Pleuronectid (*Kareius baicoloratus*)

顎歯の血管分布とその変遷

加藤 隆 朗 西 田 和 彦

中 原 将 夫 吉 田 寿 穂

岐阜歯科大学口腔解剖学第2講座（指導：古橋九平教授）

〔受付：昭和58年1月28日〕

The structure of vascular supply in jaw teeth and development changes in the pleuronectid,

Kareius baicoloratus

Takaro Kato, Kazuhiko Nishida, Masao Nakahara and Hisaho Yoshida

Department of Oral Anatomy, Gifu College of Dentistry,

1851, Hozumi-cho, Motosu-gun, Gifu Pref., 501-02

(Chief: Prof. Kuhei Furuhashi)

[Accepted for publication: January 28, 1983]

Key words: vascular / jaw / tooth / development / pleuronectid

Abstract: Morphological changes in the vascular system of the jaw teeth and their development in the pleuronectid, *K. baicoloratus*, were observed by the India-gelatin perfusion method. The vasculars were supplied to the pulp and the odontogenetic zone with the blood capillaries forming a network in the odontogenetic zone. The capillaries were thinner in the predentine and odontoblastic layer (3-6 μm) than in the subodontoblastic layer (7-15 μm). The vascular system changed in the odontogenetic zone with the development of the tooth germ. Thus, the bell stage of the tooth germ can be divided into an early and later stage on the basis of morphological changes in the vascular system. The capillaries were supplied richly to the odontogenetic zone at both the early and later stages. However, their network became more dense at the later stage. The tooth germ developed slowly at the end of the later bell stage, which is known as a resting phase. Less capillaries were distributed to the odontogenetic zone during the resting phase. Thereafter, they were again richly distributed in the formative and eruptive phase. The complete teeth can also be divided into an early and later stage on the basis of morphological changes in the vascular system. The capillaries are supplied richly to the odontogenetic zone during the early stage of a complete teeth, as in the bell stage, but decrease at the later stage. The vessels are less distributed on the dental follicle at the bell stage. They are separated from the outer dental epithelium during the early bell stage, but come in contact at the later stage. The contact of the capillaries with the outer dental epithelium is related to the mineralization and maturation of the enameloid. The results lead to the conclusion that morphological changes in the vascular system of the jaw teeth and their germs during development are a part of the life cycle of the formative cells of the teeth.

緒 言

歯の成長と逐年的変化に伴う脈管構造の形態学

岐阜県本巣郡穂積町高野 1851 (〒 501-02)

的变化、特に、歯胚歯乳頭での細脈管の走行状態および分布形態は、歯の形成と密接な関係をもつことが指摘され、Adams (1959, 1962)^{1, 2)}, Bernick (1960, 1962)^{3, 4)}, 北村, 中島(1976)⁵⁾らの齧歯類

についての研究、イヌ・ネコを用いた Boling (1942)⁶⁾、竹中 (1952)⁷⁾、中村 (1960)⁸⁾、赤井 (1965)⁹⁾、また花沢 (1908)¹⁰⁾、Kukletová (1970)¹¹⁾、Butcher, Taylor (1952)¹²⁾、小林 (1953, 1954)^{13a, b, 14)}、武田 (1962)¹⁵⁾、渡辺 (1963)¹⁶⁾、Bennett (1965)¹⁷⁾ のヒト・サル・ウサギ・ウシでの観察など、多くの人々による検索がおこなわれている。これらの研究は、墨汁・色素・カーボンなどを使用する血管内注入による方法で、一般に厚切り切片での立体および光学顕微鏡の形態観察である。

近年、樹脂を血管内に注入して、より立体的な微細構造の観察が、高橋 (1978)¹⁸⁾、岸 (1978)¹⁹⁾、岩久 (1978)²⁰⁾、Iwaku, Ozawa (1979)²¹⁾ らにより発表されている。高橋 (1978, 1979)^{18, 22)} は、極めて粘性度の低い合成樹脂を血管内へ注入して血管鋳型標本作製、これを焦点深度の深い走査型電子顕微鏡にて観察、この方法の利点としては毛細血管叢の立体構築像や動静脈の鑑別が墨汁注入標本より容易であると述べている。

透過型電子顕微鏡による脈管の微細構造についての検索は、Han, Avery (1963)²³⁾、三好 (1965)²⁴⁾、山元 (1966)²⁵⁾、Riedel (1966)²⁶⁾、Harris, Griffin (1971)²⁷⁾、小紫 (1973)²⁸⁾、高田 (1973)²⁹⁾、Corpron (1973)³⁰⁾、Dahl, Mjör (1973)³¹⁾、北村、花井 (1978)³²⁾ らの報告がある。

一方、爬虫類以下の動物の血管注入法による所見は、波田 (1957, 1958)^{33, 34a-f)}、長谷川 (1972)³⁵⁾、堀尾 (明) (1973)³⁶⁾、堀尾 (翼) (1975)³⁷⁾、長谷川、石田、林 (1974, 1975, 1979)^{38, 39, 40)} らにより追究され、これらの報告は、歯髄内の脈管分布形態の変遷を中心に、歯に供給される脈管の走行分布状態の知見を述べたものである。

一般に爬虫類以下の動物の場合、歯の発生様式は多生歯性であり、萌出した完成歯は特長ある固定様式により骨に着床、形成される歯の組織構造にも変化がみられ^{41, 43-45)}、比較解剖学的視点から興味ある組織像を示している。

故に、著者らは、比較解剖学的見地から魚類の歯の構造と機序を究明すべく企図し、その一翼として歯およびその歯周組織に分布する細脈管の走行と、歯の発育段階での分布変遷および歯質形成との関係をも解明すべく研究を進めた。

材料と方法

観察材料は、体長18~23cmのカレイ科イシガレイ (*Kareius baicoloratus*) 25例を用い、MS-222 (三共株式会社) による浸漬麻酔後、開胸、動脈球より5%ゼラチン墨汁溶液を十分に灌流せしめ、鰓および口腔粘膜の黒変をもって注入完了の指針とした。注入完了後、断頭した頭部は直ちに10%フォルマリン溶液で固定、20例はPlank-Rychlo液で脱灰、通法にしたがい上昇アルコール系列にて脱水後、セロイジンに包埋、200~500 μ mの矢状断・前頭断ならびに水平断の連続無染色切片に、うち一部標本は20 μ mのH・E染色、アザン・マロリー染色の連続染色切片を作製した。また、5例の注入標本は、固定脱水後、ベンゼンを通し、サルチル酸メチルと安息香酸ベンチルの混合液にうつして頭部透視標本とした。

