

# 岡山医学会雑誌

第90巻 1, 2合併号 (第998, 999号)

昭和53年 2月28日発行

## 骨髓血管構築の走査電子顕微鏡的研究

### 第 1 編

ラット大腿骨骨髓の動脈系に関する  
鋳型走査電子顕微鏡的研究

岡山大学第二内科 (主任: 木村郁郎教授)

小 野 哲 也

(昭和52年 8月23日受稿)

### 内 容 目 次

- |               |                 |
|---------------|-----------------|
| I 緒 言         | 2 動脈幹と平行動脈枝     |
| II 実験材料及び実験方法 | 3 細小動脈枝と動脈性毛細管  |
| 1 注入樹脂の作製     | 4 動脈性毛細管と静脈洞の連絡 |
| 2 試料の作製       | 5 骨膜血管と静脈洞の連絡   |
| III 成 績       | IV 考 按          |
| 1 栄養動脈進入の様式   | V 結 語           |

### I 緒 言

骨髓は血球を新生し、これを血流内に遊出する臓器であることは周知のことであり、骨髓の血管構造がこの特異な機能と密接な関係を有することは論を待たない。かかる骨髓血管系に関するこれまでの業績についてはまず1864年 Rodin が骨髓内に内径の巨大な静脈系の存在することを指摘し、次いで Neumann が1869年これに Venensinus という名称を与

えて以来数多くの学者の研究の対象となってきた。人の骨髓血管系に関するものでは Langer<sup>1)</sup> に始まり、Lexer<sup>2)</sup> は年令の関係について検索し、さらに Anseroff<sup>3)</sup> らは胎生後期の人胎児の发育過程を追って研究を行っている。本邦においても岩男<sup>4)</sup> が1926年に剖検例で静脈系の研究を行い静脈洞の分類を試みている。橋本(義)らは骨髓静脈のレ線像で静脈系の研究を行っている。

又 Rindfleisch<sup>5)</sup> は海狼を用い、Doan<sup>6)</sup> は鳥類、特

に鳩を用いて骨髓血管系の検索を行っている。本邦における動物を用いた研究も多く岩男<sup>4)</sup>、富塚<sup>7)</sup>、橋本(美)<sup>8)~10)</sup>らの研究がある。平木<sup>11)</sup>は日本血液学全書において種々動物について胎生期の種々の所見及び成長の過程における変化を詳細に報告しており、さらに病的状態における所見まで言及している。さらにやや遅れて Yoffey<sup>12)</sup>、<sup>14)</sup> Morgan<sup>15)</sup>、Brookes<sup>16)</sup>等によって色素注入と切片標本によって骨及び骨髓の血管分布を追求しようという試みがなされている。最近では Bruyn<sup>17)</sup>らが色素注入と切片標本で検索を行い、栄養動脈の分枝の末梢が一度骨質に入り Havers 管を経て静脈洞に至るという所見を述べている。

又、切片標本によって血管壁及びその走行、さらに血球の産生との関連を追求した業績もこれまで枚挙にいとまがない<sup>18)~25)</sup>

一方、電子顕微鏡の医学生物学への応用によって骨髓の電子顕微鏡所見も1950年後半よりその報告を見、Pease<sup>26)</sup>、Zanboni<sup>27)</sup>、Leonweiss<sup>28)</sup>、Trubowitz<sup>29)</sup>らによって造血巣及び静脈洞壁の断面の微細な構造についてかなり詳細な報告がなされている。又これらの静脈洞壁を通過して流血中へ放出される血球の状態やその時の静脈洞壁の状態等もこれと相前後して報告され、Hudson<sup>40)</sup>、山本ら<sup>41)</sup>によってリンパ球の遊出の所見が報告され、続いて1970年 Bruyn<sup>42)</sup>、1972年 Cambell<sup>43)</sup>、1975年 Leon Weiss<sup>38)</sup>らによって種々の白血球及び赤血球の流血中への遊出の状態が報告され、この際の静脈洞壁についても興味ある所見を報告している。しかしこれまでの業績が色素注入による光顕所見と切片標本さらに透過型電子顕微鏡であったため、骨髓のほぼ全体における血管系の立体的構築の観察にはほど遠く、従っていくつかの疑問点を残していたことは確かであり、今日なお議論の対象となっている重要な問題である。

最近ではさらに走査電子顕微鏡の医学生物学への応用によって、生物資料を立体的に観察することが行われてきた。この方法は当然骨髓にも応用され、1973年 Leblondらは脾及び骨髓の静脈洞への血球の遊出を観察報告し、本邦でも河村ら<sup>44)</sup>により骨髓静脈洞壁の観察が行われている。これにより静脈洞壁の状態は徐々に解明されつつある。しかしなお骨髓血管の立体構造は明らかでないといわざるを得なかった。1971年村上は methylmethacrylate を用いて血管の鑄型を作成し、これを走査電子顕微鏡で観察しようとする、いわゆる鑄型走査電顕法を確立し、腎、脾、下垂体等の種々の臓器の血管の立体構築を

明らかにしている<sup>45)~49)</sup>

私はこの鑄型走査電顕法により骨髓の血管構築がより明瞭にかつ立体的、連続的に観察できるのではないかと考え、成熟ラットの大腿骨骨髓にこの方法を適用し、赤色骨髓の血管の立体構築を極めて明瞭に観察できた。この結果、先人の業績を確認するとともに、いくつかの新しい所見を得たのでここに報告する。

## II 実験材料及び実験方法

### 1) 注入樹脂の作成

モノマーの methylmethacrylate に1~1.5%の割合に2-4 dichlorobenzoyl peroxide を加え、充分溶解した後ガスバーナーで加熱し5~6分間で60℃まで上昇させる。その後放置して重合熱で85~95℃まで上昇するのを待ち、直ちに流水で振とうしながら30℃以下まで冷却する。こうして作製した半重合の methylmethacrylate に1~1.5%の割合で benzoyl peroxide を加えて充分溶解し、続いて N-Ndimethylanilin を1.5~2%の割合に加えてかくはん後直ちに注入する。

### 2) 試料の作製

エーテル麻酔下にラットを屠殺し、直ちに開胸し胸部大動脈を剝離、エラスターを腹部大動脈の腎動脈分岐部を越える位置まで挿入して糸で結紮固定する。続いて尾の血管を基始部で閉塞した後生理食塩水を注入しつつ下大静脈を切断し、静脈から流出する液に肉眼的な血液成分がみえなくなるまで充分洗滌する。次いで開腹し腹部大動脈を露出、腎動脈分岐の下でエラスターを大動脈周囲から糸で結紮固定し、生理食塩水が大部分下肢にのみ流入する様にしさらに充分洗滌する。この間使用する生理食塩水は約300~500 ml である。下大静脈へ返る液が全く透明となり血液成分がなくなるのを確かめた後、前述の樹脂約40 ml を約5分かけて徐々に注入する。注入終了後は腰椎から切断し、尾を切り離して70℃の温水中に約4時間浸漬し充分に樹脂を重合させる。次いで苛生ソーダを加えて軟部組織を腐食除去し大腿骨をとり出す。実体顕微鏡下に栄養動脈への樹脂の注入を確認し、骨膜周囲の軟部組織を除去した後、Plank-Rychle 氏液に浸漬して脱灰、水洗後再度苛生ソーダ液に浸漬して骨髓の軟部組織を腐食除去する。その後、流水で充分洗滌して附着物を除去する。必要に応じて超音波による洗滌も行う。充分に附着物を除去した試料をガラス板上にとり水滴を充分含ま

せて氷結後、割を入れ、乾燥させた後試料台に銀ペーストで固定、カーボンと金を蒸着後、JSM-U 3型走査電子顕微鏡を使用し、5 KV で観察、撮影した。

### Ⅲ 成 績

#### 1) 栄養動脈進入の様式

主栄養動脈は大腿骨の近位より約 1/3 の大転子に近い内側で骨の遠位から近位に向かって約30度の角度で骨質を貫いて骨髓内へ侵入している。この時動脈は常に静脈の下でこれと平行に走り、骨質を貫き骨髓に到達する間に1~2本の細い分枝を出している。又主栄養動脈の太さは200~230μの内径を呈している。

