

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 歯科医療支援のための高解像度歯科用 CT 像の
3次元画像処理に関する研究
氏 名 長尾 慈郎

論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、高解像度歯科用 CT 像を計算機で 3 次元的に画像処理することにより、歯周病の診療を定量的尺度を用いて支援するための研究について述べる。歯周病の検査や診断、治療には、歯自身や歯肉はもちろん、歯を支える骨(歯槽骨)の形状や状態を正しく把握することが不可欠である。そこで本論文では、歯周病の主要な症状の一つである歯槽骨吸収を示す領域を歯科用 CT 像から計算機によって推定し、その吸収量を歯の周辺全域にわたって計測、可視化する手法を提案する。

歯槽骨吸収は歯科の専門用語の一つであり、歯肉等の歯周組織に生じた炎症に対する防御反応の結果、歯の周囲で歯を支える働きをしている歯槽骨中のカルシウムが体内に再吸収される現象を指す。歯周組織の炎症の原因は、歯周ポケット内外の歯垢内に存在する細菌の作用によるものが大きい。歯槽骨中のカルシウムが吸収されると、その部分の歯槽骨が破壊され、歯を支える機能が失われる。そのため歯槽骨吸収が進行すると歯がグラグラになり、ついには抜けてしまうことになる。歯槽骨吸収の位置や量、存在範囲の広さ等によって治療法が変わってくるため、これらを把握することは歯周病の診療において極めて重要である。さらに歯周病は数年以上にわたる治療を必要とすることも少なくなく、測定値を以前のもものと比較することも必要となる。そのため治療経過を把握する上で、計測位置と計測値を正確に再現できることが求められる。

しかしながら従来からの方法は針状の器具を用いた手作業による診査や 2 次元透過像上での観察であるため、測定値や測定位置の再現性に問題があった。また歯根の間の領域(歯根分岐部)に生じた歯槽骨吸収は、周囲を歯槽骨や歯根に囲まれているため、これまで観察や到達が非

常に困難で、症状がある程度進行するまで診断や治療が困難な場合が多かった。本研究ではこれらの問題を解決する手法を提案する。歯根分岐部を含む歯の周辺全域における歯槽骨吸収を3次元的に計測、可視化し、従来に比べて歯槽骨吸収の位置や広がりやの格段に容易な把握を可能とする。さらに計算機処理の特性を活かして計測値や計測位置の高い再現性を実現する。

これらの技術によって、従来限定された位置でしか測定できず、測定位置や測定値の再現性も低かった歯槽骨吸収を、任意の位置で、再現性高く計測可能となる。このような情報を提供することは、歯科医がより正確に病態を把握し、より適切で、効果の高い歯周病診療を行うための支援として非常に有用であると考えられる。

現在の歯槽骨吸収の診査は、歯周ポケットへ探針プローブを挿入するプロービングと、2次元X線写真による観察が主である。プロービングによる診査は、歯科医が手先の感覚を頼りにプローブと呼ばれる針状の器具を歯周ポケット内へ挿入し、どの程度の深さまで挿入されるかを目視で観察して「深さ4 mm」などと記録することによって行われている。また挿入する位置や角度も目視で決定し、測定点数も最大6点であるなど、非常にシンプルな方法である。2次元X線写真も、歯の並びに垂直な1方向からのみの観察であり、それも透視像であるため撮影方向に存在する物体の像が重なり合い、歯の周辺全域の微細構造を詳細に観察することは困難である。さらにこれらの方法は、周辺の歯や骨、歯肉などからの干渉も強く受けるため、測定方向、位置等に制限やばらつきが大きく、客観性、再現性等に問題がある。

一方、高解像度の歯科用CT装置が近年開発され、歯やその周辺の微細構造を詳細に観察することが可能となってきた。本研究はこの歯科用CT像と計算機処理を利用して上記の問題を解決するとともに、新しい計測・観察方法を提案し、歯周炎診療の質を向上させることを最終的な目標としている。

本論文ではまず、歯科用3次元CT像から歯槽骨吸収領域を推定・抽出する手法を提案する。その前段階としてCT像からエナメル質、象牙質、歯槽骨の各領域をセグメンテーションする必要があるが、歯槽骨吸収領域の推定と抽出、および続く歯槽骨吸収の計測、可視化法を重点的に検討するため、本論文ではこれらの領域はセグメンテーションされているものとし、自動的なセグメンテーション法の開発は今後の課題とした。実験に用いたデータについては、領域拡張法等の自動抽出法と手作業とを併用してセグメンテーションした。