さらに、一部無注入標本は、エポン包埋後2 μ mのトルイジン青染色切片を作製、厚切り切片と透視標本は、主として実体顕微鏡により立体的に観察し、さらに、歯髄表層の細脈管叢およびouter dental epitheliumならびにその周囲組織との関連性についての解明にもこれらの染色切片を用いた。

観察成績

1. 歯胚期の血管分布

歯胚は、機能歯を取巻くattached epithelial cuffの遠心舌側端から伸長する歯堤から発生し、機能歯と歯足骨との接合舌側部に位置する鐘状期歯胚が数多く観察され、杯状期歯胚はほとんど認められない。故に、歯胚期の血管分布の観察は、鐘状期歯胚に限定され、この期の歯胚は発育段階と血管分布形態からここでは大きく前期と後期に、さらに、後期は休止期と萌出形成期とに区分した。

1-a. 鐘状期歯胚前期

この期の歯胚においてinner dental epitheliumと象牙芽細胞は、背丈を増し長桿状の細胞形態を示し、inner dental epitheliumと象牙芽細胞との間にはenameloid基質が形成されている。outer dental epitheliumは、立方型の細胞形態を現わし

頸係蹄部で内転 inner dental epithelium に移行している。また、頸係蹄部の inner dental epithelium と接する歯乳頭表層の細胞は、いまだ象牙芽細胞への分化をみない楕円型の間葉細胞で、この部での細胞の蟄集は明瞭である。

歯乳頭に分布する分岐細脈管は、歯動脈から分岐した歯枝の小枝で、侵入時の口径約 $20\sim 30\mu\text{m}$ の細動脈は2条に分岐し、歯乳頭中央を上昇、その途中さらに分岐を繰返しつつ、髄角部の原始歯原帯へ向って上行する。象牙芽細胞層直下に達した細脈管は口径約 $8\sim 15\mu\text{m}$ で、この部でも分岐しループ状に迂回反転して不規則な毛細血管網の形成をみる(Fig. 1)。

ループ状の毛細血管網は、象牙基質形成の活発な髄角部周縁の象牙芽細胞間へ蛇行侵入し、ことに歯乳頭髄角部周縁で密に分布、象牙前質形成面に内接して走行する。しかし、頸係蹄側に向うにしたがい口径約 $5\sim 10\mu\text{m}$ の下行細脈管となり、毛細血管網形成はみられない。

一方、歯小囊に分布する血管は、歯乳頭と同じ

Fig. 1 Blood capillary supplies (BC supplies) in the early bell stage ($\times 10$).

く歯動脈から分岐した歯枝の小枝で、歯小囊に分布したのち一部は上行枝となり、機能歯を囲繞する血管走行へと移行している(Fig. 2)。

すなわち、歯小囊を恰も囲繞すかのごとき血管走行は、全体として疎な分布形態を現わし、毛細血管網への発達形成をみない。また、inner dental epithelium は背丈の伸長をみ、enameloid 基質の形成を認めるも、細脈管と outer dental epithelium との接触は時に部分接触を認めるも大部分はその周辺に分布する。

1-b. 鐘状期歯胚後期

この期の歯胚では、enameloid はすでに cap

Fig. 2 BC supplies in the dental follicle of the tooth germ and in the periodontium of the complete tooth ($\times 10$).

Abbreviations of Figures

APC : attached epithelial cuff
B : jaw bone
BA : bone of attachment
BC : blood capillary
BA : blood vessel
CT : complete tooth
CV : circularity vessel
DE : dental epithelium
Dn : dentine
DnM : dental matrix

DP : dental papilla
En : enameloid
EnM : enameloid matrix
IDE : inner dental epithelium
OB : odontoblast
ODE : outer dental epithelium
Pd : predentine
Pu : pulp
PV : plexus vessel
RV : reticular vessel
TG : tooth germ

Fig. 3 BC supplies in the later bell stage. Note that terminal capillaries penetrate in the odontoblastic zone, and that they contact with the predentine in the cuspal horn region ($\times 25$).

enameloid が形成され、基底側にむかって一部 collar enameloid の形成が始まり、象牙質も求心的にその厚みを増してきている。

歯乳頭に分布する分岐細脈管は、鐘状期歯胚前期よりさらに発達した稠密なループ状の毛細血管網を形成している (Fig. 3)。すなわち、髓角部歯原帯に達した口径約 $8 \sim 10 \mu\text{m}$ の細脈管は象牙芽細胞層下で枝状分岐を現わし、象牙芽細胞間を通り象牙前質形成面に内接翻転するループ状の毛細血管となり、いっそう複雑な網様型を呈してくる。しかし、この稠密な網目状分布形態も顎係蹄側にむかうにしたがいしだいに疎となり、顎係蹄部内腔でついにみられなくなることは、鐘状期歯胚前期と同様である。

また、歯小囊を囲繞する血管の走行は、鐘状期前期に比してやや密な感を与えるも大きな変化は認められず、ただ outer dental epithelium との関係において立方型の細胞形態を呈していた outer dental epithelium は、cap enameloid 形成部では扁平型または紡錐型を示すとともに、細脈管は outer dental epithelium の細胞に接するようになる。しかし、顎係蹄に向うにしたがい outer den-

Fig. 4 BC supplies in the dental follicle in the later bell stage. Note that capillaries of the dental follicle distribute close to the outer dental epithelium (stained with toluidine blue. $\times 50$).

tal epithelium の細胞は立方型となり、細脈管は outer dental epithelium から遊離走行してくる (Fig. 4)。

この細脈管の outer dental epithelium との走行関係は、enameloid の基質形成機構よりも成熟、特に石灰化機序に関連していることを示唆する像と考えられる。

