原 著

Micro-CT を用いた下歯槽動脈の三次元的観察

北 野 良 英 原 俊 浩 井 出 吉 信

東京歯科大学解剖学第一講座（主任：井出吉信教授）

〔受付：平成 13 年 7 月 23 日，受理：平成 13 年 10 月 31 日〕

Three-dimensional Observation of the Distribution of the Inferior Alveolar Artery Using Micro-CT

Yoshihide Kitano, Toshihiro Hara and Yoshinobu Ide

The First Department of Anatomy, Tokyo Dental College

(Chief : Prof. Yoshinobu Ide)

1-2-2 Masago, Mihama-ku, Chiba, 261-8502, Japan

[Received on July 23, 2001 ; Accepted on October 31, 2001]

Key words : 3-D distribution of inferior alveolar artery / dental branches / Micro-CT

Abstract : The purpose of this study was to clarify the distribution of the inferior alveolar artery (IAA) and its dental branches in the mandibular canal and surrounding tissues in both dentulous and edentulous mandibles using a Micro-CT system.

Twenty-six sides of 18 mandibles from Japanese cadavers were examined. Contrast medium was injected into the maxillary artery of the examined specimens to obtain the Micro-CT and 3-D reconstruction images. Maximum vertical length and horizontal breadth of the mandibular canal were measured to determine the position of IAA in the canal. The angle of the dental branches against IAA and the inside diameter of IAA were also examined.

The vertical position of IAA in the molar area was higher in the edentulous than that in the dentulous mandible. There was, however, no significant difference in the horizontal position. The retromolar ramus, in which the dental branches were distributed at the retromolar region, was usually observed to run toward the buccal just after separating from IAA. The inside diameter of IAA was smaller in the edentulous than that in the dentulous mandible.

These results suggest that positional change of IAA in the mandibular canal and decrease of inside diameter may be caused by absorption of alveolar bone following tooth loss and subsequently morphological change of the mandibular canal. However, the running direction of the retromolar ramus did not change.

抄録：有歯顎と無歯顎における下歯槽動脈の走行形態および歯枝の分岐形態を把握することを目的として，Micro-CT を用いた三次元的観察および解析を行った。試料として顎動脈より造影剤の注入を行った日本人成人遺体 18 体 26 側を用いた。下顎管を基準とした下歯槽動脈の垂直的位置，水平的な位置，血管内径および下歯槽動脈を基準とした歯枝の分岐する角度の計測を行ったところ，以下の結果を得た。下顎管内部における下歯槽動

脈は、無歯顎になると垂直的には有歯顎と比較して相対的に上方に位置したが、水平的には差が認められなかった。血管内径は無歯顎になると細くなる傾向が認められた。歯枝は歯牙の喪失により分岐する数の減少がみられたが、臼後領域に向かう臼後枝は変化が認められなかった。また、その臼後枝は頰側方向に分岐していた。これらは、歯牙喪失による歯槽骨の吸収、それに伴う内部構造、特に下顎管の構造の変化が大きく関与していた。

結 言

下歯槽動脈の走行分布は下顎骨の成長発育や病態と深くかかわっており、それを把握することで下顎骨内部に及ぶ処置の際、術中の危険性を減少できると考えられる。

下歯槽動脈は下顎骨の内部を走行しているため、その走行を検索するには骨を除去して行う肉眼的観察¹⁻³⁾や、X線写真を用いた観察^{4,5)}、透明標本による観察⁶⁾、病理組織標本による観察⁷⁻¹⁵⁾、鋳型標本を用いたSEM像の観察¹⁶⁻²⁰⁾などさまざまな方法がこれまでに用いられてきた。しかし、これらの観察方法はいずれも試料に対する破壊や変性が不可避であり、しかも特定の断面からの観察を余儀なくされるため、立体的な構造を把握しにくいという欠点があった。Oikarinen⁴⁾がStereoorthopantomographを用いて、下顎骨内部の下歯槽動脈の走行形態と歯枝の分岐状態を加齢的变化とあわせて報告し、そのなかで歯枝のうち臼後領域に向かうものをretromolar ramus (臼後枝)として分類した。しかしながら、三次元的に下歯槽動脈の走行を表現しているとはいえず、下顎管との位置関係については不明確であるといわざるを得ない。

