

神奈川歯科大学大学院歯学研究科

2018 年度 博士論文

レーザードップラー血流計による

噛み締め時の歯肉血流計測

2019 年 3 月 1 日

小巻 沙也佳

Sayaka Komaki

神奈川歯科大学大学院歯学研究科

高度先進口腔医学講座

神奈川歯科大学大学院歯学研究科

2018 年度 博士論文

レーザードップラー血流計による

噛み締め時の歯肉血流計測

2019 年 3 月 1 日

小巻 沙也佳

Sayaka Komaki

神奈川歯科大学大学院歯学研究科

高度先進口腔医学講座

不島健持教授 指導

論文内容要旨

矯正治療中の Jiggling 型の咬合性外傷は、歯肉血流動態が変化することにより、細菌性炎症のコントロール下においても歯周組織に何らかの悪影響を及ぼしている可能性がある。本研究の目的は、歯周組織の微小循環に対する外力の影響を知ることであり、噛み締め時の歯肉血流の変化を検討した。

研究対象は歯周組織が健全で正常な咬合接触関係を有する成人被験者 11 名とした。非接触式レーザードップラー血流計を用い、強い噛み締め時の、歯肉血流量を測定した。上顎右側第 1 小臼歯を対象歯とし、頬側遊離歯肉縁より 3 mm 根尖方向の付着歯肉と第 1、第 2 小臼歯間の歯間乳頭を測定部位とした。歯軸方向に一定の垂直圧が加わるよう約 1 分間の持続的な噛み締め (5 kg、10 kg、最大噛み締め) を指示し歯肉血流を計測し、噛み締め開始時と噛み締め解放時血流量の安静時を基準に評価した。

歯間乳頭の安静時血流量は平均 15.8 mL/min/100g であった。噛み締め開始時 (Beginning-5) の血流量は、5 kg は平均 15.4 mL/min/100g、最大噛み締め時は平均 15.5 mL/min/100g であり、安静時と比較し有意な差は示されなかった。噛み締め終了後の解放時 (Post-5) の血流量は、5 kg の平均が 16.0 mL/min/100g、最大噛み締め時の平均が 16.6 mL/min/100g であり、安静時と比較し有意な差は示されなかった。

付着歯肉の安静時血流量は、平均 19.6 mL/min/100g であった。噛み締め開始時 (Beginning-5) の血流量は、5 kg の平均が 17.1 mL/min/100g、最大噛み締め時の平均が 14.9 mL/min/100g であった。安静時と比較し、5 kg では平均 2.6 mL/min/100g、最大噛み締めでは平均 4.8 mL/min/100g と、血流量に有意な減少が認められた ($p < 0.05$)。噛み締め終了後の解放時 (Post-5) の血流量は、5 kg の平均が 19.6 mL/min/100g、最大噛み締めの平均が 22.11 mL/min/100g であり、最大噛み締めの解放により安静時と比較して平均 2.4 mL/min/100g の有意な血流量の上昇を認めた

強い噛み締めに伴う頬側付着歯肉の虚血は、歯根膜血管網の圧迫が関与している可能性がある。噛み締め解放により認められた反応性充血は、再灌流により組織の血流を回復するだけでなく、組織障害につながる可能性があると考えられた。

1. 緒言

近年の歯科治療では、成人の矯正治療が定着してきている。成人の不正咬合者は、歯周病に罹患している症例も多く¹⁾、歯周矯正治療を含め矯正治療における歯周病学的背景を理解することが求められている。

矯正治療が歯周組織に対して及ぼす影響に関し、矯正治療による咬合の再構成が、叢生や咬合干渉を解消し歯周組織に対して有利に働くいっぽう、歯肉退縮の進行²⁻⁴⁾など歯周組織の破壊を招くこともある⁵⁻⁹⁾。矯正装置が発揮する力により歯を移動する矯正治療を、歯周組織の健康を損なうことなく予知性の高い治療として確立し、包括的診療における重要な手段として位置付けるためには、歯周組織に対する外力の影響を検討する必要があると考える。歯周組織に対する外力の影響という観点からは、矯正治療は本来歯周組織に為害作用を及ぼす力を巧みに臨床応用していると考えられ、至適矯正力は弱く持続的な力とされている¹⁰⁾。

しかし、矯正の標準的な装置であるマルチブラケット装置を用いた歯の移動は個々の歯を3次元的に移動するため、矯正治療中では一時的に、咬合干渉が発現していることも想像できる。このような咬合干渉は、矯正治療中に起こる一過性の咬合性外傷として考えられる。咬合性外傷が歯周組織に及ぼす影響について、動物実験などにより多くの報告がされており¹¹⁻¹⁴⁾、現時点では「細

菌性炎症のコントロール下で咬合性外傷は結合組織のアタッチメントレベルには影響せず、歯周組織に可逆的变化を起こすだけで歯周病の直接的原因とは考えられない。」とされている。しかし、臨床では歯に矯正力と咬合力の2方向の力が間歇的に加わった結果、歯槽部が広がり動揺が起きる Jiggling¹⁵⁾がみられる。矯正治療中に発現する Jiggling 型の咬合性外傷は歯周組織に対し非常に危険であり、非炎症性に歯肉退縮など歯周組織を障害することが報告されている^{8,16)}。咬合性外傷が歯周組織に及ぼす影響に関しては未だ不明な点が多いと考えられている¹⁷⁾。

