

骨髓血管構築の走査電子顕微鏡的研究

第 2 編

ラット大腿骨骨髓の静脈系に関する 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）

目 次

- I 緒 言
- II 実験材料及び実験方法
 - 1 注入樹脂の作製
 - 2 試料の作製
- III 成 績
 - 1 静脈幹系
 - 2 静脈洞
 - 3 静脈洞と主幹静脈洞の連絡
 - 4 動脈性毛細管と静脈洞の連絡
 - 5 intrasinusoidal capillaries.
- IV 考 按
- V 結 語

I 緒 言

骨髓の血管構築に関しては1864年 Robin が内径の巨大な静脈系を見出して以来多くの研究者によって種々の所見が報告されてきたことは一編で述べた通りであるが、骨髓の血管系は、骨髓が造血臓器であるという特徴から動脈系と同様、静脈系にもその特異性があることは論を待たない。

Neumann は Robin の認めた巨大な静脈系に対して Venensinus なる名称を与え、以来静脈洞は骨髓の造血と極めて緊密な関係をもつものとして注目されてきた。以来多くの研究者によって述べられた所見の概要は一編で述べた通りであるが、特に静脈系のうち主幹系統のもの又は概観的なことに関しては

Denys が1866年鳥類の骨髓で、栄養血管は骨髓内に入ると上下2方向に分かれて骨端へ向かい中心静脈は同伴動脈に比して極端にその内腔が大きいと述べている。又 Venzlaff は鳩において骨髓内動脈が静脈主幹に密接連絡していると述べており、これを Hauptvenen と呼んだ。岩男¹⁾ は家兎と人の長管骨で、その静脈系統を毛細管、固有静脈洞、静脈洞様部、総静脈洞と諸部分に分けている。又富塚²⁾ は静脈洞以外の内腔が広いものを集合洞と総称しているし、橋本(美)^{3)~5)} は家兎骨髓の静脈系を静脈洞、集合洞、貯血静脈洞の3つに分けて命名している。

静脈洞についてもその記載は1969年 Neumann が骨髓静脈性毛細管として Venensinus と名づけ、1901年 Minot が sinusoid と命名してから今日までこの言葉が広く使用されている。この間静脈洞の閉塞性管腔説と無壁説が論争的となっていた。以来静脈洞に関する研究は甚だ多く管腔に相違のあることが多くの研究者によって報告され、その形態についても富塚²⁾ 橋本^{3)~5)} らは紡錘型、楕円形を示すと述べ、平木^{6)~7)} 大藤⁸⁾ らはその基本型は六角形と述べている。

又静脈系に関する論争の1つは、Doan^{9)~10)} の報告した intrasinusoidal capillaries に関するものである。これは最初 Doan が飢餓鳩の脂肪髓で発見して命名したものであるが、Bergmann¹¹⁾ も脂肪髓で同様の所見を認めており、これを一時的休息状態と述べている。富塚²⁾ は静脈洞間の連絡路と考え、Jordan¹²⁾ は静脈洞と骨髓実質の交通門戸と述べてい

る。橋本³⁾~⁵⁾平木⁶⁾~⁷⁾らはこれを萎縮した虚脱性静脈洞と考えている。

この様にこれまでの色素注入による切片標本、透明標本では細部について種々の意見があり、なお統一した所見が得られていない¹³⁾~²³⁾一方1950年後半からの電子顕微鏡の生物学への導入によって骨髄血管の細部にわたってさらに新しい所見が得られている²⁴⁾~²⁶⁾しかしこれらは主として静脈洞壁の構造、血球の遊出に関する細部の研究であり、骨髄の血管構築全体を知るにはなお充分な手段とはなり得ていないのが現状である。

最近ではさらに走査電子顕微鏡の医学、生物学への導入により組織を立体的に観察しようとする試みがなされてきた。これによって骨髄、脾等の静脈洞壁の状態を立体的に観察した所見はいくつか報告されてきた²⁵⁾しかし本法によってもこれまで骨髄全体にわたる血管系の立体的所見はないといっても過言ではない。一方、1971年以来、村上²⁶⁾~⁴⁰⁾は methyl methacrylate による鑄型走査電顕法で種々の軟部臓器の血管構造を立体的に観察している。私はこの方法により骨髄の血管構築を明瞭かつ立体的に観察し、動脈系のみならず静脈系についても明瞭な立体的構造を連続的に観察し得た。その結果、これまで不明確であったいくつかの所見を明確にすることができ、先人の業績を確認するとともに、若干の新知見を得た。動脈系については第一編で述べたので本論文では静脈系の所見について報告する。

II 実験材料及び実験方法

1) 注入樹脂の作製

注入樹脂の作製は第一編で述べた通りであり、まずモノマーの methyl methacrylate に1~1.5%の割合で2-4 dichlorobenzoyl peroxide を加え、溶解後5~6分間で60℃まで加熱し、その後放置して重合熱で85~95℃に上昇するまで待つ。続いて直ちに流水で振とうしながら30℃以下に冷却し、次いで benzoyl peroxide を1~1.5%の割合に加えて溶解し、N-N dimethyl anilin を加えて直ちに注入する。

2) 試料の作製

静脈系をより完全に観察するため2種類の注入方法を行った。第1は動脈からの注入であり、第2は静脈からの注入である。

第1は一編で述べた動脈系の場合と同様、エーテル麻酔下でラットを屠殺し、開胸、胸部大動脈を剝

離しエラストーを腹部大動脈の腎動脈分岐部より末梢まで挿入、結紮固定する。続いて生食約200 ml を注入しつつ下大静脈を切断し、下大静脈に戻る液に血液成分が肉眼的になくなるまで充分洗滌した後開腹、腎動脈分岐部より末梢でエラストーを結紮固定し、尾を根元で圧迫し血流を止めてからさらに生食を注入、洗滌する。その後前述の樹脂を約30 ml 手圧で注入する。その後下肢を切断し、60℃の温水中に約4~6時間浸漬した後苛生ソーダで組織を腐食し、水洗後大腿骨を Plank-Rhychlo 氏液で脱灰後再度苛生ソーダで骨髄の軟部組織を腐食し、水洗後動脈系と同様に処理し、カーボンと金を蒸着後、観察撮影した。

第2の方法はラットを屠殺、開胸後下大静脈にエラストーを挿入し、結紮固定後動脈系よりもやや弱い手圧で生食を注入し、大動脈を切断して洗滌する。返る液に血液成分がなくなったことを確認後開腹し下大静脈の腹部でエラストーを糸で結紮固定し、尾を起始部で結紮後さらに生食で充分洗滌する。続いて樹脂約20 ml をゆっくりと手圧で注入後下肢を切断して、その後は第1の方法と同様に処理して、カーボンと金を蒸着後、J. S. M-U 3型走査電子顕微鏡で5 KV で観察撮影した。