ところで、近年、極微小焦点X線CT装置 (以下、Micro-CT)が開発され、骨や歯牙の研究を中心に応用されるようになってきた²¹⁻²⁴⁾。Micro-CTは非破壊的に高解像度で顎骨内部の三次元的な観察および定量的解析が可能であり、形態観察の一方法として有効である²¹⁻²⁴⁾。下歯槽動脈の観察においても造影剤を注入することでその形態を保存したまま、しかも非破壊的に任意の断面観察を行うことが可能である。

そこで造影剤注入標本作製し、Micro-CTを用いて、下歯槽動脈の下顎管内部での立体的な走行形態および下顎骨における歯枝の分岐状態の観察をした。また、歯牙の喪失による下歯槽動脈および歯枝の走行形態の変化を把握するために、有歯顎と無歯顎での比較検討も行った。

材料および方法

研究材料は、造影剤注入済み未固定新鮮日本人成人遺

体より摘出した下顎骨18体26側 (有歯顎8体11側、無歯顎10体15側)を用いた (Table 1)。なお、中切歯より第2大臼歯までが残存しており、咬頭嵌合位を保っているものを有歯顎とした。

1. 標本作成および撮影方法

下歯槽動脈をMicro-CTで観察するために動脈内部に造影剤を注入した。造影剤は65°Cに加温した蒸留水100 mlに対して硫酸バリウム80 gを加え、添加剤としてゼラチンを8%の濃度になるように加えた²⁵⁾。次いで、両側の顎動脈より毛細血管および静脈に造影剤が入らないよう注意しつつ、造影剤を約120 mmHgの圧で注入した。注入後、10%ホルマリン中に浸漬させ固定を行うと同時に、冷却して造影剤を硬化させた後、造影剤が硬化した下顎骨を摘出し、Micro-CTで撮影を行った。

撮影する際の試料の位置付けは、試料の下顎下縁平面と試料ステージが垂直になるよう設定した (Fig. 1)。撮影は、管電圧70 kV、管電流100 μ A、撮影倍率1.2倍の条件下で行った。撮影で得られたRaw dataを簡易型多断層面構築ソフト (MultiBP, Imagescript) によりスライス画像データ900枚を再構成した。フォトタッチソフト (Photoshop, Adobe)を用いて、各スライス画像のノイズ除去、コントラストの調整を行った。さらに三次元立体構築ソフト (Vox Blast, Image&Measurement)を用いて立体像の再構築を行った。

2. 観察部位

下歯槽動脈の走行を有歯顎と無歯顎で比較するためにMicro-CTで得られた下顎骨外形像を用いて、下顎孔よりオトガイ孔までを5等分し、下顎孔から前方へそれぞれA部、B部、C部、D部、E部と設定した (Fig. 2)。また、A部の遠心断面から下顎孔部断面 (以下、a断面)、下顎枝前縁部断面 (以下、b断面)、第3大臼歯相当部断面 (以下、c断面)、第2大臼歯相当部断面 (以下、d断面)、第1大臼歯相当部断面 (以下、e断面)と断面を設定した (Fig. 2)。

3. Micro-CT像の観察

再構築を行った下歯槽動脈本幹の像を立体的に観察し、有歯顎と無歯顎で比較を行った。

Table 1 Materials

dentulous		edentulous	
No.	Age	No.	Age
1	57	9	65
2	58	10	69
3	59	11	72
4	64	12	72
5	67	13	75
6	73	14	76
7	74	15	76
8	unknown	16	77
		17	80
		18	unknown

Fig. 1 The material placed in Micro-CT device.

4. 下顎管に対する垂直的, 水平的位置関係

下歯槽動脈の下顎管内部での位置関係を把握するために上記5断面での下歯槽動脈の垂直的, 水平的位置, 角度および血管内径の計測を行い, 有歯顎と無歯顎の比較を行った。

1) 下顎管内での垂直的位置関係

上記5断面における下歯槽動脈の下顎管下壁からの位置をミリメートル単位で表した。また, 下顎管の最大上下径に対する下歯槽動脈の中心の垂直的位置を下顎管下壁から計測し, 百分率で表した (Fig. 3-a)。

2) 下顎管内での水平的位置関係

上記5断面における下歯槽動脈の下顎管頬側壁からの位置をミリメートル単位で表した。また, 下顎管の最大幅径に対する下歯槽動脈の中心の水平的位置を下顎管頬側壁から計測し, 百分率で表した (Fig. 3-b)。

3) 歯枝の立ち上がる角度

歯枝の分岐形態を把握するために分岐部位での下歯槽動脈本幹を基準にして, 歯枝の立ち上がる角度を矢状断

Fig. 2 Regions observed by two dimensional and three dimensional methods.

