X線画像解析を応用した人工生体材料の経時的な増生骨組織の評価法

増崎 雅一・村瀬 博文・大森 一幸・窪田 正樹
平 博彦・麻生 智義・柴田 敏之・有末 眞
大西 隆*・金子 昌幸*

Chronological assessment of the response of bone tissue to biological material using X-ray image analysis systems

Masakazu MASUZAKI・Hirofumi MURASE・Kazuyuki OHMORI・Masaki KUBOTA
Hirohiko TAIRA・Tomoyoshi ASO・Toshiyuki SHIBATA・Makoto ARISUE
Takashi OHNISHI*・Masayuki KANEKO*

Abstract: Recently, artificial biologic materials have been extensively applied for clinical treatment but chronological follow-ups have rarely been reported. At present, chronological evaluations are made with X-ray photos and computed tomography. There for, detailed observations of changes in artificial biologic materials have been difficult.

Here we clinically employed these materials and determined the time course of minute changes in bone tissue by X-ray image analysis systems.

Key words: X-ray image analysis system (X線画像解析装置), edge emphasis (エッジ強調), artificial biologic material (人工生体材料)

緒 言

近年、人工生体材料の基礎的研究では、組織親和性や生体活性はもちろん、骨細胞の分化、リモデリングに関する報告¹⁻¹⁰⁾が注目されてきている。しかし、実際に人工生体材料を臨床応用した場合、移植後の経時的な骨組織の変化を評価するには、現在のところX線写真、X線CT写真などにより評価が行われている。これは、あくまでも肉眼的所見によるもので、微細な部位での評価に

おいては必ずしもはっきりしない。

そこで著者らは、人工生体材料を用いた移植後の骨組織における微細な部位での変化をX線写真から観察する目的で、X線画像解析システムを応用して、詳細に観察したところ、術後の経過を評価することができた。しかし、経時的に撮影した回転断層パノラマX線写真の撮影時における体位の変化と画像への影響について、あらかじめ頭頸部ファントムを用いて予備実験を行い、検討した。さらに、人工生体材料を応用した症例の、移植後の経時的な骨組織の微細変化についても観察した結果、人工生体材料に添加した骨の幅、その面積を数量化することができたので合わせてその概要について報告する。

予 備 実 験

1. 予備実験

解析するX線写真の撮影時における体位と画像の関係について実際濃淡がどれくらい変化するのか、具体的に濃淡を数値化し統一化した解析ができるのかを検討した。予備実験に使用したX線写真は、回転断層パノラマX線写真（以下、オルソ写真と略す）を用いた。

方法は、頭頸部ファントムを使用して撮影条件、現

東日本学園大学歯学部口腔外科学第Ⅱ講座
(主任：村瀬博文教授)

* 東日本学園大学歯学部歯科放射線学講座
(主任：金子昌幸教授)

The Second Department of Oral and Maxillofacial Surgery, School of Dentistry, Higashi-Nippon-Gakuen University (Chief: Prof. Hirofumi Murase)

* Department of Dental Radiology, School of Dentistry, Higashi-Nippon-Gakuen University (Chief: Prof. Masayuki Kaneko)

受付日：平成5年6月18日

写真 1 頭頸部ファントム

写真 2 被検者の位置付けの基本
回転断層パノラマX線写真の水平軌道の経路

象条件を一定にして行った。まずファントムの正中矢状面をオトガイレストの正中と一致させ、イヤarroッドが正しい位置にあることを確認し、次にフランクフルト平面を決定し、回転断層X線パノラマ撮影機で床平面とフランクフルト平面を平行に、水準器を用いてセットし(写真1)、回転軸を正中、前歯列群の位置などの軌道を一定にした(写真2)。撮影の体位は、撮影時の垂直的な、上下方向への角度のズレを、それぞれフランクフルト平面を基準に、上方へプラス10度、下方にマイナス10度の範囲を1度きざみとして、管電圧 75 Kvp、管電流 9 mA で、フィルムは Kodak 社 X-Omat XRP-5