矯正治療中の Jiggling 型の咬合性外傷では、早期接触に対応し動揺している歯の唇側や頬側歯肉に貧血帯を認めることがある。このような状況下では歯根膜と歯槽骨、歯肉も含め歯周組織の血管網の虚血、再灌流が起きていると考えられる。虚血後の再灌流は、組織への血流回復だけではなく^{18,19)}、フリーラジカルや炎症性サイトカインを産生し組織障害を引き起こす虚血-再灌流障害を起こすことがある²⁰⁾。以上のように矯正治療中の Jiggling 型の咬合性外傷では、歯肉微小循環の血流動態の変化が歯周組織に何らかの悪影響を及ぼしている可能性があると考えているが、十分な知見は得られていない。

歯周組織の血流動態を知る目的で、歯肉毛細血管の微小循環の血流計測が試みられてきたが、侵襲を伴うなど人の血流を計測するには臨床的な問題があった²¹⁻²⁵⁾。

非侵襲的で持続的な血流計測を可能にする手法として、1980年代より Laser Doppler Flowmetry (LDF)が臨床応用されてきた^{26,27)}。LDFの原理は、Dopplerシフトを応用したものである。レーザー光は毛細血管内を運動する赤血球で反射すると周波数がシフトするが、静止組織では散乱光の周波数シフトは起きない。動的状态ではシフトした光の割合は赤血球数に比例し、周波数のシフトの大きさは血流速度に比例するため、赤血球数と血流速度の積から血流量が求められる。LDFを利用した舌や頬粘膜、歯肉、歯髄について口腔内の血流計測が報告されている²⁸⁻³⁰⁾。歯肉の血流計測に関しては、歯間乳頭や遊離歯肉、付着歯肉、歯槽粘膜での計測が行われ、歯周組織の炎症による影響^{25,31,32)}、加齢変化³³⁾、歯周外科手術後の創傷治癒の評価³⁴⁾、そして咬合力や矯正力など外力の影響³⁵⁻³⁷⁾について報告されている。咬合性外傷が歯周組織の微小循環に及ぼす影響を知るためには、先ず歯周組織が健全で正常な咬合接触関係を有する被験者において、歯周組織に対する外力の影響を再検証することが必要であると考えられる。

本研究の目的は、レーザードップラー血流計を用い、健全な歯周組織における咬合接触に伴う歯肉血流動態の変化を検討することである。

2. 実験材料（対象）および方法

2.1 研究対象

臨床的に健康な歯肉組織を有し、かつ全身既往歴のないボランティア 11 名（男 6 名、女 5 名）を対象とした。年齢は 20～32 歳（平均 27.4 歳）であった。被験者は、正常な歯列・咬合接触関係を有していた。除外基準は、対象歯および対合歯の早期接触や著しい咬耗、著明な骨隆起、歯科治療歴、対象歯の歯肉の色調及び形態変化、骨格性の不正、顎関節症、智歯以外の欠損歯、喫煙者とした。すべての被験者は書面によるインフォームドコンセントを行った。本研究はヘルシンキ宣言に従い、計画書は神奈川歯科大学研究倫理審査委員会承認 (No. 424) を得た。

2.2 血流測定装置

歯肉血流量 (mL/min/100g) の測定はレーザードップラー血流計 (OMEGAWAVE 社、東京、日本) の非接触型プローブ (OMEGAFLO FLO-N1) (図 1-a) を用い計測を行った。血流測定用プローブはスプリントで固定し、トレーレジン (株式会社 GC ジーシーユニファストⅢ、東京、日本) を使い頬側歯面に設置した。対象

歯である上顎右側第 1 小臼歯の動揺を制限しないように、上顎右側犬歯から上顎右側第二小臼歯及び口腔前庭領域をトリミングした。血流測定用プローブ(図 1-b)は歯肉粘膜から 1 mm 離し、歯肉面に対し垂直に固定するように模型上で作成した。(図 2-a) スプリントは接着剤を使用し歯に固定し、スプリントと血流測定用プローブは口腔内でモデリングコンパウンド(株式会社 GC ペリコンパウンド、東京、日本)を用いて固定した。

2.3 歯肉血流測定

歯科用ユニットに頭と心臓が同じ高さとなるように、仰臥位で安静にさせた。口唇はリトラクター(YDM 社 NO.22-733 口角鉤 C、東京、日本)で牽引した。飲食、歯磨きは計測 1 時間前までに実施し、室温を 26 °C に設定した静寂な室内で測定を行った。口腔前庭や歯肉形態に個人差があり、歯肉に対し垂直にプローブを固定できる限界があるため、上顎右側第 1 小臼歯を早期接触歯とした。上顎右側第 1 小臼歯頬側歯肉辺縁から 3 mm 根尖方向の付着歯肉(図 3①)と上顎右側第 1、第 2 小臼歯間の歯間乳頭の 2 カ所を測定部位(図 3②)とした。右側第 1 小臼歯の歯冠部に、対象歯のみが咬合接触するように咬合接触面積を 1 mm 平方メートルに規定した歯冠コアをレジジン(株式会社ジーシー ユニファスト II、東京、日本)で製作し装着した。咬合圧はひずみゲージの感圧測定システム(キャノン化成株式会社 CKS35H-S、茨城、日本)で測定し、校正すること

で kg 単位に換算した(図 2-b)。測定開始から 10 分間は咬合させずに安静な状態を保った。咬合力は、5 kg と最大噛み締めを 1 分間持続させ、噛み締め終了後 5 分間の軽度開口による安静状態を指示した。歯肉血流の変化は、安静時血流量を基準に噛み締め開始後 5 秒間 (Beginning-5)、および噛み締め終了後 5 秒間 (Post-5) を比較評価した。(図 4)