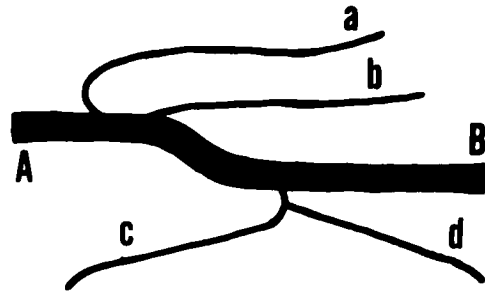
#### 2) 動脈幹と平行動脈枝

主栄養動脈は骨髓内へ侵入後直ちに上行主幹動脈と下行主幹動脈の2つに分かれる。遠位へ向かう主幹動脈は主幹静脈洞を越えてほぼ骨髓の中央に至り末梢へと進み、栄養孔から骨端に至る約1/10位の所で2~3に分岐する。分岐した主幹動脈は屈曲蛇行を示しつつ主幹静脈洞の周囲にからむ様に進み、このあたりから中等度ないし細い少数の平行動脈枝を出しつつ、ほぼ骨髓の中央を遠位へ向かって進む。さらに4~5回分岐しつつ、屈曲蛇行は軽度となり数本の比較的太い平行動脈枝となる。この付近ではより近位で分岐した細い平行動脈枝と、主幹動脈が4~5回分岐した太い平行動脈枝等10数本が共に遠位へ向かって細小動脈を分岐しつつ走行する。細小動脈は平行動脈枝にほぼ直角、時には近位へ向かって分岐するものや遠位へ向かって分岐するもの等様々である。平行動脈枝は末端に至るまでにさらに分岐を重ね、骨端部近くではさらに多くの分岐をし、軽度の屈曲蛇行を示しつつ骨端に至る。

#### 3) 細小動脈枝と動脈性毛細管

まず主栄養動脈が栄養孔を貫く部分および骨髓に到達してすぐに分岐した細い動脈枝について述べる。この動脈枝は分岐直後、各々が数本に分かれ、さらに分岐を繰り返しながら栄養孔を中心に扇状に骨髓実質へ向かって走り、栄養孔に近い内側ではさらに細く分岐し、わずかの吻合をしつつ静脈洞に至る。栄養孔と対側や遠位側では分岐した動脈が静脈洞の立体的網眼の間を走りつつ骨髓の表層に至り、数本に分岐し毛細管となって静脈洞に注ぎ、骨髓表面からは毛細管と静脈洞とで網目状をなしている。

栄養孔で分岐した動脈は骨髓の近位端より約1/3に及ぶ栄養孔を中心とした範囲の静脈洞に注いでい



- a 平行動脈枝から近位へ向って分岐し、遠位へ向う細小動脈
- b 平行動脈枝とはほぼ平行に分岐する細小動脈
- c 平行動脈枝から直角に分岐し、近位へ向う細小動脈
- d 平行動脈枝から直角に分岐し、遠位へ向う細小動脈

A : 中枢側 B : 末梢側

図1 平行動脈枝からの細小動脈の分岐

ると思われる。静脈洞への流入の形は、ゆるやかなルート状、急峻なルート状、時には静脈洞壁に直角に動脈性毛細管が開く場合もみられる。

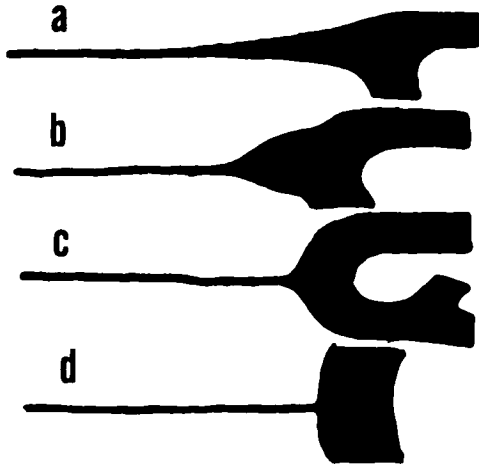
一方、平行動脈枝からの細小動脈の分岐は図1の如くいくつかの形がみられ、平行動脈枝に直角ないしやや近位に向かって分岐した後遠位表層に向かって斜走するもの、平行動脈枝からほぼこれと平行する様な形で遠位へ向かって分岐するもの、又場合によっては平行動脈枝から近位へ向かって鋭角をなして分岐した後表層へ向かって進み動脈性毛細管へ移行して静脈洞に注ぐものもある。これらの細小動脈はいずれも骨髓のほぼ中央から骨髓表層に向かって進み、数回の分岐をしつつ毛細管に移行して静脈洞へ注いでいる。

#### 4) 動脈性毛細管と静脈洞との連絡

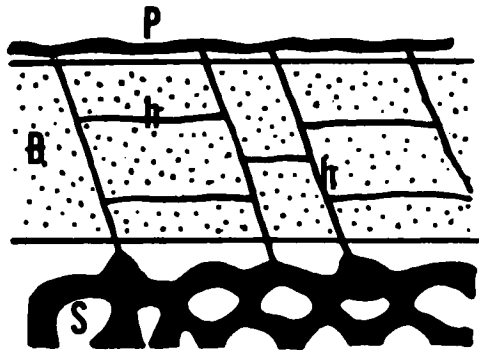
主栄養動脈流入部の極く近くでの毛細管と静脈洞の連絡、やや離れた部位での連絡、平行動脈枝からの分枝と静脈洞との連絡ではその形態にやや相違がみられる。

まず主栄養動脈流入部の極く近くでの連絡は細小動脈のあたりから多数の分岐をしつつ扇状に広がり毛細管に至ってもなお多数のかなり複雑な分岐を示しつつ、比較的ゆるやかなルート状を示して静脈洞へ注ぐものが多い。

次いで主栄養動脈流入部より少し離れた部位での注入の様式はこれとやや異なり、主栄養動脈流入部



a 内腔を徐々に拡大して静脈洞に注ぐもの  
 b 急峻なロート状に静脈洞に注ぐもの  
 c ゆるやかなロート状に静脈洞に注ぐもの  
 d 静脈洞壁に直角に注ぐもの  
 図2 動脈性毛細管の静脈洞への開口の形態



P 骨膜血管  
 S 骨髓静脈洞  
 h Havers管内の毛細管  
 B 骨質

図3 骨膜血管, Havers管内毛細管, 骨髓静脈洞の連絡の形態

からはほぼ直線的にかなり長い距離を静脈洞網の間を走った細小動脈は、骨髓の比較的表層に至り毛細管に分岐する。この形はかなり多様で近位へ向かって分岐するものや、遠位へ向かって分岐するもの等様々で、しかもかなり多くの分岐を示し、時には1本の細小動脈から10に近い毛細管を分岐するものもある。しかし一般にその分岐は骨髓表面に平行で、これと直角方向のもの、即ち骨髓表層から深部へ向かうものや表層から外方へ向かって分岐するものはほとんど見られない。又静脈洞の項でも述べるが、い

わゆる虚脱した静脈洞と区別しにくい様な、自然に内腔を拡げて静脈洞に移行するものも多い。又毛細管が静脈洞に流入する形態は極めて多様で、ゆるいロート状、急峻なロート状、静脈洞壁に直角に開口するものもある。

次いで平行動脈枝からの分枝は前述の如く細小動脈から毛細管へと分岐し、その方向は多くは遠位へ向かってであるが、時には近位へ向かうこともあり、静脈洞へ流入する直前では骨髓の深部から表層へ向かって流入したのがみられ、栄養孔から少し離れた部位の形態、即ち静脈洞網の表層に出て流入するのに比べてやや深い位置で静脈洞へ注いでいるのがみられる。静脈洞への流入の形態は図2の如く、やはりロート状のものから直角方向に流入するものまでみられる。

#### 5) 骨膜血管と静脈洞の連絡

脱灰を途中で止めて観察すると、図3の如く骨質の外側から骨質を貫いて、かなり豊富な吻合をもつ毛細管網が認められる。これらは骨膜の血管と骨質のHavers管を通過している毛細管と考えられる。

表1 動脈系各部位の管腔直径 ( $\mu$ )