1-c. 鐘状期休止期および萌出形成期

鐘状期休止期とは、鐘状期後期の歯胚が健全な機能歯の実在のために、歯の尖端部が形成された状態でとどまる生歯準備時期をいい (Fig. 5), これを鐘状期休止期とよぶこととした。しかし、休止期とはいえ象牙質の形成は、緩慢ではあるが進捗しており、特に、尖頭直下の髓角部での象牙質形成をみ、歯軸縦断像の歯質部では蒲鉾型を現わしこの概形に一致して歯乳頭の髓角への凸隆も明瞭でない (Figs. 5-1, 6)。

この期での細脈管の分布変化は、髓角部歯原帯の毛細血管網で顕著に現われ、歯乳頭中央部での枝状分岐の減少と象牙芽細胞層における疎で単純

Fig. 5 The relationship between the tooth germ and complete tooth: 1, the later phase of the complete tooth and the resting phase of the tooth germ; 2, the early phase of the complete tooth and the later bell stage of the tooth germ ($\times 10$).

Fig. 6 BC supplies in the resting phase of the bell stage. Note that in the cuspal horn region terminal capillaries are limited to the odontoblastic or subodontoblastic layer ($\times 10$).

な網状形態であり、細脈管の分布はとくに髄角部歯原帯に限定しているかに観察される。また、歯原帯の細脈管は、象牙芽細胞形成面に内接することなく象牙芽細胞間または象牙芽細胞層直下に留まる像を現わしてくる (Fig. 6)。

つぎに、萌出形成期であるが、これは休止期の歯胚が機能歯の脱落により欠損した位置に萌出し

ようとする時期の發育段階をいい、萌出形成期とよぶことにした。しかし、この休止期と萌出形成期は、すべての歯胚がその生歯段階を経るとは限らず、歯の交換が頻繁におこなわれる場合は、鐘状期後期から引続き萌出形成期に移行するものと考えられる。

この萌出形成期歯胚では、休止期において疎であった歯原帯の毛細血管網は発達し稠密な細脈管の走行分布をみる (Fig. 7)。すなわち、歯乳頭中央部での枝状分岐ならびに髄角部歯原帯での密で複雑なループ状毛細血管網の形成である。髄角部歯原帯の細脈管は、象牙芽細胞層下で分岐し、象牙芽細胞間を通りぬけ象牙前質にまで達している。

象牙質形成は、歯の基底側方向へ進展、この部での細脈管は、口径約 $6 \sim 10 \mu\text{m}$ で象牙前質髓腔内面および象牙芽細胞間を下行するのが認められるも網状の分布を示さず、さらに頸係蹄部では象牙芽細胞層から離れて下走する形態を現わしてくる。

2. 完成歯（機能歯）の血管分布

完成歯は、萌出時広闊な歯髓腔を有するが、逐

Fig. 7 BC supplies at the formative and eruptive phase of the bell stage. All the capillaries are branched, penetrate in the odontoblastic layer, and form a network under the predentine ($\times 25$).

年的変化として歯髓腔は、象牙質の求心的な形成により狭窄されるとともに、歯髓の細脈管も分布形態とその変遷が認められる。

完成歯の観察にあたり、歯髓腔の広闊な時期の機能歯を完成歯前期、歯髓腔が狭窄された機能歯を完成歯後期とに区分した。

2-a. 完成歯前期

この期の歯髓腔を観察すると、象牙質を裏装する象牙芽細胞は顎歯基底部の歯足骨接合部内面まで一連となり、象牙芽細胞形態は全体として長桿状を現わす。象牙芽細胞の背丈の伸長は、歯髓髓角部で約 $50\sim 80\mu\text{m}$ と最長、歯髓中央部付近で約 $30\sim 40\mu\text{m}$ と背丈を減少するが、顎歯基底の歯足骨接合部に近づくにつれふたび背丈を増し、さらに、接合部を裏装する骨芽細胞様の細胞では約 $60\sim 90\mu\text{m}$ と背丈の伸長をみとめる。

一方、顎歯の基底部は、歯足骨と接合し根尖相当部は大きく哆開、ために、歯髓腔は骨髓組織と一連となり広闊な髓腔形態を現わしてくる (Fig. 11)。

Fig. 8 BC supplies in the early phase of complete teeth ($\times 10$).

Fig. 9 A cross section of complete teeth in the early phase: 1, sections at the odontoblastic layer; 2, a section at a half from the cuspal horn; 3, sections at the base of teeth ($\times 10$).

この部での外界との脈管通液路は、歯足骨と歯骨骨梁で形づくられた腔隙からなり、広闊な歯髓腔に入る血管は、歯動脈から分岐した歯枝の小枝である。歯足骨で囲まれ髓腔内へ入った1~2本の脈管は、歯足骨骨髓腔内で2条に分岐、髓腔内中心を上行、根部ならびに歯髓中央部で分岐または側方へ小枝を派出しながら髓角部へ向う (Fig. 8, 11)。

これを水平断標本 (Fig. 9) で観察すると、根

Fig. 10 BC supplies in the early phase of complete teeth (Fig. 8) at a high magnification. Note that capillaries keep being supplied richly into the odontogenic zone as in the bell stage ($\times 25$).

Fig. 11 A thin section of the complete tooth at the early phase. Note that the terminal capillary plexus penetrates the odontoblastic zone and contacts with the predentine (stained with azan-mallory, $\times 25$).