2.4 統計解析

5 kg 及び最大噛み締め時の安静時血流量と噛み締め時血流量、安静時血流量と噛み締め解放時血流量それぞれの差を、Wilcoxon sign-ranked test により検定した。Bonferroni 補正を行い、有意水準を $p < 0.05$ とした。

3. 結果

3.1 歯間乳頭の血流変化

歯間乳頭の安静時血流量は平均 15.8 mL/min/100g (10.9~22.3 mL/min/100g) であった。Beginning-5 の血流量は、咬合圧 5 kg で平均 15.4 mL/min/100g (9.5 ~ 21.1 mL/min/100g)、最大噛み締め時は平均 15.5 mL/min/100g (10.7~22.2 mL/min/100g) であり、安静時と比較し血流量の変化は認められなかった。噛み締め終了後の Post-5 の血流量は、5 kg で平均 16.0 mL/min/100g (10.6~21.4 mL/min/100g)、最大噛み締め時の平均は 16.6 mL/min/100g (10.9~23.1 mL/min/

100g) であり、安静時と比較し血流量の変化は認められなかった。(図 5, 6)

3.2 付着歯肉の血流変化

付着歯肉の安静時血流量は、平均 19.6 mL/min/100g (9.6~32.7 mL/min/100g) であった。Beginning-5 の血流量は、5 kg で平均が 17.1 mL/min/100g (8.5~31.5 mL/min/100g)、最大噛み締め時の平均は 14.9 mL/min/100g (5.7~29.0 mL/min/100g) であった。安静時と比較した時の差は、5 kg で平均 2.6 mL/min/100g、最大噛み締めは平均 4.8 mL/min/100g であり、血流量の有意な減少が認められた ($p < 0.05$)。噛み締め終了後の Post-5 の血流量は、5 kg の平均が 19.6 mL/min/100g (10.0~33.9 mL/min/100g)、最大噛み締めの平均は 22.1 mL/min/100g (12.7 ~ 36.0 mL/min/100g) であり、最大噛み締め後の解放により安静時と比較した時の差は平均 2.4 mL/min/100g で有意な血流量の上昇を認めた ($p < 0.05$)。(図 7, 8) また、歯間乳頭及び付着歯肉の血流量に男女差は認められなかった。

4. 考察

咬合などの刺激により歯周組織の微小循環に変化が起こることが報告されている³⁸⁾。本研究の研究対象は早期接触や著しい咬耗、著明な骨隆起を有するなど咬合性外傷歯を有している場合やブラキシズムを疑う被験者や、加齢の影響³³⁾を除外するため若年成人を対象とした。さらに、歯周組織の炎症^{25, 31, 32, 39)}を

除外するため、歯周組織の基本検査を行い歯肉炎、歯周炎の徴候が無い臨床的に健康な歯周組織を有する被験者を研究対象とした。

過去には、歯肉血流量を測定するために様々な研究が行われてきた。シネマフोटグラフィック²²⁾やラジオアイソトープ⁴⁰⁾を使用した方法、クリアランス法、金属微小球を使い X 線にて血流を観察する方法²⁵⁾、接触式で電気抵抗による血流量の測定する方法²³⁾などが報告されているが、このような方法は生体に侵襲を生じるものが多く臨床的問題点が存在する。いっぽう、LDF は非接触での測定が可能であり、非侵襲性で再現性・信頼性・迅速性がある方法であるため歯肉血流測定方法として広く使用されている³⁷⁾。口腔内の血流計測のため LDF を用いた研究として、舌の微小循環の変化⁴¹⁾、歯周外科手術後の頬粘膜血流測定⁴²⁾、矯正治療中の上顎大臼歯の歯髄血流変化⁴³⁾などが報告されている。さらに LDF の歯肉血流測定として、冷温刺激や圧を加えた歯周組織の血流測定³⁵⁾、矯正力による上顎中切歯移動時の頬側歯肉血流変化の測定⁴⁴⁾などの報告がある。

歯磨きにより歯肉血流量は有意に増加し、安静にすることで安静時血流量に戻ることが報告されている⁴⁵⁾。したがって、本研究では血流測定の 1 時間前までには歯磨きを完了しており、歯磨きの影響を除外するには十分な時間である。安定した歯肉血流測定を行うには、血流測定用プローブの動揺を回避する事は重要であり、方向や歯肉表面からの距離も計測結果に影響するとされる⁴⁶⁾。歯

肉面から血流測定用プローブの距離が 3 mm 以内で歯肉に対して垂直であれば安定した測定が可能であることを報告されており⁴⁷⁾、本研究では 1 mm で良好な結果を得られたと考える。

本研究では、事前に模型上で血流測定用プローブを固定するためのスプリントを製作し、歯に固定した。そのため、計測に影響を及ぼす血流計測用プローブの角度や、歯肉からの距離を正確に規定することで安定した血流計測が可能であったと考えられる。また、固定用のスプリントは当該歯および隣接歯には固定を求めず、対象歯の咬合時の動揺を許容し通常の生体力学的応答を阻害しないよう配慮できたと考える。血流量は日内変動に影響を受けやすいことより⁴⁸⁾、測定時間に配慮し、午前 10 : 00 ~ 11 : 30 の間に計測を行った。