III 成績

1) 静脈幹系

栄養静脈は骨の長軸に対して近位に向かって30~45度の角度で主栄養動脈の上をこれに沿って栄養孔を貫き、内腔をやや広げながら骨髄に至り、骨髄のほぼ中央で2枝に分岐し上行枝と下行枝に分かれる。上行枝は多少の屈曲を示しつつ大腿骨内側へ向かって大きく湾曲し、近位骨端へと向かう。その内径は多少の増減を示しつつ末梢に至るにつれて細くなっている。下行枝は主幹動脈下行枝ないし平行動脈に周囲をとり囲まれる様に遠位へ向かって骨髄のほぼ中央をまっすぐに進み、骨の長さの半ば付近で内径約1/4の太さの枝を大腿骨内側へ向けて分岐を示すものもあり、このあたりで緩やかに、少しく外側へ湾曲している。主幹静脈洞はさらに遠位へ向かって進み、遠位端より約1/5位の所で3ないし4に分岐して骨端に至っている。この間上行枝、下行枝共に無数の静脈洞と集合静脈洞が開口している。その角度は骨中央部では主幹静脈洞に直角に近く、骨端に近づくにつれて栄養孔の方向に向かって傾斜し骨端の近くではほとんど長軸に平行である。又主幹静脈洞へ

開口する静脈洞，集合静脈洞の太さは極めて様々で，集合静脈洞にも種々の型があるがこれについては後述する。

2) 静脈洞

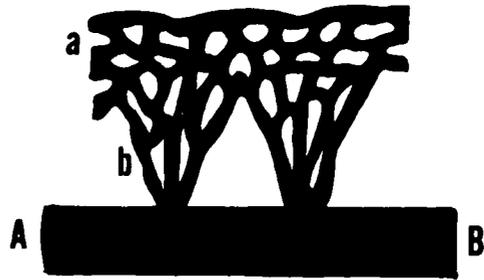
主幹静脈洞から連なる静脈洞及び集合静脈洞の末梢に続く静脈洞は骨髄全体に広く充満し，かなり密な網目状の分岐吻合を行い表面からはほぼ骨全長の静脈洞を連続的に追跡することができる。

まず表面から観察すると静脈洞は円形，六角形，四角形等の網目を形成しつつ骨髄表層に沿って広がり，又各々の網目がこれと垂直ないし斜方向に分岐吻合を行い極めて複雑な網状立体構造を形成している。さらにその表面に沿ってかなり豊富な動脈性毛細管の分枝が連絡し静脈洞同士の網目以外にさらに複雑な網目を形成している。後に詳述するがこれらの毛細管は必ず動脈性の血管に連絡しており純粋に静脈洞同士を連絡する毛細管はみられない。

次にこの静脈洞の網状立体構造を開いてみると図1の如くその中心部は表層と異なり主幹静脈洞へ注ぐ様に主幹静脈洞と直角方向に走っており，ちょうど主幹静脈洞を中心として放射線状に走っていることになる。又深層では表層と異なり骨長軸方向の吻合は少なく中心静脈からあたかも木の枝の如く表層へ向かっている。しかし吻合が全くないわけではなく少数の吻合と粗な網目構造がみとめられるのはもちろんである。これらは表層に達して急激に著明な吻合を示し表面より観察した如き複雑で密な立体網目構造へと移行している。又動脈系ことに平行動脈枝はこれらの樹枝状の静脈洞並びに集合静脈洞の間を縫う様に末端へ向かって走っている。さらに動脈性毛細管は深部では静脈洞にほとんど開口しておらず，従って血流は主幹動脈から分かれた動脈性毛細管が深部静脈洞の間を通過して表層に至り，その豊富な網状の静脈洞に連絡し，血流は静脈洞内を折り返して深部静脈洞を主幹静脈洞へ向かって返ってくるものと考えられる。

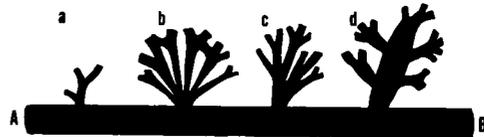
3) 静脈洞と主幹静脈洞の連絡

静脈洞と主幹静脈洞の連絡は極めて多数みとめられ主幹静脈洞の周囲に無数に静脈洞及び集合静脈洞が開口している。これらの型は図2の如く様々で，主幹静脈洞の極く近くの極めて小範囲との連絡しか保っていないと考えられる細い静脈洞もあり，やや少数の分枝を有し比較的狭い範囲に連絡した集合静脈洞，さらに広範囲の静脈洞から集まってきた太い集合静脈洞もある。広範囲より集まったものは太い



a 骨髄表層の密な静脈洞網
b 主幹静脈洞を中心に放射状にのびる比較的粗な静脈洞網
A：中枢側 B：末梢側

図1 表層と深層の静脈洞の形態



a 狭い範囲から静脈洞のまま主幹静脈洞に注ぐもの
b 中等度の範囲から扇状に集って主幹静脈洞に注ぐもの
c 中等度の範囲から木の枝状に集って主幹静脈洞に注ぐもの
d 広い範囲から幹状の集合静脈洞に集って主幹静脈洞に注ぐもの
A：中枢側 B：末梢側

図2 静脈洞から主幹静脈洞への連絡の形態

幹状となり周囲の静脈洞から樹枝状に血液を集め主幹静脈洞へ注ぐと思われる。これらは栄養孔から遠位へ約2/3位までは主幹静脈洞にほぼ直角に注いでいるが骨端に近づくにつれて徐々にその角度は栄養孔の方向へ傾斜が強くなり，遠位端では骨長軸にほぼ平行に走っている。

4) 動脈性毛細管と静脈洞の連絡

栄養孔から遠位端へ向かって約1/3の範囲は栄養孔内で主栄養動脈から分岐した枝に連絡していると考えられる。この連絡は動脈性毛細管が静脈洞の網状立体構造の間を縫って進み骨髄表層でかなりの分枝を出し，時には静脈洞への連絡で網目構造を形成する程であるが純粋な動脈性毛細管同士の吻合は極めて稀である。ただ同じ静脈洞の非常に接近した部位に2つの異なる毛細管が開口することはしばしばでこれが吻合と誤られる程である。毛細管が静脈洞に接続する型は様々で毛細管の内腔に変化なく静

脈洞壁に直角に接続しているもの、静脈洞の断端状コブ様の突起部へ突如開口しそれまでの毛細管内腔に変化のないもの、やや内腔を広げつつ静脈洞壁にほぼ直角に開口するもの、徐々に内腔を広げつつ急峻なルート状に開口しているものから極めてゆるやかな傾斜のルート状に開口するものまで様々であり、時には毛細管と静脈洞の境界が不鮮明なものさえみられる。

