

圧迫側歯根膜の血流変化について

大内まりえ, 藤村 朗*

岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座

(主任: 三浦 廣行 教授)

岩手医科大学歯学部口腔解剖学第一講座*

(主任: 野坂 洋一郎 教授)

(受付: 2003年11月21日)

(受理: 2004年1月6日)

Abstract : During the tooth movement, an optimal compressive force (orthodontic force) must be applied to the periodontal ligament. In order to achieve an optimal force, it is important to understand the changes of blood flow and the vascular networks on the pressure side of the periodontal ligament. However, there are few published reports about the long-term daily changes of the blood flow in the vascular networks of the periodontal ligament. We studied the daily changes of the blood flow in the pressure side of the periodontal ligament of the dog mandibular canine using a microcirculation analyzer, which enables to discriminate between blood flow of arteries and veins based on a cross-correlation coefficient between laser speckle and pulse signals. We measured the blood flow in the pressure side of its periodontal ligament through a thin cavity wall. The following results were obtained ;

1. The microcirculation analyzer and the cross-correlation coefficient that we used in this study could measure the changes of arterial and venous blood flow on the pressure side of the periodontal ligament.
2. The overall blood flow after the force application decreased immediately.
3. The blood flow after the force application increased on day 1 especially in the arteries.
4. The arterial and venous blood flow recovered after 3, 7, and 14 days of the force application to the same levels as under non-pressurized conditions.

Key words : tooth movement, blood flow, microcirculation analyzer, periodontal ligament pressure

Changes of blood flow in pressure side of periodontal ligament during tooth movement

Marie OHUCHI, Akira FUJIMURA*

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Iwate Medical University

First Department of Oral Anatomy, School of Dentistry, Iwate Medical University*

1-3-27 Chuo-dori, Morioka, Iwate 020-8505, Japan

緒 言

歯を移動させる際には、歯根膜への適切な圧迫力（矯正力）が必要である。歯の移動に伴う歯周組織の代謝活性には、圧迫側歯根膜における静脈性血管の形態的变化が大きく関与していると報告されている¹⁻³⁾。したがって、適切な圧迫力を得るためには、圧迫側歯根膜の長期にわたる血流変化や血管網の形態変化を理解することが重要である。矯正力を加えたときの短期的血流変化や長期にわたる歯根圧迫後の血管網の変化については、これまでも報告されている^{1,2,4-6)}。従来のレーザードップラー血流計⁴⁻⁶⁾や、水素クリアランス法⁷⁾を用いた研究では、単位体積あたりの組織に対して1分間に送り込まれてくる血液量を計測しており、血管の種類別の変化に関する情報を欠いている⁴⁻⁷⁾。一方、歯根膜血管網の形態学的研究では血管鑄型法や色素等の注入による歯根膜血管の構築^{3,17,18)}と、歯の移動時における歯根膜血管網の変化^{1,2,8-14)}について報告されている。しかし、形態学的変化が生じた歯根膜血管網における長期的な血流変化に関する報告はみられない。

花王株式会社により開発された組織血流解析装置（日本国特許庁特許3285424，特開平9-84776）は、皮膚や粘膜において動脈性と静脈性血管に区分した測定が確認されている^{19,20)}が、歯根膜へ応用した例は無い。そこで本研究では歯根膜の血流測定を行う際、歯根膜への血管分布に侵襲を与えないように、歯髄側から歯質を通してレーザー光を照射した。

この装置はレーザー光（波長810nm）をニードル型プローブで照射し組織から得られる反射光を光検出器で測定して血液速度を求め、パルスオキシメーターで心拍数に基づいた組織内の酸素化を測定する。様々な太さの血管の中を流れる赤血球の速度を検出したレーザースペックル信号が、そのパワースペクトルに対する周波数として示され、このときのパワースペクトルとパルスオキシメーターの心拍を相関させることで両者の相関係数グラフが表示される。すな

わちこの相関係数グラフから、血液速度が速く心拍との相関が高い周波数領域である動脈性血管と、血液速度が遅く心拍との相関が低い周波数領域である静脈性血管に区分して血流量（組織100g中を1分間に流れる血液量として表示される）を測定できる。

本研究は、この装置を歯根膜血管の血流測定に応用し、歯の移動時の長期にわたる血流変化の動態を検討することを目的とした。はじめに本装置が歯根膜血流の測定にも使用できるか否か、また動脈性と静脈性血管を区分し得るか否かを検討した。結果的に本装置では歯根膜血管の血流測定に有効であることが判明したので歯の移動時の経日的な血流変化の検討を行った。

