

# 山羊および乳牛の肋軟骨に分布する Vascular channel について

大 塚 閏 一

## Observations on the Vascular Channels in the Costal Cartilage of the Goat and Bovine

Junichi OTSUKA

(Laboratory of Veterinary Anatomy)

### 緒 言

従来、組織学の成書には、成長した軟骨中に血管は分布せず、栄養液は軟骨膜中の血管より発して、軟骨基質中を滲透すると記載されている。TRUETA and MORGAN (1960)<sup>1)</sup> は多数の実験動物を用いて、造骨時の血管の動態について研究し、十分に成長した骨端軟骨板には、貫通する血管は、全く認められないと報告している。

一方、TILLING (1958)<sup>2)</sup> は人胎児や仔牛の大腿骨々端軟骨板に貫通する血管が分布すると述べ、RING (1955)<sup>3)</sup>、SPIRA ら (1963)<sup>4)</sup> は幼若家兎の尺骨・橈骨の骨端軟骨板に capillary-conducting channel の存在を報告している。また、TRAUTMANN (1952)<sup>5)</sup> は軟骨内の血管発達は石灰化、または骨化の徴候で、肋軟骨では、この過程が早期に始まり、犬で6カ月であると記している。

筆者は前報 (1966)<sup>6)</sup> において、山羊の肋軟骨に vascular channel が存在することを、簡単に記したが、今回は、山羊および乳牛の肋軟骨の肋硬骨近位部の血管分布について、その構造と、石灰化および骨化との関連について報告する。

### 材料および方法

観察に用いた動物は、2日齢より105月齢までの山羊（ザーネン種および日本在来種）44例、および3月齢より157月齢までの乳牛（ホルスタイン系種）30例である。また、比較観察するため、成熟家兎（12月齢および24月齢の白色在来種）44例、および成熟ラット（体重120~190g）43例についても検索した。

動物は放血後、解剖し、左側第9肋骨を肋硬骨肋軟骨結合部を中心として、前後約1cm（家兎、ラットでは5~7mm）にわたって採取し、長軸の中心より縦断し、半分を中性ホルマリン、残り半分をアルコール・ホルマリンで固定し、5%三塩化醋酸で脱灰、セ

ロイジン包埋後、肋軟骨の長軸に沿って薄切した。染色はH-E染色、アザン染色およびLILLIEのPAS-Allochrome染色をほどこした。なお、一部の肋軟骨については、肋硬骨肋軟骨結合部より約5mm胸骨側の位置の横断切片を作成した。

### 観 察 成 績

山羊と乳牛の肋軟骨の肋硬骨近位部に分布する vascular channel の構造には明白な差異が認められない。そこで、山羊および乳牛について vascular channel の構造を、山羊について vascular channel と肋軟骨の肋硬骨近位部の石灰化および骨化との関連を、そして、家兎およびラットについて vascular channel の有無を記述する。

#### 1. 山羊および乳牛の肋軟骨の vascular channel

観察した44例の山羊および30例の乳牛のすべてに肋軟骨の肋硬骨近位部に vascular channel が存在した。vascular channel は Plate 1. にみるように、肋硬骨に隣接する軟骨細胞増殖層の軟骨基質の中にも、また、さらに胸骨側の静止軟骨細胞層の軟骨基質中にも分布し、いろいろの大きさの横断面、斜断面および縦断面を示した。1本の静脈のみを含む小さな channel から、Plate 2. に示すように少数の動脈と数本の静脈を含む大きな channel まで、いろいろの大きさの vascular channel が認められた。血管と血管の間隙は線維性結合組織で満たされ、アザン染色で青染した膠原線維や線維芽細胞などが存在した。このような vascular channel は肋硬骨々髓と通じ (Fig. 1., Plate 1.)、また、軟骨膜とも通じている (Plate 3.)。vascular channel は肋軟骨中で分岐するが、この場合、ほとんどが胸骨側へ向って分岐し、この中の血管が肋硬骨々髓より侵入したことを暗示している (Plate 4.)。血管は vascular channel 中でも分岐し (Plate 5.)、channel 内壁に微細血管が配列しているものも認められた (Plate 6.)。