図 1 画像解析装置XL-500

を使用し、現像は Kodak 社のデュールデンタル現像機にて 18~20°C 6分で行った。得られた21枚のオルソ写真を画像解析処理した。

2. X線画像解析装置

今回X線写真の画像解析に応用した装置はオリンパス社製の TVIP 4100 と、画像解析ソフト4198から構成される XL-500 を応用した(図1)。

この装置で解析できることは、X線写真、CT 写真の濃淡の数値化、疑似カラー変換、エッジ強調、二値化処理による面積測定などが主である。解析方法は、シャカステン上にオルソ写真をセットし、一定の距離、拡大率にて CCD カメラから画像を連続入力し、モニター画面でピントを設定させ、コンピュータでそれぞれの解析測定を行い、データを記録した。

これらのシステムで、オルソ写真の透過性、不透過性の濃淡(以下、輝度と略す)を、具体的に数値化した。得られたオルソ写真を解析装置により左右側下顎第1小臼歯および第1大臼歯の根尖から 3 mm 下方の所、左右下顎角部ならびに左右側上顎洞部に 1×2 cm の面積を設定し、それぞれ輝度を測定した。

オルソ写真において、左右側下顎第1小臼歯および第1大臼歯部の周囲骨は、軟組織、頸椎などによるアーチファクトのない部分で、歯と下顎骨自体が純粹に写し出されている。その輝度を左右の平均値としてグラフ化したものを図2に示す(図2)。

横軸に角度、縦軸に輝度を現わしている。マイナス10度からプラス10度までの範囲における輝度は、最大値 2.42、最小値 1.92、その差 0.50 であり、平均輝度は 2.20 ± 0.31 (mean $\pm$ S.D.) であった。次にそれぞれオルソ写真の、他の場所においても輝度を測定した。左右下顎角部での平均値では、最大値 24.68、最小値 23.95、その差 0.84 であり、平均輝度は 24.27 ± 0.36 (mean $\pm$ S.D.) であった。左右側上顎洞では、最大値 68.89、最小値 67.32、その差 1.57 であり、平均輝度は 67.97 ± 0.42 (mean $\pm$ S.D.) であった。それぞれ輝度の値は異なる

図 2 X線解析処理データ

が、同様のレンジ内を示していた。そのため、角度の差による輝度の違いは少ないものと思われた。測定された輝度が最大値のものと最小値のオルソ写真を比較したものでは、肉眼的なオルソ写真全体の透過性、不透過性で、微細な濃淡の変化の鑑別は困難と思われた(写真3)。

3. 予備実験の結果

垂直上下方向に関して、角度差における濃淡の差はマイナス10度からプラス10度までの範囲において、角度の差によるオルソ写真上での輝度の変化は少なく、X線写真上の像の変化による測定値への影響の大きな差異はないことが分かった。

肉眼的な輝度の鑑別は困難でも画像解析することで、微細なX線写真の濃淡の小さな差異が計測できた。

症 例

1. 症例分析

症例は右側下顎骨骨体から下顎枝にかけての広範囲なエナメル上皮腫において、口内法によるアプローチで骨膜を保存し、右側下顎骨半側切除、ならびにヒドロキシアパタイトブロック(以下 HAB と略す)を用いて半側即時再建した症例¹¹⁾である。再建後の経時的な骨組織の変化を、顎間固定除去後から8年目までを、オルソ写真、^{99m}Tc 像(以下テクネシウム骨シンチと略す)に、疑似カラー像、エッジ強調像、指定した部分(術前固定のため開けられた HAB 断端部の小孔)の面積測定、HAB 骨体部辺縁の不透過性の強い部分(骨膜側から)の距離測定をそれぞれ行い、得られたデータを経時的に比較し、HAB への骨動態について評価した。テクネシウム骨シンチ所見は、術後1年5か月目までを比較した。