材料および方法

1. 実験動物

実験には、体重9～12kgの雄性雑成犬5匹を用いた。動物は実験期間中、室温24±2℃で、固形飼料（CD-5M，日本クレア）と水を自由に与えて飼育した。動物は購入後1か月間予備飼育し、全身および口腔内に異常を認めないことを確認した後、実験に用いた。

本研究は岩手医科大学実験動物倫理委員会の承認（No.224）を受け、岩手医科大学動物実験指針ならびに動物の保護及び管理に関する法律を遵守して適正に実験を行った。

2. 血流測定

1) 血流測定方法

イヌに pentobarbital sodium (Nembutal[®]) 25mg/kg 静脈内全身麻酔を施した後、下顎右側犬歯の歯冠を歯肉縁から約1mmの高さで切除した。引き続き、エックス線写真を併用しながら抜髄、根管充填を行い、歯髄側から近心側歯根膜へ向かい、残存歯質が約0.5mmとなる窩洞を形成した（Fig. 1 a）。レーザー光入射及び受光用のプローブを、個々の動物ごとに規格化した位置に固定するためのレジンキャップを装着した。1週間後、照射時及び受光時の乱反射を防止する目的でグリセリンを窩洞内に充満させ、血流測定用のプローブを固定して血流を測定し

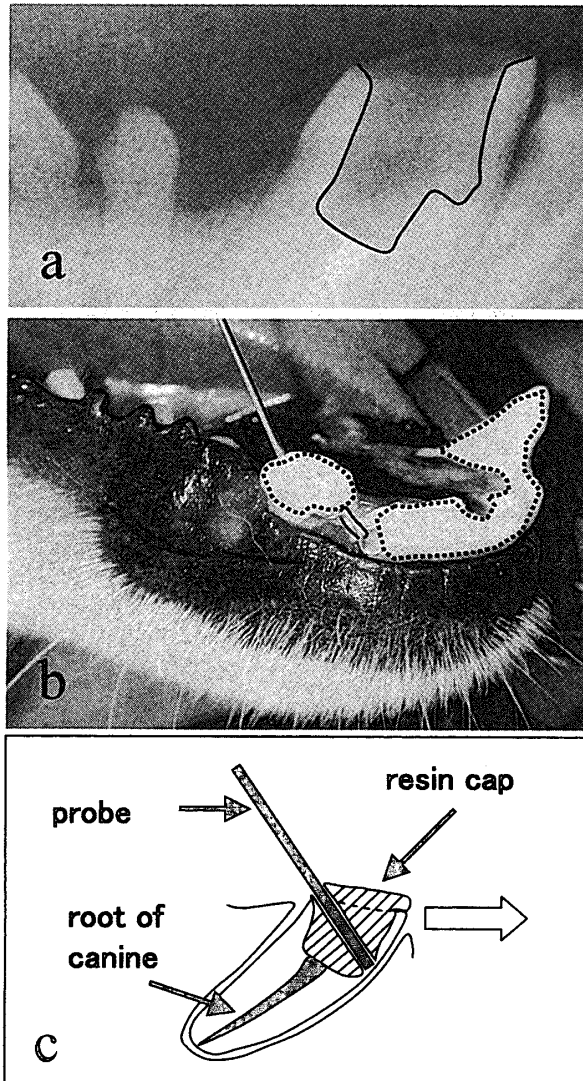


Fig. 1. Illustrations of experiments carried out in this study.

a : Radiographic image of a cavity made in the mandibular canine for filling of resin cap. b : Photograph showing the force application. c : Schematic drawing of the mandibular canine with a resin cap and a probe for blood flow measurement. open arrow : direction of movement

た。心拍は舌深動脈からパルスオキシメーターにて測定した。

2) 歯根膜血管の組織学的観察

非圧迫時歯根膜血流の測定を行った2匹のイヌについて、下顎右側犬歯の歯根膜で血管構築を検討した。麻酔下に血流測定を行った後、動物は直ちに総頸動脈よりヘパリン加生理食塩水を注入し、内頸静脈より灌流瀉血することで屠殺した。次いで総頸動脈より Wattman No.2濾