咬合力は、ひずみゲージに一定の圧を加えるため金属プレートで両面を挟み計測した。今回用いたひずみゲージは、30 N ~ 500 N の計測を保証しており、校正のため行った予備実験の結果からも、同計測範囲ではひずみゲージの計測値とバネばかりの計測値は直線的な正比例関係が示され、咬合力測定に妥当なシステムと判断した。歯肉血流に対する矯正力の影響を調べた研究³⁶⁾では、矯正力を想定して 50 g ~ 250 g の比較的弱い力を適用していた。しかし、本研究の目的は早期接触時の歯肉血流動態を知るために基礎的データを得ることであるため、最大咬合力と比較的強い咬合力 5 kg を設定した。

4.1 噛み締め時の歯肉血流量の減少について

正常な歯周組織の咬合負荷時の歯肉血流動態は、5 kg 噛み締め時及び最大噛み締め時の歯肉血流量を安静時と比較すると、歯間乳頭では変化は認められなかった。いっぽう付着歯肉では、5 kg 噛み締め時及び最大噛み締め時において、安静時と比べ歯肉血流量が有意に減少した。上顎小臼歯部の頬側歯肉の血液供給は、主に顎動脈から分岐した血管により供給される。眼窩下動脈由来の血管は根尖部で分岐し、骨髓中に血管網を形成し、歯槽間動脈として分布し、さらに固有歯槽骨を貫通し歯根膜の血管網と吻合する。歯根膜から内縁上皮に上行した血管は、歯槽骨頂を超えて遊離歯肉に血液を供給するとともに、頬側歯肉の血管網と吻合する⁴⁹⁾。また、上顎小臼歯頬側の歯肉は、頬粘膜からも血液供給を受けている。本研究では歯冠コアが当該歯のみを覆うことより、咬合力は当該歯の歯根膜を圧迫していたと考えられる。

前歯や大臼歯の圧下により歯髓の血流計測を行った研究では、圧下に伴い血流量の減少を認めた^{29, 30)}。歯に加わる垂直圧は、歯根膜を圧迫し血液循環を障害していると考えられる。今回示された強い咬合時に付着歯肉の血流が減少した結果は、歯根膜の圧迫により歯根膜の血流が抑制された結果として付着歯肉の血流低下が生じた可能性を示唆している。歯間乳頭の血流は、可動粘膜と当該歯の歯根膜脈管網由来だけでなく、隣接歯の歯根膜脈管網からも供給されてい

ることが考えられる。強い噛み締めが歯間乳頭の血流量に影響しなかったことには、当該歯の歯根膜のみを圧迫した場合でも隣接歯歯根膜からの血液供給が十分確保されており、咬合圧の影響は付着歯肉より弱かったと考察した。

4.2 噛み締め解放後の歯肉血流の上昇について

最大噛み締め時では、噛み締め解放と同時に血流量が安静時血流量に比べ有意に増加した。歯肉圧迫により虚血を引き起こし、その後の解放により反応性の充血が起こることは様々な研究により確認されている³⁵⁾。McCord は、虚血状態にある臓器や組織に血液が再灌流する際に微小循環において活性酸素や一酸化窒素 (NO) などのフリーラジカルや炎症性サイトカインが産生され、組織障害を引き起こすとの見解を示し、虚血-再灌流障害として報告した⁵⁰⁾。

Omori ら¹⁸⁾、Shimada ら¹⁹⁾の LDF により犬の歯肉血流を計測した実験では、歯肉の圧迫による虚血その後の解放を行うことで反応性充血を認め、NO が歯肉組織における反応性充血の間の血管拡張に寄与していたと結論付けた。

Motohira ら⁵⁰⁾は歯周組織の虚血-再灌流を想定し、歯根膜細胞を低酸素状態に続き再酸化させることでインターロイキン-6、インターロイキン-1 β 、プロスタグランジン E₂の産生が上昇することを確認し、フリーラジカルの発生に伴い歯周炎の骨吸収因子が上昇した可能性を示唆した。これらの研究は歯肉の虚血-再灌流に伴い NO を含めた活性酸素種が産生されており、継続的な虚血-再灌流は歯

周組織を障害する可能性があることを示唆している。咬合性外傷が歯周組織に及ぼす影響に関しては、細菌性炎症のコントロール下で咬合性外傷は歯周組織に可逆的変化を起こすだけで、歯肉結合組織の付着の喪失や歯槽骨の吸収など歯周病の破壊は起こさないとされている¹¹⁻¹⁴⁾。しかし、矯正治療中に生じる Jiggling 型の咬合性外傷は歯周組織に対し非常に危険であり、非炎症性に歯周組織を破壊する可能性があると考えている^{8,16)}。例えば、上顎前突の改善のため上顎の第 1 小臼歯を抜歯したのち上顎前歯を大きく舌側傾斜する場合、上顎前歯の舌側移動中に下顎前歯との間に早期接触が発現し、下顎前歯の突き上げにより上顎前歯の強い歯の動揺を認めることがある。これは矯正に特徴的な咬合性外傷であると考えられる。通常は咬合性外傷により歯の動揺を認める歯は、次第に動揺を増し歯の位置を移動することにより咬合性外傷を回避しようとするが、マルチブラケット装置で固定された舌側に牽引中の前歯は、歯の動揺を認めても時間とともに咬合干渉が増強し、繰り返される強い咬合性外傷に長期間さらされることとなる。このような状況が、矯正治療中に発現する Jiggling 型の咬合性外傷であり、細菌性炎症のコントロール下においても歯周組織を破壊する可能性を考慮し、矯正治療中の咬合管理には十分な注意を払う必要があると考えられる。矯正治療中に強い Jiggling 型の咬合性外傷に曝されている歯は、早期接触に対応し頬側の付着歯肉に貧血帯を示すことが少なくない。歯の動揺により拡大

