顎骨病変の病態ならびに治癒過程における
二重エネルギー X 線吸収測定法による骨塩定量に関する研究
——犬下顎骨骨欠損治癒過程における骨回復量について——

橋 場 友 幹・佐 藤 重 信・坂 岡 丈 利・岩 崎 浩 二 郎
星 秀 樹・深 澤 肇・結 城 勝 彦・関 山 三 郎

Experimental study on bone mineral determination
by dual energy X-ray absorptiometry
——Recovery of bone mineral in the mandibular bone defect of dogs——

Tomomoto HASHIBA・Shigenobu SATO・Taketoshi SAKAOKA・Kojiro IWASAKI
Hideki HOSHI・Hajime FUKAZAWA・Katsuhiko YUKI・Saburo SEKIYAMA

Abstract: A study was carried out by dual energy X-ray absorptiometry in the bone defects of sixteen beagles to determine the bone mineral content (BMC) and density (BMD) of the mandibular premolar region. Both shallow and deep defect groups which were obtained from the excised mandibles were measured on the onset as well as the 4th, 8th, and the 24th weeks after the operation. These were then compared with the values obtained by the intact opposite side to confirm the bone recovery rate.

In the shallow bone defect group, the ratio of BMC to control decreased gradually from 95.1% to 82.4% over a period of 24 weeks, then the BMD ratio showed almost equal quantities of the control at all times. In the deep bone defect group, the BMC ratio increased from 52.4% to 89.8% in the first 4-week interval, followed by a decreasing change that resulted in 82.7% at the 24 weeks. The BMD ratio of the deep defects increased from 82.5% to 97.6% in the first 4 weeks, and thereafter that showed the same level as the control side.

The bone mineral change was influenced by the depth of bone defects. BMC was a sensitive parameter to the regeneration of the bone defects, however, BMD was affected by only the deep defects. At the end of the observation period, BMC of both shallow and deep defects showed a regular level in contrast to the control side.

Key words: bone regeneration (骨再生), mandibular bone defect (下顎骨欠損), dual energy X-ray absorptiometry (二重エネルギーX線吸収測定法)

緒 言

近年, 生体の骨塩量の放射線学的定量診断が臨床的にも可能となり, なかでも, 骨の放射線減弱度を応用した

absorptiometry は, その精度, 再現性が詳細に検討され, 高い評価を得ている¹⁻⁴⁾.

当教室では, 犬下顎骨骨創治癒過程の研究として, 現在までに抜歯創, 骨実質欠損創ならびに骨創治癒に及ぼす低 Ca 食の影響を¹²⁵I-single photon absorptiometryを用いて検討し, また, ヒト下顎骨の健常者と慢性腎不全患者の比較検討を臨床的に Dual energy X-ray absorptiometry (以下 DEXA と略)を用いて検討し報告した⁵⁻⁸⁾.

今回は, DEXA を利用し, ビーグル犬下顎骨の骨創治癒に与える骨創の深さの影響を骨量の回復度に観点を

岩手医科大学歯学部口腔外科学第2講座
(主任: 関山三郎教授)
Department of Oral and Maxillofacial Surgery
II. School of Dentistry, Iwate Medical University
(Chief: Prof. Saburo Sekiyama)
受付日: 平成3年9月4日

において検討したので、その概要について報告する。

実験材料および方法

実験動物として年齢1～2歳、体重9～12 kg のビーグル犬16頭を用いた。左右側下顎第3および第4前臼歯を抜歯し、3か月経過後に右側同辺縁部に頬舌側皮質骨を含めた方形切除創を作製し実験側とした。なお、抜歯時ならびに骨創形成は pentobarbital sodium 25 mg/kg

の静注による全身麻酔下に行い、骨創の作製においては、歯槽頂に近遠心的に切開を入れ頬側・舌側に粘膜骨膜弁を剝離し、生食注水下にエンジンバーにて創を形成後、十分に止血・消毒し、1次閉鎖した。左側の同名歯抜歯相当部は対照とし、処置は加えず経過を観察した。骨創は、深さを歯槽頂より下顎下縁までの長さの1/4までとしたものをS群、1/2まで骨削除したものをD群とし、それぞれ近遠心的幅径は2群とも15 mmとした(図1)。