さらに遠位端に近い部分では平行動脈枝より分かれた分枝が静脈洞に接続しており、この連絡様式はほぼ前者の場合と同様様々の形態を呈している。

骨膜血管から骨質を通過して静脈洞に達する毛細管と静脈洞との連絡もほぼ同様で毛細管内腔に変化なく突然静脈洞壁に直角に開口するもの、瘤状の静脈洞の端に毛細管が開口するもの、毛細管がルート状に静脈洞に連絡するものもある。ただ骨質を通過して静脈洞表面での連絡という性質上、毛細管が徐々に内腔を広げてゆるやかにルート状に連絡しているものはみられず、いずれも比較的急に内腔を拡大して静脈洞へ連絡している。

5) intrasinusoidal capillaries

前にも述べた通り、私の所見には純粋に静脈洞から出て静脈洞にのみ連絡する毛細管は見られなかった。細小動脈の分枝である動脈性毛細管が骨髄表面では静脈洞へ網目状に連絡している。これらの動脈性毛細管が部分的にみれば intrasinusoidal capillaries の様に見える。しかしこれらの毛細管は必ず近くに細小動脈が連絡しており、純粋な静脈洞の間のみを連絡する intrasinusoidal capillaries はなかった。血流はあくまで細小動脈から流入して毛細管に分かれ静脈洞へ注ぐと考えられる。ただ動脈性毛細管が開口するあたりに静脈洞の内腔が平均よりかなり細いものが網目状をなしている場合があり、これらが静脈洞間の吻合を思わせるかもしれない。しかしこれらも前述の毛細管に比べると明らかに太く、又鋳型の樹脂表面の構造から明らかに静脈洞と同じもので、これまで述べられた intrasinusoidal capillaries, 虚脱性静脈洞等とは異なっており、これらの点を考慮すると私の行った injection replica scanning electron microscope method では intrasinusoidal capillaries というものは全く認められない。なお静脈系各部の内腔は表1の如くである。

IV 考 按

1) 静脈幹系

表1. 静脈系各部位の管腔直径 (μ)

主栄養静脈	500 ~ 550
主幹静脈洞	400 ~ 600
集合静脈洞	
広い範囲に連絡するもの	100 ~ 180
狭い範囲に連絡するもの	50 ~ 90
主幹静脈洞へ直接流入する静脈洞	25 ~ 40
静脈洞	20 ~ 50

栄養静脈の骨髄内への連絡様式は主栄養動脈の上に沿ってこれと密着平行して入っている。これらの角度については動脈系で述べた如く、岩男¹⁾らは人では一定方向をもって貫くと述べており、Anseroff¹¹⁾橋本^{3)~5)}らはこの方向は年令に応じて規則的に変化すると述べている。骨髄内へ進入後の所謂主幹静脈洞は Rindfleisch¹²⁾が色素膠液を注入して検索しているのに始まり、Denys は主幹静脈洞が上下2方向に分かれて両骨端へ向かって進み、主幹動脈よりはるかに内腔が大であることを述べている。Venzlaff は鳩の大腿骨と脛骨で研究を行い骨髄内動脈が主幹静脈洞に密接に連絡しておりこれを Hauptvenen と呼ぶべきだと述べている。Doan^{9)~10)}岩男¹⁾橋本^{3)~5)}大藤⁸⁾らも主幹静脈洞の内腔が極めて広いことは述べているが、この名称に関してはなお統一をみず、Doan^{9)~10)}はこれを中心静脈と呼び、Venzlaff は主幹静脈、岩男¹⁾は総静脈洞とし、橋本^{3)~5)}は貯血静脈幹と命名しており、大藤⁸⁾は主幹静脈洞と呼称している。主幹静脈洞の走行についてはこれまで諸家の報告は既略においてほぼ一致しており、平木^{6)~7)}は下行枝について上1/2は内側に近く走り、下1/2ではほぼ中央を走行すると述べている。しかし骨端に近い末梢における詳細な所見はなお乏しい。片山¹³⁾は分岐後近位端は近位のメタ部へ至り、下行枝はほとんど分岐せず遠位端では2~3分してメタ部に至ると述べているが、私の所見では下行枝ではほぼ半ばで1本の分枝を出した後遠位端に近く3~4に分岐した後さらに長軸とやや傾斜した角度で遠位メタ部に至っている。又中心静脈には全長にわたり多数の静脈洞及び集合静脈洞が開口しており、これらの角度は後に詳述する如く栄養孔の近くではほぼ主幹静脈洞に直角、遠位に至るに従って傾斜している。

2) 静脈洞

静脈洞の記載については1869年 Neumann が骨髄静脈性毛細管として Venensinus と名づけているの

に始まる。その後閉塞性管腔説と少数の無壁説が論争的となってきた。その間、1901年 Minot が sinusoid なる語を用い今日この言葉が使用されている。以来静脈洞に関する研究も甚だ多く、管腔に相違のあることは Hoyer,⁴⁾ 橋本³⁾~⁵⁾ 平木⁶⁾~⁷⁾ らが指摘しており、形態についても富塚²⁾、橋本³⁾~⁵⁾ らは紡錘形、楕円形を示すものが多いと述べ、片山⁴⁾ も紡錘形で長短種々の突起をもつと述べており、これらが普通6ヶ輪状に連絡し、さらにこれらの異型のもが存在すると記載している。平木⁷⁾ は日血全書において、やはり基本型は六角形をなしており、これらの異型とみられるものが多数種々の方向へ相連って骨髄全般に広がる大網状立体構造を構成すると述べている。私の所見では明瞭な六角形の網目ははっきりせず、円形、四角形~六角形に近い種々の網目が存在し、これらは縦横に連続して広がり複雑な網状立体構造を形成している。これらの管腔には大小の変化がみられ、太い所では40 μ に及ぶ所もあり、細い所では15 μ 位であった。これは橋本以来の多くの報告よりもやや太い様であるが、これはやはり色素注入の方法と樹脂注入による鋳型の方法の差によるものと考えられる。又静脈洞を骨髄表面から観察するとかなり広い範囲にわたって連続していることがわかり、この所見から小区域毎に分割されてはいないと考えられる。さらに骨髄の中心部を観察すると表面とはやや異なり、網目構造は粗となり、かつ主幹静脈洞へ集中する方向に走り、主幹静脈洞を中心に放射状の形態を示している。これらの静脈洞は後に述べる如く、集合静脈洞と呼ばれるものもあるが静脈洞とほぼ同程度のものが主幹静脈洞へ向かって進み主幹静脈洞へ注ぐ直前に1つに合流するものや、そのままの太さで集合静脈洞というよりは静脈洞のまま主幹静脈洞へ注ぐもの等種々の形態がみられる。これらの所見についてはこれまで諸家の報告には明瞭にされていないものである。

3) 静脈洞と主幹静脈洞の連絡

静脈洞と主幹静脈洞の連絡は主幹静脈洞の全長にわたって極めて多数みられ、これらは富塚²⁾ によって集合洞と名づけられたが、これまで他にも諸家により種々に呼称されてきた。岩男¹⁾ はこれを固有静脈洞と呼び、橋本³⁾~⁵⁾ はこれを富塚と同様集合洞と呼んだ。主幹静脈洞からの集合洞の分岐は片山⁴⁾ によれば鳥類上腕骨では集合洞というよりむしろ静脈の分枝というべきものを認めるのみで、両棲類では帯状に主幹静脈洞より分岐しており、爬虫類では集