した歯根膜の圧迫が頬側付着歯肉の虚血-再灌流障害を起こしている可能性があり、歯周組織の生体応答として今後解明すべき重要な課題と考えられる。

歯肉の血流計測として、Baab ら³⁵⁾が詳細な報告を行った。10名の被験者を対象に、上下顎前歯部の歯間乳頭、遊離歯肉、付着歯肉、歯槽粘膜の歯肉血流を計測した。安静時の歯肉血流に関し歯間乳頭、遊離歯肉、付着歯肉では有意な差が認められず、歯槽粘膜が他の部位に対し有意に高い値を示した。血流測定用プローブにより各部位の歯肉表面に 1.5 N の圧を人為的に加えた結果、虚血により歯肉血流は有意に減少し、圧を解放することにより反応性充血が認められ、安静時と比較し 20%～30% の上昇を認めた。歯肉血流に対する咬合力の影響を見ると、遊離歯肉では噛み締めにより有意な減少、噛み締め解放による反応性の上昇を認めたが、付着歯肉と歯間乳頭では認められず、本研究の結果とは一部異なっていた。

Baab ら³⁵⁾の研究方法を本研究と比較すると、上下顎の中切歯を対象とし結果は上下顎の平均値として算出していること、木片をしっかり噛み締めさせ計測したが咬合力の作用方向や大きさが規定されていないこと、血流測定用プローブを固定したステントは計測の対象歯に固定しており対象歯の動揺が血流測定用プローブを動揺させた計測データに影響した可能性が有ることなど、相違点が認められた。本研究では、前歯と比較し口腔機能時に側方圧や垂直圧などより

複雑な咬合負荷を受ける歯種であり、アプローチが可能である上顎第 1 小臼歯の頬側歯肉を計測対象とした。計測機器や手法の改善により、大臼歯での計測や舌側口蓋の歯肉の血流計測を行うことが、今後の課題の一つと考えた。

4.3 研究の今後の展開

本研究は、歯周組織に対する非炎症性の咬合性外傷の影響を再検証するため、先ず健全な歯周組織を有する歯の歯肉微小循環に対する垂直的咬合力の影響をお検討した。結果として、正常な歯周組織において強い咬合圧に対応して付着歯肉の血流が減少し虚血を認めたこと、咬合圧開放に伴い血流が上昇し反応性充血を認めたことが示された。本研究の早期接触に対応した正常組織での歯肉微小循環における血流の変化は、外力と歯周組織の関わりを知るために重要なデータと考えられる。これを基に、早期接触や Jiggling 型の咬合性外傷の診断に使える可能性がある。歯肉血流計測を用いた研究の今後の展開として、咬合力の強さだけでなく方向や歯種による違い、矯正力負荷時や歯の移動時や、矯正治療に特徴的な Jiggling 型の咬合性外傷に曝されている歯の検討、などに関し検討を重ねたいと考える。

矯正臨床における興味は、歯列不正により咬合性外傷に曝されている歯の歯肉血流を計測し、矯正治療による変化を評価することである。例えば唇側転位により反対咬合を呈している前歯では、歯肉退縮など歯周組織の異常を認めるこ

とが少なくない。矯正治療で被蓋を改善し、歯を歯槽骨内の適正な位置に配列することで、歯肉辺縁の位置が歯冠側に移動し歯肉退縮が改善することがある⁷⁾。本研究の結果より、咬合性外傷歯は歯肉血流動態に異常を示す可能性が有る。また歯の移動時は歯周組織が活発に改造され動的治療後は歯周組織が再構築され成熟してくるため、歯肉血流に何らかの変化を示す可能性がある。これらを考慮すると、歯肉血流計測は矯正治療による歯周組織の変化を評価する指標になりうると考える。

5. 結論

レーザードップラー血流計により、噛み締め時の歯肉血流計測を行った。

上顎第一小臼歯の頬側付着歯肉では、強い噛み締めにより血流量の有意な減少を認め、噛み締め解放により有意な上昇を認めた。このような変化は歯間乳頭では認められず、付着歯肉と歯間乳頭では循環動態が異なることが示唆された。よって、強い噛み締めにより歯周組織に加わる外力は、歯肉微小循環の血流動態に影響すること考えられる。強い噛み締めに伴う頬側付着歯肉の虚血は、歯根膜血管網の圧迫が関与している可能性がある。強い噛み締めにより長時間循環障害が続いた場合は、組織障害につながる可能性がある。

6. 文献

- 1) Proffit W. Special Considerations in Treatment for Adults. In: Contemporary orthodontics: 4th edition, Mosby, St. Louis, 635-85, 2007.
- 2) Melsen B, Allais D. Factors of importance for the development of dehiscences during labial movement of mandibular incisors: A retrospective study of adult orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **127**(5):552-561, 2005.
- 3) Slutzkey S, Levin L. Gingival recession in young adults: Occurrence, severity, and relationship to past orthodontic treatment and oral piercing. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **134**(5):652-6, 2008.
- 4) Renkema AM, Fudalej PS, Renkema A, et al. Development of labial gingival recessions in orthodontically treated patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **143**(2):206-12, 2013.
- 5) Ong MM, Wang HL. Periodontic and orthodontic treatment in adults. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **122**(4):420-428, 2002.
- 6) Re S, Corrente G, Abundo R, et al. Orthodontic treatment in periodontally compromised patients: 12-year report. *Int J Periodontics Restorative Dent.* **20**(1):31-39, 2000.
- 7) 不島健持, 児玉利朗. OBM を考慮した成人矯正治療-1 矯正治療に関わる歯周病学的背景. 歯周矯正治療 矯正臨床ジャーナル. **28**:41-57, 2012.