vascular channel 周囲の軟骨細胞は vascular channel 壁に近づくにしたがって小型，扁平を呈するもの多くなり，幼若時を除いて，それより外側の軟骨細胞より PAS 陽性物質は少なくなる．幼若時には軟骨細胞の PAS 陽性顆粒は軟骨全般にわたって僅少であった．vascular channel 周囲の軟骨細胞の構造は，このようで，軟骨膜直下の軟骨細胞に酷似していた．

年齢が進み，肋軟骨の肋硬骨近位部に骨化が始まった例では，vascular channel 内壁に骨芽細胞が配列し (Plate 7.)，vascular channel 周囲の軟骨は軟骨外骨化の形態で骨化していた．さらに年齢の進んだ山羊および乳牛の肋軟骨では，軟骨細胞増殖層に隣接する静止軟骨層はほとんど骨化して，vascular channel と思われる部位は黄色骨髓のような骨髓になっていた (Plate 8.)．この場合，この骨髓と肋硬骨骨髓との間には，四肢の長骨の骨端軟骨板と同様な軟骨細胞増殖層が存在した．

## II. 山羊の肋軟骨中の vascular channel と肋軟骨の石灰化および骨化との関連

観察に用いた 44 例の山羊のなかには，低蛋白質飼料給与試験のような実験的飼養試験の動物が含まれて

いた．このような動物を除いて，正常と考えられる飼養管理を行なったザーネン種 24 例について，肋軟骨の肋硬骨近位部における石灰化および骨化と vascular channel との関連を検討した．

肋軟骨の肋硬骨近位部において，石灰化および骨化の生ずる時期は個体差があつて，一定していなかった．石灰化は早期に生ずる例で 15 月齢に観察されたが，17.5 月齢で石灰化の認められなかった例もある．26 月齢以上の動物では，全例に石灰化が認められた．このように，肋軟骨の肋硬骨近位部の石灰化は，早い例でも 15 月齢まで生じないが，vascular channel は幼若な 2 日齢においても，また 50 日齢，77 日齢の例でも，数多く認められ，石灰化の始まった時点で増加した例は全く観察されなかった．

石灰化は肋硬骨に接する軟骨細胞増殖層に近い静止軟骨細胞層に発し，次第に胸骨側に向つて進行するが，さらに胸骨側の肋軟骨，すなわち肋硬骨より 1 cm 以上胸骨側の部位では，少数例の観察によると，より早期に石灰化が生ずるようである．

肋軟骨の肋硬骨近位部の石灰化は vascular channel の周囲からおこらず，Fig. 2. および Plate 9. に示すように，vascular channel より一定の間隔を

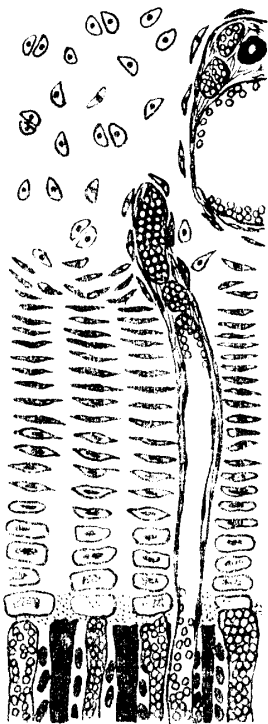


Fig. 1. Diagram of the vascular channel in the costochondral junction.