紙にて2回濾過を行った墨汁を注入した。墨汁は両側総頸動脈より総量200mlを注入し、肉眼的には眼球、歯肉、舌の表面色の黒変を目安とした。注入終了後、内頸静脈の瀉血部より末梢部で結紮し、10%リン酸緩衝ホルマリン溶液で頭頸部を1週間、下顎骨を摘出後さらに1週間、そして下顎犬歯を周囲組織とともに切り出し、1週間浸漬固定した。同緩衝液で洗浄後、Plank-Rychlo 脱灰液にて14日間室温にて脱灰を行った。試料は5%硫酸ナトリウムで中和した後、上昇エタノール系列にて脱水を行い、通法に従い親水性樹脂 (Glycol methacrylate) に包埋した²¹⁾。回転式マイクローム (Jung autocut 2055, Leica Inst., Germany) を用いてタングステンカーバイト刃 (Leica Inst., Germany) にて3 μm厚の矢状断方向の連続切片を作製した。トルイジン・ブルー染色後、光学顕微鏡 (E1000 Nikon, Japan) にて観察し、冷却3管式 CCD カメラにて窩洞壁に一致した測定部位の歯根膜の血管を撮影し、コンピューターに2次元画像として入力した。

血管の三次元再構築は Fujimura and Nozaka²²⁾ の方法に準じ、入力した二次元画像から血管および周囲組織を抽出し、軸合わせ、閾値処理を施し (Photoshop, ver. 7.0, Adobe, USA), 三次元構築ソフト (VoxBlast, ver. 2.3.3., VayTek, USA) にて三次元再構築像を作製し、その回転アニメーションを先に観察した組織像と整合し、動脈性血管と静脈性血管に区分した。

3) 歯の移動方法

3匹のイヌの下顎右側犬歯は、圧迫側歯根膜の血流測定を行うために近心方向へ牽引した。そのため反対側の犬歯と前歯部全体を固定源とする固定装置を装着した (Fig. 1 b)。非圧迫時の実験を行った2匹と同じ規格で作製したレジンキャップを咬合圧が加わらないように下顎右側犬歯に装着した。近心へ延長したフックと固定装置から遠心へ延長したフックの両者をエラストメトリック スレッド (LAS-O-THREAD, GAC International Inc., USA) で結び、テン

ジョンゲージを用いて200g ($1.96 \times 10^5 \text{dyn}$) の力¹⁾を確認して下顎右側犬歯を近心へ牽引した (Fig. 1 c)。血流測定は非圧迫時, 圧迫直後, 1, 3, 7, 14日目に行った。血流変化の割合の比較には正弦変換を用いた。

結 果

1. 非圧迫時歯根膜血管と血流測定値の関連性
組織血流解析装置を用いて測定を行った下顎犬歯の非圧迫時歯根膜の組織像をみると, 歯根側に直径 $5 \mu\text{m}$ の細い動脈が存在し, 歯槽骨側に直径 $10 \mu\text{m}$ の太い静脈が存在していた (Fig. 2)。血管系の三次元再構築像から, 動脈血管網では細く均一な網目が, 静脈血管網では種々の太さの不規則な粗い網目が認められた (Fig. 3)。このように形態学的に2種類の血管が存在する部位の血流測定を行い, 相関係数グラフ (Fig. 4 a) で区分した周波数領域の平均周波数から血流量を求めた。組織像からは動脈と静脈の断面積を算出し, 単位面積あたりの血流量を計算した。その結果, 動脈性血管を示す平均周波数は4000Hz, 静脈性血管を示す平均周波数は300 Hzで, それぞれの比率は動脈性血管: 静脈性血

管=13:1であった。また動脈性血管の血流量は8.87ml/min/100g, 総面積は 0.04mm^2 , 静脈性血管の血流量は2.84ml/min/100g, 総面積は

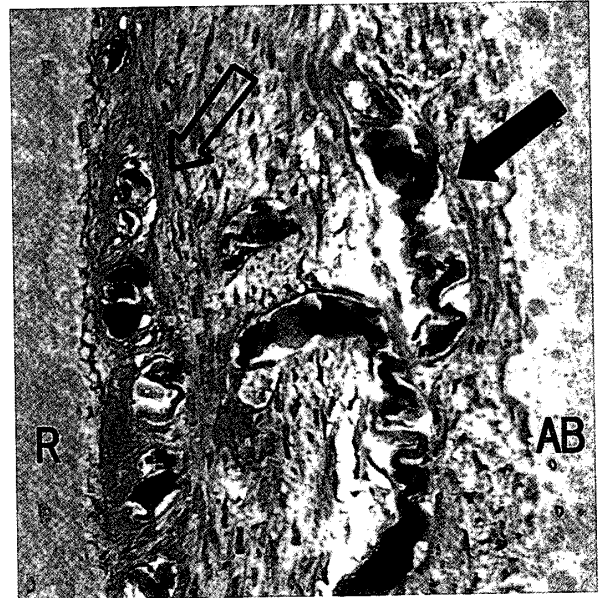


Fig. 2. Histological image of a part of the blood flow measurement at the non-pressurized periodontal ligament. The arteries near the root and the veins near the alveolar bone in the periodontal ligament can be distinguished. open arrow : artery, closed arrow : vein, R : root of canine, AB : alveolar bone