観察期間は、術直後(2頭)、4週(5頭)、8週(5頭)、24週(4頭)とし、期間終了後に顎骨を摘出し骨塩量を測定した。

骨塩量測定装置には、HOLOGIC社製 X-ray bone densitometer, Quantitative digital radiography-1000(管電圧140/70 kVp, 以下 QDR-1000と略)を用いた。顎骨骨塩量測定は、腰椎測定モードに準じて顎骨全体をscan rate 60 mm/secにて走査後、骨創部関心領域を15 mmの幅で設定し当該部位の骨塩量を単位長さあたりの重量(bone mineral content; g/cm以下BMCと略)ならびに単位面積当りの重量(bone mineral density; g/cm², 以下BMDと略)として求めた。試料は深さ3 cmの水中に静置し、X線束に対し歯軸方向に垂直ならびに平行の方向で測定した(図2, 3)。

BMCの測定では、装置のモニター下で骨創が認識しやすく、投影面積にばらつきが少ない理由から、X線束が歯軸に平行の測定方法を選択し、BMDの測定では、骨創の深さが頬舌方向からみて試料の面積に直接影響を与えるため面密度の正確な把握のために歯軸に垂直方向の測定方法を選択した。また、各パラメータの値は観察期間群ごとに平均値を求めた。

一方、摘出した顎骨は軟X線装置(Sofron SRO-50, 小西六)を用いて規格的に撮影し、肉眼的観察に供した。

図1 骨創形成模式図

S群：骨体の高さ1/4の深さ、D群：同1/2の深さの骨創

Hologic QDR 1000 (S/N 178)
Lumbar Spine Version 4.03

TOTAL BMD CV FOR L1 - L4 1.8%			
C.F.	1.007	1.045	1.000
Region	Area (cm2)	BMC (grams)	BMD (gms/cm2)
L1	5.76	2.82	0.491
L2	7.23	4.91	0.680
L3	2.24	1.23	0.550
L4	5.65	3.45	0.611
TOTAL	20.88	12.43	0.595

HOLOGIC

図2 QDR-1000による骨塩量測定時モニター画面例
L3領域を骨創部に設定し測定

図3 骨創部骨塩量測定

実験結果

1. 顎骨骨塩量

1) 顎骨全体の骨塩量は、BMDで $0.55 \sim 0.63 \text{ g/cm}^2$ であり、平均値は 0.585 g/cm^2 であった。なお、実験側および対照側との間に差は認められなかった。

2) 対照側の骨塩量実数値の推移

BMC の変化は、骨創形成時の 1.03 g/cm から4週で53%増加し 1.58 g/cm に達し、以降は減少に転じて24週では 1.20 g/cm となり、当初の116.5%となった。BMD は、骨創形成時の 0.594 g/cm^2 より徐々に減少し、24週では当初より9%減少の 0.540 g/cm^2 となった(図4, 5)。

3) 骨創部の骨塩量実数値の推移

S群の経過は、BMC 値では対照値と類似し、骨創形成時の 0.98 g/cm に対し、4週で36.4%増加の 1.337 g/cm に達したのち減少に転じ、24週では当初よりも12.8%低値の 0.855 g/cm を示した。BMD 値の経過は、骨創形成時の 0.575 g/cm^2 から4週まで減少し、8週で一時 0.592 g/cm^2 まで増加したが24週では最小値の 0.527 g/cm^2 (-9.1%)まで減少した。

D群の経過は、BMC 値では骨創形成時がS群の約2分の1 (0.54 g/cm) であったが、4週で 1.405 g/cm と160%の顕著な増加を認めS群と同程度の値となり、以後減少した。BMD 値の経過は、当初の 0.501 g/cm^2 から増加傾向を示し、24週では17.6%増加の 0.589 g/cm^2

図4 BMC, 実数値

図5 BMD, 実数値

図 6 BMC, 対照側に対する比率 (実験側/対照側)

図 7 BMD, 対照側に対する比率 (実験側/対照側)

cm² となった (図 4, 5).