合洞は認められないと述べている。私の所見からはラットにおいてはこの様式は極めて種々の形態を示しており、主幹静脈洞近くより静脈洞と同じ内腔で集合洞とは言えない状態でそのまま主幹静脈洞に連絡するもの、静脈洞から扇状に集まってきて主幹静脈洞へ注ぐ直前に1つに集合しているもの、かなり広範囲からの静脈洞に連絡し主幹静脈洞に樹枝状に連絡しているもの、又さらに広い範囲から樹枝状に集まった静脈洞がさらにいくつか集まって太い幹状になり主幹静脈洞に注ぐもの等の形がみられた。

主幹静脈洞からの分岐の仕方は、これらの形にかかわらず栄養孔に近い所では主幹静脈洞にほぼ直角で、これから遠のくにつれて徐々に傾斜を示す様になり、遠位骨端に近づくと次第に傾斜は強くなり、主幹静脈洞が遠位で3~4に分岐するあたりではむしろ長軸に平行に近い形で分岐している。さらに骨端近くでは主幹静脈洞と同じく全く長軸に平行となっている。

4) 動脈性毛細管と静脈洞の連絡

動脈性毛細管と静脈洞との連絡の有無は、Neumann 以後一部の学者に認められてきたが詳細にこれらの形態を証明したものがないといっても過言でなく、有壁説、無壁説と関連して種々議論された所である。橋本³⁾~⁵⁾ は家兎骨髄の切片標本でこれを観察し、Bergmann¹⁾、富塚²⁾ らも同様に報告しているが、なおその移行部の形態は明確でなかった。平木⁶⁾~⁷⁾ 大藤⁸⁾ らは透明標本によりこれらの移行連絡部を観察している。これによると単位静脈洞網1ヶに対して移行する動脈性毛細管は1~2本であると述べている。又移行の形態については、Langer,⁴⁾ Bergmann,¹⁾ 橋本³⁾~⁵⁾ らは漸進的に拡大して移行していると述べ、富塚²⁾ は急激に拡大して移行すると述べている。平木⁶⁾~⁷⁾ 大藤⁸⁾ らは漸進的に拡大するものと急激に拡大するものとあり一定の型に決め難いとしている。私の所見からも漸進的に拡大するもの、急激に拡大するもの、時には壁に直角に開口するもの等その形態は極めて多い。ただ骨膜から Havers 管を通して静脈洞に至る毛細管は比較的急激に拡大するルート状をなしている。

次に移行する角度については Langer,⁴⁾ 富塚²⁾ らは垂直方向より移行すると述べ、Bergmann,¹⁾ 橋本³⁾~⁵⁾ 平木⁶⁾~⁷⁾ らは一定の方向を定め難く種々の角度をもって移行すると述べている。私の所見も直角、斜方向等やはり種々の方向から移行しており、その方向は定め難いものであった。

次に移行の際、静脈洞に対する動脈性毛細管の移行する頻度であるが Doan,^{9)~10)} Bergmann,¹¹⁾ 橋本^{3)~5)}らは静脈洞に比し動脈性毛細管は極めてわずかであると述べており、大藤²⁾は静脈洞網1単位網に対して1~2本の動脈性毛細管が移行すると述べており、片山⁴⁾は静脈洞1個に対して動脈性毛細管1個が移行する場合が最も多く、種々の異型もみられるとしている。しかし私の所見では細小動脈が骨髄表層に至り、比較的多くの動脈性毛細管に分歧し、比較的骨髄表層でかなり多数が静脈洞に移行している。又その数を決定することは不可能で静脈洞網の不特定の種々の場所へ連絡していると言わざるを得ない。即ち極めて近接した場所に2本の動脈性毛細管が移行している所もあれば、かなりの範囲にわたり移行のみられない場所もある。しかし全体としてはこれまでの諸氏の所見よりも高い頻度で見られるものである。

5) intrasinusoidal capillaries

intrasinusoidal capillaries の言葉は Doan^{9)~10)}によって提唱され飢餓風の萎縮した脂肪髄で静脈洞と静脈洞を結ぶ内腔狭小な静脈に対して命名したものである。Bergmann¹¹⁾も脂肪髄で同様の所見を認め、一時的な休息状態にある静脈洞と解釈している。又富塚²⁾は静脈洞間の連絡路とし、Jordan¹²⁾は静脈洞と骨髄実質の交通門戸と述べている。橋本^{3)~5)}は家兎の脂肪髄でこれを多く認め赤色髄では少ないことから萎縮した静脈洞と考え虚脱静脈洞と命名している。平木^{6)~7)}も虚脱性静脈洞と考え単に静脈洞間に残存するものとして特殊な意義はないと述べている。私の所見では純粹に静脈洞間のみを連絡する毛細管はなく、あたかもその様にみえる場所でも、その毛細管には必ず動脈性毛細管が連絡しており、それ以外に静脈洞間を結ぶ毛細管は全くみとめられなかった。この点に関しては樹脂注入によって、あるいは虚脱した静脈洞が広げられているか、又はこれまでの諸氏の所見にみる intrasinusoidal capillaries は私のみた動脈性毛細管の一部であったという可能性もある。いずれにしても赤色髄には純粹に静脈洞間のみを結ぶ毛細管は存在していないといえる。又 Bruyn²⁹⁾らは切片標本で静脈洞が所々脂肪細胞によって圧迫され、細くなっている所があると述で

よって圧迫され、細くなっている所があると述べているが、私の樹脂標本では静脈洞の管腔にいくらかの差はみられるが、周囲から脂肪細胞によって圧迫されたと思われる所見は観察されなかった。

V 結 語

鑄型走査電顕法により骨髄血管の静脈系の立体構築を動脈系と同様明瞭かつ詳細に観察することができ、以下の結果を得た。

- 1) 主栄養静脈の主幹静脈洞。栄養孔から骨髄に達した静脈幹は上下に2分する。上行枝は近位骨端に到達し、下行枝は骨髄の中央を遠位端へ向かって進み、骨端近くで3~4に分岐する。又全長のほぼ中央で1本の枝を分岐するものもある。
- 2) 静脈洞。静脈洞は骨髄全体に連続的、立体的に広がる立体網状構造物で、骨髄の表層ではむしろ密で、中心部では主幹静脈洞を中心に広がる放射状で、網目も主幹静脈洞の方向へやや細長かつ粗になっている。
- 3) 集合静脈洞。集合静脈洞が主幹静脈洞へ注ぐ形態は様々で、栄養孔の近くでは主幹静脈洞に直角に注ぎ、骨端に近づくとつれて徐々に傾斜を示し、より遠位では骨髄の長軸にほぼ平行に走っている。
- 4) 動脈性毛細管と静脈洞の連絡。静脈洞への動脈性毛細管の連絡形態は様々で、ゆるやかに内腔を拡げるロート状から、静脈洞壁に直角に突如注いでいるものもある。ただ骨膜から Havers 管を経て静脈洞に至るものはかなり急激に内腔を広げるロート状のものが多い。
- 5) intrasinusoidal capillaries. Doan^{9)~10)}の述べた intrasinusoidal capillaries については私の所見からは全くみられず、静脈洞相互に連絡した如くみえる毛細管はすべて動脈性毛細管である。