- 8) 不島健持, 児玉利朗. OBM を考慮した成人矯正治療-2 矯正治療に関わる歯周病学的背景-歯周組織管理の重要性を認識した成人矯正治療 矯正臨床ジャーナル. **28**:11-25, 2012.
- 9) Steven MD, Alexandra BP, Brent AF, et al. Consequences of orthodontic treatment on periodontal health: Clinical and microbial effects. *Seminars in Orthodontics*. **20**(3):139-149, 2014.
- 10) William RP, 訳:高田健治 新版プロフィットの現代歯科矯正学, 初版, クインテッセンス出版, 東京, 300-301, プロフィットの現代歯科矯正学. 2009.
- 11) Ericsson I, Lindhe J. Effect of longstanding jiggling on experimental marginal periodontitis in the beagle dog. *J Clin Periodontol*. **9**:497-503, 1982.
- 12) Polson AM, Zander HA. Effect of periodontal trauma upon intrabony pockets. *J Periodontol*. **54**:586-591, 1983.
- 13) 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**:419-420, 1986.
- 14) 住井浩剛. 咬合性外傷がサルの実験的歯周炎の炎症波及におよぼす影響に関する研究 日歯周誌 **39**:31-45, 1997.
- 15) Klineberg I, Jagger R G. Occlusion and clinical practice. An evidence based approach. 1th edition Elsevier Limited .Philadelphia 85-86, 2004.

- 16) 不島健持, 不島千智. OBM を考慮した成人矯正治療-7. 機械的外力に対する歯周組織の応答 動物実験モデルによる論文的考察. 矯正臨床ジャーナル. **31**(12):39-50, 2015.
- 17) Zasčiurinskienė E, Lindsten R, Slotte C, et al. Orthodontic treatment in periodontitis-susceptible subjects: a systematic literature review. *Clin Exp Dent Res*. **2**(2):162-173, 2016.
- 18) Omori Y, Takahashi S-S, Todoki K. Role of nitric oxide in post-ischemic gingival hyperemia in anesthetized dogs. *Redox Rep*. **7**(5):300-3, 2002.
- 19) Shimada S, Todoki K, Omori Y, et al. Contribution of nitrergic nerve in canine gingival reactive hyperemia. *J Clin Biochem Nutr*. **56**(2):98-104, 2015.
- 20) McCord JM. Oxygen-derived free radicals in postischemic tissue injury. *N Engl J Med*. **312**(3):159-63, 1985.
- 21) Vandersall DC, Zander HA. Experimental obstruction of the periodontal blood circulation. *Helv Odontol Acta*. **11**(1):74-79, 1967.
- 22) Hock J, Nuki K. Erythrocyte velocity in vascular networks of young non-inflamed dog gingiva. *J Dent Res*. **55**(6):1058-1060, 1976.
- 23) Kinnen E, Goldberg HJ. The application of electrical impedance plethysmography to the study of gingival circulation. *J Periodontol*. **49**(10):528-533, 1978.

- 24) Clarke NG, Shepherd BC, Hirsch RS. The effects of intra-arterial epinephrine and nicotine on gingival circulation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* **52**(6):577-582, 1981.
- 25) Kaplan ML, Jeffcoat MK, Goldhaber P. Blood flow in gingiva and alveolar bone in beagles with periodontal disease. *J Periodontal Res.* **17**(4):384-389, 1982.
- 26) Rajan V, Varghese B, van Leeuwen TG. Review of methodological developments in laser Doppler flowmetry. *Lasers Med Sci.* **24**(2):269–283, 2009.
- 27) Kouadio AA, Jordana F, Koffi NJ, et al. The use of laser Doppler flowmetry to evaluate oral soft tissue blood flow in humans: A review. *Arch Oral Biol.* **86**:58-71, 2018.
- 28) Hoke JA, Burkes EJ, White JT, et al. Blood-flow mapping of oral tissues by laser Doppler flowmetry. *Int J Oral Maxillofac Surg.* **23**(5):312-5, 1994.
- 29) Sabuncuoglu FA, Ersahan S. Changes in maxillary molar pulp blood flow during orthodontic intrusion. *Aust Orthod J.* **30**(2):152-60, 2014.
- 30) Sabuncuoglu FA, Ersahan S. Comparative evaluation of pulpal blood flow during incisor intrusion. *Aust Orthod J.* **31**(2):171-7, 2015.
- 31) Matheny JL, Abrams H, Johnson DT. Microcirculatory dynamics in experimental human gingivitis. *J Clin Periodontol.* **20**(8):578–583, 1993.

