

# 霊長類の足の動脈系の研究

—霊長類下肢における動脈造影写真の  
立体的解析：伏在動脈—

川崎医科大学 解剖学教室

三宅 信一郎

(昭和60年2月4日受付)

## Three Dimensional Analysis of Arteriographs of the Lower Limb of Primates

: Saphenous artery

Shinichiro Miyake

Department of Anatomy, Kawasaki Medical School

(Accepted on February 4, 1985)

霊長類6科12属の下肢の動脈造影を行い、立体的解析により足部を供給する伏在動脈の走行について系統発生的観点より霊長類の分類と比較検討した。

霊長類の下腿の動脈系に伏在動脈と膝窩動脈の発達間に相関関係が認められ、伏在動脈の存在により、膝窩動脈に由来する前脛骨動脈、後脛骨動脈はそれぞれ発達が悪く伏在動脈は足背、足底、または両者を供給する。この伏在動脈の形態を5種のタイプに分類し比較した。

**Type 1:** 伏在動脈は大腿動脈より分枝し、主に足底部に分布する。(ボト、スローロリス、スレンダーロリス、オオギャラゴ)

**Type 2:** 伏在動脈は足背、足底両者に分布し伏在動脈はさらに2枝に分枝する。(コモンマーモセット、ゲルディモンキー、ドグエラヒヒ、ウーリーモンキー、パーバリーエイブ)

**Type 3:** 伏在動脈は足背部のみに分布し、2枝に分枝する。(ニホンザル)

**Type 4:** 伏在動脈は足背部のみに分布し、分枝せず第一中足骨間へ続く。(チンパンジー)

**Type 5:** 伏在動脈は発達が悪く、下腿上部の皮膚に分布する。(ヒト)

In this phylogenetic study, comparative anatomical observations of the arterial patterns of the leg and foot of 12 species of primates revealed that the development of the anterior and posterior tibial arteries almost parallel that of the saphenous artery in the dorsal, plantar, or both sides.

These arterial patterns can be grouped into five types: Type 1: The

saphenous artery mainly supplies the plantar side of the foot, as in the Potto, Slow loris and Grand galago. Type 2: The saphenous artery supplies both the dorsal and plantar side. The dorsal branch of the saphenous artery divides into two branches. The common marmoset, Goeldi's monkey, Dogera baboon, Woolly monkey and Barbary ape are included in this group. Type 3: The saphenous artery supplies only the dorsal side and divides into two branches. The Japanese monkey has this type. Type 4: The saphenous artery supplies only the dorsal side and does not branch, as in the chimpanzee. Type 5: The saphenous artery usually supplies the skin in the upper medial part of the leg. Man has this type.

Key Words ① Angiography ② Saphenous artery ③ Lower extremity

## 緒 言

霊長類における動脈系の研究は緒家 (Bang, 1936<sup>1)</sup>; 原田, 1965<sup>2)</sup>; Koch, 1938<sup>3)</sup>; Tanaka, 1961<sup>4)</sup>; 宇川, 1983<sup>5),6)</sup>の報告により古くから注目されている。霊長類全体の研究は Manner Smith (1912)<sup>7)</sup>により四肢の動脈の比較検討が行われ, その根本となる動脈形態の系統発生学的研究が報告された。しかし, その多くは肉眼解剖によるため, 細動脈の解析や全体像の把握は困難であり観察結果においては不明瞭な点が多く残されている。

今回, 特に霊長類の下肢の動脈系を池田 (池田, 1982)<sup>8)</sup>の解剖体の固定処置法を利用し動脈造影写真の立体的解析を試み, 比較解剖学的視点に立って検討した。この動脈造影写真による立体的解析は 60 micron までの細動脈の解析が可能である。

解析にあたり, 足部を供給する伏在動脈の走行について, 霊長類の分類と比較考察し, 系統発生学的観点に立って検討する事ができたので報告する。

## 材 料

今回の解析には日本モンキーセンター, 京都大学霊長類研究所の協力により 6科12属のサルを使用した (表1)。使用したサルはすべて日本モ

ンキーセンターで死亡したものを病理解剖後冷凍保存していたものを解凍後血管内洗浄固定した。

## 方 法

### (1) 血管内洗浄および固定法

解凍したサルの大腿動脈にカットダウンチューブを挿入し, 血管内洗浄の為に固定前液を注入し, 血液を排出した。固定前液 (血管内洗浄液) は, 水 1000 ml に対して, pH-A solution 20 ml, Cell conditioner 80 ml, heparin 10,000 IU の組成のものを使用した。pH-A solution, Cell conditioner (Campion社製: U. S. A.) には血管内凝血溶解, 組織潤軟化, 毛細血管拡張作用等を有している。