尖部歯髄では髓腔中心に2~3本の口径 $15\sim 25\mu\text{m}$ の細脈管が認められ、髓腔側壁の内表層には下行する細脈管がみられる。ついで、歯髄中央部では髓腔の中心を上行する細脈管は、枝状分岐を繰返しつつその口径を $7\sim 15\mu\text{m}$ と減じ象牙芽細胞層直下にまで達する。一方、髓腔内壁を象牙前質にそって下行する細脈管は、その数を増し髓腔内最表層を同心円状に走行分布するのがみられる。

髓角部を上行する細脈管は、象牙芽細胞層直下で数条に分岐し口径 $3\sim 6\mu\text{m}$ の毛細血管となり、象牙芽細胞間を通り象牙前質形成面にまで達し複雑で不規則な網状の分布を呈してくる。

縦断方向からの観察では、髓腔内を上昇走行する細脈管は、比較的直進的に走行、分岐を現わしつつ髓角部歯原帯の象牙芽細胞層でループ状の毛細血管網を形づくる。すなわち、象牙芽細胞層下で数条に分岐し象牙芽細胞間へ入り込むものと、象牙芽細胞層下を下行するものとに区分できる (Figs. 10, 11)。

象牙芽細胞間へ侵入しループ状形態を現わす細

脈管は、象牙芽細胞層下で分岐した口径約 $4\sim 6\mu\text{m}$ の毛細血管で、象牙芽細胞間を通り象牙前質形成面にまで達し象牙前質形成面で分岐・吻合をくりかえしつつ、象牙前質面で密なループ状毛細血管網を形成するとともに象牙前質にそって下行している。

ついで、象牙前質形成面と細脈管との関連を詳細に観察すると、象牙芽細胞間を通り象牙前質形成面に達した口径約 $4\sim 6\mu\text{m}$ の毛細血管は、その形成面に接しループ状分布型を現わし、とくに、象牙前質中を走行し一見 vasodentine 様の像を呈してくる。事実、Fig. 10のごとく髓腔内壁面一部象牙質中に毛細血管が埋伏されているような注入像をみるも、顎歯全体像としては毛細血管の象牙質中での存在はみられない。

この部、象牙細管と毛細血管との組織関連については、毛細血管の象牙基質中への浸入は象牙細管が毛細血管を避けて走行、ために象牙細管の排列に乱れを生じ、象牙細管と毛細血管との連結像はみられず、さらに、象牙前質においても同様に

Fig. 12 The cuspal horn region of complete teeth at the early phase at a high magnification (stained with azan-mallory. $\times 100$).

象牙細管と毛細血管との組織的関連性は全くみられない(Fig. 12)。

象牙芽細胞層下で、これを裏装するように髓腔概形にそって分布する口径約 $7\sim 15\mu\text{m}$ の細脈管は、歯の基底側へ向うにしたがいループ状形態を失ない吻合・合流し直進走行を現わし、その径を漸次増してくる。また、この象牙芽細胞層下を下行する細脈管は、象牙質形成面にそって下行する毛細血管とたがいに吻合・合流しながら根尖側へ向う。これらの走行分布から、髓角部から根尖に向うにしたがい稠密な細脈管の髓角部相当部での明瞭なループ状分布は、漸次疎となる。

以上の分布走行形態から、歯髓細脈管の全体像としては、噴水様の隆起分布型を呈してくる。

2-b. 完成歯後期

完成歯後期の歯髓腔は、象牙質の連続的形成により著しく狭窄された狭隘な髓腔で、ひいては歯足骨部の髓腔も骨梁の成長に伴う狭小化を現わしてくる。また、象牙質から歯足骨内面までを一連となって裏装する象牙芽細胞は、長桿状の細胞から棍棒状、ついには扁平型となり、髓腔壁内面にそう扁平な細胞軸で併列する様相を現わしてくる。しかし、顎歯基底部と歯足骨との接合部では、

比較的背丈の高い外景的には象牙芽細胞に類似した間葉細胞の集合が認められる。

歯髓腔に分布する細脈管の変化は、特に髓角部歯原帯の毛細血管網の減少として観察される。すなわち、完成歯前期で象牙芽細胞層直下の細脈管から分岐した小枝が、象牙芽細胞間を通り象牙前質形成面で形づくっていた密な隆起型毛細血管網は、減少かつ疎となり、ために、象牙芽細胞層直下に分布する細脈管とで形づけられる疎なループ状毛細血管網を現わしてくる(Fig. 13)。

この毛細血管網は、髓腔の狭窄とともに一層血管数の減少を伴い疎となり、したがって、歯髓全体の細脈管分布は、口腔粘膜下の乳頭層血管網と同様に単純なループ状分布を現わしてくる(Fig. 5-1)。

3. 歯を取巻く血管分布について

歯を取巻く血管は、歯胚・完成歯ともに歯動脈から分岐した小枝により供給されている。この細脈管は、歯の発生期には歯小囊に分布する細脈管であり、完成歯にいたって歯を環状に取巻いて分布する細脈管となる。

いま植立する完成歯を歯足骨接合部、中央部および尖端部の三つに区分して細脈管の分布状況を

Fig. 13 BC supplies in the complete tooth at the later phase. Note that capillary plexus decreases with the continuous deposition of the dentine ($\times 10$).

Fig. 14 BC supplies to the periodontium in complete teeth. Note that capillaries surround richly complete teeth on a third to two third from cusps of them ($\times 10$).

Fig. 15 Cross sections of periodontium, where blood capillaries surround richly complete teeth ($\times 10$).

観察すると、歯足骨接合部と中央部には比較的密な細脈管の走行分布がみられ、歯足骨接合部では比較的疎な分布走行を示すも、水平断標本とくに完成歯の舌側で叢状または網状の骨膜血管網とも呼ぶべき分布をみる (Fig. 15)。中央部では、上行および下行する細脈管の分岐・吻合による不規則で比較的稠密な網状走行分布を示し、水平断像では歯を環状に取巻く形態を現わしてきている (Fig. 14, 15)。

また、中央部の組織像は、歯に接して口腔粘膜上皮が歯の基底側接合部近くまで嵌入し付着上皮を形成、鞘状に歯を包み込み、ために歯を取巻く環状の血管網は、ヒトの粘膜固有層血管網に類似した血管分布である。また、乳頭内へは、単純なヘアピン型の毛細血管係蹄が認められる。

考 察

1. 細脈管の分布走行

歯髓および歯乳頭での細脈管の走行分布は、歯の根尖から侵入した細脈管が比較的ゆるやかな三次元的彎曲をなし、歯髓腔側壁へ分枝を派出しつつ漸次血管径を減少し歯髓のほぼ中心を髓角部へ向う。髓角部歯原帯に達した細脈管は、分岐・吻合して歯髓腔内壁面に並行した毛細血管網を形成し、その後、漸次血管径を増加しつつ歯髓の中心および歯髓腔内壁に接して下降する細脈管となり歯の根尖部で集合し、哆開した根尖から出る。この歯髓血管分布の走行は、鐘状期の歯胚歯乳頭においてもみられ、ヒトを含む他の哺乳類ならびに

Fig. 16 A scheme of developmental changes of BC supplies to the dental pulp and dental follicle: 1, the early bell stage; 2, the later bell stage; 3, the resting phase of the bell stage; 4, the formative and eruptive phase of the bell stage; 5, the early phase of the complete tooth; 6, the later phase of the complete tooth.