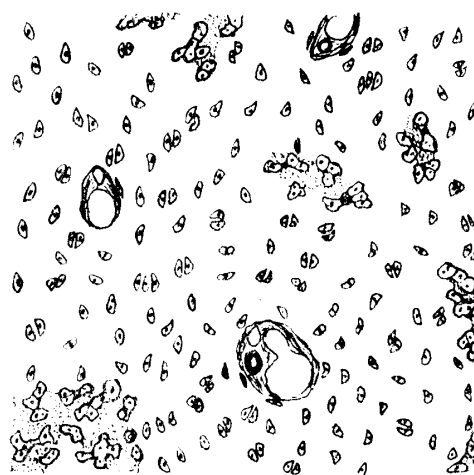


Fig. 2. Diagram of calcification in the costal cartilage.



Fig. 3. Diagram of ossification in the costal cartilage neighboring costochondral junction.

おいた部分から生じている。この vascular channel を肝小葉における中心静脈にたとえると、小葉間結合組織附近より、石灰化が生ずることになる。すなわち、2コの vascular channel の中間点あたりから石灰化するのである。そして石灰化は次第に vascular channel 壁に向かって進行する。

石灰化した部位には後述する家兎およびラットの肋軟骨石灰化部に認められたものと同様な slit が生ずるようになり、slit の軟骨基質の壁には線維性組織が観察された (Plate 10.)。この slit と vascular channel の間には明らかな連絡は認められなかった。

つぎに肋軟骨の肋硬骨近位部の骨化は、早い例で26月齢で観察されたが、30月齢、34月齢でも認められなかった例もある。38月齢の例では骨化が進行して、脂肪組織に富んだ骨髄も認められた (Plate 8.)。

骨化は Fig. 3. に示すように、vascular channel の内壁から生じ、vascular channel の内壁に沿って骨芽細胞が配列し、軟骨外骨化の形式で進行するようである。そして Plate 11. のように肋硬骨々髓から軟骨細胞増殖層をへだてて、骨化層ができ、vascular channel 内は骨髄となるようである。

なお、少数例観察によると、肋硬骨より 1 cm 以上胸骨側の肋軟骨は、肋硬骨近位部よりも早期に骨化が認められた。

### III. 家兎およびラットの肋軟骨における vascular channel の有無

検索した 44 例の家兎および 43 例のラットの肋軟骨には、全例とも vascular channel は認められなかった。Plate 12. および Plate 13. の 12 月齢の家兎および体重約 150 g のラットの肋硬骨肋軟骨結合部が示すように、柱状に配列する軟骨細胞増殖層にも、また、それより胸骨側の静止軟骨細胞層にも vascular channel や血管は全く認めることができなかった。

24 月齢のウサギの肋硬骨より約 3 mm 以上胸骨側の静止軟骨細胞層は、軟骨膜の下層を除いて石灰化しており、石灰化部位には山羊および乳牛の肋軟骨石灰化部に認められたような slit が存在する (Plate 14.)。slit の軟骨基質の壁には線維性組織が認められるが、1~数個の血管を含む vascular channel とは全く構造を異にしている。そして slit は大部分が肋軟骨の長軸に対し垂直に走り、その尖端が軟骨膜に達しているものは一例も見出せなかった。体重約 180 g のラットの肋硬骨より約 1 mm 胸骨側の肋軟骨静止軟骨細胞層も軟骨膜下を除いて大部分石灰化している。そして、家兎に見出されたものと全く同様な構造の slit が認

められたが、vascular channel は全く観察できなかった。

### 考 察

従来、軟骨の栄養は軟骨膜中の血管より発した栄養液が軟骨基質中を透過して供給されると考えられてきた。TRUETA and MORGAN (1960) は多数の家兎、ラット、モルモット、犬および人の大腿骨および脛骨の骨端軟骨板を観察して、これらの動物の正常に充分成長した軟骨板には骨幹側から、またはその逆に骨端側から、貫通する血管は存在しないと報告している。