血管内洗浄後, 固定液 (水 1000 ml に対して, 95% ethylalcohol 950 ml, diethylen glycol 340ml, phenol 160ml, 35% formalin 160ml) を, 20-50 ml/kg 相当を約1週間かけて注入し, 十分な固定を行った。

Table 1. MATERIALS

Lorisiidae	Potto, Slow loris, Slender loris, Gland galago
Cebidae	Woolly monkey
Callithricidae	Goeldi's monkey, Common marmoset
Cercopithicidae	Japanese monkey, Barbary ape, Doguera baboon
Pongidae	Chimpanzee
Hominidae	Man

A dead materials of Primates, which obtained from Japan Monkey Center, were used to study.

## (2) 動脈造影法

大腿動脈より注射筒を用い手圧にて造影剤を注入した。造影剤として、消化管造影用バリウム（商品名：パリトゲンゾル）100-130%のものを使用した。

立体撮影法は、X線装置から被写体までの距離を80cmとし、被写体の中心より左右に3cmずつ平行移動して撮影した（Fig. 1）。撮影に

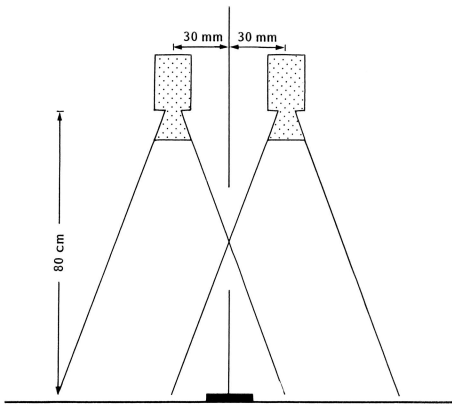


Fig. 1. —Radiography—

Stereoscopic angiographs were made under exposure conditions of 80 kV, 20 mA, 1.2 mm focus diameter, 4-12 second with Kodac X-Omat TL film, at an 80 cm focal-spot-to-film distance. The focal spot position was shifted by 30 mm to produce a stereoscopic pair of radiographs.

は東芝 TR-80 X線装置を使用し、フィルムは材料の大きさに応じてコダック X-Omat TL フィルム、富士ソフテックスフィルム FG を使用した。撮影した動脈造影写真は立体鏡（日本光学社製実体鏡 II）を用いて観察解析した。

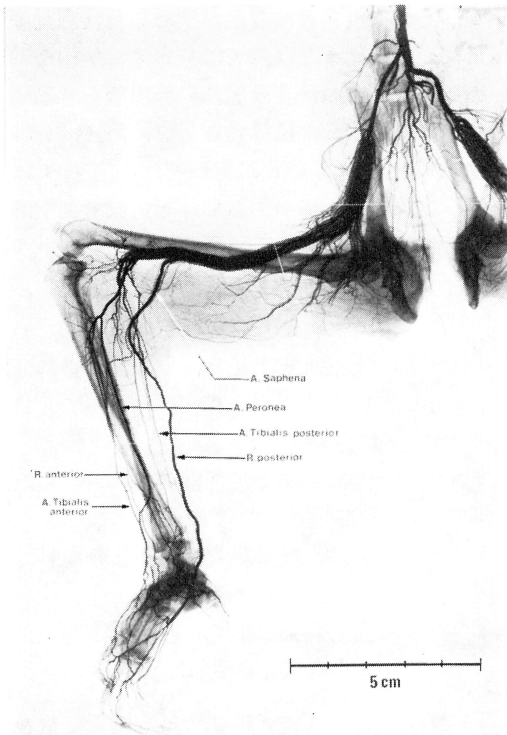
## 観 察 結 果

霊長類の下腿において動脈系を比較すると一般にヒトでは発達が悪く、下降膝動脈由来の細枝（伏在枝）として下腿の上内側部の皮膚に分布している。しかし、他の霊長類では伏在動脈の存在により、足部において主幹をなし膝窩動脈に由来する前脛骨動脈、後脛骨動脈は種類に