4) 対照側に対する骨創部の骨塩量

S 群では, BMC は対照側歯槽骨部に対して経時的に減少し, 骨創形成当初は 95.1% であったのに対し, 24 週では 82.4% となった. BMD 値では観察期間を通じて 97.8~104.8% の範囲で大きな変動は認めなかった.

D 群では BMC 値は骨創作製当初は 52.4% であったが 4 週で 89.8% まで大幅に増加を示したのち, 24 週では S 群とほぼ同様の 82.7% となった. BMD 値では S 群が変動を認めないのに対し, D 群では観察期間を通じて増加し, 当初の 82.5% から 4 週ですでに 97.6% に達し, 24 週では対照値に対する最高値の 104.2% を示した (図 6, 7).

2. 顎骨 X 線写真の肉眼的観察

各観察期間の顎骨 X 線像を, 骨創の形態の変化および新生骨部, 周辺部の X 線透過性に観点をおいて肉眼的に観察すると以下のごとくであった.

1) S 群の X 線所見

観察期間 4 週では, 骨創の外形は 1 層の X 線不透過像からなる外形線によりあきらかに周囲骨より区別され, 骨創内には透過度がやや強い梁状の新生骨の増生が近遠心的に皿状に観察された. 骨創辺縁部は骨改造によるとみられる吸収により, 新生骨へなめらかな移行性をもつ

写真 1 顎骨 X 線像: S 群 (4, 8, 24 週)

て認められ, 骨創基底部下方の周囲骨は他部位と同様の X 線不透過性を保っていた. 8 週では, 骨創外形がより不鮮明となり, 新生骨部の不透過性も増加した. 骨創基底部相当部には皮質骨の形成と思われる層状の不透過像が明瞭に認められた. 24 週では骨創外形は全く判別できず, 周囲辺縁部とはなめらかな皿状の移行形態を示すが, 最深部の位置には大きな変化はなかった. 骨創基底部相当部の層状骨を認めるほか, 下方の梁状骨は減少し, 鬆粗な X 線透過像が下歯槽管まで観察された (写真 1).

2) D 群の X 線所見

観察期間 4 週では, もはや骨創の外形は判別し難くなり, 近遠心部側壁からのやや X 線透過度の強い新生骨の

写真 2 顎骨X線像：D群（4，8，24週）

増生が特徴的であった。近遠心辺縁部の骨改造によるとみられる吸収像も認められるが、S群に比較してやや粗造であった。

8週では、近遠心側壁からの新生骨部の不透過性が増し、同時に基底側より増生した新生骨も1層の厚みをもって観察された。骨皮質の形成はS群に比較してあきらかなではなく、より下方の下歯槽管部の不透過性も周囲骨と同等であった。24週では、辺縁部外形が近遠心的によりなめらかな皿状になり、表層にはあきらかな皮質骨を思わせる層状のX線不透過像を認めた。骨創の深さはS群の同時期のものとはほぼ同程度に観察され、下歯槽管部は鬆粗な透過像を示した（写真2）。

考 察

口腔外科臨床においては、病巣の外科的切除、摘出等に伴い、顎骨の一部を除去する、いわゆる部分切除ないしそれに準じた術式は一般的に多くみられる^{9,10)}。近年、顎骨切除部に対する顎骨再建術ないし生体材料の応用に関する検討が多数報告されるが^{11~15)}、その適応のcriteriaを探るための1資料として切除術後の顎骨骨量の回復がどの程度なのかあきらかにした報告は少ない^{16~18)}。本研究は、犬下顎骨をモデルとして、切除術後の骨回復度がその骨創の大きさにより非侵襲的顎骨に比べてどの程度異なるかあきらかにする目的で行われた。

1. 実験方法について

本実験において、過去の研究により犬の顎骨骨塩量がある程度把握されている点や、顎骨の大きさ、体重、年齢を一定の条件に設定しやすく個体間のばらつきを極力少なくするため、実験動物にはビーグル犬を用いた。