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

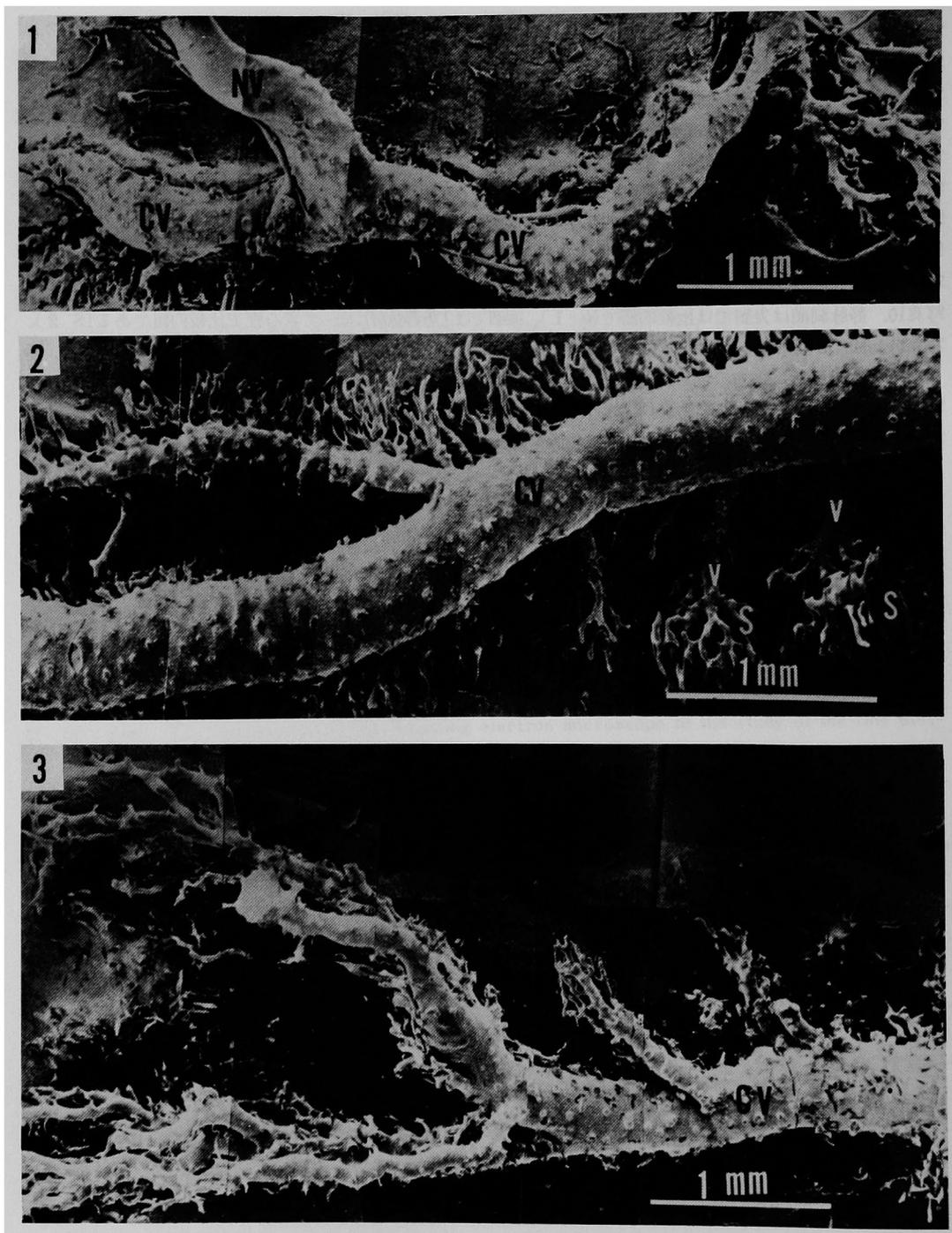
- 1) 岩男督：四肢大管状骨骨髄の血管装置に就て，東京医学会雑誌，40：775～792，1926.
- 2) 富塚ハナ一：骨髄組織殊に其の洞の生理的並に病的状態に於ける構造に就ての知見補遺，千葉医学会雑誌，12：518～561，1934.
- 3) 橋本美智雄：家兎骨髄血管並に下腿骨の発生に就て，九大医報，14：137～143，1940.
- 4) 橋本美智雄：骨髄の発生並に再生に関する研究，日本病理学会誌，27：204～208，1937.
- 5) 橋本美智雄：家兎骨髄の毛細管系統に就て，福岡医科大学雑誌，29：2450～2467，1936.
- 6) 平木潔：血管構造を中心とする骨髄，血液討議会報告，上：78～113，1953.
- 7) 平木潔：骨髄の血管構造，日本血液学全書，第1巻：711～738，1963.
- 8) 大藤真：骨髄血管構造の研究(1)・血管幹系統の研究(マウス，家兎)，日新医学，40：14～19，1953.
- 9) Doan, C. A.: The circulation of the bonemarrow. Carnegie Inst. Wash. contrib. Embryol, 14: 27～48, 1922.
- 10) 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.
- 11) Bargmann, W.,: Über den Feinbau der Knochenmarkskapillaren. Z. f. Zellforsch. u, mikr. Anatomie, 11: 1～22, 1930.
- 12) 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.
- 13) 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 guineapig marrow in response to intravenous, T. A. B. vaccine. Ann New York Acad Sci. 113: 790～799, 1964.
- 14) Brinckerhoff, W. R. and Tyzzer, E. E.,: On amphophile leucocytogenesis in the rabbit. J. of Med. Res., 3: 449～495, 1902
- 15) Ackerman, G. A. and Hostetler, J. R.,: Refinements in histologic techniques as applied to hemopoietic tissue. Lab. Invest., 18: 387～390, 1968.
- 16) 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.
- 17) Yoffey, J. M.,: Structural peculiarities of the blood vessels of the bone marrow. Bibl. anat., 7: 298～303, 1965.
- 18) Branemark, P. I.,: Vital microscopy of the bone marrow in rabbit. Scand. J. Clin. Lab. Invest. 11. Suppl. 38: 1～82, 1959.
- 19) 大枝亘：骨髄血管の発生学的研究，第2編・大腿骨骨髄血管(其の二)家兎新生児並びに幼若家兎，岡山医学会雑誌，66：563～602，1954.
- 20) 中沢彪：人胎児骨髄血管構造の研究，第1編・椎骨骨髄血管(其の1)胸椎に就て，岡山医学会雑誌，70：2033～2065，1958.
- 21) 村田精三：人胎児長管骨に於ける骨髄血管構造並びに軟骨管に関する研究，第1編・大腿骨の骨髄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.
- 22) 城本鉄蔵：人胎児扁平骨骨髄の血管構造に関する研究，第1編・肩甲骨，岡山医学会雑誌，70：637～648，1958.
- 23) 三智四郎：骨髄に関する実験的研究，第1編・骨髄血管構造の研究補遺，岡山医学会雑誌，66：1037～1047，1954.
- 24) Weiss, L.,: The structure of bone marrow. Functional interrelationships of vascular and hematopoietic compartments in experimental hemolytic anemia. J. Morph., 117: 467～538, 1965.