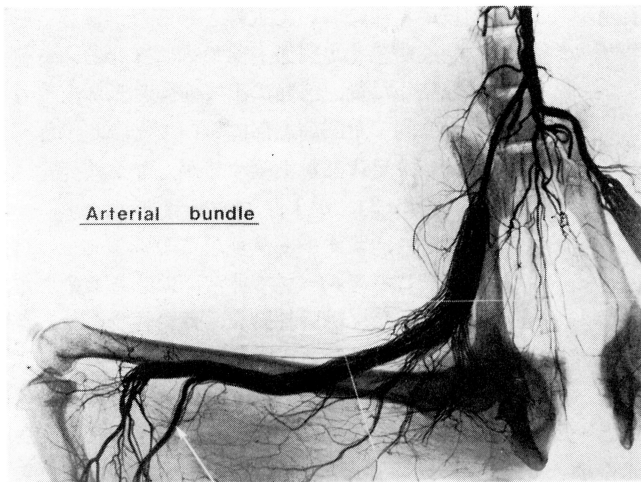
より、それぞれ発育に変化が認められ伏在動脈が足背、足底、または両者に分布する傾向がみとめられた。この伏在動脈の動脈形態を各属により足部における供給動脈を足背、足底に分け5種の Type に分類し、それぞれの Type に属する霊長類と足部の動脈形態を比較解剖学的に検討した。

- Type 1: 伏在動脈は大腿動脈より分枝し、足底部を主に分布する。
- Type 2: 伏在動脈は足背、足底、両者に分布し伏在動脈背側枝はさらに2枝に分枝する。
- Type 3: 伏在動脈は足背部のみに分布し、伏在動脈は2枝に分枝する。
- Type 4: 伏在動脈は足背部のみに分布し、伏在動脈は分枝しない。
- Type 5: 伏在動脈は発達が悪く、下腿上部の皮膚に分布する。

Type 1: この Type に属するものでは伏在動脈は大腿動脈より分枝し下腿後部の皮下を下降し、下腿上部においては伏在動脈は2枝に分枝するが背側枝は発達が悪い。一方、伏在動脈底側枝は非常によく発達しており、下腿後面の皮下を下降し足底部を供給する。そして、この底側枝が足部において主幹となる為、後脛骨動脈は発達が悪く足関節上部で網に終わる。背側枝は分枝した後、前面に出て前脛骨動脈と腓骨動脈との間で足関節上部において吻合し動脈弓を形成し、足背部を供給するが、非常に発達は悪い（Fig. 2）。ポト、スローロリス、スレンダーロリス、オオギョラゴがこのグループに含まれる。このグループで非常に興味ある動脈形態を観察した。総腸骨動脈、外腸骨動脈など部位は少しずつ異なるが大動脈が50数本の細動脈に分枝し動脈管束（Arterial Bundle）の形状を呈している。大腿動脈より分枝する伏在動脈もこの動脈管束の形で分枝する（Fig. 3）。この動脈管束を横断すると太い2-3本の動脈と多数の血管壁の薄い細動脈にて構成されている。Manner Smith<sup>7)</sup>は動脈管束について fine pencils of vessels と記載しているが詳



**Fig. 2.** Type 1: The saphenous artery arises directly from the femoral artery and supplies mainly the plantar side of the foot. (Potto, Slow loris, Slender loris, Grand galago)



**Fig. 3.** The small branch arises at the middle of the leg and anastomose with the anterior tibial artery which continues to the popliteal artery, and the femoral artery and then subdivides into fine pencils of vessels. (Arterial bundle)

