犬における気管粘膜下層の微細血管 構築に関する研究

*深井志摩夫, 石原 恒夫
菊池 功次, 根本 悦夫

The Blood Supply and Microcirculation of the Canine Trachea

Shimao Fukai, M.D., Tsuneo Ishihara, M.D., Koji Kikuchi, M.D.
and Estuo Nemoto, M.D.

Department of Surgery, School of Medicine, Keio University, Tokyo

In this study, we examined the canine tracheal blood circulation using a method of microvascular "Casting" by silicone rubber which permits filling of selected regions of vascular tree, including the capillaries, under controlled physiological conditions. In the dog, small paired arterial branches arise from the longitudinal posterior anastomosis along the lateral wall, and take a circumferential path forward to the right and to the left between the cartilaginous rings. These transverse intercartilaginous arteries in turn give rise to a continuous submucosal capillary plexus. Although the vascularization pattern of this capillary plexus is diffuse and present throughout the entire endotracheal submucosa, there are two characteristic regions; the microvessels in the zone directly beneath the tracheal cartilages and those in the intercartilaginous portion.

Key words: 気管, 微小循環, 血液供給

はじめに

犬の気管を用いた気管再建手術に関する実験の歴史は古く, 1881 年に行われた Gluck & Zeller¹⁾ の実験以来約一世紀にわたり数多くの研究がなされている。しかし気管の血行支配や気管壁の血流状態など, 気管の血管に関連した研究はあまりなされておらず, 気管の血液循環に関してはいまだに解明されない点も少なくない。

今回われわれは, シリコンラバーを使用して血管の鋳型を作製し, 正常犬の気管における血管分布と気管粘膜下層の微細血管構築について検討したので報告する。

方 法

実験には体重 10~20 kg の雑種成犬10頭を使

用した。麻酔はケタラルール 15 mg/kg 筋注とネンブタール 10 mg/kg 静注の併用で行い, 生理食塩水 1500 ml とヘパリン2000単位を静注した後に KCl を用いて犬を屠殺した。ただちに開胸して上大静脈から脱血しながらシリコンラバー (Microfil) を犬の体血圧に相当する 200 cm H₂O の圧で気管の血管へ注入し血管の鋳型を作製した。このシリコンラバーは粘稠度が低く毛細血管を通過することが可能であり, また造影剤が混入されているためレントゲン写真を撮影することができる。

シリコンラバーの注入経路の別によって実験を5群に分けた。I 群では犬5頭を用いて上大静脈に脱血用のカニューレーションを行い, 下行大動脈にクランプをかけて大動脈から上半身の血管全体へシリコンラバーを注入した。II 群では犬1頭を用いて, 直接気管支動脈へカニュー

*慶應義塾大学医学部外科学教室

レーションを行いシリコンラバーを注入した。Ⅲ群では犬1頭を用いて、腕頭動脈からチューブを挿入し、尾側甲状腺動脈以外の血管をすべて結紮切断した後、尾側甲状腺動脈へシリコンラバーを注入した。Ⅳ群では犬1頭を用いて、総頸動脈へシリコンラバーを注入した。Ⅴ群では犬2頭を用いて総頸動脈へ黄色のシリコンラバーを、気管支動脈へ赤色のシリコンラバーを注入した。

シリコンラバーが完全に固まるのを待ち、気管周囲の血管の走行に注意をはらいながら気管を摘出した。摘出気管の膜様部に切開を加え、気管の粘膜側の観察を行った後に軟線を用いてレントゲン写真を撮影した。約1週間グリセリンによる脱水を行い、実体顕微鏡（拡大率6～40倍）を使用して細部の観察を行った。

結 果

1. 肉眼的所見

気管を外側からみると、シリコンラバーの注入された血管が気管の全長にわたり観察できた。シリコンラバーの注入経路のいかんにかかわらずどの実験犬においても、気管の血管は気管の後側方で長軸方向に長い吻合枝を形成し、その吻合枝からさらに細い血管が各軟骨輪の間に分枝を出しているのが認められた。

膜様部に切開を加えて気管を粘膜側から観察すると、Ⅰ群の5頭では全例ともシリコンラバーの注入状態は良好で粘膜下の血管網が気管の全長にわたり認められた。気管支動脈からシリコンラバーを注入したⅡ群では、気管の下部約1/4の範囲ではシリコンラバーの注入状態は良好で、この部分では気管の粘膜面全体にシリコンラバーの注入された粘膜下の血管網が観察できた。しかし粘膜下の血管にシリコンラバーが注入されていない部分との境界は鮮明なものではなく、気管の下部1/4の範囲を越えるあたりから口側に近づくにしたがって、シリコンラバーの注入状態は徐々に不良となり、所によってはシリコンラバーの注入された部分と注入されない部分とが混りあい、ついには粘膜側からの観察では血管に注入されたシリコンラバーが認められなくなった。尾側甲状腺動脈からシリコンラバーを注入したⅢ群では、気管の中部約

