

特集 顎の成長発育(4)

顎骨の改造

—特に残存歯槽骨の吸収について—

田中久敏

岩手医科大学歯学部歯科補綴学第一講座* (主任: 田中久敏教授)

[受付: 1979年10月8日]

はじめに

歯槽骨は概念的に全く不可解である。顎骨は習慣的に“basal bone”と“supporting bone”とに分けられているが、解剖学的にみて明瞭な幾何学的境界はない¹⁾。歯槽骨は特異な機能的、行動的特徴を持っていると信じられているが、その生理学的性質や生物学的特性を説明することは大変困難であるとされている。

臨床的な観察からしても歯槽骨は、口腔組織の中で最も大切なものの1つであることは間違いない。しかし歯槽骨に関連した改造機序に関する基本的な生理はよく理解されていないし、臨床的にコントロールする方法も判然としない。

歯槽骨吸収の要因としては歯の喪失に伴う変化と考えられているが、その予防と対策に新しい効果的な方法が確立されていない現在、この慢性的で、進行性で不可逆性の形態異常を来す歯槽骨の吸収を口腔の disease (病気) と表現している人も多い。

アメリカでは片顎または両顎^{2,4)}の無歯顎の患者は2500~3000万人いると推定され、その大部分は義歯を装着しているといわれている⁵⁾。

その中で60歳までに無歯顎となった患者の80%近くは、歯周組織疾患の影響を大きく受けているといわれている(図-1, 2, 3)。しかしその発生率については国によってまたは地方によって差異がある。

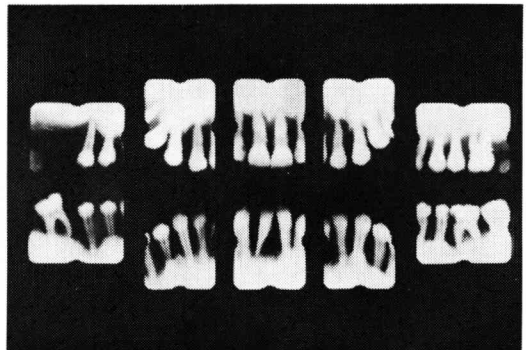


図1 歯周組織疾患で崩壊された歯槽骨

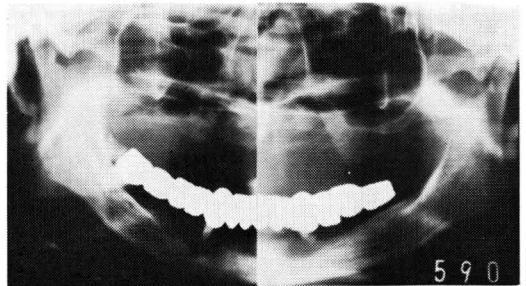


図2 負担過重による歯槽骨吸収

Bone remodeling —Residual alveolar ridge resorption—

Hisatoshi TANAKA

(Department of Prosthodontics I, Iwate Medical University School of Dentistry, Morioka 020)

*岩手県盛岡市中央通1丁目3-27 (〒020)

Dent. J. Iwate Med. Univ. 4 : 183-189, 1979

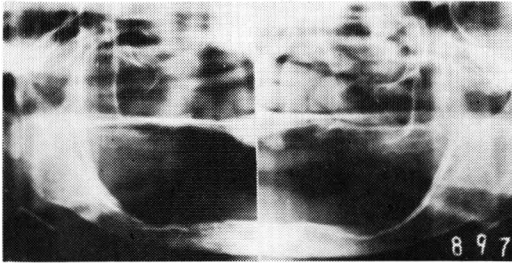


図3 総義歯装着後に起った歯槽骨吸収

世界中で何千万人もの物理的、心理的、経済的な問題を惹起している歯槽骨吸収についてどのような考察がなされているのであろうか。

歯槽骨の問題点

骨というのは高度に特殊化した結合組織の一形態である。骨は非常に固いという事実によって他の形の結合組織から区別される。この固さは柔かい有機性基質のなかに主としてカルシウム、磷酸塩からなる複合ミネラルが沈着したことによる。

組織としての歯槽骨の性質はユニークである。歯槽骨は特に不安定であり、ある種の外的、または内的刺激に対して敏感に反応を示す。基本的な問題として歯槽骨の性質のコントロールに対する疑問がある。すなわち、a. 発育、成長時における正常で本質的な改造の過程、例えば歯の大きさ、位置、移動、歯の喪失に対する歯槽骨の調整、b. 歯周疾患、栄養、矯正、補綴に関連した臨床的なコントロールの過程、の2つに分けられる。このコントロールの過程はいまだ完全には理解されていない。従って、この本質的なコントロール機構が明白になるまでは臨床的にコントロールすることは出来ない²⁾⁶⁻⁸⁾。

