レーザードップラー血流計を用いた口蓋粘膜の血流測定

山口由紀子, 菊池雅彦, 奥川博司, 渡辺 誠

東北大学歯学部高齢者歯科学講座 (主任: 渡辺 誠 教授)

[受付: 平成10年1月16日]

Measurement of blood flow in palatal mucosa using the laser Doppler flowmeter

Yukiko Yamaguchi, Masahiko Kikuchi, Hiroshi Okugawa, Makoto Watanabe

Department of Geriatric Dentistry, Tohoku University School of Dentistry

(Director: Prof. Makoto Watanabe)

[Received: January 16, 1998.]

Key words: laser Doppler flowmeter, blood flow, palatal mucosa, mechanical load, reactive hyperemia

Abstract: The purpose of this study was to investigate the effects of mechanical load on blood flow in the palatal mucosa. In five healthy dentate subjects (mean age 26.4 yrs), the blood flow in palatal mucosa was measured using the laser Doppler flowmeter. A 400 gf load was applied through a 4mm-diameter probe in the postero-lateral aspect and the central rugae area of the palate for 40 s. The blood flowmetry in the postero-lateral site of the palate was also performed for loading intervals of 10, 20 and 30 s, and for the load intensity of 100, 200 and 400 gf, respectively. The results obtained were as follows:

1. The effect of load on blood flow varied with the site of force application in the palate. A reactive hyperemia was almost always observed after the removal of load in the postero-lateral region. However, no reaction or unclear reactive hyperemia was noted at the anterior site.
2. There was a tendency that an increase in the loading interval extended the recovery period to the baseline. The reduction in blood flow during the load and its increase after the load removal tended to be constant regardless of the loading interval.
3. An increase in load intensity resulted in the reduction of blood flow during loading and the extension of recovery period. On the other hand, the degree of increase in blood flow after the load removal was not affected by the change of load intensity.
4. The relationships between the loading interval and the recovery period, between the load intensity and the recovery period, and between the load intensity and the reduction in blood flow during the load were considered to be useful parameters for evaluating the characteristics of the palatal mucosa.

抄録 本研究は、口蓋粘膜への荷重負荷が血流量に及ぼす影響を、レーザードップラー血流計を用いて検索することを目的に行った。実験は5名の健常者(平均年齢26.4歳)を被験者とし、レーザードップラー血流計を用いて、口蓋後側方部および口蓋正中部(口蓋ヒダ部)に直径4mmのプロブを介して、荷重量400gf、40秒間の加圧を行ったときの血流量を測定した。さらに、口蓋後側方部において、同じく荷重量400gfで加圧時間を10, 20, 30秒と変化させた場合、および加圧時間40秒で荷重量を100, 200, 400gfと

変化させた場合の血流量を測定した。その結果、以下の結論を得た。

1. 加圧部位の相違による血流変化については、口蓋後側方部の左右側粘膜では加圧終了直後に反応性の充血がほとんどの場合で出現したが、口蓋正中部では反応性充血が出現しないか明確でない場合が多かった。
2. 加圧時間の相違による血流変化については、加圧時間が増加した場合、加圧前の血流レベルに戻るまでの回復時間は延長する傾向がみられた。これに対して、加圧時の血流減少量ならびに加圧後の血流増加量は加圧時間に関係なく、ほぼ一定となる傾向を示した。
3. 荷重量の相違による血流変化については、荷重量が増加した場合には、回復時間は延長する傾向がみられた。また、加圧時の血流減少量も荷重量増加に伴って増大する傾向を示した。一方、加圧後の血流増加量については、荷重量の変化によって一定の傾向は認められなかった。
4. 以上のことから、加圧時間と回復時間、荷重量と回復時間、および荷重量と加圧時血流減少量との間にはそれぞれ一定の関係が認められ、顎粘膜の性状や特性を評価する指標として有効であることが示唆された。

I. 緒 言

有床義歯の装着は、歯の喪失により失われた顎口腔系機能を回復することを目的としており、その目的を達成するためには、床下支持組織を健康に保つことが必要である。しかしながら、義歯床下粘膜では、発赤・腫脹・圧痕や潰瘍の形成などの組織変化を生じることが少なくない。このような変化の原因として、義歯床下粘膜面に局所的に過大な咬合圧が作用していることが考えられる。また、咬合圧作用時における患者固有の粘膜の反応、すなわち、被圧による変位や血流量の変化などの因子も関連していることが推察される。