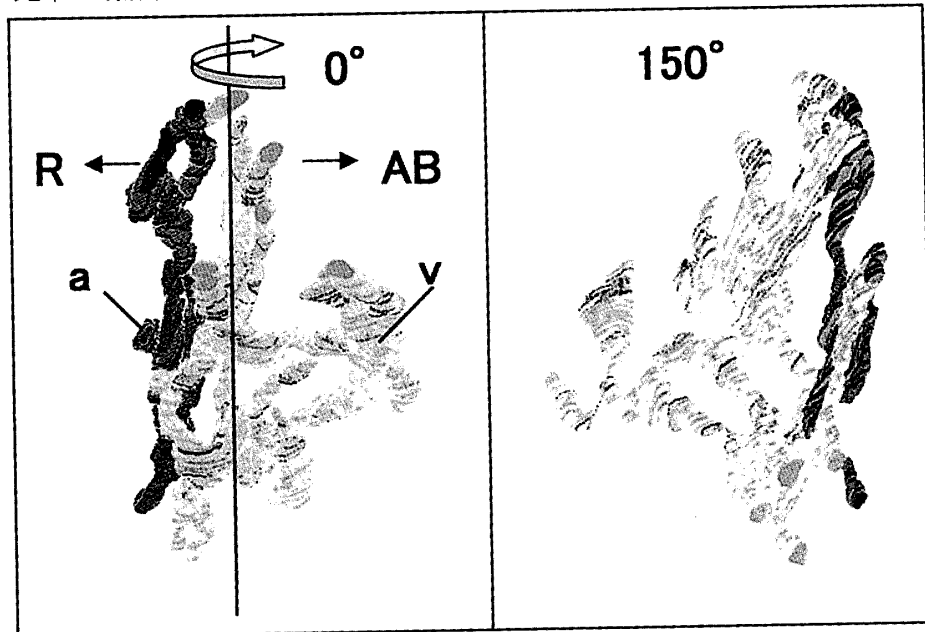


Fig. 3. Rotating three-dimensional reconstruction images of blood vessels at the non-pressurized periodontal ligament. In the periodontal ligament, arteries (a) form a dense network at the root side, and the wider veins (v) form a loose network at the alveolar bone side. R : root of canine, AB : alveolar bone

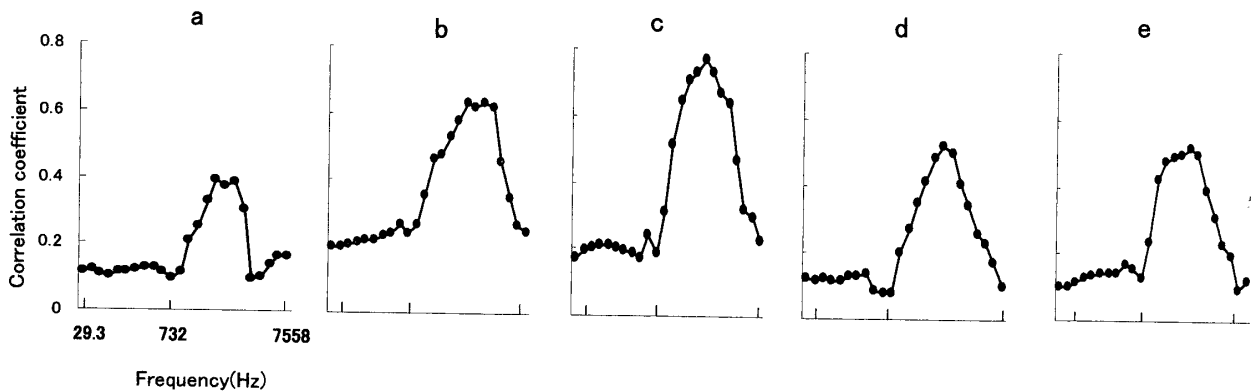


Fig. 4 Correlation coefficient graphs made by the microcirculation analyzer. The pattern of a graph changes into a boundary at 732 Hz in non-pressurized periodontal ligament. The frequency of division between the artery and the vein is 732Hz in this dog. This means that the arteries are at a higher and the veins at a lower domain than 732Hz. The correlation coefficients observed on days 1 and 3 are increased compared with the coefficient from non-pressurized data. However the correlation coefficients observed on days 7 and 14 are the same as that from non-pressurized data, especially when the correlation coefficient is high.

a : non-pressurized periodontal ligament
 b : 1 day after the force application
 c : 3 days after the force application
 d : 7 days after the force application
 e : 14 days after the force application