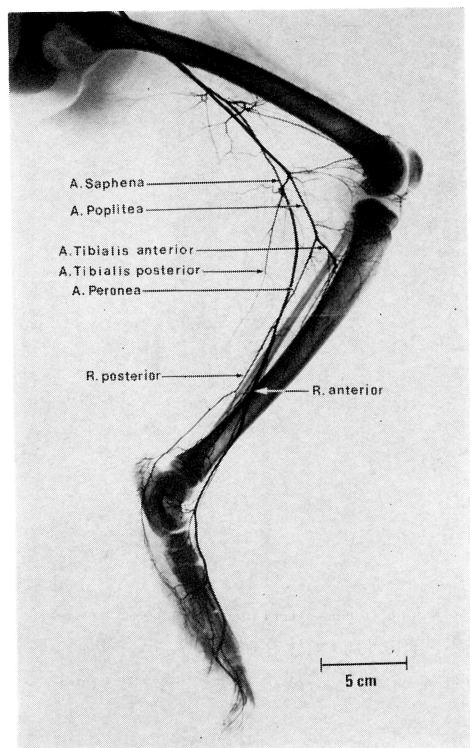
細な構造、走行については不明であった。

Type 2: この Type に属するものでは伏在動脈は大腿動脈より分枝し下腿上部において2枝に分枝する。背側枝は下腿において前面に出て足背部を供給し、底側枝はそのまま下腿後面の皮下を下降し足底部を供給する。また、伏在動脈は膝窩動脈より太い傾向が認められ、膝窩動脈に由来する前脛骨動脈、後脛骨動脈は発達が悪い。さらに伏在動脈背側枝が底側枝より太い傾向があり、背側枝は足関節上部において深足背動脈、浅足背動脈に分枝する。このグループにはコモンマーモセット、ゲルディモンキー、ドグエラヒヒ、ウーリーモンキー、バーバリーエイブが属する (Fig. 4)。

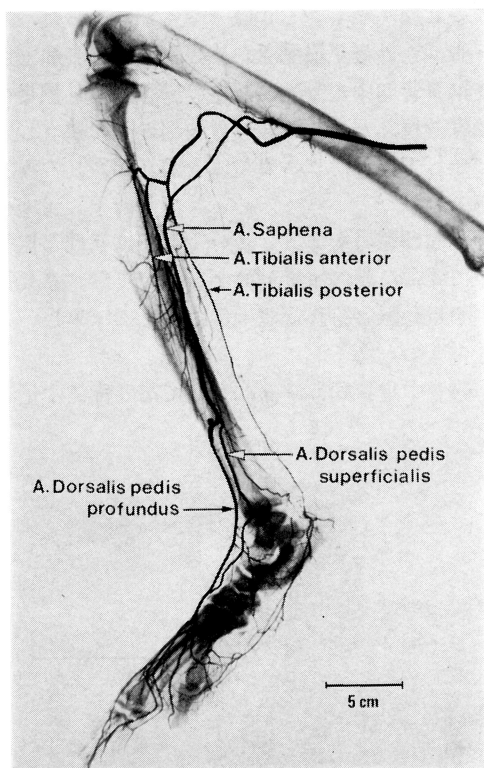
Type 3: この Type では伏在動脈は大腿動脈より分枝した後、下腿上部で分枝せず下腿前面の皮下を下降し足背部のみを供給する。また、下腿下部において伏在動脈は深足背動脈、浅足背動脈に分かれ、深足背動脈は前脛骨筋の下を通り足背部に達し第II背側中足動脈となり、足部において主幹となる。したがって、このグループでも膝窩動脈に由来する前脛骨動脈の発達は悪いが、足底部は伏在動脈底側枝が存在しないので膝窩動脈由来の後脛骨動脈が足底部に達し供給する。ニホンザルがこのグループに属する (Fig. 5)。

Type 4: この Type では Type 3と同様に伏在動脈は大腿動脈より分枝した後、下腿前面の皮下を下降し足背部のみを供給するが、下腿下部において深、浅足背動脈には分枝せず第I中足骨間へ続き第I背側中側動脈となる。膝窩動脈はよく発達し、伏在動脈とはほぼ同じ太さを有している。前脛骨動脈は下腿域に止まるが、後脛骨動脈はよく発達して足底部に分布する。チンパンジーがこのグループに属する (Fig. 6)。

Type 5: この Type では伏在動脈は一般には発生するが胎生期



**Fig. 4.** Type 2: The saphenous artery supplies both dorsal and plantar side. The dorsal branch of the saphenous artery divides into two branches. One of them continues to the deep dorsalis pedis artery and the other branch is the superficial dorsalis pedis artery. (Common marmoset, Goeldi's monkey, Doguera baboon, Woolly monkey, Barbary ape)



**Fig. 5.** Type 3: The saphenous artery supplies only the dorsal side of the foot, and divides into two branches. (Japanese monkey)

に退化し、膝窩動脈由来の前脛骨動脈、後脛骨動脈が発達して足部に血液を供給する。一般に伏在動脈は下降膝動脈の細枝として内転筋管の腱膜性被膜を貫き、伏在神経に沿って膝の内側に至り下腿の内側部の皮膚に分布する。しかし、伏在動脈はいろいろな発達程度で存在することが報告されている。この場合、この動脈は太くよく発達して大腿筋膜を貫き下腿下部まれに足の皮膚、皮下組織に分布する (Aasar, 1938;<sup>9)</sup> Adachi, 1928;<sup>10)</sup> Hollinshead, 1969;<sup>11)</sup> Popwsky, 1893;<sup>12)</sup> Nishi, 1945;<sup>13)</sup> ヒトがこのグループに含まれる (Fig. 7)。