しかし、一方、幼若な動物についてみると、RING (1955)<sup>3)</sup> が家兎の尺骨遠位端について、SPIRA, FARIN and KARPLUS (1963)<sup>4)</sup> が幼若な家兎の尺骨および橈骨の両側骨端軟骨板について、capillary conducting channels の存在を報告している。また、TILLING (1958)<sup>2)</sup> は人胎児、仔牛の骨端軟骨板についても、同様な報告を行なっている。

つぎに、骨端軟骨板ではない硝子軟骨の血管分布については報告が少ないようで、TRAUTMANN (1952)<sup>5)</sup> は犬の肋軟骨で、石灰化、骨化に関連して、6 月齢で血管が分布するようになると記している。

今回の観察でも、成熟家兎および成熟ラットの肋硬骨に隣接する肋軟骨には、血管分布を認めることができなかった。これは前述の従来報告と一致するものである。

しかるに、山羊および乳牛では、幼若な例だけでなく、105 月齢の山羊、157 月齢の乳牛のような老齢なものまで、すべての例に vascular channel を見出したのである。その構造は SPIRA らの 3 週齢の家兎の橈骨の骨端軟骨板の capillary conducting channels と似ており、また、数本以上の血管が含まれる channel もみられ、相当に大きな動静脈が存在した。

TRAUTMANN は肋軟骨内の血管が石灰化、骨化のために分布してくると述べているが、今回観察した山羊で、出生直後 2 日齢の例にも多数の vascular channel が存在したことは、たとえ肋軟骨のさらに胸骨側が早期に石灰化すると予測しても、骨化のためだけであるとは説明しがたい。たしかに年齢が進むにしたがって石灰化と骨化が vascular channel と関連をもつことは疑いないが、非常に早期から多数の vascular channel が存在し、石灰化の時期の前後にも vascular channel の分布が多くならなかったことは、vascular channel の存在は他の意義をもっているのではないかと推測させる。すなわち、vascular

channel の周辺の軟骨基質や軟骨細胞が軟骨膜下と似ていること、vascular channel の内壁に微細血管が多数存在すること、および軟骨膜中の血管と結合組織が肋軟骨内に vascular channel として侵入することから vascular channel に軟骨膜と似た機能を考えてよいのではなかろうか。骨端軟骨板や家兎、ラットのような小動物の肋軟骨よりも、容積がはるかに大きい山羊、乳牛の肋軟骨の栄養は軟骨膜の血管からの滲透だけでは不十分で、軟骨内に vascular channel として血管が分布し、これより栄養液が滲透するという推測を生じさせる。

また、山羊および乳牛の石灰化の時点で、石灰化が2コの vascular channel の中間点より生ずることは、家兎やラットの肋軟骨の胸骨側の石灰化がほぼ中央部、すなわち軟骨膜からの中間点から生ずることと似ている。このことから考えても、山羊や乳牛の肋軟骨の vascular channel が軟骨膜と似ていると考えられよう。

筆者は未発表ではあるが、成熟馬および成熟緬羊の肋軟骨にも、山羊および乳牛とよく似た vascular channel の存在を確認している。馬にも存在することは、vascular channel が山羊、乳牛、緬羊のような反すう家畜特有のものでなくて、大きな動物の大きな硝子軟骨の栄養供給のために存在するという可能性を示していると考ええる。

軟骨内の骨化が、血管や結合組織を含む vascular channel の周囲より生ずる事実は、すでに Sissons<sup>7)</sup> (1956) の総説や多くの成書に記されているように、軟骨性の骨化が vascularization と結合組織の新生をとまなうのであるから、当然のことと思われる。