0.18mm²であり、これらから単位面積あたりの血流量（血流量／総面積）の比率は動脈性血管：静脈性血管=14：1であった。

以上のことから異なる血液速度を示すそれぞれの周波数領域が、歯根膜血管網においても動脈性と静脈性血管の割合を示していることが確認された。

2. 圧迫側歯根膜の血流変化

下顎犬歯の圧迫側歯根膜の血流変化を Fig. 5, 6 に、それぞれの血流測定時における平均の相関係数グラフを Fig. 4 b~e に示した。1 日目では下顎犬歯は近心へ約0.5mm移動し、7 日目までにはさらに約0.2mm移動したが、14 日目では大きな変化はみられなかった。血流測定時に表示される相関係数グラフから周波数領域を区分し、それぞれ動脈性と静脈性血管の血流量を計算した。非圧迫時歯根膜の血流量を100%としたとき、圧迫10分後に静脈性血管では37±3%、動脈性血管では80±6%の減少を示し、その後30分間は大きな変動を示さなかった。一方、圧迫後1 日目に静脈性血管では180±50%の増加に対して動脈性血管では275±55%の著しい増加がみられた。3 日目には静脈性血管で

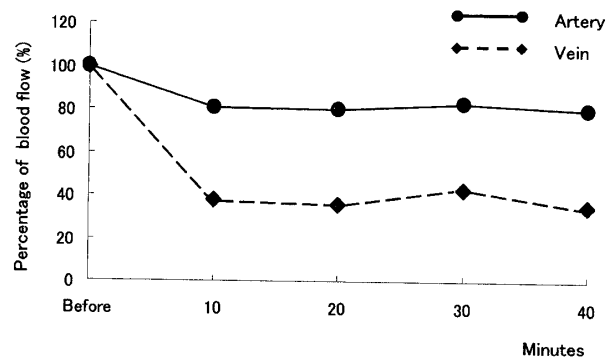


Fig. 5 The immediate changes in blood flow after the force application.

The changes in arterial and venous blood flow rates at 10, 20, 30, and 40 minutes after the force application in one dog compared to the blood flow in non-pressurized periodontal ligament is set at 100%.

The blood flow drops to 80% and 35% of initial values in arteries and veins, respectively, after the force application for 40 minutes. The venous blood flow is more sensitive than that of arteries.

は94±20%、動脈性血管では110±20%と非圧迫時の状態への回復傾向がみられた。また相関係数グラフでは、3 日目に相関係数の値が増加したことから、とくに動脈性血管において非圧迫時と比較して血液速度が著しく速くなった

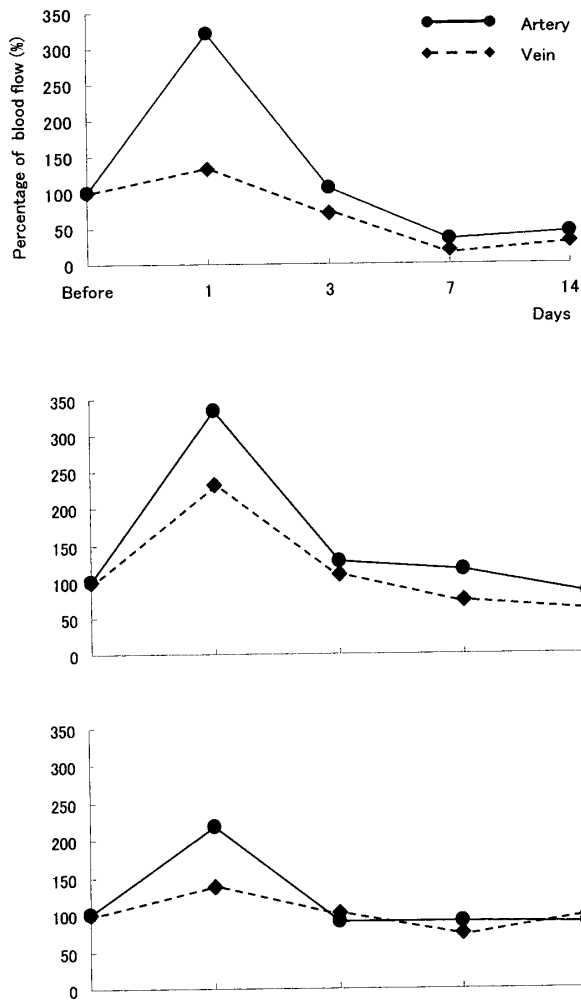


Fig. 6 The daily changes in blood flow after the force application.