1) 術後8週目

この時のオルソ写真で HAB 関節頭部に不透過性が強くみられるが、軟組織が重なっているためにはっきりし

写真 3 最大値と最小値の輝度を比較したオルソ写真

ない(写真4)。

テクネシウム骨シンチ所見では、断端部母骨側と HAB 関節頭部に強い集積が認められる(写真5)。

疑似カラー所見では、テクネシウム骨シンチ所見と一致して関節頭部に変化が認められるが、骨の新生のためなのか、可動部に起こった炎症性のものなのかどうかの鑑別は困難であった(写真6)。しかしエッジ強調像でみると、HAB 関節頭部に重なっていた軟X線は除かれ、疑似カラー所見に比べ HAB の白線が、関節頭部を囲むように認められている(写真7)。同様の所見が HAB の歯槽頂部、下縁部、下顎枝後縁部にも認められた。

2) 術後1年5か月目

オルソ所見で、固定除去直後のものと比べ HAB 骨体約2/3の範囲で不透過性がやや増加しているように思われる(写真8)。

テクネシウム骨シンチ所見では、HAB 骨体の全体にかけて薄く均一に集積している(写真9)。

疑似カラー所見では、固定除去直後と比べ HAB 全体に黄色とオレンジ色が広がっている(写真10)。

疑似カラー写真の左側にある色彩表示で上に行く程白になっているが、これはX線写真の不透過性が強ければ強いほど白く強調されてくるものである。しかし固定除去直後と比べ上下前歯歯槽部に青とオレンジの混在した所見がみられ、侵襲の加わっていない部位での相違がみられる。これは、オルソ写真撮影時の回転軌道が後方にやや移動していたために歯槽部が重なっていたことによるためであった。エッジ強調像所見では、HAB 歯槽頂部、下縁部、下顎枝後縁部外周全体が白い線に包まれるような像を認めた。これは骨膜側からの、骨の増生が HAB

写真12 術後8年目のエッジ強調像

の全周にあったものと考えられ、特にテクネシウム骨シンチ所見とエッジ強調像は一致している(写真11)。

3) 術後8年目

このようにして経時的に画像解析したところ術後8年目におけるエッジ強調像では、HAB 関節頭後上方部の形態的变化、歯槽頂部など全周にわたり強調された線の幅が増え、骨膜側からの骨増生があったものと思われた(写真12)。

HAB 断端部小孔の経時的な変化

1. 小孔の経時的な面積計測

顎間固定除去後のオルソ写真をエッジ強調し、術前に固定のために開けた未使用の小孔部分をコンピュータに読み込ませ(写真13)、その部分を4倍に拡大し、計測する面積を指定した(写真14)。そして4倍に拡大した小孔をコンピュータにて面積を測定した(写真15)。数値で示されているのは、小孔1, 2の実面積, A, 周囲長 APM, 真円性 RND, 橢円相当長軸 ODL, とその短軸 ODS を示している。このようにして固定除去後から経時的に8年目までの小孔の実面積を測定した結果を図3に示す(図3)。

縦軸に実面積, 横軸に経過年度を示す。小孔の実面積は、経時的に縮小傾向を示し、周囲長, 長軸, 短軸においても同様であった。

これらのことから HAB 骨体内部に存在する直径0.2~2mm の連続孔とマイクロポーアの中へ、骨が形成されたことが考えられた。

2. HAB 骨体辺縁部での増生骨の幅測定

顎間固定除去後から経時的に8年目までのオルソ写真で、HAB 骨体歯槽頂部, 下顎枝後縁部の指定した骨端

図3 人工骨断端部、孔面積の変化

図4 HAB 人工骨の皮質骨相当部、幅の変化

部で、不透過性の強い部分(骨膜側から)の距離測定を行った。その結果を図4に示す(図4)。

関節頭後上方部の骨増生部については、術後1年目より8年目までのオルソ写真をエッジ強調し、それぞれをコンピュータに読み取らせ、その部分を4倍に拡大し、計測する面積を指定し、コンピュータにて面積を測定した(図5)。