骨創形成部位は、施術の確実性、骨塩量測定時の位置設定の容易なこと、ある程度骨塩量データが得られていることなどにより下顎骨体ほぼ中央、すなわち第3、4前臼歯部を選択した^{5~7,19)}。骨創の幅および深さは、教室の岩崎、坂岡の報告に準じ、歯槽突起の幅、骨皮質部分の量、下歯槽管の位置など解剖学的形態を基準にふまえて浅/深骨創の深さ、近遠心的幅を決定した^{6,7)}。

対照側として、反対側同名歯の抜歯創部を選択した理由は、抜歯創部の骨塩量データおよびその経時的推移がある程度あきらかとなっていることと、当該部位に植立する歯牙の骨塩量測定値に対する影響を排除するためであった^{5,19)}。さらに、骨創形成時期を抜歯後3か月に設定した理由は、この時期以後では抜歯後の極端な骨塩量の変化は終了し、比較的安定した経過を呈する時期であり、骨創形成が骨塩量に与える影響を非侵襲的な状態の無歯顎部と比較検討する際、有利な条件にあると判断されたためである^{19~21)}。

観察期間の設定においては、教室の岩崎、坂岡による報告をもとに決定し、骨塩量の経時的変化および組織学的見地から観察の基点となる時期を選択した^{6,7)}。

今回使用した骨塩定量装置 QDR-1000 は、代謝性骨疾患領域を中心に臨床応用されている汎用骨塩定量装置である^{22~24)}。臨床における測定対象部位は、腰椎、大腿骨、橈骨などであり、管電圧も140/70 kVpとやや高めである。より微細な骨の変化を把握する目的では、single photon absorptiometryが優れているが、ヒト顎骨を測定対象とする場合を想定すると本装置の電圧は適当なものと思われた^{25,26)}。ビーグル犬下顎骨は、ヒト下顎骨と比較した場合、幅径、高さなどはやや小さいが、ヒト顎骨モデルとして捉え測定した場合、データの採取

に問題はなかった。本装置の測定精度、再現性は良好であり、教室の佐藤の報告では、犬摘出下顎骨切片のDEXA測定値と灰分重量との相関係数は、0.997であり、また、同一下顎骨の多数回測定による再現性では日内変動係数0.9%であった^{8,25)}。

QDR-1000により得られる骨塩量の単位として、走査領域での単位長さあたりの骨重量(BMC, g/cm)および単位面積あたりの骨重量(BMD, g/cm²)がある。BMCの測定においては、下顎骨基底面を下に骨体を垂直に測定台に静置して走査線を歯軸と平行となるよう走査することにより、骨創/健康部の境界がモニターにて明確に把握できた。BMDは、単位面積あたりの骨塩量であり、骨創の浅深の別をより明確にデータに反映させるため、BMC測定時より90度試料を回転させ、舌側面を下に静置し、骨創幅×骨体の高さの領域の骨塩量を測定した。これらのことにより、実験結果として各パラメータ特有の経過が良好に把握できたと考えられる。