The changes in arterial and venous blood flow at 1, 3, 7, and 14 days after the force application in three dogs compared to the blood flow in non-pressurized periodontal ligament is set at 100%.

The overall blood flow increase on day 1 and return to non-pressurized levels on day 3 after the force application. Although the blood flow decreases by 3 days after, it becomes plateau at 7 and 14 days after the force application. The arterial blood flow on day 1 after the force application is more affected than the venous blood flow.

ことが示された。7日目には静脈性血管では $48 \pm 25\%$ 、動脈性血管では $83 \pm 40\%$ 、14日目には静脈性血管では $63 \pm 33\%$ 、動脈性血管では $66 \pm 22\%$ と更なる減少がみられた。

考 察

歯の移動に伴う歯根膜の反応を検索するためには、形態学的に歯槽骨改造現象に強く関与しているといわれている静脈性血管¹⁻³⁾の長期にわたる血流変化を検討する必要がある。そこで、本研究では歯根膜血管の血流測定に有効である組織血流解析装置を用いて、歯の移動時の経日的な血流変化の検討を行った。

1. 実験方法について

レーザードップラー血流計は歯根膜の血流測定に応用され⁴⁻⁶⁾、その他の血流測定法との比較によってその有効性が実証されている²³⁾。しかしながらこの血流測定は、血流量を流入する赤血球の移動量として捉えているため、全体の血流変化を示しているのみで血液速度を表していない。そのため、とくに骨の改造現象に強く関与すると考えられている歯根膜の静脈性血管の反応¹⁻³⁾を検索することはできない。

本研究で使用した組織血流解析装置は、一定時間内の血液速度を周波数で示し、心拍数に伴う組織内の酸素化との相関をみる相関係数グラフで視覚的に周波数領域を表示できることから、歯根膜の血管を動脈性と静脈性に区分して血流量の変化を示すことができる。これまで本装置はモデル実験や歯肉^{19, 20)}ではその有効性が確認されているが、歯槽骨と歯根という2つの硬組織の間に介在する歯根膜では応用例が無く、本研究が初めての試みである。

本研究では、下顎犬歯を抜髄後窩洞形成し、薄層の歯質を通してレーザー光を歯根膜に照射し、血流測定を行った。そのため血流測定に関する問題点としては、抜髄や残存歯質の厚さの影響があげられる。しかし歯髓の除去に関しては、歯根膜の血流測定には影響を及ぼさないことがすでに報告されている³⁾。また残存歯質の厚さが血流測定値に及ぼす影響については、Edwall²⁴⁾によって残存歯質が $100 \mu\text{m}$ 以上であれば、歯髓または歯根膜にほとんど形態学的変化が認められないことが報告されている。これらのことから本研究での注水下による窩洞形成は

残存歯質の厚さからみて、歯根膜血管に対してほとんど影響を与えていないと考える。

本研究で用いたプローブの歯根膜測定部位に対する位置について、角度や距離の問題に関しては Matsuki²⁵⁾ らが爪や歯肉の血流をいろいろな方向から測定することにより測定値の変動を検討している。その結果、角度の違いは測定値にはほとんど影響がなく、むしろプローブから組織への距離の違いで測定値に影響があると述べているが、プローブの先端から組織まで3mmの距離ではその差は小さいことが報告されている。本研究の歯質の厚みが約0.5mmであり、レーザー光の散乱を防止するためにプローブを挿入する窩洞内にはグリセリンを充満させて測定したため、距離による影響は少なかったと考えられる。しかしながら、今回の実験では個々のイヌで歯の大きさが異なるため窩洞形成時の残存歯質の厚みが一定ではなく、プローブ挿入時にレーザー光が減弱することが考えられた。そのため、本装置により測定した血流量を絶対量ではなく、相関係数グラフ上で非圧迫時歯根膜の動脈性と静脈性血管を示す周波数の境界を決定し、それをもとに測定値の変化を相対量として個体ごとに比較を行った。

2. 歯根膜の血流と血管網の変化について

組織血流解析装置による測定結果では動脈性と静脈性血管の血流量の割合を求めることができることから、個体ごとの経日的な圧迫側歯根膜の血流量を測定した。下顎犬歯を近心に牽引した直後の変化では、圧迫による影響から動脈性と静脈性血管の血流量はともに減少傾向を示した。しかし、圧迫後1日目で動脈性と静脈性血管はともに血流量が増加し、相関係数もそれぞれ増加していた。このことは移動した歯の圧迫による影響から、細い動脈性血管は血液速度が著しく速くなることで血流量が増加し、一方、太い静脈性血管は圧扁されても、流入量が増加したことから流出量としての血流量が増加したと考えられる。本研究では、圧迫後1日目の動脈性血管の血流量が著しく増加した結果が示されたが、これまでに圧迫後1日目の歯根膜