骨の異った部位においても成長のしかたに違いがある。ただ、多くの骨に関する研究者は⁹⁻¹²⁾ mechanical な刺激が骨の成長を左右する本質的な根拠であることを推察している。組織学的にみて、歯槽骨は他の骨組織とは特に変わったところはない。様々なタイプの骨と同様に、正常な、あるいは実験的な刺激の変化に対

して反応する敏感な組織である。すべての組織のように刺激に対して一定の閾値を持っており、とくに圧に対しては著しく低い閾値をもっている¹³⁻¹⁶⁾。歯槽骨において、高い閾値反応レベルを示すものもいくつかあるが²⁾、この異った性質の基本的なことに關してはよくわかっていない。歯槽骨は支持する歯牙に二次的に依存したタイプの組織であると推定されている。歯はその初期の成長や、その後の歯槽骨の維持のための直接帰納的な刺激となる。しかし逆に歯はそれ自身、歯槽骨と歯根膜に依存しているということも認められている¹⁷⁾。しかしこの概念は本質的なコントロール機構、骨・歯・軟組織の相互関係、そしてフィードバックなどについてもっと考慮されなければならないといわれている。

歯槽骨は刺激反応の特徴において“basal bone”と基本的に相違があるように思われ、この相違に関連した複雑な関係が存在するように思われる。最近の研究では歯槽骨と“basal bone”は別な起源を持っており、従って違った発育の可能性と構成を持っているのではないかと示唆している。Freeman や Ten Cate (1971)¹⁸⁾ は autoradiography を用いた研究により歯槽骨は dental papilla の中の特殊な細胞から由来するものでないかと発表している。更に Biggerstaff (1972)¹⁹⁾ は別の観点よりハムスターの発育中の顎の中にみられる hyaline 様細胞がたぶん歯槽骨の primordial tissue (原生組織) に直接関係があるとしている。

all “bone is bone” という格言は真実ではない。顎骨を組織学的にみると多くの種類の骨が存在する。そのおのおのがそれぞれ発育・成長のメカニズム、そして機能的関係に対して特別な構造上の適応を示す。

もし歯槽骨が破壊され、またはある苛酷な刺激で影響を受けるなら、結果として歯牙は次第に喪失する。同様に歯が失なわれるなら、それに関係している歯槽骨は破壊的吸収に陥いる。しかるに同時に、抜歯窩の基底にはコンストラクティブな骨結合組織によって充たされるよう

になる。特にこのような対照的な場所に、より異った相互依存の反応の原因はなんであろうか？多くの異った因子あるいは調整過程が直接あるいは間接的に含蓄されているように思われる。概念上の障害は、含まれる複雑なコントロールメカニズムの操作の基本的理解の不足である。このジレンマが解決するまで、コントロール過程そのものをコントロールするための合理的な基礎を確立した臨床上の手段を講じる道はないであろう。

顎骨の改造

resorption と deposition の成長過程はお互いに補足しあっており、このコンビネーションが骨の成長と改造の基本的様式を代表する。骨が成長時に表面吸収をおこすということは大略が18世紀に認められている。resorption は正常な過程であり、骨の deposition による成長に必要なものである。臨床的に限局して考えれば resorption は好ましくないものとみなされがちであるが、しかし、幼年期の成長過程では deposition は resorption によって補足され改造過程に必要なものである。考え方によれば osteoporosis (骨多孔症)も骨組織改造とみなされるが、この問題については骨生理の正常な過程であるか、disease (病気)であるかは論議の対象となっている。

同様に歯の喪失に続く歯槽骨の吸収や退縮は正常な骨の改造と見なすことが出来るであろうか。無歯顎堤側面に軟組織で完全に被覆された突出した骨突起は義歯装着に邪魔になるが、義歯を無理に装着して咬合させることにより円く萎縮して義歯にとって好ましい効果の形態になる。しかしその反面同じ正常な骨改造過程が、異常な骨改造過程でもあるかもしれない。例えば義歯の安定を防げるような病的骨改造は多くの問題を惹起する。