Ma. F. : mandibular foramen, M. C. : mandibular canal, Me. F. : mental foramen.

Fig. 3

a : Positional relationship between IAA and mandibular canal, b : Inside diameter of IAA.

* : Distance between lower wall of mandibular canal and IAA, ** : Distance between buccal wall of mandibular canal and IAA, *** : Inside diameter.

B : buccal side, L : lingual side, M. C. : mandibular canal, IAA : inferior alveolar artery.

Fig. 4 Angle of dental branches against IAA.

1: sagittal plane, 2: buccolingual plane, 3: horizontal plane.

方向、頬舌断方向、水平断方向の3方向から計測した (Fig. 4)。

4) 血管内径

上記5断面における下顎管中を走行する下歯槽動脈の血管の頬舌径を計測し、ミリメートル単位で表した (Fig. 3-a, 3-b)。

5) 統計学的取り扱い

統計処理により、平均値、標準偏差を求めた。また、平均値の有意差は有歯顎と無歯顎間についてt検定 (5%水準) により求めた。

結 果

1. Micro-CT 像の観察

下歯槽動脈本幹の位置は有歯顎、無歯顎ともに下顎孔部で下顎管に対して上下的にほぼ中央付近に、頬舌的には頬側寄りに観察された (Fig. 5)。その位置はA部内、すなわち下顎枝部内において下顎管の上部に移行していた。B, C部内での下顎管に対する位置は下顎管の上壁に近接していた。D部内の下歯槽動脈本幹は下顎管を上下的に蛇行していた。E部内では、舌側方向に走行方向を変えオトガイ孔から出る枝と前方に向かう枝に分岐していた (Fig. 6)。

臼後枝は下顎枝で頬側方向に分岐し、下歯槽動脈本幹の上部を並走し、下顎管上壁から出た後もさらに前走していた。第2大臼歯部の手前で臼後領域に向かって鋭角

に方向を変えていく様子が観察された。この臼後枝は無歯顎においても同様に観察された。また、臼後枝から分岐し前方の大臼歯や歯槽骨に分布している枝も観察された。大臼歯部の後方からは数本の歯枝が大臼歯や周囲の歯槽骨に向かって斜めに立ち上がり、その走行は頬側方向に立ち上がるものや舌側方向に立ち上がるものがあり、不定であった。また、立ち上がる際に下顎管中で下方に分岐した後上方にいくものもみられた。無歯顎では分岐する枝の本数は有歯顎と比較して減少し、血管径が細くなっている傾向であった (Fig. 7, 8)。

2. 下顎管に対する垂直的、水平的位置関係

1) 下顎管内での垂直的位置関係

下顎管下壁からの距離はc, d断面ともに有歯顎よりも無歯顎のほうが若干減少している傾向がみられたが、有意差は認められなかった (Fig. 9)。下顎管の最大上下径に対する下歯槽動脈の垂直的位置はc, d断面ともに有歯顎よりも無歯顎のほうが割合を増加させており、有意差が認められた。つまり、有歯顎と比較して無歯顎では下顎管内で相対的に高い位置を走行していた (Fig. 10)。

2) 下顎管内での水平的位置関係

下顎管舌側壁からの距離はa, b, c, d, e断面のすべての部位において有歯顎と無歯顎との大きな差は認められなかった (Fig. 11)。また、下顎管の最大幅径に対する下歯槽動脈の水平的位置はa, b, c, d, e断面のすべてにおいて有歯顎と無歯顎間で大きな差が認められなかった (Fig. 12)。

3) 臼後枝の立ち上がる角度

臼後枝は、矢状断面からみると、分岐する際に約10度の角度をもって上方に分岐していた (Table 2)。頬舌断面および水平断面からこれを見ると、いずれも頬側に向かって分岐していた (Fig. 7)。有歯顎と無歯顎には臼後枝が立ち上がる角度に有意な差が認められなかった。

4) 血管内径

下歯槽動脈は有歯顎、無歯顎ともに下顎孔からオトガイ孔に向け前走するに従い、血管の内径が減少していた。a, b断面間、c, d断面間で急激に血管の径を減少しており、有意差が認められた。また、a, b, c, d, e断面における下歯槽動脈の内径はすべての部位において、有歯顎よりも無歯顎のほうが減少する傾向がみられ、有意差が認められた (Fig. 13)。

Fig. 5 Sliced images taken by Micro-CT systems.