主栄養動脈	220~ 230
栄養孔での分枝	40~ 55
主幹動脈	110~ 200
平行動脈枝	20~ 90
細小動脈	8~ 10
毛細管	5~ 7
Havers管内の毛細管	5~ 10

即ち外側ではやや太い動脈に連絡し、内側ではHavers管を通過して骨髓に達し骨髓静脈洞に連絡している。これらの毛細管は外側から骨髓に至った動脈より分岐したと考えられ、骨膜ないし骨質のHavers管内で極めて多数の分岐吻合を繰り返しつつ骨質を貫通して骨髓に達し、軽度の彎曲とわずかの吻合をしつつ静脈洞に注いでいる。これらの毛細管を追跡した範囲では骨髓内の動脈系に連続しているものはみられなかった。又静脈洞への連続の形態も主栄養動脈からの末梢枝ほど著明な分岐はみられず、むしろ毛細管の2~数本が1本に合流して静脈洞へ注ぐ形がみられた。静脈洞への流入はやはりロート状のもの、静脈洞壁に直角に流入するものもみられた。なお動脈各部の内腔は表1の如くである。

#### IV 考 按

##### 1) 主栄養動脈

主栄養動脈の進入する部位はこれまでも種々報告されている。大体一定するが多少の個体差があるとするものが多い。Anseroff<sup>2)</sup>は年齢により部位が変化すると述べ、岩男<sup>4)</sup>、橋本<sup>8)~10)</sup>は一定の部位に存在すると述べている。私の所見では成熟ラット大腿骨においては主栄養動脈の進入部位は近位端からほぼ1/3の部位の内側である。栄養孔通過の状態についても岩男<sup>4)</sup>は人及び家兎では一定方向といい、Anseroff<sup>2)</sup>は人では年齢と共に角度と太さが規則的に変化すると述べている。橋本(美)<sup>8)~10)</sup>は斜めに貫くものと直角に貫くもの二種類があると述べているが、私の所見ではラットの大腿骨においては遠位から近位に向かって骨長軸に対し約30~45度の角度で進入し常に栄養静脈の下方を走っている。又ラットにおいては主栄養動脈は栄養孔を通過する間1本であるが、片山<sup>50)</sup>は家兎においてしばしば2分していると述べ、岩男<sup>4)</sup>も人では栄養孔内で数本に分岐すると述べている。これと異なる私の所見としてはラットの主栄養動脈が栄養孔内を通過する所で細い分岐を出している。この分岐は主栄養動脈と平行に少しく栄養孔内を通過した後、骨髄に至り、栄養孔に近い付近の比較的広い範囲の静脈洞へ注ぐもので、かなり大きい意味をもつものと考えられる。

## 2) 動脈幹と平行動脈枝

主栄養動脈は骨髄内への進入直後、上行主幹動脈と下行主幹動脈に分岐している。これは平木<sup>11)</sup>の報告した基本型と同様で、Brookes<sup>16)</sup>、Morgan<sup>15)</sup>らも色素注入の透明標本で同様の所見を述べている。橋本(美)<sup>8)~10)</sup>はこれを第1分岐部と名づけており、片山<sup>50)</sup>はこのあたりから細小な動脈枝が分岐すると述べているが私の所見ではこのあたりからは細小動脈の分岐はなく、前述の如く主栄養動脈が栄養孔を通過する所で分岐した枝がこの付近の静脈洞へ連絡している。2分した主幹動脈のうち上行枝は近位骨端へ向かいその直後より分岐を出し、彎曲を示しつつ静脈洞の間を走りさらに分岐を繰り返しつつ近位端へ向かって進んでいる。

下行枝は主幹静脈洞を一度越えてすぐ2~3に分岐して再び主幹静脈洞の周囲を囲む様に軽度の彎曲を示しつつ走行するのはこれまでの諸家の報告と一致するが、私の今回の方法ではやや彎曲が著明な様である。これはこれまでの方法が色素注入等であったのに比して粘稠な樹脂の注入によることの修飾もあると考えられる。下行枝はさらに遠位に進みつつ、やや前後して4~5回の分岐を行っている。さらに

遠位に進むにつれて分岐を繰り返す、遠位端近くでは10数本~20本に分かれて走っている。この所見は平木<sup>11)</sup>その他諸家の所見と一致するが、ただ主幹動脈と同様いくつかの彎曲を示している。しかし遠位に至るにつれて彎曲度は少なく、直進している。この所見も樹脂注入という特殊性に依るところがあると考えられる。平行動脈枝は分岐し始めてしばらくすると細小動脈を分岐しつつ遠位へ向かって進んでいる。

## 3) 細小動脈枝及び毛細管

まず主栄養動脈からの分岐について述べる。これまでの報告で、前述の如く岩男<sup>4)</sup>、片山<sup>50)</sup>らにより主栄養動脈が栄養孔を通過する時2分又は数本に分岐するという報告はあるが、私は主栄養動脈から細い動脈枝が出るのを認めた。これは分岐という形ではなく、栄養動脈は著明に太く本法では200 $\mu$ あるいはそれ以上であるのに比べて、この動脈枝は約40 $\mu$ の太さで分岐後これと平行に走っているのがわかる。この分岐は栄養孔を通過する間ないし通過直後にさらに4~5本に分岐し栄養孔を中心に扇状に骨髄内へ広がっていき、さらに各々が分岐して栄養孔付近から遠位へ向かって約1/3の範囲へ分布していると思われる。栄養孔と反対の外側寄りの静脈洞へは骨髄内を斜めに貫通する形で細小動脈が骨髄表層近くに至り動脈性毛細管に分岐して静脈洞に注いでいる。Bergmann<sup>51)</sup>は動脈性毛細管の分岐を認めないとしているが、この際動脈性毛細管は数回分岐し、静脈洞に注いでいる。又動脈性毛細管の間の吻合についてはDoan<sup>9)</sup>、Bergmann<sup>51)</sup>、橋本<sup>8)~10)</sup>、平木<sup>11)</sup>らは吻合を行わないとしているが、Venzlaffは多数吻合すると述べている。私の所見からは純粋な毛細管同士の吻合は極く少なく、静脈洞の極めて近い部位に異なった2本の動脈性毛細管が流入している所見が随所に見とめられ、これまでの方法から考えて動脈性毛細管同士で吻合している様にもみえたものの内には前述の様な所見もあったのではないかと考えられる。又Doan<sup>9)</sup>の命名した intrasinusoidal capillaries は今回の私の方法では全くみられず、静脈洞間の細い血管は上述の動脈性毛細管以外にはみられなかった。この点に関しては後で詳細に述べる。

次いで平行動脈枝からの分岐について述べる。これまで多くの報告に述べられている通り平行動脈枝は主幹動脈から3~4に分岐したあたりから細小動脈を分岐し始め、遠位に至るまで細小動脈を分岐する。これらは遠位約2/3に分布する静脈洞へ注ぐと

考えられる。細小動脈の分岐の仕方は平木<sup>11)</sup>によれば直角ないし、遠位へ向かって斜方向と述べており、Bruyn<sup>42)</sup>によれば分岐直後に迂曲して近位へ向かうものもあることを指摘している。私も極めて様々な平行動脈枝からの分岐を認めた。例えば直角に分岐するもの、遠位に向かって斜めに分岐するもの、又近位へ向かって斜めに分岐するものもある。その後細小動脈は屈曲蛇行し、あるいは骨長軸に斜めに走りつつ骨中心から徐々に表層へ向かい、2~3の動脈性毛細管に分岐して静脈洞に至る。又 Bruyn<sup>42)</sup>は動脈系から分岐した細小動脈が一度骨質を通った後 Havers 管を通過し、Uターンして骨髄静脈洞へ注ぐと述べているが、私の方法ではかかる所見はみられず細小動脈は静脈洞の間を貫いて骨髄静脈洞網の極く表層にまで到達し、そこで分岐して静脈洞に注いでおりそれ以上骨質へは侵入していない。