- 25) Yoffey, J. M.,: The blood vessels of bone marrow. spring field. Bone marrow in hypoxia and rebound, : Thomas books, 13~34, 1972.
- 26) 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.
- 27) Trubowitz, S. and Masek, B.,: The structural organization of the human marrow matrix in thin sections. Am. J. Clin. Pathol., 53 : 908~913, 1970.
- 28) Chamberlain, J. K., Weiss, L. and Weed, R. L.,: Bone marrow sinus cell packing: A determined of cell release. Blood, 46 : 91~102, 1975.
- 29) 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
- 30) 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.
- 31) 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.
- 32) Yamamoto, T. and Sato, S.,: Electron microscope studies on the vessel wall and the leucocyte emigration. Arch. Histol. Jap., 27 : 297~311, 1966.
- 33) Zamboni, L. and Pease, D. C.,: The vascular bed of red bone marrow. J. Ultrastr. Res., 5 : 65~85, 1961.
- 34) Pease, D. C.,: Electron microscopic study of red bone marrow. Blood, 11 : 501~526, 1956.
- 35) 河村節子, 吉田豊: 骨髓組織(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.
- 36) 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.
- 37) 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.
- 38) Murakami, T.,: Vascular arrangement of the rat renal glomerulus. A scanning electron microscope study of corrosion casts. Arch. Histol. Jap., 34 : 87~104, 1972.
- 39) Murakami, T.,: Vascular arrangement of the dog hypophysis. A scanning electron microscope study of corrosion casts. Acta Anat. Nippon, 48 : 29, 1973.
- 40) 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.
- 41) Anseroff, N. J.: Die Arterien der langen Knochen des Menschen. Zeitschr. f. Anat. u. Entw., 103 : 793~812, 1934.
- 42) Rindfleisch, G. E.: Über Knochenmark und Blutbildung. Arch. f. Mikroskop. Anat., 17 : 1~11, 1880.
- 43) 片山茂樹: 各種動物長管骨骨髓の血管構造, 第1編・家兔を主とする哺乳類の長管骨骨髓主幹血管に就いて, 岡山医学会雑誌, 66 : 727~750, 1954.
- 44) Hoyer,: Ein Beitrag zur Histologie bindegewebiger Gebilde. Arch. f. Anat. u. Physiol. u. Wisch. Med., 4 : 204~245, 1865.
- 45) Langer, K.: Über das Gefässsystem der Röhrenknochen. Denkschr. ksl. Akad. Wiss. Wien, Math.-naturwiss. Kl. 36 : 1~47, 1876.