Remodeling という言葉は骨に関する論議の中にしばしば登場するが、機能的な面から考察すると3つのタイプが考えられる。

第1に remodeling には骨全体の総括的な

形を保ちながら成長する骨のある部分から他の部に変化させるに役立つ過程がある。下顎骨、上顎骨にみられる growth remodeling がそれである。

第2の remodeling は生化学または生理学者が常用する無機質の恒常性についてのフィードバックの一般過程について論ずるときに使用する calcium release, ion-exchange など分子レベルでの remodeling system を意味する。

第3の remodeling は組織学的な皮質の reconstruction の過程を意味する。“骨は生涯にわたって改造される”という名言は確かであるが多くの人はこの機能過程の本質が何んであるか、わかっていない。確かに骨全体そのものの総体的な形態を変えることなく骨の内部的置換が起きるシステムである。退縮しかけた皮質骨が新しい Haversian 組織によって積極的に置き換えられる。たぶんこの過程が歯槽骨吸収の原因の因子と考えることも出来る。

歯槽骨改造と生物力学の要因

歯槽骨改造には多くの異った外的、内的な因子が骨に影響を与えるが、最近 tension と pressure が改造過程に影響を与え調節する要因であると推定されている²⁰⁻²⁴⁾。この適切かあるいは不適切であるかも知れない推測で歯槽骨は普通物理的力に特に鋭敏で、中でも圧に対する閾値は特に低いのが骨組織であるとされている。tension は骨形成をうながす刺激と信じられ、pressure は骨の吸収をうながす力と信じられている。しかし Epker と Frost ら (1966)²⁵⁾は tension でなく compression がたぶん骨吸収に関与すると批判的である。

歯槽に関する複雑で変化に富んだ環境のもとの tension や pressure の量は完全に知られていないが、“light”とか“heavy”と表現され、その異った効果について広く論議されている。義歯と歯槽骨改造に関する力の量については明確でない²⁶⁾²⁷⁾。

ストレスが骨に加わった時、osteoblast や osteoclast が刺激され、成長や調整が力の不

均衡を中立化させ、中立にもって来るまで骨の改造が行われる。**tension** は骨を適応させるように新生骨を生みだす **osteoblast** を刺激すると因習的に仮定されている。しかしながら、もし軟組織の生物学者が異常なストレスを加えることによって筋、結合組織、上皮に単純な構造の変化を作れたとしたら、ストレスが組織コントロールの唯一な主要因であるとは結論しないと考える。

pressure と **tension** は成長とある様式の中の機能的な改造コントロールに含まれるに違いないが、逆に活動的なコントロール要因であるのか、さもなくば他のコントロール機構によって調和されている要因であるかも知れない。

歯槽骨改造の要因としては **biomechanical force** 以外に、遺伝、ホルモン、栄養など、多くあるが、この稿では省略することにする。

残存歯槽骨の吸収

歯の喪失に続いて抜歯窩は骨原性の結合組織で置き換えられ、次第によく発達した粗大網目状の海綿骨を形成する。歯槽突起の皮質骨は退行しはじめ、しだいに特徴のある歯槽堤が結果として形成される(図4)。この過程の結果として生じる残存歯槽骨の形態は、特に義歯を装着してからも改造変化が続くため大変興味深い。従って長期間にわたる義歯の安定は望むことが出来ない(図5)。これらの因子のために歯槽骨の基本的な生理と特殊なタイプの組織としての正常でしかも異常な改造過程に今日多大の興味がよせられている。

マイクロラジオオートグラフィーを用いて、**Manson** と **Lucas** (1962)²⁸⁾ は近接の下顎骨体よりも歯槽骨に非常に高率で一般的な改造活動が生ずることを指摘している。**Baumhammers** ら(1965)²⁹⁾ は、また実験動物に **H³-prolin** を用い歯のない骨組織よりも歯槽骨に非常に高率で改造活動が生じることを指摘している。その後の研究では緻密基底骨と歯槽突起を対比させ、歯槽突起に、より血管に豊んだ **deposition** と **resorption** を認めている。一般的に改造活

