当部の下顎下縁皮質骨の厚みである mandibular cortical width (MCW) が、全身の骨塩量の喪失を検出する有用なスクリーニングツールになると報告した。しかし、PR 上の MCW は、本来の大きさより垂直的に拡大されているため、厳密な定量化には、垂直的拡大率の補正が必要である。Dutra らは、PR 装置ごとの垂直的拡大率を補正することで、PR 上の MCW を実長化し、装置間の診断の不一致を改善できるとしている。著者は、正確な垂直的拡大率によって計測値を補正することで、信頼性を改善し、異なる施設の PR 間あるいは異なるモダリティで計測された MCW の比較ができると考えた。

歯科領域において、MCW をはじめとする骨粗鬆症や骨減少症の評価は、専ら PR で行われ、歯科用コーンビーム CT（cone-beam computed tomography：CBCT）を用いた報告は少ない。Secgin らは、健常者を対象に CBCT の歯列直交断像と PR 上の MCW を比較し、これらの良好な一致を示した。CBCT は、撮像視野（field of view：FOV）によって、計測値や計測精度が変動すると報告されているが、これまで CBCT の小照射野である FOV が直径 40 mm × 高さ 40 mm（以下 CBCT FOV 40 mm）と大照射野である FOV が直径 100 mm × 高さ 100 mm（以下 CBCT FOV 100 mm）での MCW の計測値を比較した研究はない。通常、下顎骨骨折などの下顎骨全体の観察が必要な疾患の評価には、医科用 CT（multi-detector computed tomography：MDCT）を用いる。しかし、MDCT を用いた MCW を評価した報告はないため、MDCT での MCW 計測が妥当かどうかは不明である。

本研究の目的は、1) 計測に使用した PR 装置のオトガイ孔付近の正確な垂直的拡大率を、規格化された円柱ファントム（以下円柱ファントム）を使用して求めること、2) 円柱ファントムを被写体として、前述で求めた垂直的拡大率によって補正された PR（corrected panoramic radiography values：Cor-PR）、CBCT FOV 40 mm、CBCT FOV 100 mm および MDCT で、MCW に相当する部位の厚みを計測すること、3) 頭部ファントムを被写体として、MCW 計測における各モダリティの計測精度を評価することである。

円柱ファントムは、厚さ 1 mm のアルミニウム製の弾丸および半球をアクリル包埋したものを使用した。頭部ファントムとしては、アクリル包埋された頭蓋骨ファントム 3 体を使用した。円柱ファントムは、MCW を計測するオトガイ孔相当部に設置し、歯列弓上に位置付けた。人体を想定し、通法に従って、PR、CBCT、MDCT の撮影を行った。CBCT 及び MDCT は撮像後に、歯列直交断像を再構成した。頭部ファントムでは、両側の歯列直交断像を再構成した。

画像計測は、3 人の計測者が 1 週間隔でそれぞれ 3 回行った。PR では、近心、中央および遠心のそれぞれ上下の計 6 か所について、円柱ファントムの直線部アルミニウムの厚さ計測を行った。CBCT および MDCT では、円柱ファントムの横断面で直線部アルミニウムの厚さを計測した。PR の計測値の平均を使用し、実際の厚さ（1 mm）との比を PR の垂直的拡大率とした。垂直的拡大率で除した PR の計測値（Cor-PR）を、CBCT FOV 40 mm、CBCT FOV 100 mm および MDCT の計測値と比較した。頭部ファン

トムのMCW計測では、PRにおいて、Taguchiらの方法で両側MCWを計測した。CBCTおよびMDCTでは、オトガイ孔の中心を通る歯列直交断像を用い、Secginらの方法で両側MCWを計測した。PRの計測値は、円柱ファントムで得られた垂直的拡大率で補正し、CBCT FOV 40 mm、CBCT FOV 100 mmおよびMDCTのMCW計測値と比較した。

PR、CBCT FOV 40 mm、CBCT FOV 100 mmおよびMDCTでの円柱ファントム計測値は、それぞれ1.37 mm、0.98 mm、1.08 mmおよび1.54 mmであった。オトガイ孔部のPRの垂直的拡大率は1.37であった。全モダリティでの計測値は、正規分布とみなされ ($P \geq 0.05$)、各群間の等分散性も確認された ($P \geq 0.05$)。反復測定一元配置分散分析では、各群の計測値に有意差がみられた ($P < 0.05$)。事後検定では、MDCTと他の全てのモダリティ間、CBCT FOV 40 mmとCBCT FOV 100 mm間に有意差を認めた ($P < 0.05$)。