#### 足部の動脈形態

次に伏在動脈、膝窩動脈により供給される足部の動脈形態を原猿類のポトと真猿類のニホンザルを浅足底動脈弓、深足底動脈弓、足背動脈弓の三本の動脈弓について比較した。

##### (1) ニホンザル

第II背側中足動脈は深足背動脈がそのまま太く主幹をなして続く (Fig. 8)。第III背側中足動脈、第IV背側中足動脈は深足背動脈と外側足根動脈の両者より供給されるが、これらには三つの型<sup>4)</sup>が観察された。

I型 深足背動脈から足根部において外側足根動脈を出し、さらに第IV背側中足動脈となる。今回、著者が観察した18肢では5肢 (27%)であった。

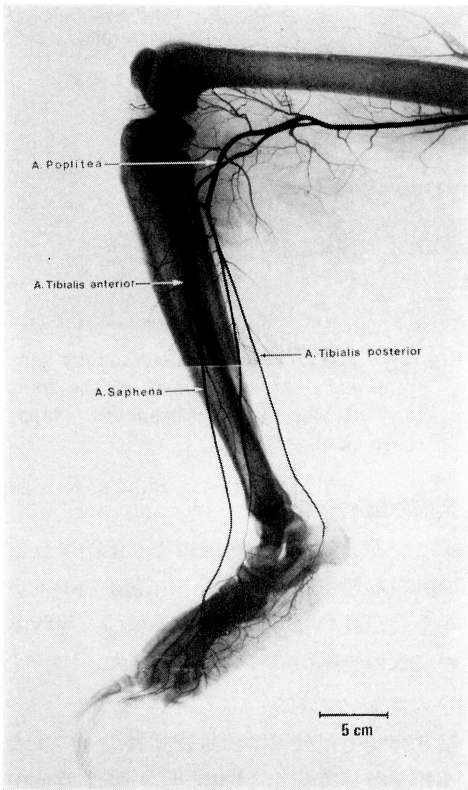
II型 外側足根動脈と深足背動脈の両者より分枝し背側動脈弓を形成する。今回の観察では

このⅡ型が最も多く10肢(57%)であった。

Ⅲ型 外側足根動脈が第Ⅳ背側中足動脈となり第Ⅲ背側中足動脈は深足背動脈から外側足根動脈分枝部と近位穿通枝分枝部の間で独立して分枝している。このⅢ型は3肢(16%)のみであった。