#### 4) 動脈性毛細管と静脈洞の連絡

これまでの報告では Langer,<sup>1)</sup> Bergmann,<sup>51)</sup> 富塚,<sup>7)</sup> 橋本<sup>9)~10)</sup>らは動脈性毛細管は内腔を拡大して静脈洞に移行すると述べ、内でも富塚<sup>7)</sup>はかなり急速に内腔を拡大すると述べ、橋本<sup>9)~10)</sup>はやや漸進的としている。平木<sup>11)</sup>は静脈洞への連絡の形態は種々で内腔拡大を伴うルート状の連絡と静脈洞壁に直角ないし斜方向に直接連絡するものを記載している。私の方法ではこの点は極めて明瞭に描写され、その所見は平木<sup>11)</sup>の報告にほぼ一致し、動脈性毛細管がゆるやかに内腔を拡大して静脈洞に連絡するもの又中等度ないし急速に内腔を拡大してルート状に移行するもの、又動脈性毛細管が内腔をほとんど拡大することなく静脈洞壁に直角に連絡するもの等この連絡は極めて種々の形態を示す。又富塚<sup>7)</sup>のいう細小動脈枝と主幹静脈洞の直接の連絡は認められなかった。

#### 5) 骨膜血管と静脈洞の連絡

これまでの諸家の報告から成熟した哺乳動物、鳥類で骨膜毛細管から静脈洞への連絡を明確にした知見は見あたらない。Zamboni<sup>37)</sup>らは骨髄内では細小動脈は静脈洞にほとんど連絡していないと述べ、Bruyn<sup>42)</sup>らはこの点を重視し色素注入と連続切片による観察から次の様に述べている。即ち主栄養動脈の末梢にあたる細小動脈は静脈洞網の間を通過して骨髄外に至り骨質へ侵入後、Havers 管内の血管に連続して折り返した後静脈洞に注ぐという所見である、又 Havers 管内の血管は毛細管と静脈性毛細管の中間の管腔をしていると述べている。しかし私の観察した所見では、前述の如く主栄養動脈から分岐した

動脈性毛細管は比較的骨髄表層の近くで分岐しつつ極めておう盛に静脈洞との連絡をしており、これは Langer,<sup>1)</sup> Bergmann,<sup>51)</sup> 富塚,<sup>7)</sup> 橋本<sup>9)~10)</sup> 平木<sup>11)</sup>らの諸家の報告と一致し静脈洞へ注ぐ動脈はあくまでも主栄養動脈より分岐した動脈性毛細管が骨髄内で静脈洞に注ぐものが主であると考えている。ただ私が前述した如く、それらの連絡は骨髄のかなり表層であるため、これまでの透明標本あるいは光学顕微鏡では場合によって Zamboni<sup>37)</sup>らが述べた様な所見が得られるかもしれない。しかし Havers 管内の血管が骨髄静脈洞に連絡することは私の所見からも明らかである。ただ Bruyn<sup>42)</sup>の述べる如くこれらの起源が主栄養動脈であることは私の所見からは考えられない。これらは骨膜から Havers 管を通過して静脈洞に直接連絡していると考えられる。その理由はまず第 1 に Havers 管の毛細管が骨周囲の毛細管さらにより太い動脈系に連続していること、第 2 にこれらを詳細に観察した結果すべて静脈洞に連絡しており骨髄内で静脈洞以外の血管系に連絡している所見がないこと、第 3 には主栄養動脈の末梢である細小動脈あるいは動脈性毛細管が骨髄表層に至った後、静脈洞への連絡は認められるがそれより外の骨質へ到達する所見がみられないことの三点である。

## V 結 語

骨髄の血管構築を明確にする目的で鋳型走査電顕法により立体的かつ連続的に観察するため、methylmethacrylate を用いてラットの大腿骨の骨髄血管の鋳型を作成し、カーボンと金を蒸着した後 JSM-U 3 型走査電子顕微鏡で観察撮影し、以下の結果を得た。

- 1) 主栄養動脈。主栄養動脈は栄養孔から骨髄内に進入し、2枝に分岐する。又栄養孔内で1~2本の分枝を出している。
- 2) 主栄養動脈からの分枝。この分枝は骨髄に入るとすぐ分岐を重ね、栄養孔より遠位1/3の静脈洞に注いでいる。
- 3) 主幹動脈枝。上行枝は数本に分岐し近位骨端へ向かって進んでいる。下行枝は遠位骨端へ向かって進み、途中多数の平行動脈枝を出している。
- 4) 平行動脈枝。平行動脈枝はさらに分岐を重ね、その間により細い平行動脈枝を分岐しつつ遠位骨端に至る。栄養孔より近位の静脈洞は上行枝の分枝に、遠位2/3は下行枝からの平行動脈枝の末枝に連絡している。

5) 平行動脈枝から静脈洞までの連絡。平行動脈枝から分岐する細小動脈は種々の方向へ向かって分岐し、動脈性毛細管となって静脈洞に注いでいる。静脈洞への注ぎ方は急峻なロート状から静脈洞壁に直角に注ぐ形まで様々である。

6) 骨膜毛細管と静脈洞の連絡。骨膜毛細管がHavers管を通過して静脈洞に注ぐものが、かなりの頻度に認められる。これらの毛細管は骨髄内の動脈系

とは連絡していない。

稿を終るにあたり御指導と御校閲を賜った恩師木村郁郎教授に深甚の謝意を表します。また終始多大の御指導と御援助をいただいた入野昭三助教授、喜多島康一講師、村上宅郎助教授に深謝いたします。

(本論文の要旨は昭和49年第36回日本血液学会総会において発表した。)

## 文 献

- 1) Langer, K.: Über das Gefäßsystem der Röhrenknochen. Denkschr. ksl. Akad. Wiss. Wien. Math-naturwiss. Kl., **36**: 1~47, 1876.
- 2) Lexer, E.: Die Entstehung entzündlicher Knochenherde und ihre Beziehung zu den Arterienverzweigungen der Knochen. Arch. f. Klin. Chir., **71**: 1~30, 1903.
- 3) Anseroff, N. J.: Die Arterien der langen Knochen des Menschen. Zeitschr. f. Anat. u. Entw., **103**: 793~812, 1934.
- 4) 岩男督: 四肢大管状骨骨髄の血管装置に就て, 東京医学会雑誌, **40**: 775~792, 1926.
- 5) Rindfleisch, G. E.: Über Knochenmark und Blutbildung. Arch. f. Mikroskop. Anat., **17**: 1~11, 1880.
- 6) Doan, C. A.: The circulation of the bone marrow. Carnegie Inst. Wash. contrib. Emb., **14**: 27~49, 1922.
- 7) 富塚ハナエ: 骨髄組織殊に其の洞の生理的並に病的状態に於ける構造に就ての知見補遺, 千葉医学会雑誌, **12**: 518~561, 1934.
- 8) 橋本美智雄: 家兎骨髄の毛細血管系統に就て, 福岡医科大学雑誌, **29**: 2450~2467, 1936.
- 9) 橋本美智雄: 家兎骨髄血管並に下腿骨の発生に就て, 九大医報, **14**: 137~143, 1940.
- 10) 橋本美智雄: 骨髄の発生並に再生に関する研究, 日本病理学会誌, **27**: 204~208, 1937.
- 11) 平木潔: 骨髄の血管構造, 日本血液学全書, 第1巻: 711~738, 1963.
- 12) Yoffey, J. M.: A note on the thick-walled and thin-walled arteries of bone marrow. J. Anat., Lond., **96**: 425, 1962.
- 13) Yoffey, J. M.: Light microscopy: Studies in bone marrow structure and function. Bibl. anat., **5**: 47~50, 1965.
- 14) Yoffey, J. M., Makin, G. S., Yates, A. K., Davis, C. J. F., Griffiths, D. A. and Waring, I. S.: The discharge of granulocytes from guinea pig marrow in response to intravenous T. A. B. vaccine. Ann. New York Acad. Sci., **113**: 790~799, 1964.
- 15) Morgan, J. D.: Blood supply of growing rabbits tibia. f. of Bone and joint surg., **41**. B., : 185~203, 1959.
- 16) Brookes, M. and Harrison, R. G.: The vascularization of the rabbit femur and tibiofibula. J. of Anat., **91**: 61~74, 1957.
- 17) De Bruyn, P. P. H., Breen, P. C., and Thomas, T. B.: The microcirculation of the bone marrow, Anat. Rec., **168**: 55~68, 1970.
- 18) Yoffey, J. M.: The blood vessels of bone marrow. Springfield, Bonemarrow in hypoxia and rebound, Thomas books., : 13~34, 1972.