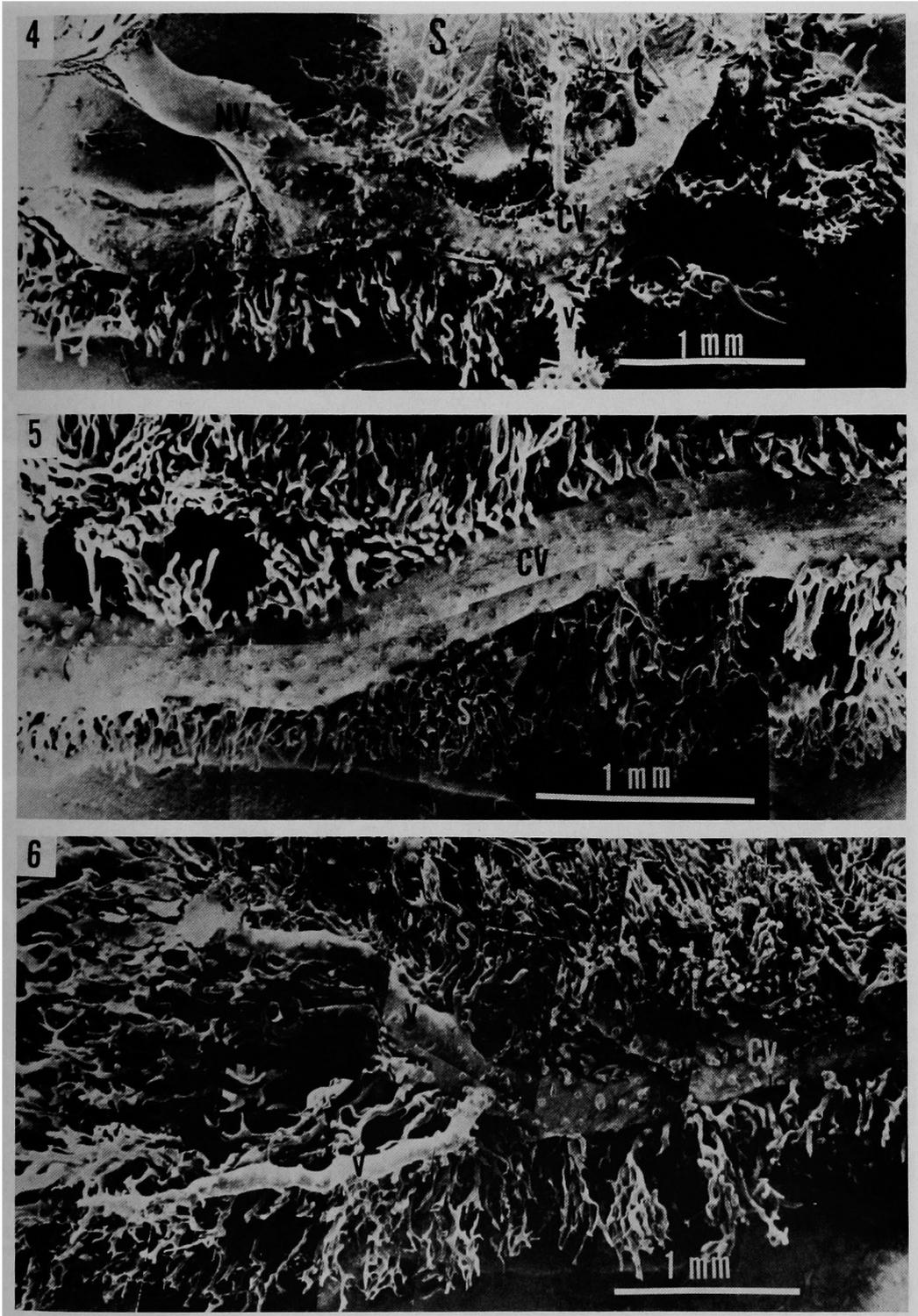
図 説 明

- 写真1. 主栄養静脈(NV)は骨髄のほぼ中央で上行性と下行性の主幹静脈洞(CV)となる。
- 写真2. 主幹静脈洞(CV)は骨髄の約1/2の所で比較的細い分枝を出している。集合静脈洞(v), 静脈洞(S)。
- 写真3. 主幹静脈洞(CV)は骨端近くで3~4に分岐して骨端へ向う。
- 写真4. 主幹静脈洞(CV)へは多数の静脈洞(S)と集合静脈洞(v)が流入している。主栄養静脈(NV)。
- 写真5. 骨の中央部では静脈洞, 集合静脈洞はほぼ直角に主幹静脈洞(CV)へ流入する。
- 写真6. 骨端に近づくにつれて静脈洞, 集合静脈洞は骨長軸の方向へ傾斜して主幹静脈洞(CV)へ流入する。
- 写真7. 主幹静脈洞の分枝にも多数の静脈洞(S)が流入する。
- 写真8. 主幹静脈洞(CV)は骨髄の中央を, 平行動脈枝(A)よりも少い弯曲で骨端へ向っている。
- 写真9. 静脈洞(S)は比較的密な立体的網目を形成して骨髄内に拡っている。動脈性毛細管(c)。
- 写真10. 静脈洞網は表層では比較的密で(S 1), 深層では主幹静脈洞に向って求心性で比較的粗である(S 2)。
- 写真11. 12. かなり広い範囲から集まった幹状の集合静脈洞(V)が主幹静脈洞(CV)に注ぐ。主幹動脈(A), 静脈洞(S)。
- 写真13. 比較的広い範囲の静脈洞(S)から幹状の集合静脈洞(v)に集まり, 主幹静脈洞(CV)へ注ぐ。
- 写真14. 比較的広い範囲から扇状に集って主幹静脈洞(CV)へ注ぐ集合静脈洞(v)と直接主幹静脈洞(CV)へ注ぐ静脈洞(S)。
- 写真15. 末梢のかなり密な静脈洞網(S)は集合静脈洞(v)に流入し, 主幹静脈洞(CV)へ注ぐ。
- 写真16. 弱拡大で観察すると主幹静脈洞(CV)へは全周から集合静脈洞(v)が注いでいる。
- 写真17. 静脈洞(S)へ注ぐ動脈性毛細管(c)は骨髄の表層で分岐しつつ種々の方向に向い静脈洞へ連絡している。
- 写真18. 動脈性毛細管(a)はある場所では静脈洞(S)壁に直角に注ぎ, 又内腔を徐々に拡大しロート状に注ぐ。