- 32) Develioglu H, Özdemir H, Bostanci V. Comparative analysis of the blood flow values of patients with type 2 diabetes mellitus presenting with chronic periodontitis, patients with chronic periodontitis only and healthy individuals. *West Indian Med J.* **63** (4): 359, 2014.
- 33) Matheny JL, Johnson DT, Roth GI. Aging and microcirculatory dynamics in human gingiva. *J Clin Periodontol.* **20**(7):471–475, 1993.
- 34) Retzepe M, Tonetti M, Donos N. Gingival blood flow changes following periodontal access flap surgery using laser Doppler flowmetry. *J Clin Periodontol.* **34**(5):437–443, 2007.
- 35) Baab D A, ÖBerg P A, Holloway G A, et al. Gingival blood flow measured with a laser Doppler flowmeter. *J Periodontal Res.* **21**(1):73–85, 1986.
- 36) Yamaguchi K, Nanda RS. Blood flow changes in gingival tissues due to the displacement of teeth. *Angle Orthod.* **62**(4):257-64, 1992.
- 37) Barta A, Nagy G, Csiki Z, et al. Changes in gingival blood flow during orthodontic treatment. *Cent Eur J Med.* **5**(6):758-765, 2010.
- 38) Matsuo M, Takahashi K. Scanning electron microscopic observation of microvasculature in periodontium. *Microsc Res Tech.* **56**(1):3-14, 2002.
- 39) Matsuo M, Okudera T, Takahashi K, Microcirculation alterations in experimentally

- induced gingivitis in dogs. *Anat Sci Int.* **92**:112–117, 2017.
- 40) Hock J, Nuki K, Schlenker R. et al. Clearance rates of xenon-133 in non-inflamed and inflamed gingiva of dogs. *Archs oral Biol.* **25**: 445-449, 1980.
- 41) Heckmann JG, Hilz MJ, Hummel T, et al. Oral mucosal blood flow following dry ice stimulation in humans. *Clin Auton Res.* **10**(5):317–321, 2000.
- 42) Nikolaos D, Francesco D, Maria R, et al. Evaluation of gingival blood flow by the use of laser Doppler flowmetry following periodontal surgery. A pilot study. *J Periodontal Res.* **40**(2):129–137, 2005.
- 43) Seyda E, Fidan A. Effects of magnitude of intrusive force on pulpal blood flow in maxillary molars. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* **148**:83-89, 2015.
- 44) Yamaguchi K, Nanda RS, Kawata T. Effect of orthodontic forces on blood flow in human gingiva. *Angle Orthod,* **61**:193-204, 1991.
- 45) Perry DA, McDowell J, Goodis HE. Gingival microcirculation response to tooth brushing measured by laser Doppler flowmetry. *J Periodontol.* **68**(10):990–995, 1997.
- 46) Gleissner Cl, Kempfski O, Peylo S, et al. Local gingival blood flow at healthy and inflamed sites measured by laser doppler flowmetry. *J Periodontol.* **77**(10):1762-71, 2006.

- 47) Matsuki M, Xu Y.B, Nagasawa T. Gingival blood flow measurement with a non-contact laser flowmeter. *J Oral Rehabil.* **28**(7):630–633, 2001.
- 48) Svalestad J, Hellem S, Vaagbo G, et al. Reproducibility of trans-cutaneous oximetry and laser Doppler flowmetry in facial skin and gingival tissue. *Microvasc Res.* **79**(1):29-33, 2010.
- 49) Jan L, Thorkild K, Niklaus PL, 監訳:岡本浩, 臨床歯周病学とインプラント, 第4版基礎編, クインテッセンス出版株式会社, chapter1: 3-49, 2003.
- 50) Motohira H, Hayashi J, Tatsumi J, et al. Hypoxia and Reoxygenation augment bone-resorbing factor production from human periodontal ligament cells. *J Periodontol.* **78**(9):1803-1809, 2007.

付図説明

図 1 レーザードップラー血流計測器

図 2 血流測定方法

図 3 血流測定部位

図 4 血流変化の解析

図 5-8 噛み締め時の血流変化について

図1 レーザードップラー血流計測器

a. レーザードップラー血流計



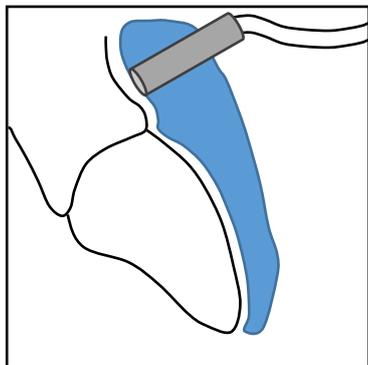
b. 血流計測用プローブ



歯肉血流量の測定はレーザードップラー血流計（図 1-a）の非接触型プローブ（OMEGAFLO FLO-N1）（図 1-b）を用い計測を行った。

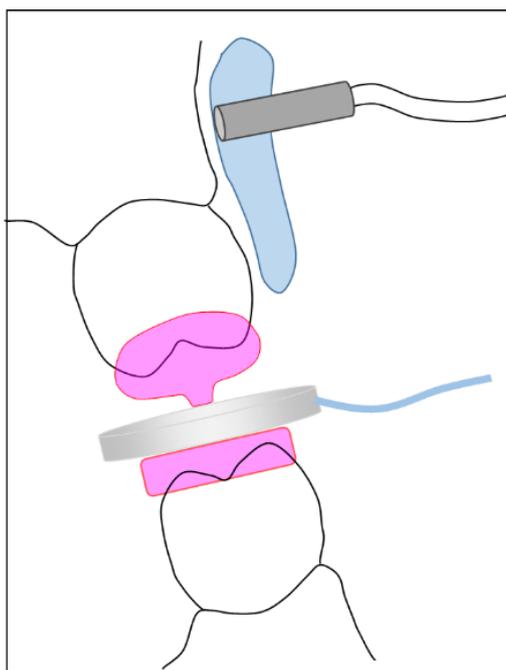
図2 血流測定方法

a. 血流測定用プローブの固定



トレーレジンをを用い、血流測定用プローブを保持するためのスプリントを作成した。上顎右側第1 小臼歯の動揺を制限しないように上顎右側犬歯から上顎右側第2 小臼歯及び口腔前庭領域はトリミングした。プローブは歯肉粘膜から 1 mm 離し、歯肉面に対し垂直に固定するよう模型上で作成した。