魚類の歯の歯髓腔にも観察される分布形態であり、歯髓血管分布の基本型と考えられ、ひいては波田(1958)^{34b-e)}の歯の血管分布形態に一致する知見である。

しかしながら、歯の成長とそれにともなう逐年的変化による血管分布の変遷も認められ、Bennett (1965)¹⁷⁾は、ヒトの歯髓血管分布の逐年的変化について検索し質的および量的な要因をあげ、量的要因としては象牙芽細胞の象牙質形成による歯髓狭窄であり、質的要因では血管組織の退行性変化を述べている。さらに、Bernick (1962)⁴⁾は、ラットにおいて象牙質の逐年的増加と血管分布との間になんらかの関係が存在することを報告している。また、歯胚期の歯乳頭における髄角部歯原帯での密な血管分布と象牙質石灰化開始との関係について武田(1962)¹⁵⁾は、盛んな代謝活動が行なわれている象牙質形成に際して強力な血管の分布を必要とすることは容易に推定できるとし、さらに、魚類の歯の血管分布において歯の发育段階と歯乳頭に分布する血管との関係は、波田(1958)^{34d,e)}のガンギエイ・ホシザメでの知見を報告しているが、完成歯における血管分布の変化については言及していない。

著者らの研究では、歯の成長に伴う歯髓の血管分布に変化をみ、歯髓の血管分布形態と歯質形成から歯の发育段階を五つに区分し(観察した歯胚は、鐘状期歯胚であり杯状期歯胚は観察されず、

初期の歯乳頭に分布する血管は検索できなかった。)、すなわち、鐘状期前期、後期、休止期、萌出形成期および完成歯前期、後期である(Fig. 16)。

歯乳頭における密な細脈管の網状分布は、鐘状期後期、萌出形成期および完成歯前期に認められ、特に髄角部歯原帯で著明に現われている。一方、完成歯後期の歯髓では、逐年的変化による著しい狭窄髓腔を現わし、ために細脈管もその分布形態をかえ単純なループ様走行となる。

また、鐘状期歯胚において、鐘状期休止期の細脈管の分布が疎となる標本が数多くみられたが、この休止期での血管分布について述べた報告はみない。しかし、この鐘状期休止期が魚の歯の発生を通して一般的に存在するものなのか、イシガレイに特有な歯の発生段階であるのかは判然としえなかった。また、この期での歯質形成をみると、象牙質形成は比較的緩慢ではあるが進行しており、象牙質はその厚径を増してくる。これは、鐘状期の前期、後期、萌出形成期および完成歯の象牙質形成量、特に完成歯の先端部象牙質に認められる成長線様構造からも考えられ、この成長線様構造と休止期との関係については検索中である。

2. 歯髓歯原帯の分布形態

一般に歯髓歯原帯での毛細血管の稠密な分布構造は、部位的な差を認めるも、その終末については問題が多い。

花沢(1908)¹⁰⁾、Bernick(1962)⁴⁾など多くの研究

は^{1,2,5,6)}, 象牙芽細胞層直下で毛細血管網をなし、また、分岐した小枝は象牙芽細胞間を通り象牙質形成面に内接すると報告している。

中村(1960)⁸⁾は、歯髓歯原帯での血管分布、とくに細脈管と象牙芽細胞層との関係について、1) 象牙芽細胞層の直下でループ状をつくるもの、2) 大部分のものは象牙芽細胞層の下でループをつくっているが、なかには象牙芽細胞間にまで浸入し象牙前質内壁面にまで達しているもの、3) すべてのものが象牙芽細胞層間に入り込み象牙前質に近接して網状分布をしているものなどの三つの形態に区分している。

また、コイ・クロダイについて検索した波田(1958)^{34b,c)}は、コイでは網状毛細血管は造歯細胞層下あるいは細胞層内に起伏していると述べ、クロダイにおいても同様な所見を記載している。

著者らの研究では、歯原帯での毛細血管の分布、とくに象牙芽細胞層との関係は、歯の成育にともなって変化するものであり、象牙質形成機序、ことに象牙芽細胞の活性に関与していることが示唆される。すなわち、細脈管の終末は、鐘状期前期と休止期で象牙芽細胞層下または細胞間に位置しているが、鐘状期後期、萌出形成期および完成歯前期では象牙芽細胞層を通り象牙前質形成面にまで達している。しかし、完成歯後期になると、象牙芽細胞の背丈の減少・変性にともない象牙芽細胞層下に位置するようになり、ついには歯髓中央を走行する形態をとり、これは Bernick(1962)⁴⁾のラットの年齢変化にともなう歯髓血管分布の知見と一致している。

Bernick⁴⁾は、その所見でたえず成長、萌出する歯では、終末毛細血管が象牙前質縁から象牙芽細胞層下へ後退することはないが、成長に限界のある臼歯では、毛細血管の象牙芽細胞層下への後退は意外なことではないといい、象牙質の成長様式と関係があるといっている。また、中村(1960)⁸⁾は、象牙芽細胞層の毛細血管の分布様式は象牙芽細胞の細胞形態と密接な関係があるとし、波田(1958)^{34b,c)}も一連の研究において、網状毛細血管の分布構造から象牙質の形成活動と密接な関係を推知されると述べている。

今回、著者らのイシガレイ顎歯の成長にともな

う歯髓歯原帯細脈管の象牙前質形成面での網状分布とその分布変遷は、象牙質の形成に関与していると考えられる組織像が認められ、イシガレイ顎歯においても歯質形成に血管分布が栄養供給として重要な働きを担っていることが示唆される。