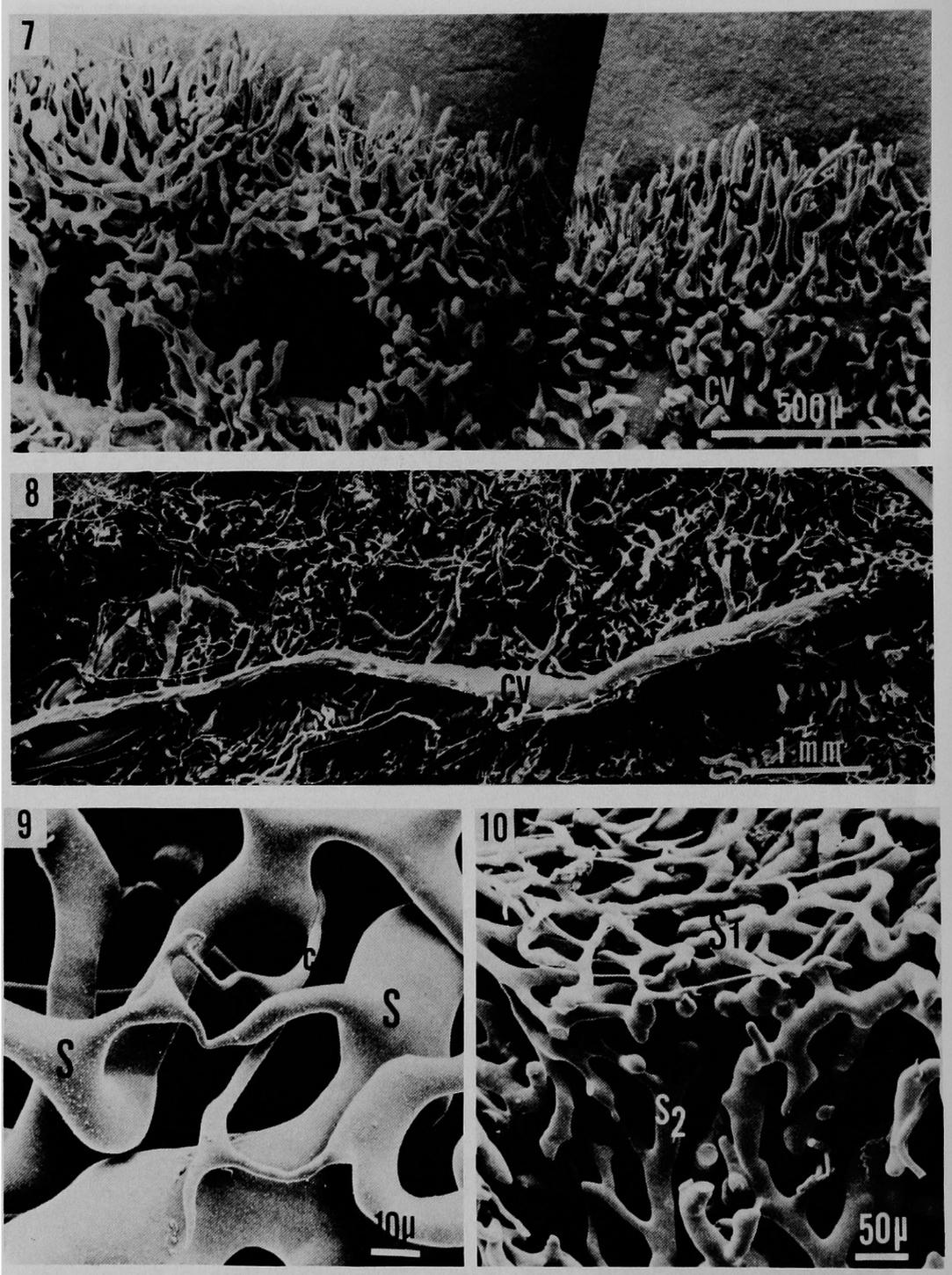
小野哲也論文附圖



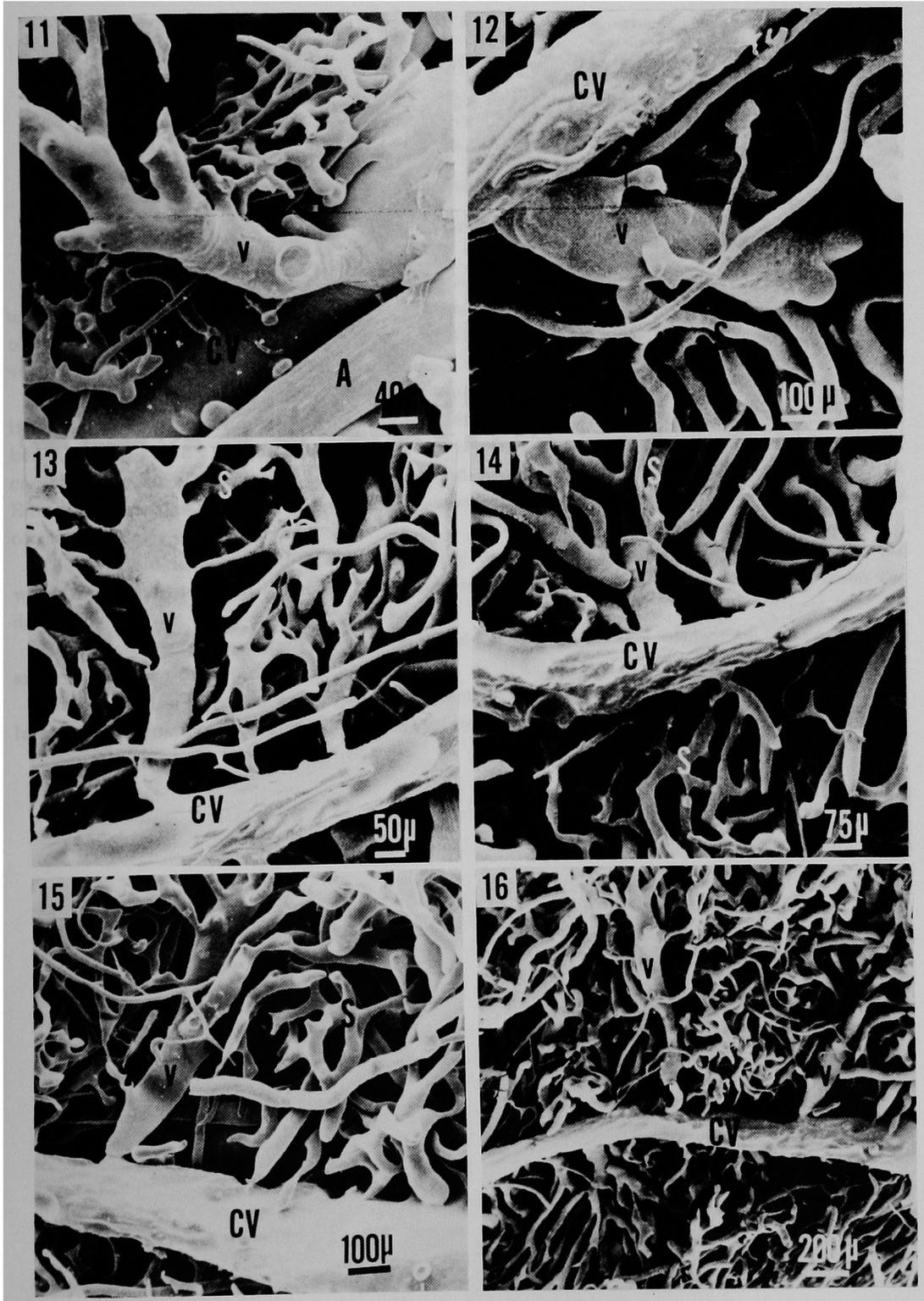
小野哲也論文附図



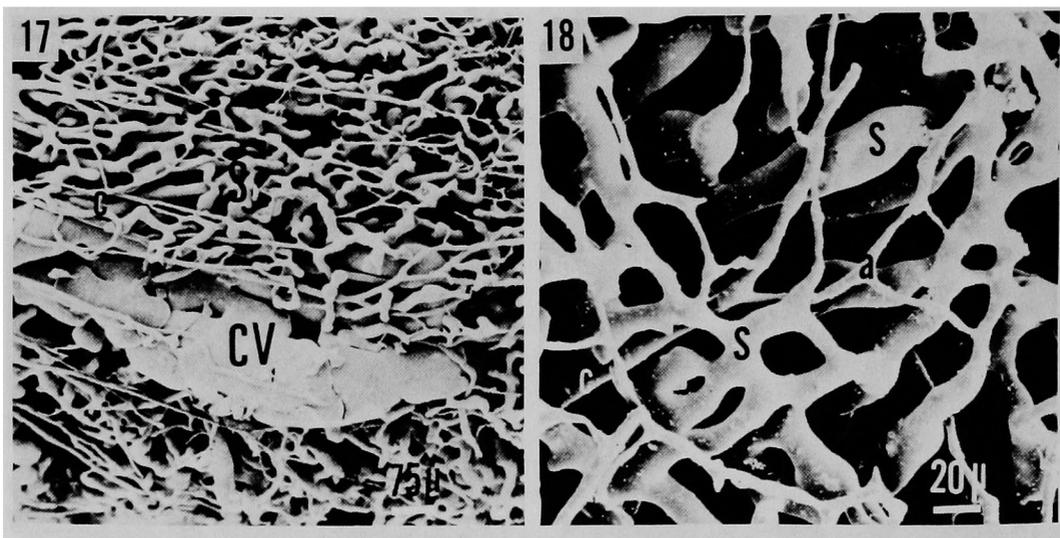
小野哲也論文附圖



小野哲也論文附図



小野哲也論文附圖



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

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

Tetsuya ONO

The Second Department of Internal Medicine, Okayama University Medical School

(Director : Prof. I. Kimura)

In Part I, the author reported that the injection replica scanning electron microscope method using methylmethacrylate was a highly effective means for elucidating the microvascular architecture of the bone marrow and presented his findings on the arterial system. A report on the venous system is provided in Part 2.

The nutrient vein runs parallel above the nutrient artery. After it enters the bone marrow, it bifurcates into ascending and descending central veins. The ascending branch curves and bends gently to the proximal end of the femur while the descending branch also bends and curves gently to a point close to the distal end where it divides further into 3 to 4 branches. Enroute, numerous sinusoids and collecting sinusoids flow into central vein. Collecting sinusoids of various shapes were observed.

The sinusoid is composed of a stereoscopic net-like architecture which extends over the whole bone marrow with the mesh being fine on the superficial zone and rather coarse on the deep zone.

No intrasinusoidal capillaries could be observed. All capillaries connected to the sinusoid are considered to be arteries.

Thus, with the injection replica scanning electron microscope method using methylmethacrylate, it is also possible to clarify the venous system of the bone marrow.