1 : dentulous, 2 : edentulous.

B : buccal side, L : lingual side, M. C. : mandibular canal, IAA : inferior alveolar artery.

考 察

1. 観察方法について

下顎骨内部の下歯槽動脈の走行形態を観察する方法として、Oikarinen⁴⁾は動脈内にバリウム造影剤を注入し、Stereo-orthopantomoarteriogramで観察した。この方法は、臨床上使用頻度の高いパントモ像での下歯槽動脈の走行形態を知るうえで有効であると考えられるが、二次元的な像であり、下顎管内部での頬舌的な位置関係をはじめとする周囲組織との三次元的な位置関係を把握することが困難である。

Poirot⁵⁾は動脈内に色素含有合成樹脂を注入し、皮質骨を除去後、剖出し血管鋳型標本の観察を報告した。この方法は、合成樹脂の硬度と骨梁内部の神経との判別

が可能になることで観察が比較的容易になる利点を持ち、三次元的な観察が可能である。しかし、周囲組織の除去が不可避であるため破壊的であり、骨との頬舌的な位置関係の把握が困難である。

Micro-CTを用いた観察は従来のX線像を用いた観察とは異なり、スライスデータをもとに再構築しているため任意の断面での観察が可能である。そのため、血管鋳型標本のように立体的な走行形態の把握を容易にし、従来の方法では観察できなかった頬舌断面からの歯枝の立ち上がりについて観察することを可能にした。また、皮質骨の除去など剖出操作を伴わないことから破壊せず下歯槽動脈と周囲の骨組織、特に下顎管との位置関係の観察には有効であることが示唆された。

Micro-CTはX線を用いるため、血管の走行を知るには前操作として造影材の注入操作が必要となるが、血管

Fig. 6 3-D reconstruction images of IAA sliced along the mandibular canal.

1 : dentulous, 2 : edentulous.

M. C. : mandibular canal, IAA : inferior alveolar artery. Me.F. : mental foramen,
M 1 : first molar, M 2 : second molar.

と周囲組織の位置関係や血管壁に及ぼす影響を少なくするため、注入圧を約 120 mmHg とした²⁵⁾。また、胎児の聴覚器の小動脈を Microfocus X-ray CT で観察した Shibata ら²¹⁾は、造影剤にバリウムを用いると描出能が優れていたと述べているため、本研究でもバリウムを採用した。その結果、血管破壊の少ない像であった。

2. 下歯槽動脈本幹の走行について

猪鹿倉²⁶⁾は下顎孔入口部における脈管、神経の位置的関係を 16 型に分類し、下顎孔の前半部は下歯槽神経が、後半部には下歯槽動静脈が位置し、動静脈はいずれか一方が内側または動脈が静脈より前方位に位置するものが多いと述べている。今回の標本でも神経の後方から進入

Fig. 7 3-D reconstruction images of dental branches.

1 : dentulous, 2 : edentulous.

M. C. : mandibular canal, IAA : inferior alveolar artery. Me. F. : mental foramen,
M 1 : first molar, M 2 : second molar.

するものが多かったものの、神経の内側もしくは前方から進入していたものが42%みられた。また、下顎孔部で下顎管の中央付近に位置していた下歯槽動脈本幹は、大白歯部に向かう間に位置を上方に変え、第1大白歯部付近からは上下的に蛇行をしながら走行している像が観察された。本研究でみられたa, b, e断面の垂直的位置のばらつきは、これらのことに起因すると思われた。d, e断面、すなわち第3大白歯相当部と第2大白歯相当部における下顎管内の下歯槽動脈の垂直的位置関係は、有歯顎より無歯顎で下顎管下壁に対して若干低い位置を走行するものの、相対的には有歯顎のほうが低い位置を走行している傾向がみられた。これは歯牙の喪失に伴って歯槽部の吸収が起こることにより、下顎管の特に上壁の形態が円形に近い形態に変化していく²⁷⁾ためであると考えられた。また、下歯槽動脈の水平的位置関係が有歯顎と