これまで、義歯床下粘膜の性状については、粘膜の厚径¹⁾や被圧変位性²⁾などの形態的・物理的特性に関して検討がなされているが、損傷を受けた組織の回復に直接の影響を及ぼすと思われる血流動態の検討は、必ずしも十分とはいえない。

義歯に加わった咬合圧に対する組織反応は、まず微小循環路周囲に起こることから、床下粘膜の性状を検索するための手段として、義歯床下粘膜の血流動態の解析を行うことが有効であると思われる。さらに、血流動態を指標として個々の患者の床下粘膜の性状を評価・診断することが可能になれば、義歯の製作や予後の評価に応用できるものと考えられる。

そこで本研究では、口蓋粘膜への荷重負荷による末梢血液循環への影響を明らかにすることを目的とし、荷重時の血流動態をレーザードップラー血流計を用いて検討した。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は、正常な歯列および咬合関係を有し、臨床的に口蓋粘膜の異常を認めず、かつ全身的疾患のない25歳から29歳の健康者5名（男3名、女2名、平均年齢26.4歳）とした。

2. 加圧装置

手指によって粘膜に一定の荷重を加えるために、図1に示すような加圧装置を作製した。本装置はL字型真ち

図1 加圧装置および測定用プローブ模式図
a : 圧力トランスデューサ b : 加圧子
c : プローブ d : レジンステント
e : 口蓋粘膜

Fig. 1 Schematic drawing of the loading equipment and the measuring probe of laser Doppler flowmeter

a: Pressure transducer b: Loading rod
c: Probe d: Resin stent e: Palatal mucosa

図2 血流測定部位

Fig. 2 The measuring sites of blood flow

ゅう製ハウジングに、圧力トランスデューサ（PS-30KA、共和電業社製）が設置されており、軸方向に可動する加圧子の上面中央部が圧力トランスデューサ中央部に接することにより、荷重量を測定することができる。圧力トランスデューサからの信号はストレインアンプによって増幅され、ボルトメーターに出力電圧を表示させた。

3. 血流測定

血流量の測定には、レーザードップラー血流計 PerifluxPF3（Perimed社）を用いた。照射されるレーザー光は2mWの低出力He-Neレーザーで、測定範囲はプローブ先端半径約1mmの半球形部分である。ドップラーシフト周波数範囲は12kHz、時定数は0.2秒とした。

図1に示すように、粘膜の加圧は測定用プローブを介して行うため、プローブ上面を加圧装置の安定が得られるような凹型形態に改良し、プローブ先端の粘膜面に接する部位は直径4mmの平面とした。血流量の記録には、ペンレコーダ（SS-100, SECONIC社）を用いた。測定部位は3ヵ所とし、両側第1大臼歯遠心の口蓋側歯肉縁と口蓋正中線との中点（右側をA点、左側をB点）、および小臼歯付近の口蓋正中中部（C点）とした（図2）。また、測定に際してプローブを粘膜に対して一定の位置に保持するために、被験者ごとに即時重合レジンを用いて厚さ2mmのステントを作製した。ステントは口蓋粘膜に接触しないよう0.5mmのワックススペーサーを付与して作製し、上顎全歯にわたる咬合面にその維持を求めた。ステント内の測定部位には、プローブの直径よりもわずかに大きい径の保持孔を設け、加圧時にステントとプローブの摩擦抵抗がなく、定位置での測定が行えるようにした。なお、ステントの前歯相当部には、プローブと本

体をつなぐファイバーを固定するために、各保持孔に対応したソケットを3ヵ所設置した。

血流測定は、午後2時から4時の時間帯に行い、血流測定開始の約30分前に血流計の電源を入れて装置の安定をはかった。測定に際しては、被験者の体位による血流量の変動を防止するために、被験者をデンタルチェア上の仰臥位にて安静を保たせた。