2. 実験結果について

1) 対照側骨塩量の推移について

対照側は、抜歯後12週経過以降の顎骨骨塩量の推移を示している。すなわち、骨創形成時が抜歯後12週、4週が抜歯後16週、8週が抜歯後20週、24週が抜歯後36週にそれぞれ対応している。抜歯直後より12週経過後までの歯槽骨部骨塩量は、single photon absorptiometryを用いた研究ですでにあきらかになっており、抜歯創部全体でみるとBMDは抜歯直後1週でいったん減少したのち、8週まで増加しここを1つの頂点として12週へかけては横ばいないし減少傾向を示す⁹⁾。本研究の結果をあわせて考えると、BMDは抜歯後12週以後も引続きゆるやかな減少を示しながら36週まで経過し、長期間骨塩量の減少が続くことがあきらかとなった。一方、BMC値は、骨創形成後4週(抜歯後16週)で最高値を示したのちに減少傾向をたどり、BMDに比較して骨塩量の増加が抜歯後も約1か月持続して認められることがわかった。本研究においては、BMCが近遠心的な一定範囲の骨全体の単純な骨重量を示すパラメータであるのに対し、BMDは頬舌方向からみた範囲の単位面積あたりの骨重量を示し、生物物理学的な骨質の概念も包含する²⁷⁾。したがって、骨創形成から4週にかけてのBMDの減少傾向と同時にBMCの上昇をみることは、この期間は抜歯後も引続き全体的な骨重量の増加が続くが、骨質の面では吸収性改造変化がすでに進行していると判断される²⁸⁾。4週(抜歯後16週)以降は8週(抜歯後20週)にかけて無歯顎部歯槽堤の退行性変化とともとれる変化がBMC、BMDともに現われ、24週(抜歯後36週)の長期にわたり同変化が持続する所見が認められた。

無歯顎部歯槽堤の長期間経過後にみられる顎堤の吸収は臨床的にも一般的に観察されるが²⁹⁾、今回の対照側の経過は、骨塩量の視点からモデルとして定量化されたも

のでもあり、ビーグル犬顎骨のデータとしても価値あるものと考えられた。

2) 実験側骨塩量の推移について

対照側と比較した実験側骨塩量の経時的变化を群別に観察し検討を加えると、以下のごとくである。

S群は、骨創形成直後よりBMCは漸減し、8~24週で対照側に対して約80%の骨回復量で安定した。また、BMD値は観察期間を通じて対照側とはほぼ同様の値を示した。一般に、無歯顎歯槽堤において歯槽骨整形術などの外科的侵襲が加わった場合、術後歯槽堤に吸収性変化が優位に起こることが知られている^{28,29)}。歯槽堤整形術の多くは歯槽突起に局限して行われるものであり、S群における骨創はこのような小範囲の骨侵襲に類似している。骨創の大きさがS群程度の場合、BMCが徐々に吸収性変化の結果として現われるが、臨床的には歯槽骨の高さの減少が認められBMCの変化との密接な関連がうかがえる³⁰⁾。一方、X線写真の肉眼的観察における各観察時点でのX線透過度の変化とは関係なく、BMDには骨創形成の影響がほとんど及ばない点が注目される。

D群におけるBMC値は、骨創形成時の52%から4週にかけて大幅に増加して対照側の90%まで回復し、従来の報告と同様に骨創形成から4週の間骨塩量の増加が顕著に起こることが確認された⁶⁾。新生骨によると思われる骨塩量の増大はS群より大きく、X線写真の肉眼的観察においても骨創内の不透過像の増大が骨塩量の経過と一致している。この期間、S群に比較してD群の骨塩量の増加量が大きい理由として、以下の理由が考えられる。すなわち、創部に面した近遠心側の骨壁断面積が大きいこと、隣接骨髄由来の骨芽細胞の供給がしやすく骨新生に有利な環境であること、S群に比べ歯肉側からの軟組織の進入が少なく血餅が安定し、骨創が深いことなどが新生骨の増生に有利に働いたと考えられる²⁸⁾。4週以後では、BMCは減少傾向を示すが、この背景として、新生骨の増加とともに進行していた骨改造現象のうち、吸収性変化が優位となって全体の骨塩量に現れたことが考えられ、この点は、教室の岩崎の報告における骨創の組織学的検索によってあきらかとなっている⁶⁾。骨創の深さが骨体の1/2に及ぶ場合、当初のBMC増加が4週を境に減少に転じる点は、S群が観察期間の当初より減少を示すこととはあきらかに異なった経過であるが、24週ではS群とはほぼ同様の回復度を示したことは興味深い。一方、BMDは、観察期間を通じて増加傾向を示し、4週ではすでに対照と同様の値を示す。骨創形成時のD群を除くと、両群に共通してX線写真の肉眼的所見での骨の透過像ないし不透過像の局在は観察期間によって絶えず変化するが、骨創内ならびに周辺骨も含めた一定の領域全体では、単位面積あたりの骨塩量は侵襲を与えない場