1/3の範囲で、また総頸動脈からシリコンラバーを注入したⅣ群では気管の上部約1/3の範囲で、シリコンラバーが注入された粘膜下の血管網が気管の粘膜面全体にわたり観察できた。しかし、これらの範囲を越えた部分ではⅡ群の場合と同様にシリコンラバーの注入状態は徐々に不良となり、ついには粘膜面からの観察ではシリコンラバーが認められなくなった。総頸動脈には黄色のシリコンラバーを気管支動脈には赤色のシリコンラバーを注入したⅤ群では、気管の上部約1/3には黄色のシリコンラバーのみが、気管の下部約1/4には赤色のシリコンラバーのみが注入され、粘膜下の血管網は上部気管では黄色に、下部気管では赤色に観察できたが、気管の中部では2色のシリコンラバーが混り合って注入されている部分と、シリコンラバーの注入状態が不良である部分とが混在していた（写真1）。

2. レントゲン写真所見

摘出気管のレントゲン写真撮影は膜様部に切開を加え気管周囲の組織をできるだけ除去した後に軟線を用いて行った。レントゲン写真では気管の外膜側と粘膜側の血管が重なって写るため、粘膜下の血管にシリコンラバーが十分に注入されていない部分でも写真2に示したように気管軟骨輪の間を走行する血管がすべての実験犬で観察された。

3. 実体顕微鏡所見

実体顕微鏡による観察は粘膜下の血管にシリコンラバーが良好に注入されている部分について行った。長軸方向に切断した気管の断面を実体顕微鏡で観察すると、シリコンラバーが注入された血管は気管軟骨輪の間を通過して粘膜下層へ達しているのが認められた（写真3）。気管軟骨へ分布する血管は認められない。

気管を粘膜面から観察すると、気管軟骨のある部分と軟骨輪間とは血管の分布に差がある。すなわち軟骨輪間では軟骨がある部分に比して血管網の形成が密であり、密な血管網の間を比較的太い血管が血管網を連絡するように縦走し、梯子状の模様を作っていた（写真4）。写真5は粘膜面を強拡大で撮影したものであるが、気管軟骨とほぼ直角の方向に走行する前述の血管以外にさらに細い血管で形成されている

写真 1

写真 2

写真 3

写真 4

写真 5

血管網が観察できた。気管分岐部に近い部分を粘膜面から観察すると、気管の他の部分と同様に梯子状の血管網が認められたが、左右主気管支に分岐するため、梯子状のパターンは多少乱れていた。

考 按

鼻腔における吸気の加温や加湿の問題に関連した鼻粘膜の血管網の研究や、食道の支配血管の一部としてなされた気管の血管に関する研究は比較的古くから行われているが、系統的に気管の血管分布を検索した研究は少ない。

1963年, Sobinら²⁾は下大静脈から脱血を行いながら経腹部大動脈的に上半身全体の血管へシリコンラバーの注入を行い、犬やウサギ、モルモット、ラットなどの気管粘膜の微小血管網を観察し、それぞれの動物の種属間の差異を比較検討しているが、この研究は動物気管の血管を系統的に検索した唯一の研究ではないかと考えられる。われわれが今回用いた方法は、シリコンラバーを注入するまでの犬に対する前処置などは彼らの方法に準じたが、気管形成術との関連において気管の血管や血行を検討するために、シリコンラバーの注入は気管動脈を構成している主な動脈ごとに行った。

Anatomy of the dog³⁾によれば、犬の気管動脈は腕頭動脈の分枝である尾側甲状腺動脈(caudal thyroid artery)と総頸動脈の分枝である頭側甲状腺動脈(cranial thyroid artery)と気管支動脈の3本の動脈から分岐した血管で構成されている。これらの動脈から分岐して気管へ到達した動脈は気管の後側方で長軸にそった長い吻合枝を形成している。1966年, Miuraら⁴⁾は人間の死体を用いて、下甲状腺動脈に硫酸バリウムを注入して気管動脈の検索を行っているが、その論文の中で、犬の場合はこの長い吻合枝が太いため気管を喉頭から分岐部まで全長を授動しても気管は壊死におちいらず、人間の気管の流血が分節的であるの異なっていると述べている。われわれはこの気管後側方で長軸にそった長い吻合枝が存在するため、どの動脈を経由してシリコンラバーの注入を行ってもこの吻合枝を通じてシリコンラバーは気管の血管全体へ注入され、気管全長のシリコンラバーに

よる血管の鋳型が作製できると想像した。しかし今回の実験で用いた注入方法では、大動脈から上半身全体の血管へシリコンラバーを注入したI群では気管の全長にわたる血管の鋳型が作製できたが、II～V群のように注入動脈を限定した場合には気管後側方の吻合枝やそこから分岐する軟骨輪間を横走する動脈では気管の全長にシリコンラバーが注入されていたが、粘膜下の血管ではシリコンラバーを注入した動脈によって血管の鋳型が作製できる領域はほぼ決まっていた。すなわち粘膜面からの観察では、気管後側方の太く長い吻合枝や粘膜下の長軸方向に走る多数の吻合枝など、気管には上下方向に連絡する吻合枝が存在するにもかかわらず今回の実験で用いた注入方法では、総頸動脈からの注入ではシリコンラバーは主として気管の上部約1/3に、気管支動脈からの注入ではシリコンラバーは主として気管の下部約1/4の領域に注入されており、シリコンラバーの注入のされ方は分節的であった。

