

論文の内容の要旨

氏名：伊藤源大

博士の専攻分野の名称：博士（歯学）

論文題名：繰り返しエッジオーバーサンプリング法による水中条件での小照射野歯科用コーンビーム CT における空間分解能の評価

小照射野のコーンビーム CT (cone-beam computed tomography : CBCT) は、1990 年代後半に Arai らによって開発された。CBCT の画像評価において最も重要な要素は解像度を示す空間分解能であり、これまでに多くの研究がなされてきた。これには、主観的な方法と変調伝達関数 (modulation transfer function : MTF) に基づく客観的な方法がある。しかし、これらの方法のいずれにおいても、CBCT の空間分解能の評価としては信頼性に疑問の余地が残っていた。さらに、これらの研究においては、臨床的な条件下において発生する周囲の軟部組織に起因する散乱線を全く考慮していなかった。

臨床的な条件下で MTF を測定するためには、軟部組織に相当する水を満たした水槽やポリメチルメタクリレート (polymethyl methacrylate : PMMA) を使用し、管電流や管電圧を臨床現場で使用されている条件に設定する必要がある。しかし、CBCT では限定された撮影範囲 (field of view : FOV) と引き換えに、得られる画像輝度が安定していない。また、CBCT は低被曝線量を特徴としているが、その代償としてノイズを生じやすい。そのため、過去の研究で報告されている MTF は同機種間であっても、報告される論文ごとに大きく変動し、再現性が低いとされている。また、理論的にも散乱ノイズの影響下において、MTF を正確に計算することは不可能である。したがって、MTF を計算する前に、このノイズを十分に低減する必要があると考えられた。

本研究は、臨床的な条件を模した水中条件で MTF による空間分解能をより精密に求めることを目的とし、ノイズ低減を目的とした前処理により、臨床を想定した水中条件において MTF を利用した空間分解能の評価ができたため報告する。

被写体として、アルミニウムパイプを使用し、本研究のために製作した台座を用いて、垂直方向に対して少し傾いた状態で設置した。台座の材質は PMMA であった。アルミニウムパイプの傾斜比は 77:3 (25.7) であり、したがって理論的なオーバーサンプリング比は 25.7 であった。実験に使用した CBCT は Veraview X800 で、撮影条件は一般的に臨床において使用される条件と同一とした。水槽は直径 180 mm × 高さ 100 mm のものを使用し、測定ファントムは水槽の中央に配置した。撮影は空気中および水中で行い、空気中では X 線を減衰させるための銅板を設置した。

水中条件におけるノイズへの対策として、重ね合わせによるノイズ抑制法を採用した。撮影回数の決定のため、空気中および水中における CNR (contrast to noise ratio) の計測を行った。必要な撮影回数は空気中および水中における CNR の比より求めた。MTF 計測は、各撮影結果より ESF (edge-spread function) を求め、これを各条件において重ねあわせることで得た ESF_{ave} より行った。測定ファントムの連続した軸位方向 CT 画像を取得し、3D ボリュームデータを得た。画像処理は、自作のソフトウェアを使用して実施した。撮影データよりアルミニウムパイプの中心で矢状断面画像を再構成した。再構成された断面を微分して回帰分析を行い、ESF の中心位置と傾斜比を求めた。実際のオーバーサンプリング比は、求めた回帰直線の傾斜比とした。各条件ごとにエッジ中心位置で重ね合わせを行い、加算平均した ESF_{ave} を求めた。この ESF_{ave} より MTF を算出した。

空気中の CNR は水中に対し 3.21 倍であったため、水中の CNR を空気中の CNR と同等とするには、3.21 倍の 2 乗である 10.32 回のデータを加算平均する必要があることがわかった。本研究では、3.21 倍の小数点以下を切り上げ 4 倍とし、 4^2 である 16 回を撮影回数とした。1.0 LP/mm での MTF は空気中で 0.59、水中で 0.52 であり、その差は統計学的に有意であった ($P < 0.05$)。2.0 LP/mm での MTF は空気中で 0.18、水中で 0.15 であり、統計学的に有意差は認められなかった ($P > 0.05$)。

本研究では、臨床的な条件を模した水中条件における解像力を求めるために、頭部の大きさと等価の直径 180 mm の水槽を使用した。しかし水中ではノイズが非常に多く、MTF を求める大きな誤差要因となっていた。このため、測定前にノイズを十分に低減する必要があり、この問題を解決する第一の方法としてエッジ法を採用した。エッジ法は、ワイヤー法に比べて得られる画像のコントラストが高く、ノイズに強い。本研究では測定ファントムの台座部分に水準器を追加することでアルミニウムパイプの傾斜角の再現性を高め、オーバーサンプリング比の誤差が小さくなるようにした。

ノイズへの第二の対策として、16 回の繰り返しで得られた ESF の重ね合わせによるノイズ低減法を採用した。ここで得られた ESF を単純に重ね合わせると、位置ずれが生じてしまう。そこで、ESF の整列を行うことで波形の形状を保ったままノイズを低減し、MTF の精度を向上させることができた。最終的に得られる MTF は、水中では散乱線の影響によりボケが生じるため、全領域で空気中より水

中の方が低いと考えられた。本研究結果において、1.0 LP/mm では水中の方がより低い値を示し、有意差も認められた。しかし、2.0 LP/mm より高い周波数において、水中の MTF の方が空気中よりも部分的に高く、逆転している領域が見られた。また、この周波数域において統計学的な有意差は認められなかった。原因として、この領域の MTF は 0.1 以下と低く、ノイズの影響を受けて信頼性が低下したためと考えられ、2.0 LP/mm より高い周波数における精度の向上が今後の研究課題となった。