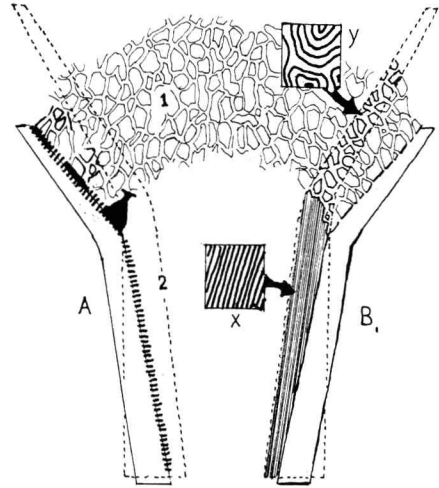


図4 歯槽骨改造の模型図

- A. 内方成長
 - 1. 髄内に充填された海綿骨
 - 2. 皮質骨の髄室への移動
- B. 緻密骨の形成パターン
 - 1. 皮質骨を渦巻状にとり囲む
 - 2. 皮質骨内層に骨内膜周囲薄膜の層を作る

(Enlow, D.H. : Principles of Bone Remodeling. Charles C. Thomas, Springfield 111, 1963.)

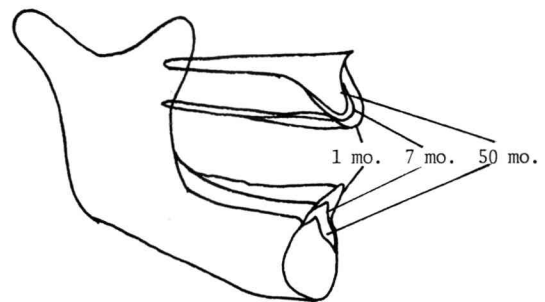


図5 無歯顎歯槽骨の経時的推移

抜歯後50ヵ月を経過した歯槽骨形態の変化を示す

(Atwood, D.D. : Reduction of residual ridges. J. Prosth. Dent, 26 : 266-277, 1971.)

動の活動性は表面骨の露出度合と関連があるように考えられる。骨の表面はいくつかの形がある。骨膜と骨内膜の皮質表面、皮質血管の内面、海綿骨柱の表面、などがある。特に海綿骨柱の表面は集合面積が大きく、**resorption** や **deposition** やイオン交換のための表面活動の

正味量は皮質骨に比べて非常に大きい。Atkinson や Woodhead²⁹⁾は上記の性質に注目し、歯槽骨は基底骨より本来多孔質であり、幼年期に起こる骨改造の基本的パターンであることを指摘した。さらに吸収の増大は歯槽部でより明瞭で、歯槽骨がより多孔質であるという特徴に関連があることを示した。しかしより緻密なタイプ（血管が少ない）の基底骨は増齢とともに密度は増加する。

時間の経過と共に残存歯槽骨が陥凹してくることについて Atkinson と Woodhead (1968)²⁹⁾は前歯部唇側歯槽骨の皮質に有孔性が増加するが、舌側部では生じない。その結果歯弓は狭小になる傾向が強い。臼歯部においては主に舌側の歯槽骨皮質の密度が減少（吸収により有孔性の増加）するので歯弓は拡大する傾向を示すと述べている。Israel (1967)^{30,31)}は下顎骨の全体的高さは減少するが、同時に皮質の厚さ自体は厚みを増すことを認めている。この傾向は男性で40歳以上、女性では50歳以上に生ずると述べている。さらに彼は顔面および頭蓋骨は一般的に長い間の年齢の増加とともに新しい骨が添加されるが、反面、歯槽骨は過度の吸収を引き起こすことが独特で、骨格における他の構成要素と対照的であることは興味あることである。

前述したように、歯の喪失につづいて起こる残存歯槽骨の生理学的特性と機能的行動は義歯の長期にわたる安定に関して大変重要である。歯牙喪失後に起こる歯槽骨の減少はそれ自体、正常で本質的な過程であるかもしれないが、歯槽堤の改造は義歯の安定を阻害する点からすれば“disease”と定義されてもよいと考える。Atwood (1971)²⁾が強調しているように基本的な臨床上的問題は解決されずに残っている。Atwood は残存歯槽骨形成の histogenetic な過程について歯槽骨の骨膜表面は本来吸収するものであり、“V”原理に従って網状組織の緻密化による新生骨の骨内膜添加は基質骨の方向に向かって薄い皮質を移動させると述べている(図6)。Pietrokovski (1970)³²⁾は無歯の歯