HAB 辺縁部の骨増生と思われる不透過像部の幅は経時的に厚みを増し、歯槽頂部に比べ下顎枝後縁部での厚

図 5 人工骨関節頭後上方部，面積の変化

みが早期から増加していた。一方関節頭後上方部では、経時的に面積の増加を認めたが、術後5年目からほぼプラトーに達している。本症例は、術前に再建する関節頭部を関節窩から約1 cm 下方に位置¹¹⁾させている。術直後のオルソ写真上で、約1 cm のスペースを認めるが、5年後、同部のスペースに骨様の不透過像を認め、その形態は本来の関節頭と近似していた。また、5年目までに、増生した HAB 関節頭後上方の骨増生部の形態は8年目になっても良好な形態を保持している。

考 察

人工生体材料の臨床応用は現在広く支持されてきているが、移植後の経時的な周囲組織の変化として客観的に評価するには、測定結果を数量的に表わすことが望ましい。しかし現在のところ、経時的に得られたオルソ写真での評価法は、肉眼的評価法、デンストメータによる濃度の評価がある。前者では、個人差の問題があり、客観性に欠ける。後者では、フィルム デンシティーを計測する際、点で計測するため、範囲が小さい。

一方、画像解析による評価では、一定の指定した範囲、つまり平面における濃度計測が行える。しかし、画像解析装置が使用されるようになったのは最近であり、実際に臨床で応用された報告は渉猟し得た範囲では認められなかった。

画像の信頼性に関する予備実験の報告は、岡田¹²⁾により行われており、増感紙フィルムの特性や、管電圧の変化と画像コントラストの関係では、一般的なパノラマ写真の撮影において、精度の変化は少なく、精度を上げる

ためには、管電圧や現像条件を正確に行えば良いと述べている。

そこでわれわれの予備実験では、同一なフィルム、管電圧、撮影法、現像法のもとで、オルソ写真撮影時の軌道と頭部の垂直上下方向への頭部の角度差における濃淡の変化を検討した。

その結果、濃淡の差はマイナス10度からプラス10度までの範囲においてそれほど大きな差異はないことが分かった。

しかし、臨床例でみると、角度の変化はないが軌道の変化で、濃淡が多少異なるため、エッジ強調することで、コントラストを補正し、一定条件下にて検討した。つまり、オルソ写真撮影時の回転軌道が後方にやや移動すると歯槽部が重なってしまい、疑似カラー処理では、オルソ写真上の凸凹不正が重なったままカラー化されるが、エッジ強調処理では、ゾーベルやブルーイットのフィルタリングを行うことで、凸凹不正や辺縁硬化が強調される。言い換えれば観察したい所の白と黒だけで構成されている像の中で、山と谷が均一で、鮮明に強調されることになる。稲本¹³⁾らの研究においてもエッジ強調像の有用性を示唆している。また、Sherrier¹⁴⁾によるとフィルタリング処理はフィルム画像の撮影条件不足の部分を強調できるため、本来X線写真上にあるべき所見を見過ごしてしまうことが、エッジ強調することで、ある程度避けられることになると述べている。

自験例の臨床例において、テクネシウム骨シンチ像、疑似カラー像、エッジ強調像、HAB 断端部小孔の面積測定、不透過性の強い部分（骨膜側から HAB まで）の距離測定、などを行った結果、術後8週、1年5か月目におけるテクネシウム骨シンチ所見、疑似カラー所見で断端部母骨側と HAB 関節頭部に強い集積が認められた。エッジ強調像でみると、HAB 関節頭部 HAB 外周の白線が、関節頭部を囲むように認められ、同様の所見が HAB の歯槽頂部、下縁部、下顎枝後縁部にも認められた。これらの部位での経時的な変化では、テクネシウム骨シンチの集積は均一になり、疑似カラー所見と一致したが、エッジ強調像において、HAB 外周の白線は術後約5年まで少しずつ輝度が高くなっていった。