さらに、初期の歯乳頭髓角部における密なループ状毛細血管分布、また部位による分布形態の変化について武田(1962)¹⁵⁾、渡辺(1963)¹⁶⁾は、初期歯乳頭において咬頭または咬合縁突出に應ずる動脈枝および動脈枝群がみられるのは、歯冠形成に際して咬頭と乳頭内血管分布との間になんらかの因果関係を示唆するものとし、中村(1960)⁸⁾は、血管の分枝の形が髓角部と歯冠および歯根部で異なるのは歯髓腔の形態と血流とに関係があることを強調している。

いま、ここではイシガレイ顎歯の初期発生時の歯乳頭内細脈管と尖頭部象牙質形成との関連を観察していないが、歯胚成育過程髓角部では密な細脈管を認め、また、細脈管の網状分布は髓角部において密であり、根尖部では髓腔壁に並行下走する形態を示すことから歯髓の細脈管の分布走行形態は、歯の成育および歯髓組織、とくに象牙芽細胞への栄養供給のための合目的形態であることが示唆される。

吉田(1979)⁴¹⁾は、イシガレイ顎歯の象牙細管の管腔は、内容物空虚で象牙芽細胞の細胞質突起が全くみられないこと、さらに、象牙細管と象牙芽細胞との関連について、象牙芽細胞などの細胞成分との組織的連結はみられず、むしろ dentinal fluid の tube ともいふべきもので細脈管とに関係をもつ組織像を現わしていると報告している。

本研究では、細脈管の一部が象牙質に埋没する像が観察され、その多くは象牙前質形成面にそって走行分布し、象牙細管との関連については、象牙質基質中に埋伏された毛細血管を象牙細管は避けて走行し、ために、象牙細管の排列に乱れを生じている。また、髓腔内を裏装する象牙前質の全体像をつうじて毛細血管と象牙細管との組織学的関連性を示す実像は認められなかった。このことから、象牙細管の組織学的決定は、象牙質の形成と象牙芽細胞の細胞分化との両面からの追究で究明したい。

Fig. 17 A schematic sketch of BC supplies to tooth germs and complete teeth at various phase.

3. 歯小囊と歯を取巻く血管分布

歯小囊に分布する血管について波田(1957, 1958)^{33, 34a-f)}は、ホシザメ・ガンギエイ・トカゲ・イモリで静脈性の毛細血管が歯小囊の内面からエナメル器を囲繞し単調な単層の網目型血管を形成し、歯の発育上昇とともに血管網を増加し歯の萌出とともに消失すると述べ、クロダイにおいては重層の蹄係状血管網が極めて緻密に分布すると報告している。また、このような歯小囊の血管分布は、粘膜下組織中に歯胚が存在する動物に比して、著しく進化した構造分布であるといっている。

さらに、ヒトをはじめ多くの哺乳類において花沢(1908)¹⁰⁾、岩久(1978)²⁰⁾、渡辺(1963)¹⁶⁾、武田(1962)¹⁵⁾、Bernick(1960, 1962)^{3, 4)}らは、エナメル質形成にともない歯小囊の細脈管と外エナメル上皮細胞とが接し、エナメル芽細胞のエナメル質形成という、高い代謝機能に関係していることを報告している。

渡辺(1963)¹⁶⁾は、歯小囊の根尖部、咬合面部に比べ中間部が最も密であり(武田(1962)¹⁵⁾は歯小囊基底部が密といっている。)、歯種、顎別および歯胚の石灰化に伴う密度変化はみられないと記述しているが、血管数が多い場合、血管口径の総和が大きいことから石灰化の進行に伴う血量の増大は考えられるとしている。

著者らの歯小囊血管分布の観察結果では、歯胚発生全体像をつうじて比較的分布形態の変化は認

められず、疎な網状分布を現わしてきている。ために、イシガレイの歯小囊に分布する血管走行分布は、クロダイと異なりホシザメ・ガンギエイ・イモリ・トカゲに類似した分布形態であり、このことは粘膜下組織中に発生する歯胚の特長とも考えられる。

また、outer dental epithelium と血管との関係について、脇田(1974)⁴⁶⁾、小野(1974)⁴⁷⁾はイシダイ、ニザダイで、エナメル基質に石灰化が始まる時期に歯胚外側に位置する毛細血管は、エナメル質側に接近するとともに、上皮性要素は凹凸をしめす状態となると記述している。

本研究のイシガレイでは、鐘状期前期において細脈管が一部 outer dental epithelium に接する像を観察するも、全体として細脈管は outer dental epithelium と隔たって分布している。しかし、鐘状期後期にいたって enameloid が形成された部位の歯小囊をみると、細脈管が outer dental epithelium と歯軸に対してほぼ長軸的に接するのが認められ、これは萌出形成期においても観察される。

このことから、歯小囊に分布する細脈管は、enameloid 基質形成よりむしろ石灰化および成熟に積極的関与していることが示唆される。

歯小囊に分布する血管は、魚類において歯の発育と共に消失すると波田(1958)^{34c-e)}は述べている。しかし、イシガレイにおいては、歯小囊に分

布する血管と完成歯を取巻く血管とに連続性が認められ、また、歯の萌出と完成歯を取巻く血管の分布状態から、歯小囊に分布する血管は一部消失するも多くは分布状態を変遷し、完成歯を取巻く血管となるように考えられる。

また、完成歯を取巻く血管は、歯を環状に包み込む血管網をなし、ヒトの粘膜固有層血管網と類似した血管分布形態を現わしてくる。

結 論

カレイ科イシガレイ (*Kareius baicoloratus*) 顎歯の細脈管分布形態の変遷を墨汁注入法により検索した結果、つぎの結論をえた。

1. 歯髓の血管分布形態は、歯胚期および完成歯において基本的に噴水状形態をなし、歯胚の発育に伴う歯乳頭細脈管の分布形態から歯胚は、鐘状期前期と後期に、さらに後期は休止期と萌出形成期に細分することができ、完成歯にいたっては、前期と後期とに大別することができる。

2. 歯胚鐘状期前期、後期ならびに萌出形成期、および完成歯前期の歯髓歯原帯に分布する細脈管は、髓角部で密な隆起型のループ状分布形態を現わしている。休止期の歯胚では、象牙芽細胞層下で網状分布し、また、完成歯後期においては、単純なループ型を現わし歯髓腔の狭窄に伴う細脈管数の減少を示している。