無歯顎ともに差がみられなかったのは、歯牙の喪失による下顎管の水平的な形態変化が少ない²⁷⁾ためであろう。

下顎骨は歯牙の喪失に伴い、歯槽骨の吸収とともに内部構造にも変化を起こすことが報告されている²⁸⁻³¹⁾。さらに、下顎管内部の下歯槽神経、動、静脈の位置関係にも影響を及ぼし、無歯顎症例ではインプラントなどの下顎骨内部に及ぶ処置の際に下歯槽動脈が下顎管のより上方に位置することを留意する必要があると考えられた。

3. 歯枝の分岐状態について

Zoud ら²⁾は下顎管のなかにおいて下歯槽神経血管叢と表現すべき複雑な形態をしていると報告している。実際、下顎管のなかでは下歯槽神経、動、静脈と併せてその分枝が複雑に走行していた。Poirot ら¹⁾が報告するように、下歯槽動脈から分岐する枝を歯牙や歯槽骨に

Fig. 8 3-D reconstruction images showing the direction of dental branches against IAA.
 1 : retromolar ramus, 2 : dental branches.
 a : sagittal plane, b : buccolingual plane, c : horizontal plane. B : buccal side, L : lingual side, ← : retromolar ramus.

Fig. 9 Distance between lower wall of mandibular canal and IAA.

Fig. 10 Vertical position of IAA in mandibular canal.

分布する principal collaterals と神経血管鞘や底部の骨に分布する非常に細い secondary collaterals に分類すると、下歯槽動脈の本幹が下顎孔からオトガイ孔まで1本の動脈として走行しているのがわかる。下顎角部から分岐する principal collaterals は主に臼後部に、もしくはさらに分岐して大臼歯に分布し、下顎体部から分岐する枝は分岐した場所から前方の歯牙に分布するとしている。また、Oikarinen⁴⁾は下歯槽動脈本幹から分岐した後、第3大臼歯部付近で鋭角に走行方向を変え下顎枝前方の retromolar region に分布する枝を retromolar ramus とし、147 側中 79 側あったとしているが、統計学的に年

齢との相互関係はみられなかったとしている。小寺ら³⁾は、臼後管を走行する神経および血管について観察を行ったなかで、臼後管の出現率は 19.5%，開孔部位は第3大臼歯の遠心部だとしている。

著者は、歯牙や歯槽骨に分布する歯枝を対象として観察を行い、有歯顎では同様の所見を得た。無歯顎では下顎枝部で分岐して臼後部に向かう枝は有歯顎と大差はみられなかったが、臼歯部に向かい立ち上がる歯枝では細く数が少なくなる傾向がみられた。このことは臼歯部では歯牙の喪失に伴う歯槽骨の吸収により下顎管の上壁の小孔が少なくなる²⁷⁾ことに密接に関係していると考えられた。

臼後枝は 26 例中すべてのものにみられたが、臼後管というはっきりした管腔構造は認められなかった。本研究の倍率は 1.2 倍という弱拡大であったため、臼後管の走行を把握できなかったと考えられた。しかし今回、Micro-CT を用いたことで、従来の方法では観察できなかった頬舌断面での歯枝の立ち上がりについて把握することができた。臼後枝のなかでは有歯顎、無歯顎ともに頬舌的に頬側方向に立ち上がっていくものが大勢を占めた。これはその部位の下顎管が舌側に位置している²⁷⁾ことに起因していると考えられた。

Fig. 11 Distance between buccal wall of mandibular canal and IAA.

Fig. 12 Horizontal position of IAA in mandibular canal.

4. 下歯槽動脈の血管内径について

下歯槽動脈の経年的変化について、Bradley^{7,8)}は動脈

Fig. 13 Inside diameter.

Table 2 Angle of retromolar ramus against IAA

	sagittal plane	buccolingual plane	horizontal plane
dentulous	11.2 (±4.2)	43.3 (±7.3)	16.7 (±2.2)
edentulous	10.3 (±2.9)	41.8 (±5.7)	14.5 (±5.6)

Unit : degree (S. D.)