背側動脈弓を形成しないⅠ型ではⅡ型と比較して非常に外側足根動脈が発達しており第Ⅱ背側中足動脈と第Ⅳ背側中足動脈とほぼ等しい太さのものもある。

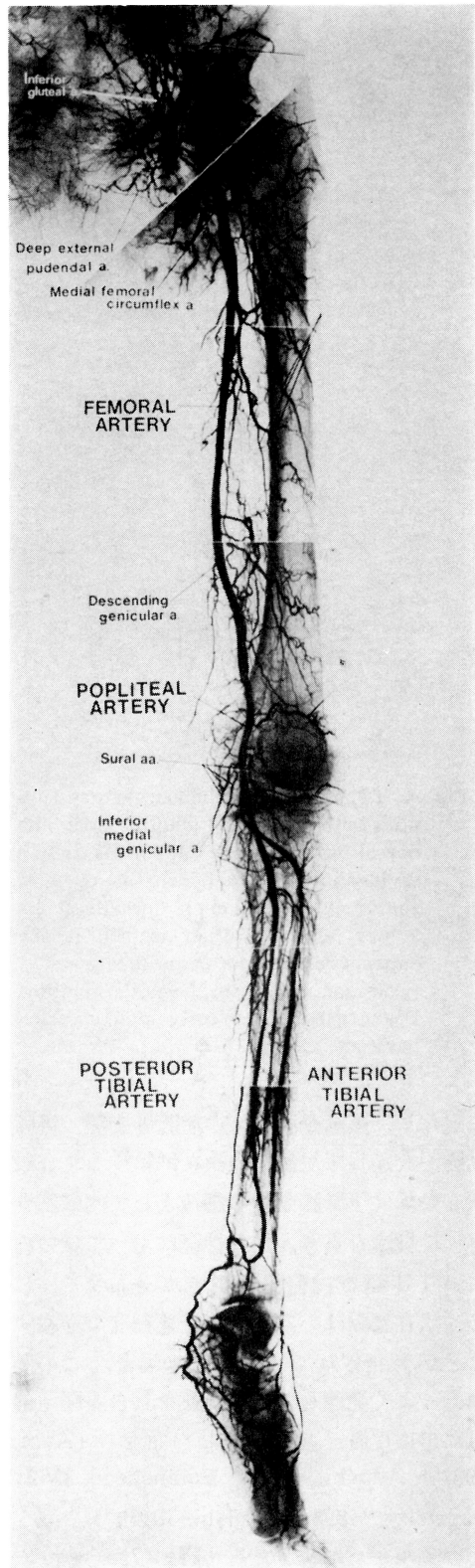
第Ⅱ中足骨間近位部において第Ⅱ背側中足動



**Fig. 6.** Type 4: The saphenous artery supplies only the dorsal side of the foot, and without dividing the dorsalis pedis artery descends into the 1st. intermetatarsal space, and is the main artery of the foot.

(Chimpanzee)

**Fig. 7.** Type 5: The saphenous artery usually supplies the skin in the upper medial part of the leg. (Man)



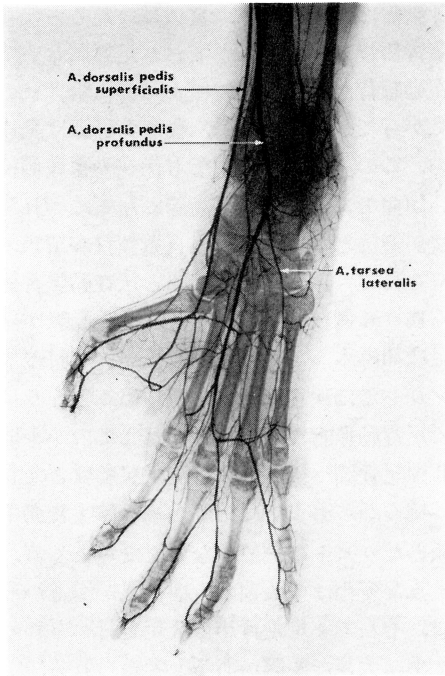


Fig. 8. Arterial pattern of the foot of *Macaca fuscata*.

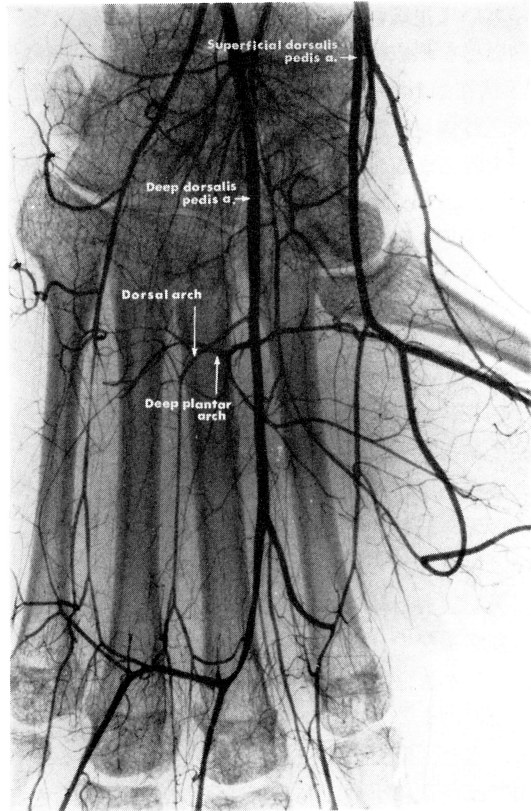


Fig. 9. Arterial pattern of the foot of *Macaca fuscata*. (Close-up)

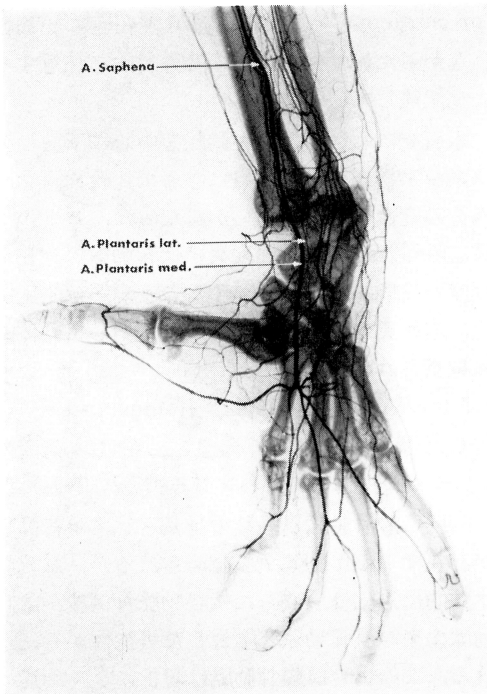


Fig. 10. Arterial pattern of the foot of *Slow loris*.