4. 測定部位における口蓋粘膜厚径の測定

血流測定に先立ち、測定部位の特徴を知るために粘膜厚径の測定を刺入法により行った¹⁾。各々の測定部位に表面麻酔後、約0.1mlの2%エピネフリン入キシロカインで浸潤麻酔を行い、15分間経過してから測定を開始した。30G（ゲージ）の浸麻針にリーマー用のストッパーを付与し、粘膜に刺入した後先端が抵抗を受けたところでストッパーを粘膜面に接触させ、リーマーを静かに引き抜いて、ストッパーと先端との距離を精度1/20mmのノギスで測定した。測定は一部位について3回行い、平均値を求めた。

5. 測定条件

1) 加圧部位の相違による血流量の変化

図2に示すA、B、Cの3点において、加圧時間40秒、荷重量400gfで加圧したときの血流量を測定した。

2) 加圧時間の相違による血流量の変化

図2に示すA点において、荷重量400gfで、加圧時間を10、20、30秒と変化させた際の血流量を測定した。

3) 荷重量の相違による血流量の変化

図2に示すA点において、加圧時間40秒で、荷重量を100、200、400gfと変化させた際の血流量を測定した。

いずれの場合も、同一条件の試行を3回ずつ行い、各試行の間は最低3分間の安静状態を保った。

6. 実験手順

ステントを歯列に固定後、保持孔に測定用プローブを挿入して、粘膜にわずかに接触させ、安静状態の血流測定を行った。粘膜加圧の際には、加圧装置を手指で保持し、プローブ上部に加圧子先端を接触させて荷重量をモニターしながら、粘膜に対して可及的に垂直な方向に所定の荷重を加え、所定時間経過後、加圧装置をプローブ上面から静かに引き離した。血流量の記録は、加圧開始前の安静時血流レベルを約1分間と、加圧終了後に変動した血流量が安静時血流レベルに近づき、約1分間程度持続して一定値を示すまでの区間を含むこととした。

7. 分析項目

図3に、血流変化の原波形と分析項目を示す。本研究では、血流量が加圧終了後からリバウンド様の変化、すなわち反応性の充血を経て加圧前のレベルに戻るまでの

図3 血流変化の典型的な原波形と分析項目
Fig. 3 A typical blood flow and analyzed items

時間を回復時間として求めた。さらに、安静時ベースラインと比較した加圧時の血流減少量と加圧後の血流増加量を、装置からの出力電圧として求めた。なお、加圧終了後に血流量が加圧前のレベルに戻らない場合は、30秒以上変動が認められない区間の血流レベルをベースラインとした。

Ⅲ. 結 果

1. 測定部位における口蓋粘膜厚径の測定

各被験者の部位別の口蓋粘膜厚径を図4に示した。従来の報告¹⁾と同様に、A点およびB点においては同一被験者内ではほぼ同じ値を示したが、C点ではA点、B点の1/2から1/3の値となり、クラスカルワリス法により危険率5%以下で各測定部位の間で有意差が認められた(ダン法により有意差の見られた部位間を図中のアスタリスクで示した)。

2. 血流量の測定

1) 加圧部位の相違による血流量の変化

各被験者における加圧部位別の回復時間を図5に示した。A点およびB点においては、加圧終了後の血流量は加圧前に比べ一時的に増加し、いわゆる反応性充血を示した後に元のレベルに戻るケースが大部分を占めた。一方、C点においては、反応性充血を示さずにそのまま加圧前のレベルに戻るケースが5名中2名に見られ、これらのケースでは回復時間を測定することができなかった。他の3名では、反応性充血は見られたもののその変化が明確ではなく、その結果回復時間が延長する傾向が見られた。

以上のことからA点およびB点では明確な反応性充血

図4 血流測定部位における口蓋粘膜厚径
Fig. 4 The thickness of the palatal mucosa in the measuring sites

図5 各加圧部位における回復時間
Fig. 5 The recovery period in each measuring site

が見られ、血流変化の動態を観察するのに適する部位であると考えられた。また先に示したように、A点およびB点ではほぼ同様な粘膜厚径を有していたので、以下の実験はA点のみで行うことにした。

2) 加圧時間の相違による血流量の変化

各被験者において、加圧時間を変化させたときの回復時間の平均を図6に示した。いずれの被験者においても、加圧時間10秒から30秒までの間では加圧時間の増加とともに回復時間は延長する傾向がみられ、分散分析により3名の被験者において、危険率5%以下で加圧時間の違いにより有意差が認められた。