今回の実験では、気管の血管構築を立体的に観察するための前処置としてグリセリンによる組織の脱水を行った。実体顕微鏡を用いて粘膜側から観察すると気管粘膜下層の血管と共に軟骨輪間に存在する小血管が透見できた。粘膜下層の毛細血管網への流入血管や流出血管であるこの小血管は写真4に一断面を示したが、ひとつの軟骨輪間にかんりの本数が存在する。またこれらの小血管は必ず軟骨輪間を通過して粘膜下層へ到達している。そのため気管軟骨がある部分と軟骨輪間とは血管の分布密度に差異が生じ、粘膜面から気管を観察すると気管の血管網は特徴ある梯子状のパターンを呈していた。

粘膜下層の毛細血管網は写真5に示したように気管軟骨とほぼ直角の方向に走行する血管から分岐した毛細血管が互いに吻合することにより形成されている。この写真の大部分は軟骨がある部分を写したものであるが、Sobinら²⁾が犬の気管粘膜下層の毛細血管網は“diffuse”であると表現している点や、人における検索でSalassaら⁵⁾が単に“submucosal capillary plexus”と述べていることなどと考え合えると、軟骨輪間と気管軟骨のある部分で粘膜下層の血管構築に差があるとは考えにくく、犬の気

管粘膜下層の毛細血管網は均一な形状を持つと推察された。

本研究で使用したシリコンラバーは低粘稠性で粒子が細かいため毛細血管を通過することができる。そのため吻合実験の場合においてもこのシリコンラバーは吻合部の細い血管にまで注入することが可能である。さらに今回の実験でIV群やV群で行った開胸して上大静脈から脱血を行い、胸腔内からの操作だけで総頸動脈へシリコンラバーを注入する方法は頸部気管の周囲へ実験操作を加えることなく気管の上部約1/3の領域における粘膜下の微細な血管へシリコンラバーを注入することが可能であるため、頸部気管で吻合実験を行い、その結果を血管構築の面から評価しようとする際にはとくに有用な方法であると考えられた。

結 論

正常犬の気管動脈を構成している動脈へ粒子が細かく、低粘稠性のシリコンラバーを注入して、気管の血管分布と気管粘膜側の微細血管構築について検討し以下の結論を得た。

1. 気管後側方の長い吻合枝にシリコンラバーが十分に注入されていても、粘膜側の血管網ではシリコンラバーを注入した動脈によってシリコンラバーの注入される範囲がほぼ決まっていた。

2. 気管粘膜側からの観察では、微細な血管網は特徴ある梯子状のパターンを呈していた。

3. 今回用いたシリコンラバーを注入する方法は、気管の吻合実験における吻合部の評価法のひとつとして利用できると考えられた。

付図説明

写真1 総頸動脈から黄色のシリコンラバーを、気管支動脈から赤色のシリコンラバーを注入した犬の気管粘膜側の肉眼的所見。気管膜様部に切開を加えてある。

写真2 レントゲン写真所見。粘膜下の細血管にシリコンラバーが十分に注入されていない部分でも気管軟骨輪の間を走行する血管が造影されている。

写真3 長軸方向に切断した気管の断面の実体顕微鏡所見。右側が粘膜側。シリコンラバーが注入された血管は気管軟骨輪の間を通過して粘膜下層へ達している。

写真4 気管粘膜側の実体顕微鏡所見。血管網は梯子状の模様を作っている。血管網の形成が粗な部分は気管軟骨部で、密な部分は軟骨輪間である。

写真5 写真4の強拡大像。気管軟骨とほぼ直角の方向に走行する血管よりさらに細い血管で形成されている血管網が観察できる。

文 献

- 1) Gluck, T. und Zeller, A.: Die prophylactische Resection der Trachea. Arch. Chir., 21: 427-436, 1881.
- 2) Sobin, S.S. et al.: The microcirculation of the tracheal mucosa. Angiology, 14: 167-170, 1963.
- 3) Evans, H.E. and Chrisensen, G.C.: Anatomy of the dog. W.B. Saunders Co., Philadelphia, London, Toronto, 1979.
- 4) Miura, T. and Grillo, H.C.: The contribution of the inferior thyroid artery to the blood supply of the human trachea. Surg. Gyn. Obst., 123: 99-102, 1966.
- 5) Salassa, J.R., Pearson, B.W. and Payne, W.S.: Gross and microscopical blood supply of the trachea. Ann. Thorac. Surg., 24: 100-107, 1977.

別刷請求: 〒160 東京都新宿区信濃町35

慶應義塾大学医学部外科学教室

深井志摩夫

(投稿受付 1983年11月8日)