- 19) Weiss, L.,: An electron microscopic study of the vascular sinus of the bone marrow of the rabbit. *Bull. Johns Hopkins Hosp.*, **108**: 171~199, 1961.
- 20) Chamberlain, J. K., Weiss, L. and Weed, R. I.,: Bone marrow sinus cell packing: A determinant of cell release. *Blood*, **46**: 91~102, 1975.
- 21) Hurley, L. A., and Miller, C. W.,: Demonstration of the marrow—Vascular space of bone. *Archives of pathology*, **68**: 615~620, 1959.
- 22) Drinker, C. K. and Drinker, K. R.,: A method for maintaining an artificial circulation through the tibia of the dog, with a demonstration of the vasomotor control of the marrow vessels. *Amer. Journ. of physiol.*, **40**: 514~521, 1916.
- 23) 三由智四郎: 骨髓に関する実験的研究. 第1編・骨髓血管構造の研究補遺, *岡山医学会雑誌*, **66**: 1037~1047, 1954.
- 24) 平木潔: 血管構造を中心とせる骨髓, 血液討議会報告. 上: **78**~113, 1953.
- 25) 大藤真: 骨髓血管構造の研究1)・血管幹系統の研究(マウス, 家兔), *日新医学*, **40**: 14~19, 1953.
- 26) 大枝亘: 骨髓血管の発生学的研究. 第2編・大腿骨骨髓血管(其の二)家兔新生児並びに幼若家兔, *岡山医学会雑誌*, **66**: 563~602, 1954.
- 27) 中沢・: 人胎児骨髓血管構造の研究. 第1編・椎骨骨髓血管(其の1)胸椎に就いて, *岡山医学会雑誌*, **70**: 2033~2065, 1958.
- 28) 村田精三: 人胎児長管骨に於ける骨髓血管構造並びに軟骨管に関する研究. 第1編・大腿骨の骨髓血管構造並びに軟骨管について, *岡山医学会雑誌*, **70**: 2427~2442, 1958.
- 29) 城本鉄蔵: 人胎児扁平骨骨髓の血管構造に関する研究. 第1編・肩甲骨, *岡山医学会雑誌*, **70**: 637~648, 198.
- 30) Jordan, H. E. and Barker, J. P.,: The character of the wall of the smaller blood vessels in the bone marrow of the frog, with special reference to the question of erythrocyte origin. *Anat. Record*, **35**: 161~174, 1927.
- 31) Doan, C. A., Cunnigham, R. S. and Sabin, F. S.,: Experimental studies on the origin and maturation of avian and mammalian red blood-cells. *Contrib. to Embryol.*, **16**: 165~230, 1925.
- 32) Brinckerhoff, W. R. and Tyzzer, E. E.,: On amphophile leucocytogenesis in the rabbit. *J. of Med. Res.*, **3**: 449~495, 1902.
- 33) Ackerman, G. A. and Hostetler, J. R.,: Refinements in histologic techniques as applied to hemopoietic tissue. *Lab. Invest.*, **18**: 387~390, 1968.
- 34) Drinker, C. K., Drinker, K. R. and Lund, C. C.,: The circulation in the mammalian bone marrow. *Amer. Journ. of Physiol.*, **62**: 1~92, 1922.
- 35) Yoffey, J. M.,: Structural peculiarities of the blood vessels of the bone marrow. *Bibl. anat.*, **7**: 298~303, 1965.
- 36) Pease, D. C.,: Electron microscopic study of red bone marrow. *Blood*, **11**: 501~526, 1956.
- 37) Zamboni, L. and Pease, D. C.,: The vascular bed of red bone marrow. *J. Ultrastr. Res.*, **5**: 65~85, 1961.
- 38) Weiss, L.,: The structure of bone marrow. Functional interrelationships of vascular and hematopoietic compartments in experimental hemolytic anemia. *J. Morph.*, **117**: 467~538, 1965.
- 39) Trubowitz, S. and Masek, B.,: The structural organization of the human marrow matrix in thin sections. *Am. J. Clin. Pathol.*, **53**: 908~913, 1970. 40)
- 40) Hudson, G. and Yoffey, J. M.,: The passage of lymphocytes through the Sinusoidal endothelium of guinea-pig bone marrow. *Proc. Roy. Soc. (B)*, **165**: 486~495, 1966.
- 41) Yamamoto, T. and Sato, S.,: Electron microscope studies on the vessel wall and the leucocyte emigration. *Arch. Histol. Jap.*, **27**: 297~311, 1966.

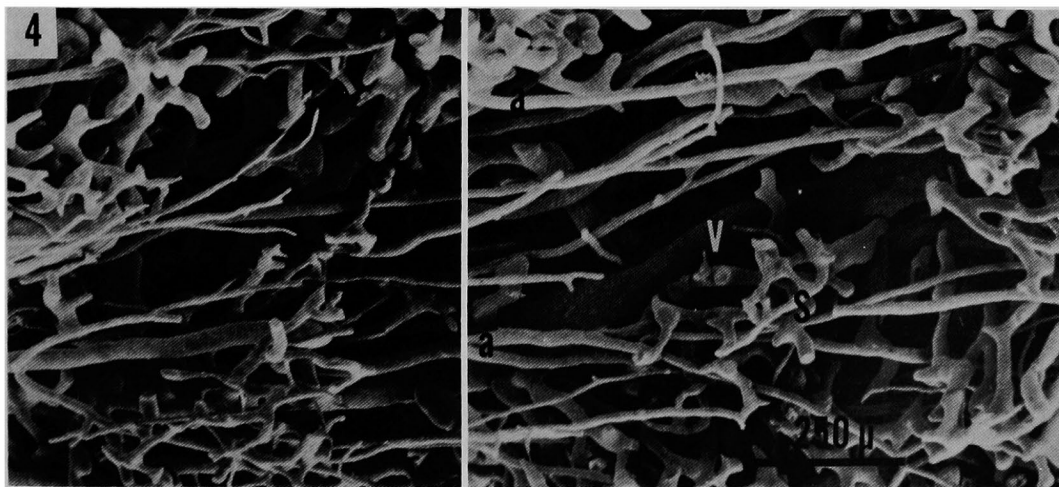
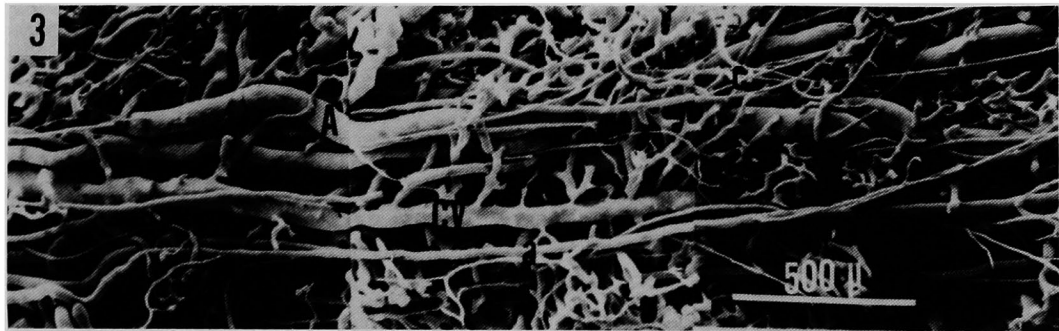
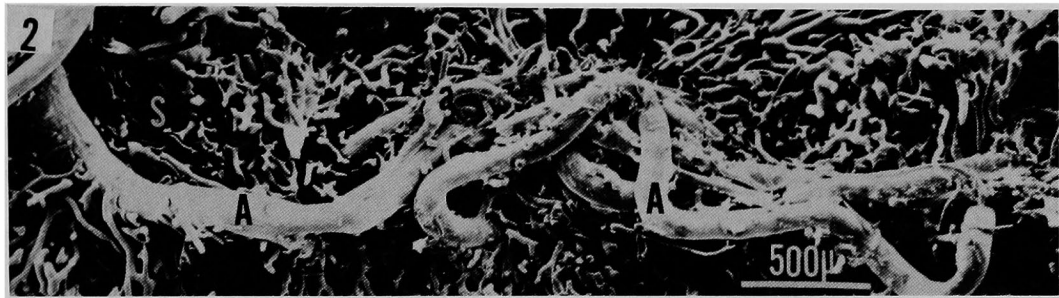
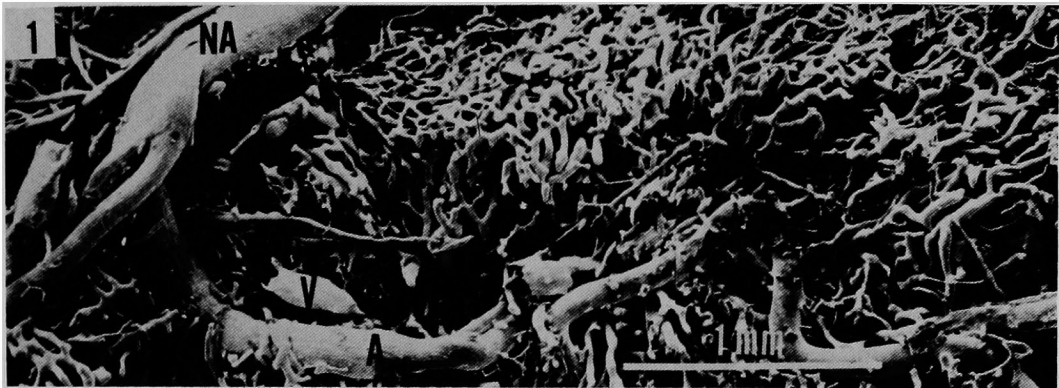