図6 加圧時間と回復時間の関係

Fig. 6 The relation between the loading interval and the recovery period

図8 加圧時間と加圧時血流減少量の関係

Fig. 8 The relation between the loading interval and the reduction in blood flow during the load

図7 加圧時間と加圧後血流増加量の関係

Fig. 7 The relation between the loading interval and the increase in blood flow after the load removal

図9 荷重量と回復時間の関係

Fig. 9 The relation between the loading intensity and the recovery period

図7には、加圧時間を変化させたときの加圧後血流増加量の平均を示した。加圧後血流増加量は、同一被験者内においては加圧時間に関係なくほぼ一定の値を示し、加圧時間による有意差は認められなかった。

次に、加圧時間を変化させたときの加圧時血流減少量の平均を図8に示した。加圧時血流減少量は加圧後血流増加量と同様、同一被験者内においては加圧時間に関係なくほぼ一定の値を示し、加圧時間の違いによる有意差は認められなかった。

3) 荷重量の相違による血流量の変化

各被験者において、荷重量を変化させたときの回復時間の平均を図9に示した。いずれの被験者においても、荷重量の増大に伴い回復時間の延長がみられ、分散分析により2名の被験者において危険率5%以下で荷重量により有意差が認められた。

各被験者における荷重量別の加圧後血流増加量の平均を図10に示した。同一被験者内においては、荷重量を増加したときの加圧後血流増加量には、一定の傾向は認められなかった。

各被験者における荷重量別の加圧時血流減少量の平均

図10 荷重量と加圧後血流増加量の関係

Fig. 10 The relation between the loading intensity and the increase in blood flow after the load removal

を図11に示した。荷重量増加に伴い加圧時血流減少量は増大する傾向が見られ、4名の被験者において危険率5%以下で荷重量により有意差が認められた。

IV. 考 察

1. 測定装置および方法について

口腔粘膜の血流測定には、インピーダンスプレチスモグラフィ³⁾、電解式組織血流計法⁴⁾、ラジオアイソトープ法⁵⁾、交叉熱電対法⁶⁾、制御差温式血流計法⁷⁾、レーザードップラー血流計法⁸⁻¹⁵⁾などが知られている。近年開発されたレーザードップラー血流計は、生体に対する侵襲性、操作の簡便性、測定の再現性、連続性などの種々の問題点を改良し、幅広く使用されるようになった。その原理は、プローブから射出されたレーザー光が、組織表層の毛細血管内を流れる赤血球に衝突し反射・散乱されると、ドップラーシフトにより反射波の周波数が変化し、この入射波と反射波の周波数のずれが、血流速度（血流量）に比例することを応用している。

本実験で用いたレーザードップラー血流計は、プローブやファイバーを確実に固定しなければ測定値の変動が大きいことが指摘されている。ヒト上顎前歯部唇側歯肉の血流を測定した小野¹¹⁾や山倉⁹⁾は、歯に固定源を求めたステントを作製してプローブの固定を行っている。制御差温式組織血流計によって口蓋粘膜の加圧時の血流を測定した角谷⁷⁾は、センサーを口蓋粘膜に貼付したうえで、センサー周囲の粘膜に加圧するための加圧用カ

図11 荷重量と加圧時血流減少量の関係

Fig. 11 The relation between the loading intensity and the reduction in blood flow during the load

バーフレームと、これを保持して歯に固定するためのメタルキャップを用いている。一方、Hokeら¹⁴⁾は、レーザードップラー血流計による附着歯肉の血流測定について、プローブを手指で操作した場合とステントで固定した場合とで比較したところ、両者で測定の信頼性に差がなかったと報告している。