合とはほぼ同様に推移することがあきらかとなった。

臨床的に骨欠損部に対して行われる人工生体材料の補填等においては、即時の欠損補填が可能である利点を有する反面、生体適合性や生理的な骨改造との調和などの問題が不可避である^{31,32)}。骨創の部位や形態、大きさにもより、いちがいに臨床例での想定は困難であるが、本実験におけるD群の規模のものでは最終的にBMCで非侵襲の場合の80%、BMDではほぼ100%は回復することから、人工的補填物の適用は症例によりその必要性を考慮する必要があると思われる。

結 語

1. dual energy X-ray absorptiometry を用い、ビーグル犬下顎骨の骨創治癒に与える骨創の深さの影響を骨塩量の推移より検討した。

2. ビーグル犬下顎骨全体の骨塩量は、BMD で0.550～0.630 g/cm²の範囲に認められ、平均値は0.585 g/cm²であった。

3. 骨創の深さが骨塩量に与える影響では、骨創が深い場合は、BMC、BMDともに最初の4週間の増加が顕著であり、浅い骨創に対して初期の骨新生環境が有利であることが示唆された。また、浅い骨創ではBMDは観察期間を通じて対照値と同様であり、BMDに変化が見れる境界は骨創の深さが骨体の高さの1/4から1/2の間に存在することが示唆された。

4. 骨創の深浅にかかわらず、最終観察期間には両群の対照に対する骨塩量の割合はほぼ同程度となり、BMCで約82%の回復度であり、BMDでは対照側とほぼ同様の値まで回復した。

5. 対照側歯槽骨骨塩量の結果を抜歯後骨創治癒経過の観点からみると、BMCは抜歯後12週の時点から16週まで53%増加したのち減少に転じ、抜歯後36週では12週群に対し16.5%の増加となった。BMDは抜歯後12週より36週までゆるやかに減少し、12週群の約90%の値となった。

本論文の要旨は、第34回日本口腔外科学会総会（1990年10月27日、郡山市）において発表した。なお、本研究の一部は、文部省科学研究補助金、一般研究A（課題番号63440077）によった。

引 用 文 献

- 1) Cameron, J.R. and Sorenson, J.: Measurement of Bone Mineral *in vivo*: An Improved Method. *Science* 142: 230-232 1963.
- 2) Wahner, H.W. and Dunn, W.L.: *Nuclear Medicine: Quantitative Procedures*. Little, Brown and Company, Boston/Toronto, 1983, p 107-132.
- 3) Sorenson, J.A. and Cameron, J.R.: A Reliable *in vivo* Measurement of Bone Mineral Content. *J Bone Joint Surg* 49-A: 481-497 1967.
- 4) Wahner, H.W., Dunn, W.L., et al.: Comparison of dual energy x-ray absorptiometry and dual photon absorptiometry for bone mineral measurements of the lumbar supine. *Mayo Clin Proc* 63: 1075-1084 1988.
- 5) 橋場友幹：抜歯創治癒過程の¹²⁵I-photon absorptiometryによる骨塩定量に関する実験的研究。岩医大歯誌 12: 5-23 1987.
- 6) 岩崎浩二郎：犬顎骨骨創治癒過程の¹²⁵I-photon absorptiometryによる骨塩定量に関する研究。岩医大歯誌 13: 269-282 1988.
- 7) 坂岡丈利：犬下顎骨骨創治癒過程の¹²⁵I-photon absorptiometryによる骨塩定量に関する実験的研究—低カルシウム食飼育の影響について—。岩医大歯誌 14: 233-248 1989.
- 8) 佐藤重信：Dual energy x-ray absorptiometryによるヒト下顎骨骨塩定量に関する研究。岩医大歯誌 16: 1-14 1991.
- 9) Loré, J.M.: *An Atlas of Head and Neck Surgery*, 3rd Ed, W.B. Saunders Co., Philadelphia, 1988.
- 10) Krüger, E., 清水正嗣, 他：歯科口腔外科手術の臨床。クインテッセンス出版, 東京, 1978.
- 11) Boyne, P.J.: *Tissue transplantation. Textbook of Oral and Maxillofacial Surgery*, 6th ed, Mosby Co, St. Louis, 1984, p 296-332.
- 12) Krüger, E.: *Reconstruction of Bone and Soft Tissue in Extensive Facial Defects*. *J Oral Maxillofac Surg* 40: 714-720 1982.
- 13) 上野 正：顎骨補填手術。口病誌 20: 150-156 1953.
- 14) 大西正俊：口腔腫瘍の治療に後遺した実質欠損の外科的、補綴的修復。口腔腫瘍の臨床：The Dental 別冊, 書林, 東京, 1985, 179-186頁。
- 15) 橋場友幹, 高橋 衛, 他：アルミナセラミック人工骨による下顎骨再建—下顎骨半側切除症例3例への応用—。日口外誌 35: 1487-1495 1989.
- 16) Schram, W.R.: A Histologic Study of Repair in the Maxillary Bones Following Surgery. *J Am Dent Assoc* 16: 1987-1997 1929.
- 17) 野村晃路：抜歯創の治癒過程に関する研究—骨除去を伴う難抜歯例の検討—。日大歯学 60: 507-516 1986.
- 18) 織家 茂：下顎骨骨欠損部の骨再生に関する実験的研究—特に骨膜の影響について—。日口外誌 31: 438-454 1985.
- 19) 茂木健司：抜歯創の治癒に関するX線学的ならびに組織学的研究。口腔病会誌 38: 33-57 1971.
- 20) Euler, H.: Die Heilung von Extraktionswunden. *Dtsch Mschr Zahnheilk* 24: 685-700