- 42) Bruyn, P. P. H., Michelson, S. and Thomas, T. B.,: The migration of blood cells of the bone marrow through the sinusoidal wall. *J. Morph.*, **133**: 417~438, 1970.
- 43) Campbell, F. R.,: Ultrastructural studies of transmural migration of blood cells in the bone marrow of rats, mice and guinea pig. *Am. J. Anat.*, **135**: 521~535, 1972.
- 44) 河村節子, 吉田豊: 骨髄組織(とくに洞)の走査型電子顕微鏡による観察, *医学のあゆみ*, **86**: 143~144, 1973.
- 45) Murakami, T., Unehira, M., Kawakami, H., and Kubotsu, A.,: Osmium impregnation of methyl methacrylate vascular cast for scanning electron microscopy. *Arch. Histol. Jap.*, **36**: 119~124, 1973.
- 46) Murakami, T.,: Application of the scanning electron microscope to the study of the fine distribution of the blood vessels. *Arch. Histol. Jap.*, **32**: 445~454, 1971.
- 47) Murakami, T.,: Vascular arrangement of the rat renal glomerulus. A scanning electron microscope study of corrosion casts. *Arch. Histol. Jap.*, **34**: 87~104, 1972.
- 48) Murakami, T.,: Vascular arrangement of the dog hypophysis. A Scanning electron microscope study of corrosion casts. *Acta Anat. Nippon*, **48**: 29, 1973.
- 49) Murakami, T., Miyoshi, M. and Fujita, T.,: Glomerular vessels of the rat kidney with special reference to double efferent arterioles. A scanning electron microscope study of corrosion Casts. *Arch. Histol. Jap.* **33**: 179~198, 1971.
- 50) 片山茂樹: 各種動物長管骨髄の血管構造. 第1編・家兔を主とする哺乳類の長管骨髄主幹血管に就いて, *岡山医学会雑誌*, **66**: 727~750, 1954.
- 51) Bargmann, W.,: Über den Feinbau der Knochenmarkskapillaren. *Z. f. Zellforsch. u. mikr. Anatomie*, **11**: 1~22, 1930.

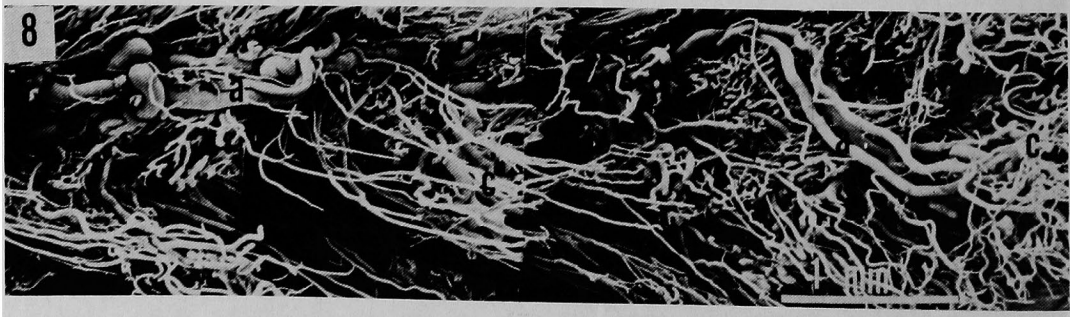
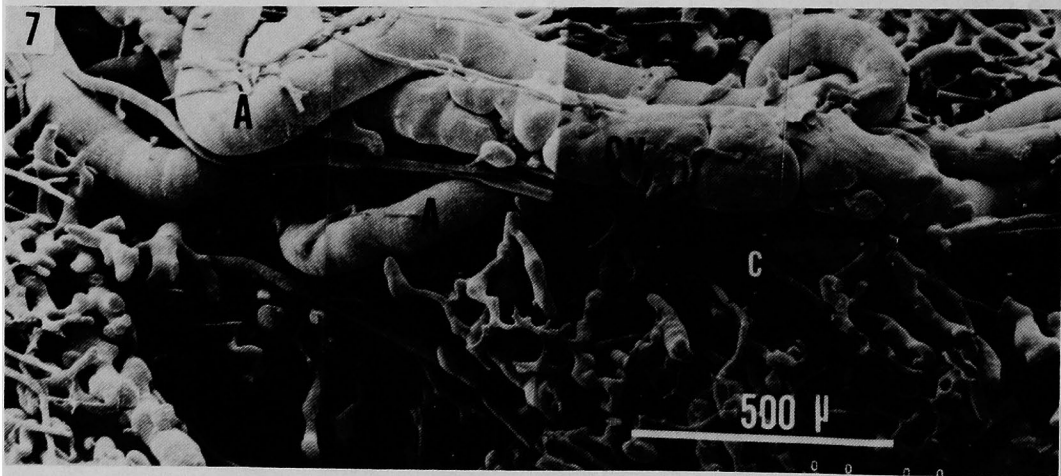
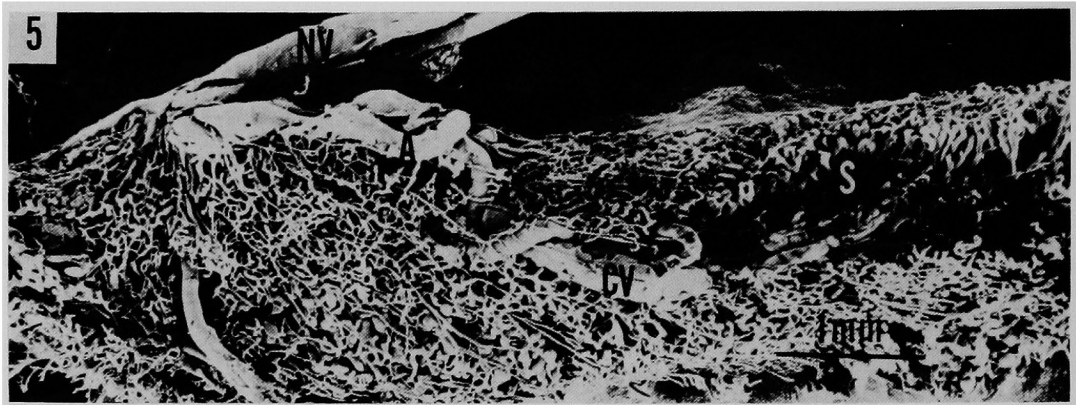
## 図 説 明