本実験では、上顎歯列に固定源を求めたレジン製ステントを作製し、各測定部位にプローブ径よりもわずかに大きい径の穴を開けるとともに、プローブから数cm離れた部位でファイバーをステントに固定するための連結装置を設けた。これらにより、非加圧時にはプローブは粘膜に無圧の状態に接触し、プローブ加圧時には軸方向にわずかに可動するような機構が可能となった。プローブ加圧前後のプローブの動揺により血流値が影響を受けられると思われるが、この影響は主として安静時血流のベースラインの変動として現われることが観察された。このように加圧の前後で安静時血流レベルが一致しない場合には、加圧後の安静時血流レベルを参照することにより回復時間や血流増加量を分析した。同一条件下におけるこれらの値の標準偏差は比較的小さく再現性も良好であったことから、加圧の前後で安静時血流レベルが一致しない場合でも、加圧後の安静時血流レベルを参照することにより、加圧による血流の動態を観察することが可能であると考えられる。

2. 測定部位について

口蓋粘膜厚径の部位による差異について、寺倉¹⁾は、口蓋正中中部において最も小さく、口蓋後側方部において

最も大きいと報告している。この結果は、宮下²⁾の報告による口蓋粘膜の被圧変位量の大きさと一致している。今回の実験では、口蓋粘膜が比較的厚く、大口蓋孔から出る大口蓋動脈の枝が前走している部分（A、B点）と、粘膜が菲薄で、大口蓋動脈の枝がさらに分枝している部分（C点）について血流測定を行った。その結果、A点およびB点においては、ほとんどの条件下で加圧終了後に反応性充血を示したが、C点においては、反応性充血を示さずにそのまま加圧前のレベルに戻るケースや、反応性充血は見られたもののその変化が明確ではない場合が多く、部位によって血流動態に明らかな違いが観察された。

3. 測定条件について

測定条件の一つである加圧時間については、術者が加圧装置からの出力を観察しながら、一定の荷重量で粘膜を加圧するのに必要な時間として10秒を最小の条件とし、さらに、20、30秒と加圧時間を延長したときの血流変化を検討した。なお、加圧部位および荷重量の相違による血流変化の実験に際しては、加圧時間をさらに延長して40秒とし、加圧時間の誤差による影響を少なくするよう考慮した。

一方の荷重量については、被験者の口蓋粘膜を加圧した際に、荷重量が400gfを超えると一部の被験者で疼痛を感じる事が認められたので、本実験では400gfを最大の荷重量とし、以下その1/2ずつの200gf、100gfを測定条件に加えて、荷重量が血流量に及ぼす影響を検討することにした。また、森谷¹⁶⁾によると、総義歯の床下粘膜上加わる咬合圧は、上顎では中心咬合位の場合の口蓋部において最大（2.2～5.7g/mm²）とされているが、本実験で負荷した荷重量はいずれもこれより大きく、荷重量400gf（圧力32.85g/mm²）ではほぼ阻血されて、臨床的には潰瘍や変形を生じると考えられる。

4. 血流波形について

血流量に変化を及ぼす影響として外来刺激¹¹⁾や炎症などによる毛細血管の分布状態の変化^{17, 18)}の他に、血流の自然動揺¹⁹⁾が知られている。自然動揺には、心拍の影響によって起こる拍動性動揺、呼吸によって起こる呼吸性動揺、そして微小循環系血管網において生起する血管運動性の動揺がある。今回、図3に示した原波形に見られる小さな波は約1秒間隔で現れ、その周期から拍動性動揺によるものと思われる。

角谷ら⁷⁾は加圧後に見られる反応性の充血をリバウンドと呼び、その発現率は圧力の大きさとともに正の相関関係があると報告している。また、Baabら⁸⁾は上顎前歯部唇側の歯間乳頭、遊離歯肉、付着歯肉、歯槽粘膜部

において、直径2.5 mmのプロープを用いて1.5 Nの力で60秒加圧した場合、どの部位でも反応性の充血が見られたと報告している。小野¹¹⁾は上顎犬歯部唇側歯肉に400g/cm²程度までの繰り返し荷重を加えた場合に隣接する歯肉部の血流が増加し、痛みを感じる程度の強い刺激を加えた際にはきわめて長い時間経過をもつ大きな血流増加反応が観察されたと報告している。本研究で、口蓋後側方部に加えた荷重は圧力値で表すと、796, 1592, 3185 g/cm²となり、比較的大きな荷重量で加圧したことが、ほとんどの場合で反応性充血が認められた理由であると考えられる。一方、口蓋正中部で反応性充血が必ずしも見られなかったことについては、粘膜厚径が口蓋後側方部に比較して菲薄であることや、血管の分布が少ないことなどの組織学的な違いが関連しているものと推察される。