#### 要 約

2日齢より105月齢までの山羊44例、3月齢より157月齢までの乳牛43例および成熟家兎44例、成熟

ラット43例について、肋軟骨の肋硬骨近位部の血管分布について観察した。

- 1) 検索した全例の山羊および乳牛の肋軟骨の肋硬骨近位部に vascular channel が認められた。
- 2) vascular channel 内には1～数本の動静脈が存在し、血管は vascular channel 内で分岐する。血管と血管の間隙は線維性結合組織で満たされる。
- 3) vascular channel は軟骨膜および肋硬骨々髓と通じ、軟骨内で分岐する。vascular channel 周囲の軟骨基質および軟骨細胞は軟骨膜下層の肋軟骨と酷似する。
- 4) 肋軟骨の石灰化は2コの vascular channel の中間点より生じ、骨化は vascular channel 壁より進行する。
- 5) 成熟家兎および成熟ラットの肋軟骨の肋硬骨近位部には、山羊および乳牛で認められたような vascular channel は全く観察されなかった。

本報告の要旨は第61回日本獣医学会で報告した。

#### 引用文献

- 1) TRUETA, J. and MORGAN, J. D. : *J. Bone Jt. Surg.*, **42 B**, 97~109 (1960)
- 2) TILLING, G. : *Acta Radiol., Stock., Suppl.* **161**, (1958)
- 3) RING, P. A. : *J. Anat.*, **89**, 457~463 (1955)
- 4) SPIRA, E., FARIN, I. and KARPLUS, H. : *J. Anat.*, **97**, 255~258 (1963)
- 5) TRAUTMANN, A. and FIEBIGER, J. : *Fundamentals of the Histogy of Domestic Animals*, 47~48 Ithaca, New York, (1957)
- 6) 大塚関一 : 鹿大農学術報告, **17**, 125~131 (1966)
- 7) SISSONS, H. A. : *The Growth of Bone, In "The biochemistry and Physiology of Bone"* BOURN, H., ed., 443~474 New York (1956)

#### Résumé

Cartilage has correctly been described as a tissue without capillaries. This means that the cartilage cells obtain their nutrition from the perichondrium and the bone-marrow.

TRUETA (1960) reported that none of the normal fully developed growth-plates had vessels which were seen to be passing from the epiphyseal to the meta-physeal side across the plate or *vice versa*. SPIRA et al. (1963) found blood vessels within conducting channels in the epiphyseal cartilage of young rabbits. But from a strictly histological point of view they suggested that cartilage had no blood vessels of its own. TRAUTMANN (1957) described that the development of the blood vessels in the cartilage was always a sign of the beginning of calcification or ossification and that this process began early in the costal cartilage.

In a previous paper (1966), the author reported that many vascular channels were observed in all costal cartilage of the goats.

The present paper is a record of observations on the distribution and structure of the vascular channels in the costal cartilage of goats, bovines, adult rabbits and adult rats. Furthermore, the purpose of this observation is to make some considerations on the correlation between the vascular channels and calcification or ossification, and to make some presumptions on the function of these channels. In this study, we used 44 goats, from 2 days to 105 months old, 43 bovines, from 3 months to 157 months old, 44 rabbits, 12 months and 24 months old, and 43 adult rats.

1) In the costal cartilage adjacent lying to vertebral rib of all goats and bovines we have studied, many vascular channels were found. The number of vascular channels was left unchanged during the period counting 2 days after the birth to the old age.

2) In a vascular channel there were several blood vessels ramified in it. A space between the blood vessels was filled with loose connective tissues in a channel.

3) Vascular channels were observed to have entered from the perichondrium and the bone-marrow of the vertebral rib into the costal cartilage ramifying in the costal cartilage.

4) The cartilage cells and the intercellular substance surrounding the vascular channels were quite similar to those lying under the perichondrium.

5) Calcification in the costal cartilage was developed from midway between the two vascular channels, and in advanced age ossification was originated from periphery of the vascular channels.

6) The costal cartilage lining close to vertebral rib in adult rabbits and rats contained no vascular channels.

7) It is suggested that some resemblance lies between the function of the vascular channel in the costal cartilage of the goat and bovine and that of perichondrium, and this channel is probably concerned with the nutrition of the cartilage.