さらに、HAB 断端部小孔の面積測定の数値を重ねて経時的に比較すると、小孔の面積は術後7年目までは計測可能であり、面積の縮小を示していたが、それ以降移植直後円形であった小孔の形態は複雑化し、また縮小化が著しく面積測定が困難であった。

これらのことから総合的に考えると、HAB 骨体全周にわたり、術後8週目以降、骨膜側より、骨の添加が起こり HAB 外周の白線は輝度が高くなり、HAB 外周から内側に向って骨の増生があったものと推察された。

結 語

今回われわれは、オルソ写真の画像解析において予備実験では、頭部の垂直上下方向におけるプラスマイナス10度の範囲の角度差は、画像解析に影響しないことを確認した。

そこで、人工生体材料を応用した症例の、移植後の経時的な骨組織の微細変化について検討した結果、HABの骨体全周にわたる骨の増生について評価することができた。

本報告の要旨は、第36回日本口腔外科学会（平成3年12月，於大阪）および第2回日本硬組織研究技術学会（平成5年3月，於横浜）において報告した。

引 用 文 献

- 1) 代田達夫，大野康亮，他：加齢がヒドロキシアパタイトと骨との結合に及ぼす影響について，日口外誌 38: 41-47 1992.
- 2) 上原和美：アパタイト・ブロックより再建した下顎骨へのアパタイト・インプラントならびに骨付アパタイト・インプラントの適用，日口外誌 37: 499-517 1991.
- 3) 河村正昭：顎部骨移植の実験的研究，日口病誌 26: 2057-2078 1959.
- 4) 神林秀昭：多孔質アパタイトブロック人工骨による下顎骨再建に関する実験的研究，日口病誌 40: 43-65 1991.
- 5) 高原利幸：Pentacalcium Hydroxide-Trip phosphate 磷結体の代用骨としての有用性についての検討，千葉医学 67: 97-109 1991.
- 6) 杉岡洋一：骨移植の歴史と展望，形成外科 35: 119-124 1992.
- 7) 三浪明男：自家骨形成のメカニズム，形成外科 35: 125-134 1992.
- 8) Jarcho, M: Calcium phosphate ceramics as hard tissue prosthetics. Clin Orthop Rel Res 157: 259-287 1981.
- 9) Cutright, D.E., Bhaskar, S.N.: Reaction of bone to tricalcium phosphate ceramic pellets. Oral Surg 33: 850-856 1972.
- 10) Bhaskar, S.N., Brady, J.M., et al.: Biodegradable ceramic implants in bone. Oral Surg 32: 336-346 1971.
- 11) 村瀬博文，北村完二，他：多孔質アパタイトブロックを用いて右下顎即時再建術を行った1例，日口外誌 33: 1829-1838 1987.
- 12) 岡田典久：回転パノラマX線写真の画像解析によるヒト顎骨骨梁構造の加齢変化，口科誌 39: 947-965 1990.
- 13) 稲本一夫，梅田徳夫，他：胃X線画像処理の研究，日本医放会誌 52: 1505-1520 1992.
- 14) Sherrier, R.H., Chiles, C et al.: Effect of image processing on nodule detection rates in digitized chest radiographs: ROC study of observer performance. Radiology 166: 447-450 1988.

- 写真 4 術後8週目のオルソ写真(左上)
 写真 5 術後8週目のテクネシウム骨シンチ像(右上)
 写真 6 術後8週目の疑似カラー写真(左下)
 写真 7 術後8週目のエッジ強調像(右下)

写真 8 術後1年5か月目のオルソ写真(左上)

写真 9 術後1年5か月目のテクネシウム骨シンチ像(右上)

写真 10 術後1年5か月目の疑似カラー写真(左下)

写真 11 術後1年5か月目のエッジ強調像(右下)

写真 13 コンピュータ入力したオルソ写真で HAB 断端部の小孔 (左上)

写真 14 HAB 断端部の小孔を 4 倍に拡大 (右上)

写真 15 HAB 断端部の小孔の面積測定 (左下)