反応性充血は、一過性の血行遮断あるいは血管閉塞の負荷解除後に起こる受動的な充血であり、種々の臓器で観察されている。その原因として、加圧により阻血が起こり管内圧変化を生じ、血流の再開とともに多くの血液が流入すること、阻血によって血管拡張性の代謝物質が産生され、血流再開と同時に末梢血管の拡張を引き起こすこと、交感性血管収縮神経が機械刺激により抑制されることなど種々考えられている^{11, 19-21)}。しかし、反応性充血の発現率と加圧量の大きさとともに正の相関があるとする過去の報告⁷⁾や、今回の実験結果のように、部位によっては反応性充血が現れないことを考慮すると、反応性充血の発現には、代謝産物や交感神経の影響というよりも、むしろ加圧により管内圧変化を生じるような組織構造の特性が主として関与していることが示唆される。

5. 加圧時間の相違による血流量の変化について

加圧時間を増加した場合、回復時間は延長する傾向がみられた。これに対して、加圧時血流減少量ならびに加圧後血流増加量は加圧時間に関係なく一定となる傾向を示した。松浦²²⁾は、カニクイザルの口蓋粘膜を加圧したときの粘膜の変位を測定し、加圧除去後粘膜の変位は急速に回復しはじめるが、その後回復の速度が徐々に減少することを報告しているように、顎粘膜が粘弾性挙動を示すことは古くから知られている²³⁾。本実験で観察された、加圧後の血流変化も粘膜の粘弾性的変化とよく類似している。今回の実験結果を管内圧変化と粘膜の粘弾性に関連づけると、次のように推論することができる。すなわち、加圧除去により周囲との大きな圧力差によって、側副血流が阻血していた部位に一過性に流入し血流が増加する。その後、血流はわずかな圧力差によって周囲へ流出しようとするが、圧縮された血管径の回復が緩徐と

なり鬱血状態が持続する。粘弾性体の変位の回復は変形時間に依存するので、今回の実験結果にみられるように、加圧時間が増加するほど回復時間が延長することが考えられる。加圧時血流減少量は、一定荷重下ではほぼ阻血の状態にあれば当然、加圧時間に関係なく一定となる。加圧後の血流増加量は、粘膜の圧縮が急速に回復する弾性要素の強い時点での現象であり、このときの血流増加量は加圧時間の影響を受けにくいか、あるいは、血流増加量が加圧時間に関係なくすでに飽和量に達していることが考えられる。

6. 荷重量の相違による血流量の変化について

荷重量を増加した場合には、加圧時間を増加した場合と同様に回復時間が延長する傾向がみられ、また、加圧時血流減少量も荷重量の増大に伴って増大する傾向にあった。粘膜の圧縮変位量は荷重量と相関しており、荷重量が大きいほど血管径も圧縮されて血流が阻害されるし、回復に要する時間も延長することが推察される。一方、加圧後血流増加量については、荷重量の変化によって一定の傾向は認められなかった。これに関しては、実験の精度の向上を含めてさらに検討が必要であると思われる。

V. 結 論

口蓋粘膜への荷重負荷が血流量に及ぼす影響を解明するため、レーザードップラー血流計を用いて種々の条件下での血流測定を行い検討したところ、以下の結果ならびに結論を得た。

1. 加圧部位の相違による血流量変化については、口蓋後側方部の左右両側では加圧終了直後に反応性の充血がほとんどの条件下でみられたが、口蓋正中部ではこれとは異なった動態を呈した。
 2. 加圧時間の相違による血流量変化については、加圧時間が増加した場合、回復時間は延長する傾向がみられた。これに対して、加圧時血流減少量ならびに加圧後血流増加量は加圧時間に関係なく、ほぼ一定となる傾向を示した。
 3. 荷重量の相違によって、加圧後血流増加量は特徴的な傾向を示さなかったが、回復時間は荷重量が増加した場合に延長する傾向がみられた。また、加圧時血流減少量も荷重量増加に伴って増大する傾向を示した。
- 以上の結果より、口蓋粘膜へ荷重を負荷した場合の血流変化にはある一定の規則性が認められた。このことから、荷重負荷による血流動態の変化は、義歯床下粘膜の特性を評価する指標として有用であることが示唆された。