硬化症の結果として加齢的に動脈が狭窄していくと報告している。歯槽膿漏症による顎骨吸収と下歯槽動脈硬化症との関連性について、佐藤¹³⁾は下歯槽動脈の主管の硬化性変化は若年者に必発の所見ではないことから増齢に伴う変化であるとし、細枝の硬化像は年齢との関連性よりも顎骨吸収度と強い平行関係があると報告している。浦郷¹⁴⁾は下歯槽動脈の組織学的観察では、主管、細枝とも20歳台前半を過ぎる頃から弾性線維増生を主とする硬化性変化が認められるようになり、加齢とともに内弾性板の重複、内膜や中膜の線維増生を伴う内膜肥厚、内腔狭窄が強くなるとしている。そのために歯牙が喪失すると歯牙に分布していた細枝とその周囲の歯槽骨内に分布していた細枝が消失するために、歯枝の本数の減少、さらには下歯槽動脈本幹の血管内径の細くなる傾向がみられたと考えられた。しかし、例数が少なく有歯顎の平均年齢が64.5歳、無歯顎が73.5歳であったため、年代間の検討を併せて行えなかったため加齢的变化については検討すべき点を残した。しかし、御手洗³²⁾は、後上歯槽動脈の血管内径を計測し、有歯顎と比較して無歯顎では、各年代において細くなる傾向がみられ、加齢的な要因よりも歯牙の喪失による影響のほうが大きいとしていることから、下歯槽動脈の狭窄についても同様に、加齢的要因よりも歯牙の有無が関与していると想起された。これらのことから、有歯顎と比較して無歯顎では歯枝の本数が減少し、下歯槽動脈本幹の血管内径が細くなる傾向が認められたのは、歯牙喪失に伴う歯槽骨の吸収により末梢における血流量が減少するためではないかと考えられた。

結 論

造影剤注入を行った未固定新鮮日本人成人遺体より摘出した下顎骨18体26側(有歯顎8体11側、無歯顎10体15側)を試料としてMicro-CTを用いた観察を行い、以下の結果を得た。

1. Micro-CT像の観察

Micro-CTを用いたことで、下顎管内部での下歯槽動脈本幹の走行および立ち上がる歯枝を三次元的に再現することができた。

2. 下歯槽動脈本幹について

大臼歯部において、下顎管の上下径に対する下顎管下壁から下歯槽動脈までの距離の比率は、有歯顎に対して無歯顎で大きい値を示す傾向がみられた。下顎管に対す

る下歯槽動脈の水平的位置関係は有歯顎と無歯顎において大きな差は認められなかった。下顎管内を走行する下歯槽動脈本幹の内径は、有歯顎と比較して無歯顎では細くなる傾向がみられた。

3. 歯枝について

歯枝を臼後枝と臼歯に分布する歯枝に分類し、三次元的に再現することができた。臼後枝は頬舌断面では有歯顎、無歯顎とも約40°と頬側方向に分岐していた。また、臼後枝については有歯顎と無歯顎で大きな差は認められなかったが、臼歯に分布する歯枝に関しては有歯顎と比較して無歯顎では歯枝の分岐が少なくなり、歯枝が細くなる傾向がみられた。

稿を終えるにあたり、終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました、本学解剖学講座主任 井出吉信教授に謹んで敬意を表するとともに、ご協力いただいた講座各位に深く感謝いたします。

本論文の要旨は、第262回東京歯科大学学会総会(1997年11月1日、千葉)、第267回東京歯科大学学会総会(1999年6月5日、千葉)、第25回日本微小循環学会総会(2000年2月18日、横須賀)、第105回日本解剖学会総会(2000年3月31日、横浜)において発表した。

文 献

- 1) Poirot, G., Delattre, J. F., Palot, C. and Flament, J. B. : The inferior alveolar artery in its bony course. Surg. Radiol. Anat. 8 : 237—244, 1986.
- 2) Zoud, K. and Doran, G. A. : Microsurgical anatomy of the inferior alveolar neurovascular plexus. Surg. Radiol. Anat. 15 : 175—179, 1993.
- 3) 小寺春人, 橋本 巖 : 臼後管の一例 : 管内を走行する神経・血管について、解剖誌 70 : 23—30, 1995.
- 4) Oikarinen, V. J. : The inferior alveolar artery. Suom Hammaslaak Toim 61 : 1—131, 1965.
- 5) 佐志隆士 : 顎動脈のX線解剖、秋田医学 16 : 817—831, 1989.
- 6) Castelli, W. : Vascular architecture of the human adult mandible. J. Dent. Res. 42 : 786—792, 1963.
- 7) Bradley, J. C. : Age changes in the vascular supply of the mandible. Br. Dent. J. 132 : 142—144, 1972.
- 8) Bradley, J. C. : A radiological investigation into the age changes of the inferior dental artery. Br. J. Oral Surg. 13 : 82—90, 1975.
- 9) Heasman, P. A. and Adamson, J. : An investigation of possible age-related changes in the inferior alveolar artery in man. Br. J. Oral Maxillofac. Surg. 25 :