- 1923.
- 21) 大野康亮：抜歯窩骨性治癒過程の microradiography ならびにラベリング法による研究. 歯学 60: 839-868 1973.
- 22) Borders, J., Kerr, E., et al.: Quantitative Dual-Energy Radiographic Absorptiometry of the Lumbar Supine: *In Vivo* Comparison with Dual-photon Absorptiometry. Radiology 170: 129-131 1989.
- 23) Pacifici, R., Rupich, R., et al.: Dual Energy Radiography (DER): A Preliminary Comparative Study. Calcif Tissue Int 43: 189-191 1988.
- 24) 串田一博, 金 洪海, 他: Dual Energy X-ray Absorptiometry②X線方式によるDPA—QDR-1000とDPXの機能とその臨床応用について—, 森田陸司編; 骨ミネラル測定と骨粗鬆症. メディカルレビュー社, 大阪, 1989, 151-160頁.
- 25) 白木正孝: DPAの精度管理と臨床応用. 腎と骨代謝 2: 141-146 1989.
- 26) 白木正孝: 骨量測定法の相互比較とその臨床応用法. 腎と骨代謝 3: 391-395 1990.
- 27) 向井孝夫: 骨塩定量法の原理と基本性能. 森田陸司編; 骨ミネラル測定と骨粗鬆症. メディカルレビュー社, 大阪, 1989, 21-26頁.
- 28) 須賀昭一: 顎骨の骨改造. 小澤英浩, 須田立雄編; 骨吸収に関する諸問題—基礎と臨床—. 西村書店, 新潟, 1987, 1-19頁.
- 29) Atwood, D.A.: Some clinical afctors related to rate of resorption of residual ridges. J Prosthet Dent 12: 441-450 1962.
- 30) von Wowern, N.: Bone Mineral Content of Mandibles: Normal Reference Values—Rate of Age-Related Bone Loss. Calcif Tissue Int 43: 193-198 1988.
- 31) 大西正俊: 各種人工骨の特徴と現状. 歯科ジャーナル 25: 201-206 1987.
- 32) 勝山直彦, 千葉博茂, 他: ヒドロキシアパタイト・セラミックス埋入に続く歯槽骨変化の研究(1)—マイクロラジオグラフィとラベリング法による自家腸骨移植との比較観察—. 日口外誌 36: 2035-2054 1990.