### Explanation of Plates

- Plate 1. Longitudinal section of the costochondral junction of a goat (♂); age, 2 days. It illustrates many vascular channels in the proliferating cartilage layer and the resting cartilage layer. A long vascular channel, leaving the bone-marrow of the vertebral rib in the direction of the sternum, is visible.  $\times 28$ .
- Plate 2. Transverse section of a vascular channel in the costal cartilage of a bull; age, 19 months. Many blood vessels and loose connective tissues can be seen in a channel. Flattened cartilage cells are shown in the periphery of a channel.  $\times 100$ .
- Plate 3. The costal cartilage and perichondrium of a bull, showing a vascular channel passing from the perichondrium to the cartilage; age, 18.5 months.  $\times 40$ .
- Plate 4. Longitudinal section of the costal cartilage of a goat (♂); age, 15 months. Ramification of a channel is visible. The lower part is in the direction of the bone-marrow in the vertebral rib.  $\times 40$ .
- Plate 5. Higher magnification of a blood vessel in the vascular channel of a cow, showing ramification of a blood vessel; age, 29 months.  $\times 400$ .
- Plate 6. A vascular channel in the costal cartilage of a goat (♂); age, 2 days. Many capillaries are observable in the left side of the wall of a vascular channel.  $\times 280$ .
- Plate 7. The wall of a vascular channel in the costal cartilage of a cow; age, 27.3 months. A column of the osteoblasts can be seen along the wall of a channel.  $\times 400$ .
- Plate 8. Newly-built bone-marrow in the resting costal cartilage adjacent to the proliferating cartilage layer of a cow; age, 28 months.  $\times 28$ .
- Plate 9. Calcification in the costal cartilage of a goat; age, 15 months. In the left part at a short distance from a vascular channel calcified, a few slits are visible.  $\times 70$ .
- Plate 10. The slit in the calcified cartilage neighboring the proliferating cartilage layer of a goat (♀); age, 34 months.  $\times 280$ .
- Plate 11. Longitudinal section of the costochondral junction of a cow; age, 28 months. The costal cartilage adjacent to the proliferating cartilage layer is ossified, and bone-marrow can be seen. The proliferating cartilage layer resembles the epiphyseal cartilage in the long bone of the limbs.  $\times 28$ .
- Plate 12. Longitudinal section of the costochondral junction of a rabbit; age, 12 months. No vascular channel is observable in the resting and proliferating cartilage layers of the costal cartilage.  $\times 70$ .
- Plate 13. Longitudinal section of the costochondral junction of a rat, showing no vascular channel in the costal cartilage.  $\times 70$ .
- Plate 14. Longitudinal section of the costal cartilage at intervals of 3 mm from the vertebral rib in a rabbit; age, 24 months. Many slits are visible in the calcified cartilage, not reaching the perichondrium.  $\times 70$ .

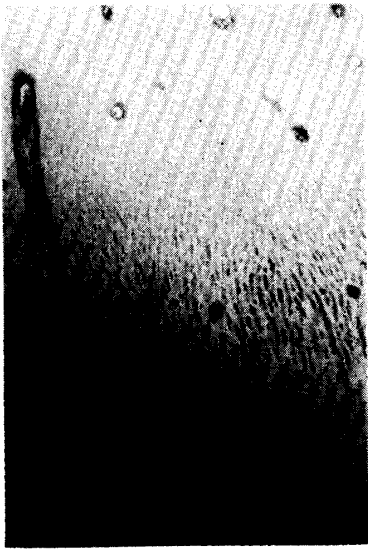


Plate 1.

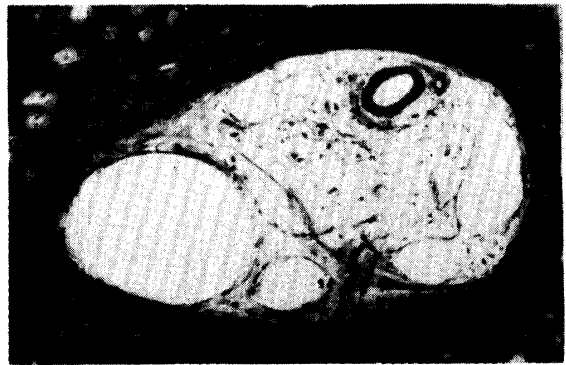


Plate 2.