- 406—409, 1987.
- 10) McGregor, A. D. and MacDonald, D. G. : Age changes in the human inferior alveolar artery : A histological study. *Br. J. Oral Maxillofac. Surg.* **27** : 371—374, 1989.
- 11) 浦郷篤史, 船越 徹, 佐藤良一 : 顎動脈硬化症に関する研究. *歯基礎誌* **13** : 1—13, 1971.
- 12) 浦郷篤史 : 口腔諸組織の加齢変化 : 顎骨, 第1版, pp. 19—59, クインテッセンス出版, 東京, 1991.
- 13) 佐藤良一 : 下歯槽動脈硬化症と歯槽膿漏症. *山口医学* **16** : 73—91, 1967.
- 14) 澤田復治 : 下顎管の下歯槽動脈に関する研究 : 特にラット下顎管内分布と血管壁構造の生後発育的变化について. *明海歯学誌* **21** : 37—57, 1992.
- 15) 加藤久直 : 下顎管の下歯槽動脈に関する研究 : 特に正常構造と放射線照射による影響について. *明海歯学誌* **20** : 224—248, 1991.
- 16) 岸 好彰 : 血管鋳型法と走査型電顕による内縁上皮直下の血管網の推移について. *歯基礎誌* **24** : 706—726, 1982.
- 17) 藤村 朗 : ゴールデンハムスターの附着上皮下毛細血管に関する研究 : ゴールデンハムスターとラット, マウスとの比較. *歯科学報* **87** : 463—484, 1987.
- 18) 岸 好彰, 高橋和人 : 口腔粘膜における毛細血管の立体的観察 : 歯根膜について. *歯基礎誌* **19** : 192—207, 1977.
- 19) 岩淵 通 : 歯根膜血管網の立体的観察. *神奈川歯学* **17** : 165—184, 1982.
- 20) Ohta, Y. : Comparative changes in microvasculature and bone during healing of implant and extraction sites. *J. Oral Implant.* **19** : 184—198, 1993.
- 21) Shibata, T., Matsumoto, S. and Nagano, T. : Tomograms of the arterial system of the human fetal auditory apparatus obtained by very-high-resolution microfocus X-ray CT and 3 D reconstruction. *解剖誌* **74** : 545—553, 1999.
- 22) Bjorndal, L., Carlsen, O., Thuesen, G., Darvann, T. and Kreiborg, S. : External and internal macromorphology in 3 D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. *Int. End. J.* **32** : 3—9, 1999.
- 23) Hara, T., Hashimoto, M. and Ide, Y. : Application of micro-CT to the measurement of enamel thickness. *歯基礎誌* **41** : 303—306, 1999.
- 24) Ito, M., Nakamura, T., Matsumoto, T., Tsurusaki, K. and Hayashi, K. : Analysis of trabecular microarchitecture of human iliac bone using micro-computed tomography in patients with hip arthrosis with or without vertebral fracture. *Bone* **23** : 163—169, 1998.
- 25) 星野 孝, 須賀昭一 : 顕微 X 線法 : Microangiography. (藤井正道, 山村武夫 編), 第1版, pp. 58—79, 医学書院, 東京, 1970.
- 26) 猪鹿倉兼三 : 日本人顎動脈の起始, 経過, 分布について. *口腔解剖研究* **18** : 91—122, 1961.
- 27) 市川敬一 : 歯牙喪失による下顎管の位置, 構造およびその周囲骨梁構造の変化. *日口腔インプラント誌* **11** : 477—491, 1998.
- 28) Kingsmill, V. J. and Boyde, A. : Variation in the apparent density of human mandibular bone with age and dental status. *J. Anat.* **192** : 233—244, 1998.
- 29) 森田 徹, 竹内修二, 山下 廣 : 歯の喪失した下顎骨の形態学的研究. *解剖誌* **68** : 316—327, 1993.
- 30) Neufeld, J. O. : Changes in the trabecular pattern of the mandible following the loss of teeth. *J. Prosthet. Dent.* **8** : 685—697, 1958.
- 31) 中島 功 : 日本人下顎骨の歯牙欠如域における内部構造に関する研究. *歯科学報* **91** : 419—438, 1991.
- 32) 御手洗 智, 阿部伸一, 井出吉信 : 歯牙喪失に伴う後上歯槽動脈の形態変化に関する研究. *日口腔インプラント誌* **13** : 530—543, 2000.