文 献

- 1) 寺倉健：顎粘膜厚径の非侵襲的測定法の検討，補綴誌，30：1402-1411, 1986.
- 2) 宮下恒太：顎粘膜の局所被圧変位度と咬合力による義歯床の沈下度とに関する研究，歯科学報，70：38-68, 1970.
- 3) 鳥居建吾：Impedance Plethysmography による上顎口蓋粘膜血流量に関する研究，歯学，61：788-799, 1973.
- 4) 江口芳美，榎本友彦，立浪徹ほか：電解式組織血流計による床下支持粘膜血流量測定の検討，歯学，73：1582-1585, 1986.
- 5) Atasever, N.E., Ercan, M.T., Naldöken, S. et al.: Effect of wearing complete dentures on human palatal mucosal blood flow measured by ^{133}Xe clearance, Archs Oral Biol, 36: 627-630, 1991.
- 6) 松川英彦，伊藤春生，高橋和人：交叉熱電対法の口蓋粘膜循環動態への応用，神奈川歯学，7：112-119, 1972.
- 7) 角谷真一，松永匡司，佐藤隆志ほか：制御差温式組織血流計を用いた口蓋粘膜の加圧時血流動態に関する研究，補綴誌，37：488-493, 1993.
- 8) Baab, D.A., Öberg, P.Å. and Holloway, G.A.: Gingival blood flow measured with a laser doppler flowmeter, J Periodont Res, 21: 73-85, 1986.
- 9) 山倉久史，岡田菜穂子，戸塚明美ほか：レーザードップラー血流計を用いた歯肉毛細血管血流量の基礎的研究，日歯周誌，28：646-653, 1986.
- 10) Baab, D.A., Öberg, P.Å. and Lundström, Å.: Gingival blood flow and temperature changes in young humans with a history of periodontitis, Archs Oral Biol, 35: 95-101, 1990.
- 11) 小野和宏：ヒト歯および歯肉への機械的刺激による歯肉の反射性血流増加について，口科誌，39：389-404, 1990.
- 12) 瀧川博嗣：レーザードップラー血流計による歯肉、口蓋粘膜および皮膚面の血流測定に関する補綴学的検討，補綴誌，36：41-52, 1992.
- 13) 加藤光雄，幸阪保雄，後藤忠正ほか：義歯床下粘膜の血流変化 —レーザ表面血流計の応用—，補綴誌，36：126-135, 1992.
- 14) Hoke, J.A., Burkes, E.J., White, J.T. et al.: Blood-flow mapping of oral tissues by laser Doppler flowmetry, Int J Oral Maxillofac Surg, 23: 312-315, 1994.

- 15) 水野二郎：部分床義歯装着前後の支台歯付着歯肉および残遺歯槽堤の血流動態，補綴誌，39: 670-682, 1995.
- 16) 森谷良彦：総義歯の咬合力に関する研究補遺，補綴誌，11: 1-23, 1967.
- 17) Kaplan, M.L., Jeffcoat, M.K. and Goldhaber, P.: Blood flow in gingiva and alveolar bone in beagles with periodontal disease, J Periodont Res, 17: 384-389, 1982.
- 18) 河村達也：有床義歯が床下粘膜に及ぼす影響 特に血管構築について，補綴誌，33: 710-723, 1989.
- 19) 浅野牧茂：微小循環，沖野遥，菅原基晃，松尾裕英編：心臓血管系の力学と基礎計測，337-372，講談社，東京，1980.
- 20) 松川英彦：口腔内微小循環の生理および薬理，神奈川歯学，11: 170-193, 1976.
- 21) Schlenker, J.D. and Reus, W.F.: Blood flow after warm ischemia in island flaps: Latissimus dorsi myocutaneous and epigastric flaps in the dog, Ann Plast Surg, 10: 55-64, 1983.
- 22) 松浦基一：口蓋部軟組織の加圧時の変化ならびにその組織学的研究，口病誌，46: 323-362, 1979.
- 23) 佐久間孔毅：無歯顎印象採得のレオロジーによる検討，歯材器，12: 79-124, 1965.