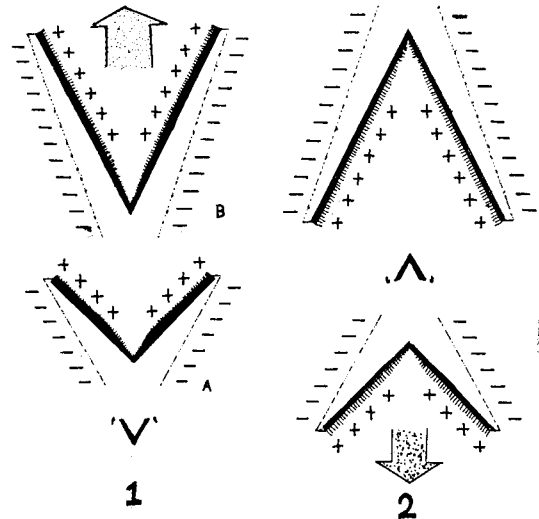


図6 “V”原理の模型図

- A. 脛骨の成長過程を示す。(+)は添加，(-)は吸収
 - B. 逆“V”原理を適応した歯槽骨吸収の機序を示す。(+)は添加，(-)は吸収
- (Enlow, D. H. : Principles of Bone Remodeling. Charles C. Thomas, Springfield Ill, 1963.)

槽骨の改造は、本来治癒の8週間内に終了することを報告した。これ以上経過するとその形態は本来安定するものである。またこれらの動物における歯槽の吸収は、筋の付着部を境として限定されると述べている。もしいくつかの付加的な内的、外的の、例えば義歯を装着したり全身疾患の因子は複雑になり、近接の筋付着部は歯槽退縮の範囲にとって正常の限界に影響することを示唆している。Sobolik (1960)³³⁾は糖尿病、結核、十二指腸潰瘍、副甲状腺機能亢進症、栄養失調、そして外傷を含む多くの因子が歯槽骨の萎縮を促進させると述べている。人間がこのような因子を持ちあわせていることは普通で、これが原因で歯槽吸収を促進させる可能性がある。歯槽骨吸収は長期間にわたって、筋付着、オトガイ棘、そして顎舌骨筋線の下方にまで進行する可能性を示唆している。Pietrokovski と Massler (1967)³²⁾は歯槽堤における退縮改造現象の方向を追った。上顎の頬側板は、吸収が口蓋板のそれより大なので、口蓋

板へより密接した場所へ移動することを認めた。この変化は、歯弓の狭小をひきおこし、(Atkinson と Woodhead の意見と一致する。)下顎では頰側の歯槽板は舌側板よりも吸収するので、舌側方向の歯槽堤は位置を変える。この変化は同様に歯弓を狭小させる。また彼らは、吸収は上下とも前、小臼歯より大臼歯部で非常に大であると記した。長い間の義歯装着に伴い、残存歯槽堤の退縮が続くと Tallgren (1972)³³⁾は報告している。総義歯装着者の経過観察で残存歯槽堤の吸収は下顎において著明であり、特に前歯部においては上顎の同部位と比較して約4倍も吸収が起こると報告している。

多くの文献を考察したが、残存歯槽骨の吸収機序に対する基本的な生理は判然としていない。補綴学的に考察しても、無歯顎患者の義歯床の大きさや形態の考慮および顎機能に調和した咬合を作りだすことで歯槽骨に伝達される圧を調節し、歯槽吸収の予防の一要素にしているにすぎない。

おわりに

歯槽骨改造機序に関しての基本的生理はよく理解されていないし、臨床的にコントロールする方法も判然としない。一般的原因としての歯槽骨吸収の基本的理由に関して多くの実際的、理論的な可能性は存在する。しかし我々の必要する答は今だに得られない。

文 献

1. Enlow, D.H. : Principle of bone remodeling, Thomas., Springfield Ill, pp131, 1963.
2. Atwood, D. A. : Reduction of residual ridges : A major oral disease entity. *J. Prosth. Dent.* 26 : 266-277, 1971.
3. Swoope, C. C. Je. and Kydd, W. L. : The effect of cusp form and occlusal surface area on denture base deformation. *J. Prosth. Dent.* 16 : 34-43, 1966.
4. Atwood, D. A. and Coy, W. A. : Clinical cephalometric, and densitometric study of reduction of residual ridge. *J. Prosth. Dent.* 26 : 280-295, 1968.