血流量の増加を述べた報告はない。歯根膜血管の形態学的検索では、圧迫後1日目に破骨細胞が出現し、その近くに増生し拡張した新生血管が走向していることがわかっている^{5,6,26)}。本研究の圧迫後1日目の所見では圧迫による影響で動脈性血管では血液速度がさらに速くなり血流量が増加したことで既存の血管から新生血管が生じる環境を成立させたことが考えられる。

3日目では動脈性と静脈性血管ともに血流量は減少したことで非圧迫時の値に回復を示したが、相関係数は1日目と同様に増加していた。このことは動脈性と静脈性血管ともに血液速度は速いが、持続された圧迫による影響から動脈性血管の血液流入量が減少したことで、静脈性血管の流出量も減少したと考えられる。また7, 14日目では動脈性と静脈性血管の血流量に減少はみられるものの3日目以降は大きな変化はみられなかった。これは全体的に歯根膜空隙が狭くなったことによる影響で、血流が遅くなる傾向が示されるが、1日目と比較して全体の血流量が非圧迫時の値へ回復する傾向がみられた。

圧迫側歯根膜の血流量を持続的に測定した報告がないために血流動態の変化は歯根膜の圧負担能力の違いと関連するとも考えられるが、今後、血流変化に則した血管構築の詳細な検討が必要である。また血管鑄型法でみられる圧迫後1日目における血管消失部¹⁾に関しては、血液速度が速くなることで血管内のシェアストレスが増強し、その結果として血管壁付近に渦などの乱流が発生し、一過性の血栓形成が多発する²⁷⁾と推測できる。

本研究で用いた組織血流解析装置は歯根膜にも十分応用できるものであり、測定結果を動脈性と静脈性血管に区分し、それぞれの血流量を長期にわたり経日的に比較検討できることが示唆された。歯の移動時、1日目では血管は圧迫を受けるにもかかわらず血流量は増加傾向を示し、血管の面からも圧迫部位による組織代謝の促進が推測された。すなわち、圧迫による影響は動脈性血管では血液速度や血流量の増加とし

て表れ, その増加した血流量を受け取る静脈性血管では既存血管の拡張および血管新生といった形で表れると推測できる。

以上のような観点から今後, 血管動態の観察は機能と形態の両面から行う必要があると考えられる。

また本研究から, 矯正治療における歯の移動において, 初期荷重の適否がその後の組織反応に影響を与えることが推察でき, 臨床的意義も大きいものと考えられた。

結 論

イヌの下顎犬歯の歯根膜血流を薄層の歯質を通し, 動脈性と静脈性血管に区分して測定した。さらに圧迫側歯根膜の血流を測定した結果, 次の所見が得られた。

1. 組織血流解析装置では, 歯根膜における動脈性と静脈性血管の血流量の変化を捉えることが可能であった。
2. 圧迫直後では歯根膜の血流量の減少がみられた。
3. 圧迫後1日目に血流量の増加がみられ, とくに動脈性血管において著しい増加がみられた。
4. 圧迫後3日目以降は動脈性と静脈性血管の血流量がともに非圧迫時の値へ回復する傾向がみられた。

謝辞: 稿を終えるにあたり, 本研究の機会を与えていただき研究の遂行に終始ご懇篤な教示と校閲を賜りました岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座三浦廣行教授に深甚なる感謝の意を表します。また, ご懇切なる内閲と補閲を賜りました本学口腔解剖学第一講座野坂洋一郎教授, 本学口腔解剖学第二講座名和橙黄雄教授に深謝の意を表します。本研究の遂行にご協力をいただきました本学歯科矯正学講座, 口腔解剖学第一講座の諸先生方に厚くお礼申し上げます。合わせて本研究を行うにあたり, 組織血流解析装置を提供していただきました花王株式会社に感謝致します。

本論文の要旨の一部は, 第61回日本矯正歯科学会(平成14年10月), 第45回歯科基礎医学学会学術大会(平成15年9月)において発表した。

本研究は, 日本私立学校振興, 共済事業団の特別補助, ならびに文部科学省科学研究費(課題番号14571741), 文部科学省私立大学ハイテク・リサーチセンター事業補助金を受けたものである。