- 写真1. 主栄養動脈 (NA) は骨質を貫いて主幹動脈 (A) に分岐する。主幹静脈洞 (V)。
- 写真2. 主幹動脈 (A) から平行動脈枝 (a) が分岐する。
- 写真3. 平行動脈枝の内比較的太いもの (A), と比較的細いもの (a)。主幹静脈洞 (CV)。
- 写真4. 比較的骨端に近い平行動脈枝 (a) と静脈洞 (S) 及び集合静脈洞 (V)。
- 写真5. 主栄養静脈 (NV) は主栄養動脈の上を走って骨質を貫く。静脈洞 (S) はほぼ骨髄全体に拡っている。主幹動脈 (A), 主幹静脈洞 (CV)。
- 写真6. 主幹動脈 (A) は主幹静脈洞 (CV) の周囲をとりかこむ様に末梢へ進んでいる。
- 写真7. 細小動脈 (c) は静脈洞網の間を表層へ向って走っている。主幹動脈 (A), 主幹静脈洞 (CV)。
- 写真8. 細小動脈 (c) は平行動脈枝 (a) から種々の方向へ分岐している。
- 写真9. 主栄養動脈 (NA) は栄養孔を通過する途中動脈枝 (a) を分岐し、骨髄内で上行性主幹動脈 (A) と下行性ものに分岐する。
- 写真10. 栄養孔内で分岐した動脈枝はさらに分岐をくりかえし、毛細管 (c) となって扇状に拡り静脈洞 (S) に至る。
- 写真11. 細小動脈 (c) は静脈洞網 (S) の間を通過して表層へ向う。主幹動脈 (A), 主幹静脈洞 (V)。
- 写真12. 骨髄表層では動脈性毛細管 (c) が分岐をして静脈洞 (S) に至る。
- 写真13. 平行動脈枝 (A) から分岐した細小動脈 (→印) は動脈性毛細管 (c) となり静脈洞 (S) に至る。
- 写真14. 比較的細い平行動脈枝 (a) から近位へ向って分岐する細小動脈 (c) も見られる。比較的太い平行動脈枝 (A), 主幹静脈洞 (CV)。
- 写真15. 近位骨端では細小動脈 (a) が毛細管 (c) を分岐し、彎曲を示しつつ骨端に至る。静脈洞 (S)。
- 写真16. 細小動脈 (a) は毛細管 (c) に分岐し、静脈洞 (S) に至る。
- 写真17. 遠位骨端では細小動脈 (a) が多数の毛細管 (c) に分岐して彎曲しつつ骨端へ至る。
- 写真18. 動脈性毛細管 (c) が極めて徐々に内腔を拡げ静脈洞に注いでいる部位である。平行動脈枝 (a)。
- 写真19. 動脈性毛細管 (c) がロート状に内腔を拡大して静脈洞 (S) に注ぐ。
- 写真20. 脱灰を途中で止めた部位に Havers 管内の毛細管 (h) がかなり密に残存する。骨質 (B), 静脈洞 (S)。
- 写真21. 骨膜の側から来た細動脈 (a) は Havers 管内毛細管 (h) に連続している (→印)。骨質 (B), 静脈洞 (S)。
- 写真22. 23. Havers 管内の毛細管 (h) は骨髄静脈洞 (S) に連絡している。