CT像上で歯および周辺の組織の領域をセグメンテーションした後、モ

ルフォロジー演算等を用いて歯槽骨吸収領域を推定する。歯槽骨吸収領域は、直感的には「歯領域と歯槽骨領域とに挟まれた領域」と考えられるが、実際の CT 像上では軟組織や空気で作られる背景領域と明確な境界なくつながっており、歯領域と歯槽骨領域とによって完全に囲まれてはいない。よって歯領域および歯槽骨領域との近接関係等を考慮した推定処理を行う。この手法によって抽出された吸収領域には、歯の周囲の吸収領域の他に歯根分岐部の吸収領域が含まれる。それぞれの領域における歯槽骨吸収量を別々に計測するため、歯槽骨吸収領域を歯の周囲および歯根分岐部の領域に分割する必要がある。しかしここでも、歯根分岐部は厳密には歯根によって囲まれておらず、歯の周囲との明確な境界がない。そこで 2 次元凸包の当てはめによる歯根分岐部の規定方法を提案する。具体的には、歯軸に垂直な平面上で歯領域に 2 次元凸包を当てはめ、凸包内部の歯根分岐部吸収領域、および外部の歯周囲の吸収領域に分割する。

次に歯周囲の歯槽骨吸収量の計測法を提案する。これは従来の探針プローブや 2 次元 X 線写真による歯槽骨吸収の深さの測定に代わる手法の提案を目指したものである。上で述べた手法により抽出した歯周囲の歯槽骨吸収領域を用いて計測を行う。歯軸を軸として回転する半平面を設定し、その半平面上でセメントエナメル境および吸収の底部を探索する。計測の再現性等の観点から、CT 像上で検出でき、経時的な変化も少ない点が望ましく、これらの点は従来の 2 次元 X 線写真上での測定において用いられる基準に準じており、X 線像上での可視性、および歯科医側の受け入れやすさを満足していると考えられる。また歯自体は歯周病の影響を受けにくいいため、歯軸を基準とするこの方法は計測位置の再現性にも優れていると考えられる。得られたセメントエナメル境と吸収の底部それぞれを歯軸に投影し、その長さをこの半平面の位置での吸収深さ計測結果とする。また計測結果を画像やグラフなどを用いて可視化し、吸収量の 3 次元的分布の直感的な把握を支援する方法も提案する。

周囲を歯や骨に囲まれた部位に発生する歯根分岐部吸収は、従来の方法では到達、観察が非常に困難であった。従ってこの部位の病変を定量化および可視化することは、診断・治療支援として非常に大きな貢献となる。歯科用 3 次元 CT 像から抽出した歯根分岐部吸収領域を利用し、歯周囲での計測と類似した、歯軸に平行な計測を領域全体で行う手法を提案する。さらに歯根による遮蔽を最小化した、歯根分岐部吸収の高さと内方への広がりを同時に把握できる可視化法も提案する。歯根分岐部は周囲を歯根や歯槽骨に囲まれているため、この部位における歯槽骨吸収の全体的な形状を、吸収量だけでなく歯根との位置関係も含めて把握

しやすいように可視化するためには、これらの領域による遮蔽を受けないための工夫が必要である。そこで本論文では、歯領域の可視化像と吸収量を表す擬似カラー表示とを組み合わせた可視化法を提案する。

これらの手法を実際の患者から得た歯科用 3 次元 CT 像 5 例、および人工図形を基に作成したデータに適用して、歯科医が与えた正解値および数学的予測値と比較し、領域抽出および計測の精度を評価した。その結果、歯槽骨吸収領域抽出精度は 85%前後であった。また吸収量計測を行うに十分な抽出が行われていることを確認した。歯周囲の吸収量計測については、実患者データにおいて平均絶対計測誤差 0.7~1.0 mm、人工図形において 0.36 mm であった。歯根分岐部の吸収量計測については、実患者データにおける正解値の取得が困難であったため、人工図形のみを用いて計測精度を評価し、平均絶対計測誤差 0.10 mm という結果を得た。これらの計測精度は従来法と同程度またはそれを上回っており、本手法の有効性が確認された。計測結果の可視化法についても、従来は少数の数値のみから把握しなければならなかった歯槽骨吸収の状態を、位置と量の双方について同時に、かつ直感的に把握可能となり、支援情報として有用であると考えられる。特に歯根分岐部の歯槽骨吸収量可視化結果については、歯科医から「吸収の内方への広がりと高さ方向の吸収を同時に表示でき、優れている」との評価を得た。

本論文で提案した手法は、従来歯科医が透視像や手先の感覚、目視に頼って行っていた診査に比べて格段に客観性、位置再現性に優れた計測を提供できる。特に計測値の経時的な変化を高い信頼性をもって比較できるようになるため、長期的なケアが重要な歯周病の治療において、非常に有用な技術となると考える。今後のさらなる精度向上と処理の自動化、多試料を用いた検証を経た後には、歯周炎診断・治療の質の向上に貢献が期待できる成果が得られたと考える。