文 献

- 1) 松尾雅斗: 歯の移動時における歯根膜血管網および歯槽骨の変化について, 神奈川歯学 21: 21-48, 1986.
- 2) 藍原繁樹: 歯牙移動時における歯周組織の血管の動向に関する実験的研究, 歯科学報 69: 1283-1320, 1969.
- 3) 岩淵 通: 歯根膜血管網の立体的観察, 神奈川歯学 17: 165-184, 1982.
- 4) 上野拓郎, 石川博之, 中村進治: 矯正力による歯根膜血液量の変化について—近赤外光を用いた計測—, 日矯歯誌 55: 83-97, 1996.
- 5) 杉野道崇: 外力に対するネコ歯根膜血流動態の変化について—レーザードップラー血流波形の周波数解析による検討—, 日矯歯誌 54: 1-12, 1995.
- 6) Sasano, T., Kuriwada, S. and Sanjo, D.: Acute response of periodontal ligament blood flow to external force application, J. Periodont. Res. 27: 301-304, 1992.
- 7) Inubushi, T.: Relationship between initial blood flow changes and histological changes in periodontal tissue during tooth movement, J. Osaka Dent. Univ. 24: 33-62, 1990.
- 8) 中村進治: 歯根膜血管走行の矯正学的研究 第二報 矯正装置の圧力に対する圧迫側歯根膜血管の反応, 口病誌 34: 342-358, 1967.
- 9) 細山勝道: 歯の移動時における歯根膜の血管変化に関する研究, 日矯歯誌 48: 426-442, 1989.
- 10) 小林和弘: 歯の挺出時における歯根膜微細血管構築の変化に関する実験的研究, 日矯歯誌 48: 411-424, 1989.
- 11) 高橋和人: 顎骨の吸収と血管像, 日本歯科医学会誌 2: 76-109, 1983.
- 12) 古賀正忠: 人為的歯牙移動時の組織変化に関する研究 光学顕微鏡および電子顕微鏡による観察, 歯科学報 74: 498-557, 1974.
- 13) Gianelly, A.A.: Force-induced changes in the vascularity of the periodontal ligament, Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop. 55: 5-11, 1969.
- 14) Castelli, W.A. and Dempster, W.T.: The periodontal vasculature and its response to experimental tooth pressure, JADA, 70: 890-905, 1965.
- 15) Steinar, K., Karinet, H. and Erik, S.: Effect of

- experimental tooth movement on periodontal and pulpal blood flow, *Europ. J. Orthod.* 11 : 200-205, 1989.
- 16) Peter, G. and Knut, M. : Effect of force application on periodontal blood circulation, *J. Periodont. Res.* 18 : 86-92, 1983.
- 17) 岸 彰, 高橋和人 : 口腔粘膜における毛細血管の立体的観察Ⅲ. 歯根膜について, *歯基礎誌* 19 : 192-207, 1977.
- 18) 武山治雄 : サル歯周靱帯毛細血管の立体構築ならびに微細構造に関する研究, 44 : 113-130, 1985.
- 19) Yamagishi, A., Yoshinori, M. and Kazuyuki, Y. : A study on evaluation of gingival microcirculation by cross-correlation between laser speckle signal and pulse, *Microcirculation annual*, 16 : 75-76, 2000.
- 20) Yamagishi, A., Fujimura, A. and Yohichiro, N. : The effect of warming dentifrice on improvement of gingivitis - evaluation of gingival microcirculation by cross-correlation between laser speckle signal and pulse, *Microcirculation annual*, 17 : 155-156, 2001.
- 21) 泉 恵子 : 非脱灰骨の親水性樹脂包埋による薄片の伸展と TRAP (酒石酸抵抗酸性フォスファターゼ) 染色の検討, *実験病理組織技術研究会誌* 7 : 41-45, 1998.
- 22) Fujimura, A. and Nozaka, Y. : Analysis of the three-dimensional lymphatic architecture of the periodontal tissue using a new 3D reconstruction method. *Microsc. Res. Techniq.* 56 : 60-65, 2002.
- 23) 荻野 茂 : ネコ歯根膜血流量の非観血的, 連続的測定についての検討, *歯科医学* 55 : 571-584, 1992.
- 24) Edwall, B. : Application of the iodide clearance technique to monitor local changes in periodontal ligament blood flow. *Acta. Odontol. Scand.* 46 : 119-126, 1988.
- 25) Matsuki, M. : Gingival blood flow measurement with a non-contact laser flowmeter. *J. Oral Rehabil.* 28 : 630-633, 2001.
- 26) Piekarsky, J. and Cohen, D. W. : Vascular changes in the periodontal ligament in experimental movement of the rat molar. *IADR (Suppl.)*, 67, 1962.
- 27) Didisheim, P. : Animal models useful in the study of thrombosis and antithrombotic agents. *Prog. Hematostasis*, 1 : 165-197, 1972.