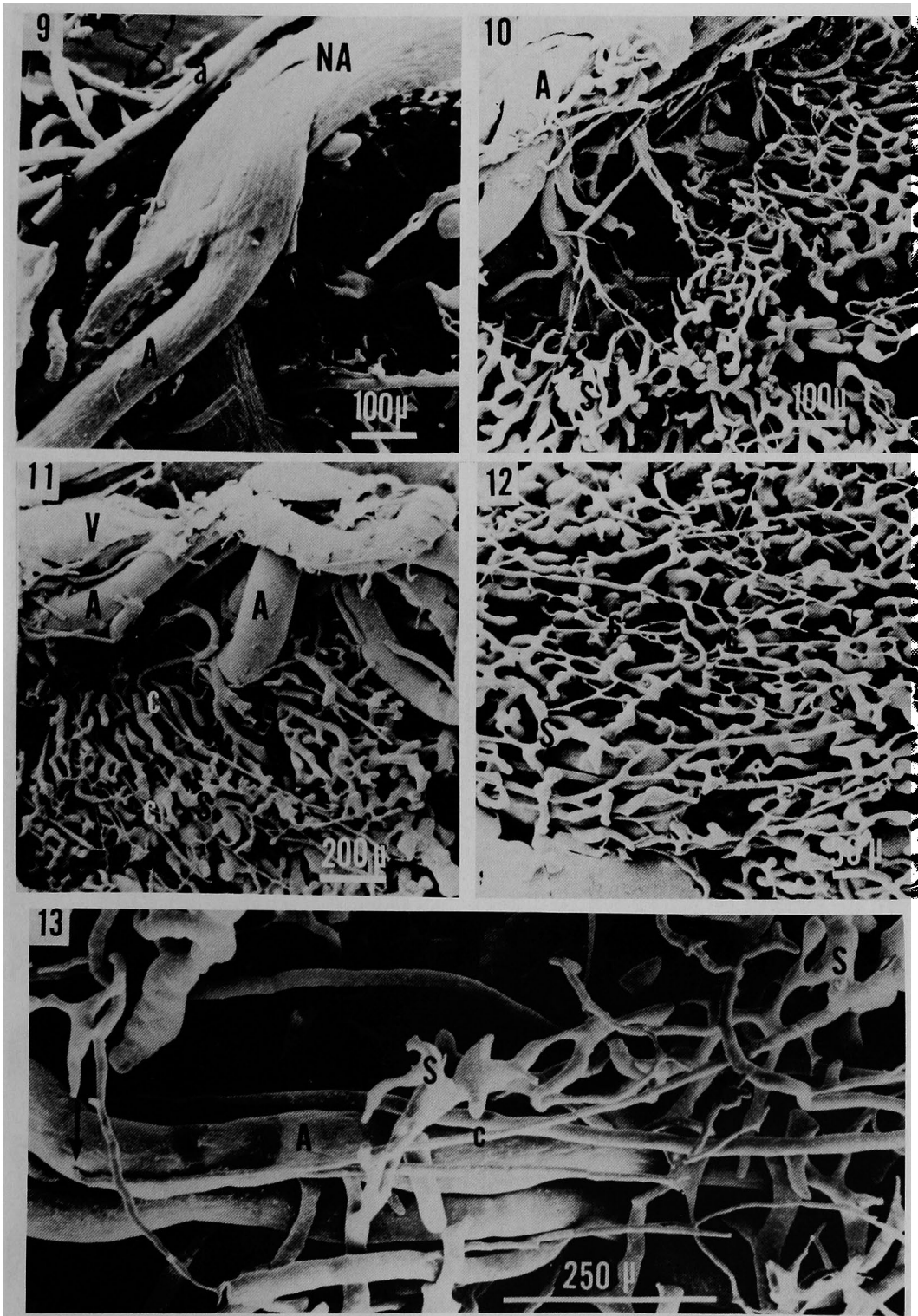
小野哲也論文附図



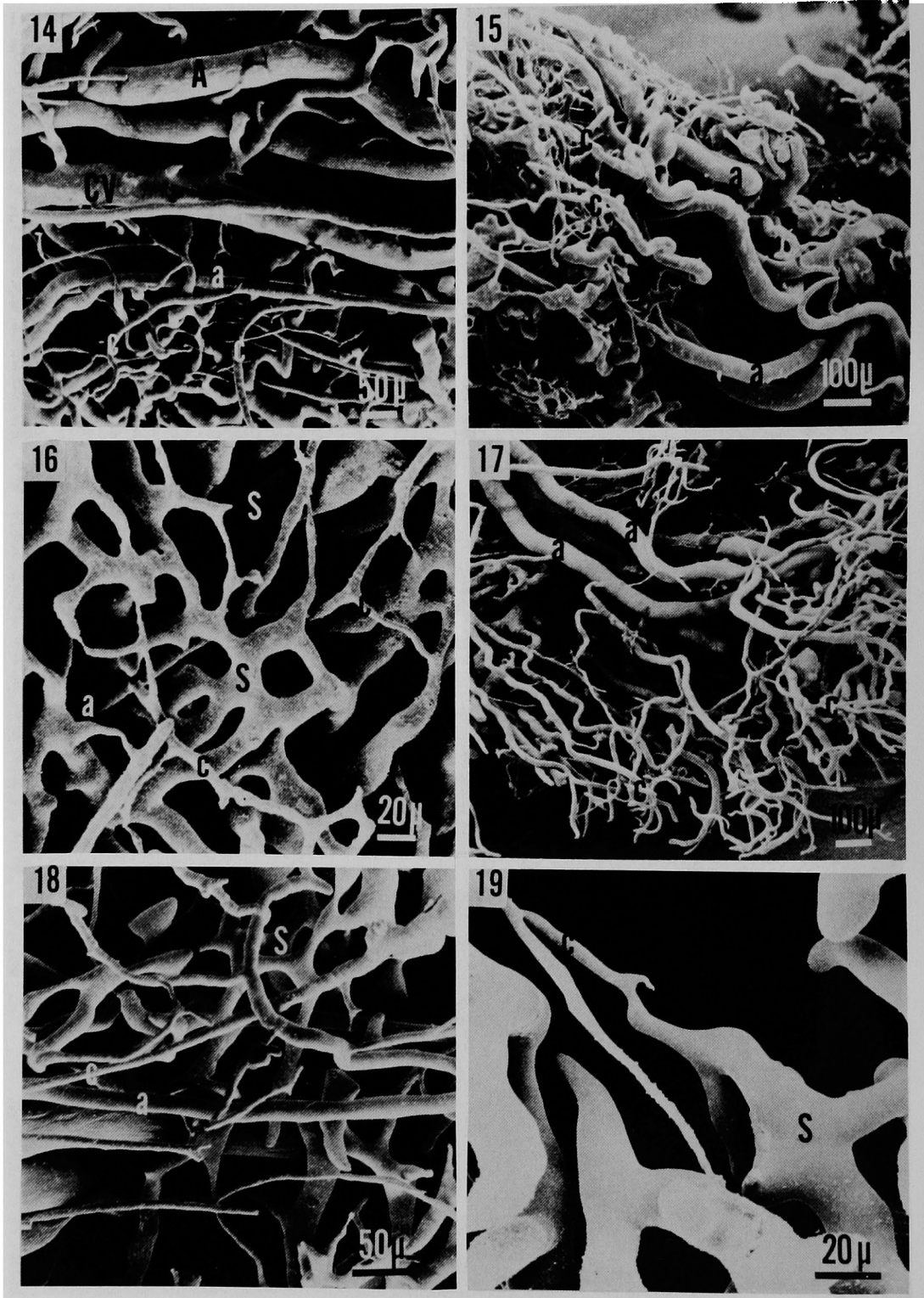
小野哲也論文附図



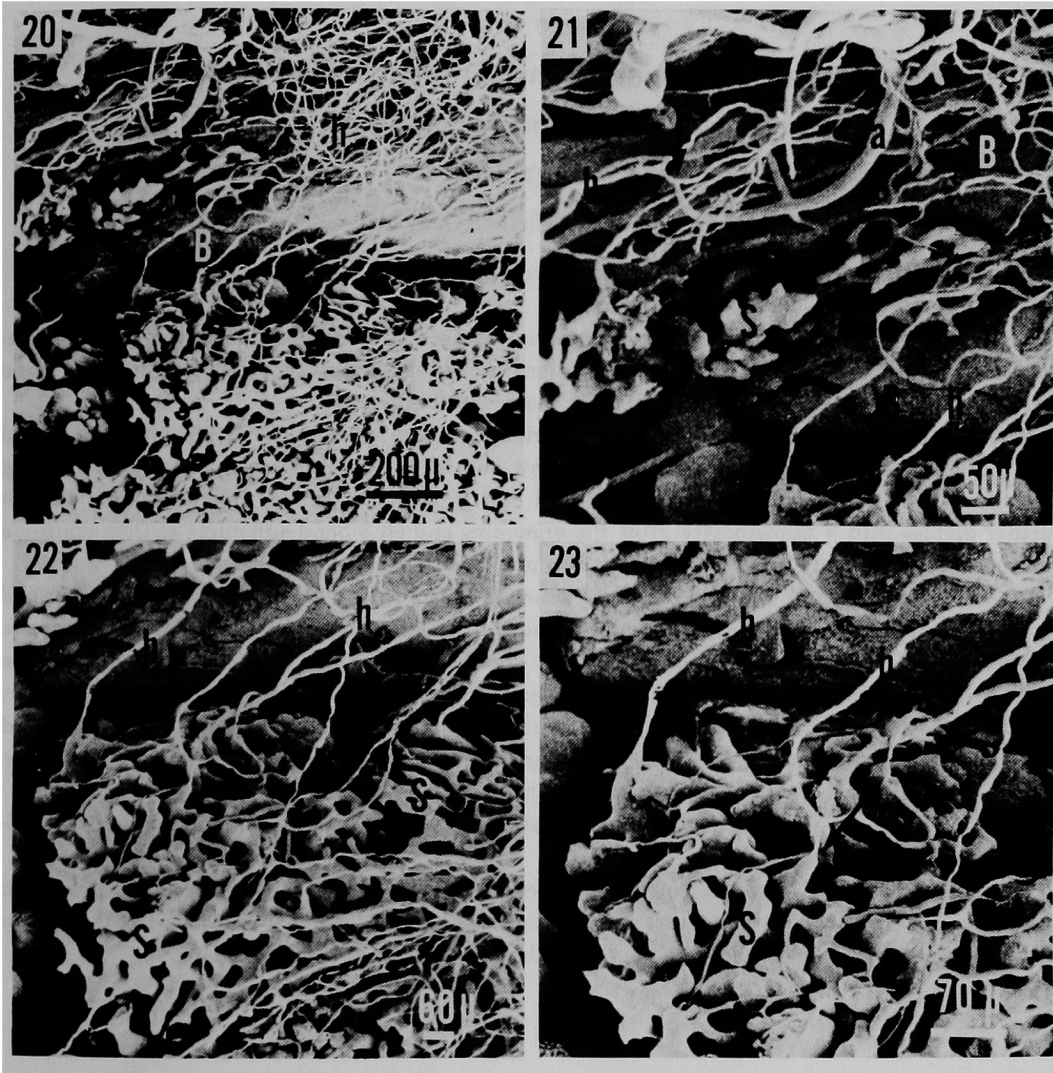
小野哲也論文附図



小野哲也論文附圖



小野哲也論文附図



**Scanning electron microscope studies on microvascular architecture  
of bone marrow**

**Report I. Injection replica scanning electron microscope study  
on arterial system of rat femoral bone marrow**

**Tetsuya ONO**

The Second Department of Internal Medicine, Okayama University Medical School

(Director : Prof. I. Kimura)

A JSM-U3 type scanning electron microscope was used to conduct stereoscopic and continuous observation and photography of the microvascular architecture of the rat femoral bone marrow by the injection replica method using methylmethacrylate.

The nutrient artery passes through the nutrient foramen at an angle of 30° on the proximal and inner side of the femur to the bone marrow and bifurcates into ascending and descending branches. The ascending branch continues to run proximally, while the descending branch further divides into 3 immediately after the branching and all 3 bend and curve as they continue to proceed distally and eventually separate into numerous arterial branches.

Approximately 1/3 of the bone marrow which is located near the nutrient foramen is linked to the arterial branch which has divided in the nutrient foramen. This arterial branch passes between the sinusoid and proceeds to a point comparatively close to the surface of the bone marrow where it separates into finer branches and flows into the sinusoid. It is considered that the distal two thirds of the bone marrow is connected to the arterial branches which divided from the descending branch. There are also branches which pass through the periosteum to the Haversian canal, enter the bone marrow and connect with the sinusoid.

The opening of the arterial capillaries assumes various shapes such as gradual and steep funnel-like to right angle orifices.

The injection replica scanning electron microscope method is a highly effective means for elucidating microvascular architecture such as that of the bone marrow and it is felt the author was quite successful in clarifying the microvascular architecture of the bone marrow.