脈から足底に向かって近位穿通枝を出し深足底動脈弓を形成する。この動脈弓より深足底側中足動脈を出し後脛骨動脈に由来する外側足底動脈と吻合する。

足底部では後脛骨動脈は踵骨の内側を通り母指内転筋の背側部で内、外側足底動脈に分枝する。内側足底動脈は第 I—IV 浅足底中足動脈を出しながら外側足底動脈と吻合し浅足底動脈弓を形成する (Fig. 9)。

(2) ポット

足部において伏在動脈由来の内側足底動脈が主幹をなす。足背部において膝窩動脈に由来する前脛骨動脈と伏在動脈背側枝と吻合した動脈弓より背側中足動脈を出す。非常に発達が悪い。

第 II 背側中足動脈は第 II, 第 III 中足骨近位部

において足底部に向かって穿通枝を出し深足底動脈弓を形成するが発達が悪い。足底部では太い伏在動脈底側枝が足底部に入り内側足底動脈、外側足底動脈に分枝するが、内側足底動脈が主幹となる。足底部の第Ⅱ中足骨中央部において総指動脈を出し外側足底動脈との間に発達した浅足底動脈弓を形成する (Fig. 10)。

## 考 察

霊長類の伏在動脈の観察は Manner Smith (1912) や他の研究者により各属の霊長類について報告されている。ヒトで観察される動脈系の破格の原型が霊長類において保存され、または再現された状態で観察される事が系統発生的に報告されている。<sup>9),10)</sup> このようにヒトの動脈系を観察し種々の変異を理解する上で霊長類の動脈系を十分に把握する事は非常に重要である。しかし、これまでの報告では詳細は肉眼剖出などによるもので不明な点が多く残されている。また、解析の原点となる原猿類に属するものでは非常に小型な為に特に不明瞭な点が残されていた。今回の方法では直径 60 micron までの細血管が立体的に解析できた為に小型の物の不明瞭な点も明らかになった。

伏在動脈は哺乳動物の動脈系で最も変化に富む下肢の皮動脈で、他の動脈と異なり、皮下を走り、筋枝もほとんど出さず、主として足関節より遠位を供給する。<sup>14)</sup> 霊長類においてもこの伏在動脈はよく発達しており、この動脈が足背にのびるか、足底にのびるか、またその両者にのびるかによって、膝窩動脈に由来する前脛骨動脈と後脛骨動脈に変化が起こってくる。すなわち、伏在動脈底側枝が発達しているものでは後脛骨動脈の発達は悪く、反対に未発達のものでは後脛骨動脈は発達する。これと同様の事が伏在動脈背側枝と前脛骨動脈の間にも認められる。

今回観察した霊長類を伏在動脈の走行で五つの Type に分類し、下等な原猿類では伏在動脈底側枝が非常によく発達しており足部において主幹をなす動脈となり、伏在動脈背側枝、前

脛骨動脈は発達が悪い。真猿類になると伏在動脈は背側枝が発達してきており足部においては伏在動脈背側枝、底側枝によって供給される。したがって、前脛骨動脈、後脛骨動脈は発達が悪い。このグループの中でも伏在動脈底側枝が太い傾向であったものが高等になるにつれて背側枝が優位となってくる。真猿類狭鼻猿類オナガザル科のニホンザルになると伏在動脈背側枝のみ残り底側枝は存在せず、後脛骨動脈が発達し足底部に入る。さらにオラウータン科のチンパンジーでは伏在動脈は背側枝のみとなり足背部で足背動脈となった後、これまでのサルでは第Ⅱ中足骨間へ続き第Ⅱ背側中足動脈となり末梢へ続くが、第Ⅰ中足骨間へ続き第Ⅰ背側中足動脈となりヒトの一般的な型となってくる。このような変化は霊長類の生活様式が樹上から地上に、そして4足走行から2足走行へと移ってきた事に大きな要因があると考えられる。