Plate 3.



Plate 4.



Plate 5.



Plate 6.

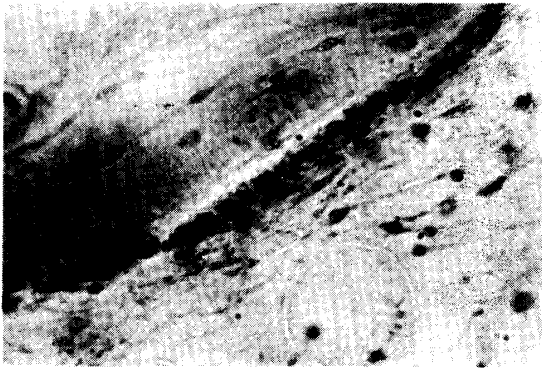


Plate 7.



Plate 8.

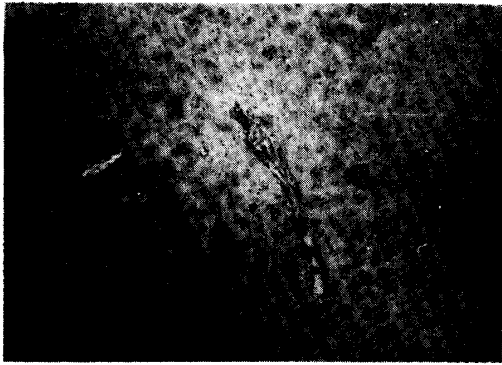


Plate 9.



Plate 10.

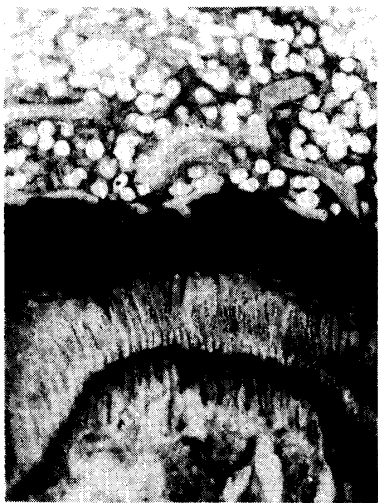


Plate 11.

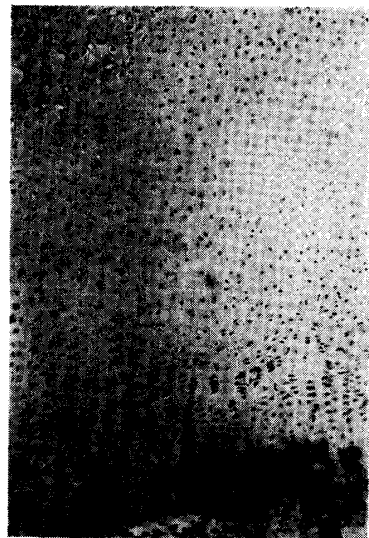


Plate 12.



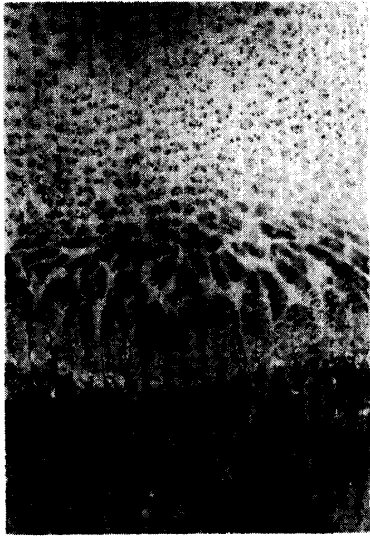


Plate 13.



Plate 14.