5. Nakamoto, R. Y. : Bony defects on crest of the residual alveolar ridge. *J. Prosth. Dent.* 19 : 111-118, 1968.
6. Baumhammers, A. and Stallard, R. E. : Remodeling of alveolar bone. *J. Periodont.* 36 : 439-442, 1965.
7. Moss, M. L. : Neurotrophic processes in Orofacial growth. *J. Dent. Res.* 50 : 1492-1494 1971.
8. Weinman, J. P. : Adaptation of the periodontal membrane to physiologic and pathologic changes. *Oral Surg., Oral Med., Oral Path.* 8 : 977-981, Sept. 1955.
9. Utley, R. K. : Activity of alveolar bone incident to orthodontic tooth movement as studied by oxytetracycline-induced fluorescence. *Am. J. Orthodont.* 54 : 167-201, 1968.
10. Waerhang, Jens. and Hansen, E. R. : Periodontal changes incident to prolonged occlusal over load in monkeys. *Acta. Odont. Scand.* 24 : 91-105, 1966.
11. Scott, J. H. : Craniofacial regions ; a contribution to the study of facial growth. *Dent. Pract. Dent. Rec.* 5 : 208-14, 1955.
12. Nakamoto, R. Y. : Bony defects on the crest of the residual alveolar ridge. *J. Prosth. Dent.* 19 : 111-118, 1968.
13. Reitan, Kaare. : Continuous bodily tooth movement and its histological significance. *Acta Odont. Scand.* 7 : 115-144, 1947.
14. Reitan, Kaare. : Some factors determining the evaluation of forces in orthodontics. *Am. J. Orthodont.* 43 : 32-45, 1957.
15. Reitan, Kaare. : Tissue behavior during orthodontic tooth movement. *Am. J. Orthodont.* 46 : 881-900, 1960.
16. Ackerman, J. L., Cohen, Jonathan, and Cohen, M. I. : The effects of quantified pressures on bone. *Am. J. Orthodont.* 52 : 34-46, 1966.
17. Brodie, A. G. : The interrelation of the digestive and skeletal systems as determinants of tooth position. *Am. J. Anat.* 120 : 71-77, 1951.
18. Freeman, E. and Ten Cate, A. R. : Development of the periodontium ; An electron microscopic study. *J. Periodont.* 42 : 387-395, 1971.
19. Biggerstaff, R. H. : The in-vivo development of the master periodontium. *Am. Dent. A. J.* 77 : 1090-5, 1968.
20. Moyer, R. E., and Brauer, J. L. : Periodontal response to various tooth movements. *Am. J. Orthodont.* 36 : 572-580, 1950.
21. Smith, R., and Storey, Elsdon. : The importance of force in orthodontics ; the design

- of cuspid retraction springs. *Austral. J. Dent.* 56 : 291-304, 1952.
22. Baxter, D. H. : The effect of orthodontic treatment on alveolar bone adjacent to the cemento-enamel junction. *Angle Orthodont.* 37 : 35-47, 1967.
23. Gianelly, A. A. : Force-induced changes in the vascularity of the periodontal ligament. *Am. J. Orthodont.* 55 : 5-11, 1969.
24. Utley, R. K. : Activity of alveolar bone incident to orthodontic tooth movement as studied by oxytetraeylicine-induced fluorescence. *Am. A. Orthodont.* 54 : 167-201, 1968.
25. Epker, B. N., and Frost, H. M. : Correlation of bone resorption and formation with the physical behavior of loaded bone. *J. Dent. Res.* 44 : 33-41, 1965.
26. O'Rourke, J. T. : Significance of test for biting strength. *Am. Dent. A. J.*, 38 : 627-633, 1949.
27. Brudevold, Finn. : A basic study of the chewing forces of a denture wearer. *Am. Dent. A. J.*, 43 : 45-51, 1951.
28. Manson, J. D., and Lucas, R. B. : A microradiographic study of age changes in the human mandible, *Arch. Oral Biol.* 7 : 761-769, 1962.
29. Atkinson, P. J. and Woodhead, C. : Changes in human mandibular structure with age. *Arch. Oral Biol.* 13 : 1453-1464, 1968.
30. Israel, Harry. : Loss of bone and remodeling redistribution in the craniofacial skeleton with age. *Fed. Proc.* 26 : 1723-1728, 1967.
31. Israel, Harry. : Continuing growth in the human cranial skeleton. *Arch. Oral Biol.* 13 : 133-137, 1968.
32. Pietrokovski, Jaim., and Massler, Maury. : Remodeling of the residual ridge after tooth extraction in the monkey. *J. Prosth. Dent.* 26 : 119-129, 1971.
33. Sobolik, C. F. : Alveolar bone resorption. *J. Prosth. Dent.* 10 : 612-619, 1960.
34. Tallgren, A. : The continuing reduction of residual alveolar ridges in complete denture wears : A mixed-longitudinal study covering 25 years, *J. Prosth. Dent.*, 27 : 120-131, 1971.