3. 歯髓歯原帯での隆起型の細脈管分布は、二

つの層として認められる。一つは、象牙芽細胞層直下を走行する口径 $7 \sim 15 \mu\text{m}$ の細脈管で形づくられる網状分布で、いま一つは、その細脈管から象牙芽細胞間を通り象牙前質形成面に伸びる口径 $3 \sim 6 \mu\text{m}$ の分枝からなるループ状の毛細血管網状分布である。

4. 歯小囊に分布する細脈管は、歯胚全期を通して比較的疎な分布走行を示し、顎骨内で発生する歯胚歯小囊と異なった細脈管分布構造を現わし、これは粘膜下組織内で発生する歯胚の特徴と考えられる。鐘状期後期においては、歯小囊の微細脈管は outer dental epithelium と接するようになり、enameloid の基質形成よりむしろ石灰化およびその成熟に関与していることが示唆される。

5. 完成歯を取巻く血管は、ヒトの粘膜固有層血管網に類似した分布形態を現わしてくる。ために、顎歯の歯胚期から完成歯にいたる脈管の分布形態変遷は、inner, outer dental epithelium, 象牙芽細胞などの細胞生活環と一致した分布走行の様相を現わしてくることが知られる。

本論文の要旨は、日本解剖学会第41回中部地方会(1981)において講演、また、本研究の一部は、昭和55年文部省科学研究費補助金[奨励研究A]、および、昭和55年度宮田研究奨励金による。

稿を終るにあたり、終始御指導と御校閲を賜った古橋九平教授に衷心より深謝し、また、教室員各位の御協力に感謝いたします。

抄録: カレイ科イシガレイ (*Kareius baicoloratus*) 顎歯の細脈管分布形態の変遷を墨汁注入法により検索し、次の結果をえた。

1. 歯胚と完成歯、歯髓の血管分布形態は、歯胚期および完成歯において基本的に噴水状形態をなしていた。歯乳頭細脈管の分布形態から歯胚は、鐘状期前期と後期に、さらに後期は、休止期と萌出形成期に細分することができ、完成歯にいたっては、前期と後期に大別することができる。

2. 歯髓歯原帯、歯髓歯原帯に分布する細脈管は、鐘状期前期、後期、萌出形成期および完成歯前期において髓角部で密な隆起型のループ状毛細血管の分布形態を現わしていた。休止期の歯胚では、象牙芽細胞層下の疎な網状分布であり、完成歯後期においては、歯髓腔狭窄に伴う単純なループ型を現わしていた。

歯髓歯原帯での細脈管は、二つの層として認められた。一つは、象牙芽細胞層直下を走行する口径 $7 \sim 15 \mu\text{m}$ の細脈管で形づくられる網状分布で、いま一つは、その細脈管から象牙芽細胞間を通り象牙前質形成面に伸びる口径 $3 \sim 6 \mu\text{m}$ の分枝からなるループ状の毛細血管網状分布である。

3. 歯小囊、歯小囊に分布する細脈管は、歯胚全期を通して比較的疎な分布走行を示す。鐘状期後期において、歯小囊の細脈管は、outer dental epithelium と接するようになり enameloid の石灰化およびその成熟に関与していることが示唆された。