ヒトにおいて伏在動脈がいろいろの程度で存続し膝窩動脈とほぼ同じ太さで存在した例が報告されている。Hollinshead は“Anatomy for Surgeons”に伏在動脈が表在性に予知されなかった異常例があるので外科的に注意するように記述している。<sup>11)</sup>

本研究において、伏在動脈を中心に下肢の動脈系を系統発生的観点に立って比較検討を試みその変化の過程が明らかになった。ヒトの下肢にみられる動脈系の変異は伏在動脈の存在が程度の違いはあるが関与することが系統発生的に本研究の結果から下記の例において具体的に推察された。

(1) Aasar, Adachi, Hollinshead が報告した伏在動脈のよく発達した例は本研究の Type 4 に相当しチンパンジーで観察された。

(2) 腓骨動脈貫通枝の延長として足背動脈が存在する例が約 3.7% 認められるが、系統発生的に退化せず残った伏在動脈背側枝が膝窩動脈由来の腓骨動脈と吻合した可能性が考えられる。この場合前脛骨動脈は足根に全く到達せずきわめて細い動脈として存在することは系統発生的に興味深い。



その他、後脛骨動脈の欠損と腓骨動脈の代償性発達、膝窩動脈の高位分岐等が考えられるが、今回の研究によって得た系統発生学的知識を生かしてヒト下肢の動脈系に見られる変異の解析を試みたい。

なお、この研究を進めるにあたり、各動脈、動脈弓の名称は基本的にヒトの名称に準じた。また、動脈管束 (Arterial bundle) は著者が新たに用いた名称である。

本論文の要旨は、昭和59年3月、第28回プリマータス研究会 (京都大学 霊長類研究所)、同年4月、第89

回日本解剖学会総会、同年8月、VIth International Symposium on the Morphological Sciences (Lisboa, Portugal) において発表した。

稿を終えるにあたり、御指導、御校閲を頂いた川崎医科大学解剖学教授 池田章先生に謝意を表するとともに、本研究に御協力頂いた同大学整形外科教授 渡辺良先生、放射線科助教授 梶原康正先生、解剖学教室 吉井致先生、池田一夫技術員に深謝致します。また、材料の提供に関して御協力頂いた関西医科大学解剖学助教授 葉山杉夫先生、日本モンキーセンター栗栖研究所所員各位に深謝致します。

## 文 献

- 1) Bang, B. B.: Observations on limb arteries of the woolly monkey (*lagothrix lagothricha*). *Anat. Record* 66 : 387—395, 1936
- 2) Harada, T.: Arteries of the leg of *Macacus irus*. *Acta. Med. Univ. Kagoshima* 7 : 199—211, 1965
- 3) Koch, K.: Das verhalten der Arterienbogen in der *Vola manus* und *Planta Pedis* bei Affen. *Z. Anat. Entw-gesch.* 110 : 81—97, 1937
- 4) Tanaka, R.: On the Arteres of the Foot in *Macacus cyclopsis*. *Okajima Folia Anat.* 37 : 1—17, 1961
- 5) 宇川明德, 池田 章, 吉井 致, 三島 昇, 池田一夫: 血管造影写真の立体的解析. *解剖誌* 57 : 280, 1982
- 6) 宇川明德: 霊長類の手の動脈系の研究 —ニホンザルの手における 動脈造影写真の立体的解析—. *川崎医学会誌* 9—1 : 1—14, 1983
- 7) Manner Smith, T.: The limb arteres of Primates. *J. Anat. & Physiol.* 46 : 95—172 1912
- 8) 池田 章, 梶原康正: 血管造影写真の立体的解析 —遺体と生体—. *臨床と解剖セミナー* 41, 医学のあゆみ 123 : 529—541, 1982
- 9) Aasar, Y. H.: The saphenous artery. *J. Anat.* 73 : 194, 1938
- 10) Adachi, B.: *Das Arteren System der Japaner*. Bd II, Kyoto Universitaet, Kyoto, 1928
- 11) Hollinshead, W. H.: *Anatomy for surgeons*, Harper & Row, New York, 1969
- 12) Popowsky, J.: *Ueberleibsel der arteria saphena beim Menschen*. *Anat. Anz.* 8 : 580, 1893
- 13) Nishi, S.: *Über die Arterien der Affenfusses*. *Jap. J. of med. sci. Anatomy* 11 : 127—148, 1945
- 14) 内藤順平: 下腿動脈系の比較解剖学的研究. *解剖誌* 48 : 103—117, 1973