PR、CBCT FOV 40 mm、FOV 100 mmおよびMDCTの頭部ファントムのMCW計測値は、それぞれ5.77 mm、4.35 mm、4.45 mmおよび4.12 mmであった。Cor-PRは4.22 mmであった。Cor-PR、CBCT FOV 40 mm、CBCT FOV 100 mmおよびMDCTでの計測値は正規分布とみなされ ($P \geq 0.05$)、各群間の等分散性も確認された ($P \geq 0.05$)。反復測定一元配置分散分析では、有意差は認めなかった ($P \geq 0.05$)。CBCT FOV 40 mmとCor-PR間、CBCT FOV 40 mmとFOV 100 mm間のピアソンの r は、それぞれ0.905 ($P < 0.05$)と0.945 ($P < 0.05$)であり、非常に強い相関を示した。一方、CBCT FOV 40 mmとMDCT間には、有意な相関はみられなかった ($r=0.811$, $P \geq 0.05$)。計測者内信頼性の評価では、おおむね“良”以上であり、“不可”のモダリティはなかった。計測者間信頼性の評価では、PRが“可”、CBCTは“良”、MDCTでは“優”であった。

円柱ファントムを用いて算出したオトガイ孔付近のPRの垂直的拡大率は、1.37であり、メーカー公称値と約5%異なることが示された。これは異なるPR装置で得られた画像上の構造物の計測値を比較するには、対象部位の垂直的拡大率による正確な補正が必要だということを示している。

Cor-PR、CBCT FOV 40 mm、FOV 100 mmおよびMDCTでの、円柱ファントムのMCWに相当するアルミニウムの厚さの計測値を比較すると、MDCTはCor-PR、CBCT FOV 40 mm、CBCT FOV 100 mmより有意に大きな値を示した。CBCT FOV 100 mmとMDCTの計測では、アルミニウムの厚みに対して、結果的にボクセルサイズが大きく、誤差が大きくなったと考えられる。CBCT FOV 40 mmでは、FOV 100 mmやMDCTとは逆に、実測値よりわずかに過小評価がされていたが、すべての方法で計測誤差が1ボクセルサイズ前後であったことから、小さなボクセルサイズの撮影条件では、より正確な計測値が得られることは明らかである。また、CBCTは、高コントラスト分解能が高いため、ボクセルサイズが小さいという条件であれば、非常に菲薄な骨構造を計測するのに適している。対照的に、大きいボクセルサイズであるCBCT FOV 100 mmやMDCTで、菲薄な骨構造を計測する場合、1ボクセル程度の誤差が常に起こる危険性をはらんでいる。

頭部ファントムにおけるMCWの計測では、Cor-PR、CBCT FOV 40 mm、CBCT FOV 100 mmおよびMDCTの計測値に有意差は認めなかった。これは円柱ファントムと比べ、頭部ファントムのMCWが厚いことに起因すると考えられた。本研究では、Cor-PRはCBCT FOV 40 mmよりも若干低い値であった。CBCTやMDCTでは、歯列直交断像作成時の角度設定や顎下縁皮質骨から連続する不規則な骨梁の形態が計測誤差に影響すると考えられた。CBCT FOV 40 mmに対し、Cor-PRとCBCT FOV 100 mmの計測値は、高い相関が認められた。これはPRとCBCT FOV 100 mmでも、CBCT FOV 40 mmと同精度で、MCWを計測可能であることを示唆している。一方、CBCT FOV 40 mmとMDCTとの間には、有意な相関がなかったことから、MDCTではPRやCBCTと同程度のMCW計測の精度は担保できない可能性がある。しかし、臨床現場で、骨粗鬆症または骨減少症のスクリーニングという限られた目的において、要求される精度は曖昧である。今後は臨床例でROC分析 (Receiver Operating Characteristic analysis) にてカットオフの設定を含めた検討が必要である。

本研究により、MCWの計測において、使用するPR装置の垂直的拡大率による補正の有効性を実証できた。また、Cor-PR、CBCTによるMCWの計測精度および信頼性は高いことが判明した。