すなわち、顎歯の歯胚期から完成歯にいたる細脈管の分布形態変遷は、歯質形成細胞の細胞生活環と一致

した様相を現わしていることが示唆された。

文 献

- 1) Adams, D.: Peripheral capillaries in the rodent incisor pulp. *J. Dent. Res.* **38**: 969-978, 1959.
- 2) Adams, D.: The blood supply to the enamel organ of the rodent incisor. *Archs. Oral Biol.* **7**: 279-286, 1962.
- 3) Bernick, S.: Vascular supply to the developing teeth of rats. *Anat. Rec.* **137**: 141-152, 1960.
- 4) Bernick, S.: Age changes in the blood supply to molar teeth of rats. *Anat. Rec.* **144**: 265-274, 1962.
- 5) 北村尚子, 中島敏明: カーボンを注入したラット切歯の血管の形態学的研究. *城歯大紀要* **5**: 29-33, 1976.
- 6) Boling, L. R.: Blood vessels of the dental pulp. *Anat. Rec.* **82**: 25-37, 1942.
- 7) 竹中幸四郎: 歯牙に於ける微細血管分布構造に就て. *口科誌* **1**: 241-242, 1952.
- 8) 中村鉄男: 歯牙および歯周組織に分布する微細血管と結合組織線維について. *三重医学* **4**: 2399-2410, 1960.
- 9) 赤井三千男, 北村忠義, 崎田道隆, 高寄正武, 西嶋庄次郎: 交換期の歯に分布する血管と結合組織線維について. *阪大歯誌* **10**: 31-43, 1965.
- 10) 花沢 鼎: 歯牙発育中に於ける血管に就て. *歯科学報* **13**: 1-6, 1908.
- 11) Kukletová, M.: Submicroscopic structure of blood vessels in the calf dental pulp. *Scr. Med. Fac. Med. Brun.* **43**: 109-116, 1970.
- 12) Butcher, E. O. and Taylor, A. C.: The vascularity of the incisor pulp of the monkey and its alteration by tooth retraction. *J. Dent. Res.* **31**: 239-247, 1952.
- 13)-a 小林 実: 歯芽発生に伴う血管分布の変遷に関する研究 (第1報). *久留米医学会雑誌* **15**: 134, 1953.
- 13)-b 小林 実: 歯芽発生に伴う血管分布機構の変遷に関する研究 (第2報). *九州歯会誌* **6**: 77, 1953.
- 14) 小林 実: 歯芽発生に伴う血管分布機構の変遷に関する研究. *口科誌* **3**: 157, 1953.
- 15) 武田弘通: 歯胚に分布する血管に関する研究. *日大医学雑誌* **21**: 21-25, 1962.
- 16) 渡辺 裕: 日本人胎児顎骨, 並びに歯芽の栄養動脈に関する研究, 2. Microarteriogram による歯(小)囊の栄養動脈. 3. Microarteriogram による歯乳頭の栄養動脈. *歯科学報* **63**: 645-659, 712-742, 1963.
- 17) Bennett, C. G., Kelln, E. E. and Biddington, W. R.: Age changes of the vascular pattern of the human dental pulp. *Archs. Oral Biol.* **10**: 995-998, 1965.
- 18) 高橋和人, 岸 好彰, 小林正美, 笠原一臣: 走査型電子顕微鏡による歯髓微細血管構築の立体的観察. *三越厚生事業団研究年報* **4**: 158-172, 1978.
- 19) 岸 好彰, 高橋常男, 間宮 信, 高橋和人: 歯牙萌出に伴うエナメル上皮の血管網の形態の推移について. *解剖学雑誌* **53**: 471, 1978.
- 20) 岩久文彦, 高野吉郎, 小沢英浩: エナメル質形成に伴う血管微細構築の変化について. *解剖学雑誌* **53**: 116, 1978.
- 21) Iwaku, F. and Ozawa, H.: Blood supply of the rat periodontal space during amelogenesis as studied by the injection replica SEM method. *Arch. Histol. Jap.* **42**: 81-88, 1979.
- 22) 高橋和人: 歯髓の血管系とリンパ系. *歯科ジャーナル* **9**: 431-448, 1979.
- 23) Han, S. S. and Avery, J. K.: The ultrastructure of capillaries and arterioles of the hamster dental pulp. *Anat. Rec.* **145**: 549-571, 1963.
- 24) 三好作一郎: 人の歯髓の電子顕微鏡的観察. *阪大歯誌* **10**: 131-154, 1965.
- 25) 山元寅男: 比較解剖学的にみた微小循環系の微細構造. *医学のあゆみ* **57**: 248-254, 1966.
- 26) Riedel, H., Fromme, H. G. und Tallen, B.: Elektronenmikroskopische Untersuchungen zur Frage der Kapillarmorphologie in der menschlichen Zahnpulpa. *Archs. Oral Biol.* **11**: 1049-1055, 1966.
- 27) Harris, R. and Griffin, C. J.: The ultrastructure of small blood vessels of the normal human dental pulp. *Aust. J. Dent.* **16**: 220-226, 1971.
- 28) 小柴宏明: 乳歯歯髓毛細血管に関する電子顕微鏡的観察. *歯基礎誌* **15**: 116-167, 1973.
- 29) 高田徳也: 歯髓脈管の構造の光顕ならびに電顕的研究. 一特にリンパ管の有無と細静脈の特異構造について. *解剖学雑誌* **48**: 118-134, 1973.
- 30) Corpron, R. E., Avery, J. K. and Lee, S. D.: Ultrastructure of capillaries in the odontoblastic layer. *J. Dent. Res.* **52**: 393, 1973.
- 31) Dahl, E. and Mjör, I. A.: The fine structure of the vessels in the human dental pulp. *Acta Odont. Scand.* **31**: 223-230, 1973.
- 32) 北村尚子, 花井 汎: ラット下顎切歯先端部歯髓の電子顕微鏡的観察. *城歯大紀要* **7**: 23-26, 1978.
- 33) 波田次郎: 鯉の歯牙及び顎骨の微細血管分布構造に就いて. *広島医学* **10**: 708-710, 1957.

- 34)-a 波田次郎：蜥蜴の歯牙及び顎骨の微細血管分布構造に就て。広島医学 11 : 1564-1567, 1958.
- 34)-b 波田次郎：鯉の歯牙及び顎骨の微細血管分布構造に就て。広島医学 11 : 1568-1571, 1958
- 34)-c 波田次郎：黒鯛の歯牙及び顎骨の微細血管分布構造に就て。広島医学 11 : 1572-1578, 1958.
- 34)-d 波田次郎：星鮫の歯牙及び顎骨の微細血管分布構造に就て。広島医学 11 : 1764-1769, 1958.
- 34)-e 波田次郎：雁木エイの歯牙及び顎骨の微細血管分布構造に就て。広島医学 11 : 1759-1763, 1958.
- 34)-f 波田次郎：草河豚の歯牙及び顎骨の微細血管分布構造に就て。広島医学 11 : 1559-1563, 1958.
- 35) 長谷川一夫, 林 宏文, 石田雅男：メダカ *O-rizias Latipes* の歯牙の血管分布について。九州歯会誌 26 : 25-29, 1972.
- 36) 堀尾明秀：「ウナギ」の頭部, とくに歯の動脈分布について。九州歯会誌 26 : 400-409, 1973
- 37) 堀尾 翼：縞蛇の頭部, 特に歯に分布する動脈。九州歯会誌 29 : 119-130, 1975.
- 38) 長谷川一夫：魚類の歯の血管分布, 歯界展望 43 : 1122-1123, 1974.
- 39) 長谷川一夫, 石田雅男, 林 宏文：虹マス *Salmo gairdneri* の歯の血管分布, 歯基礎誌 17 : 116-126, 1975.
- 40) 長谷川一夫, 石田雅男：下等脊椎動物の多生歯の血管分布について。歯基礎誌 21 : 140-159, 1979.
- 41) 吉田寿穂, 井田 亮, 竹中武彦, 玉田博視：Stone flounder (*Kareius baicolocatus*) 顎歯の組織構造について。歯基礎誌 21 : 587-609, 1979.
- 42) 福島 直：歯牙交換期における血管分布の動向について。歯科学報 67 : 1302-1323, 1967.
- 43) 石橋庸夫：魚類歯牙の比較組織学研究。特に象牙質とその固定に就いて。医学研究 26 : 197-217, 1956.
- 44) 桐野忠夫：歯ができるまで (その3, 4), 歯の系統 (宗族) 発生, 系統発生の立場から。歯界展望 18 : 1330-1344, 1447-1458, 1961.
- 45) Herold, R. C. : Vasodentine and mantledentine in teleost fish teeth. A comparative microradiographic analysis. Archs. Oral Biol. 15 : 71-85, 1970.
- 46) 脇田 稔：ニザダイのエナメル質形成時におけるエナメル芽細胞の微細構造に関する研究。歯基礎誌 16 : 129-185, 1975.
- 47) 小野 毅：イシダイのエナメル質形成時におけるエナメル芽細胞の微細構造に関する電子顕微鏡的観察。歯基礎誌 16 : 407-464, 1975.