b. 早期接触用レジンコア



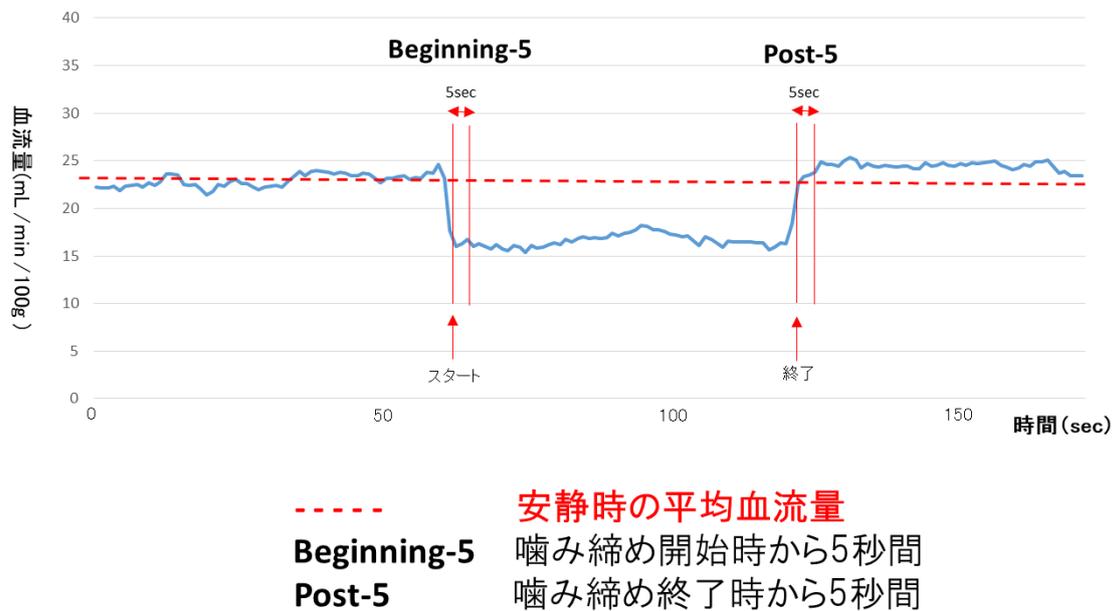
右側第 1 小臼歯の歯冠部に、対象歯のみが咬合接触するように咬合接触面積を 1 mm 平方メートルに規定した歯冠にコアをレジンで作成し装着した。咬合圧はひずみゲージを咬合させ測定した。

図 3 血流測定部位



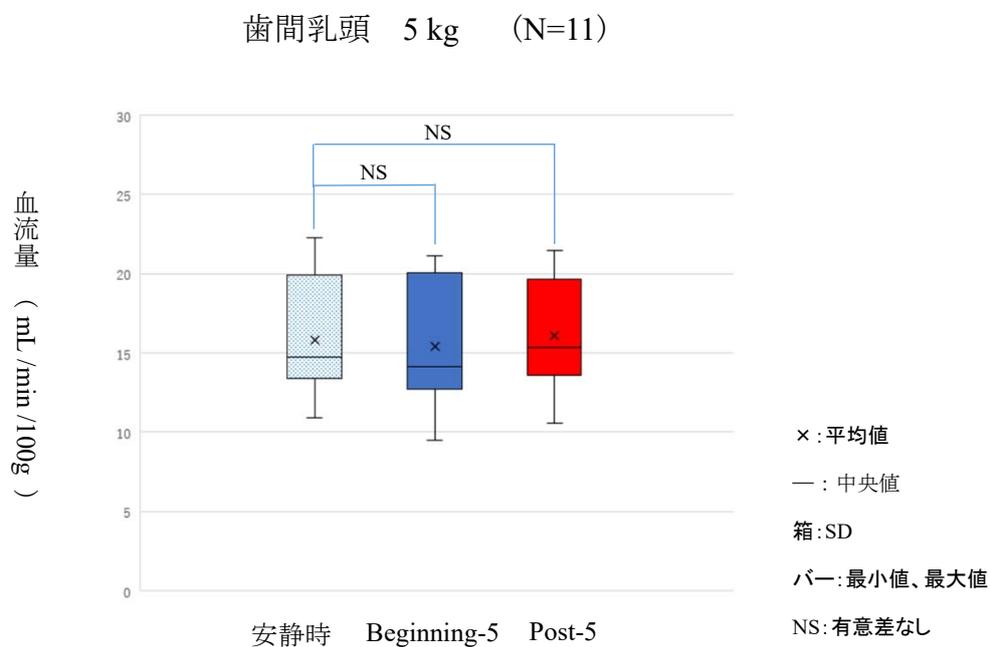
上顎右側大 1 小臼歯頬側歯肉辺縁より 3 mm 根尖方向の付着歯肉と上顎右側第 1、第 2 小臼歯間の歯間乳頭の 2 カ所を測定部位とした。

図 4 血流変化の解析



付着歯肉で計測した血流量の典型例である。噛み締め開始時から 5 秒を Beginning-5、噛み締め終了時から 5 秒間を Post-5 としそれぞれを安静時平均血流量と比較した。

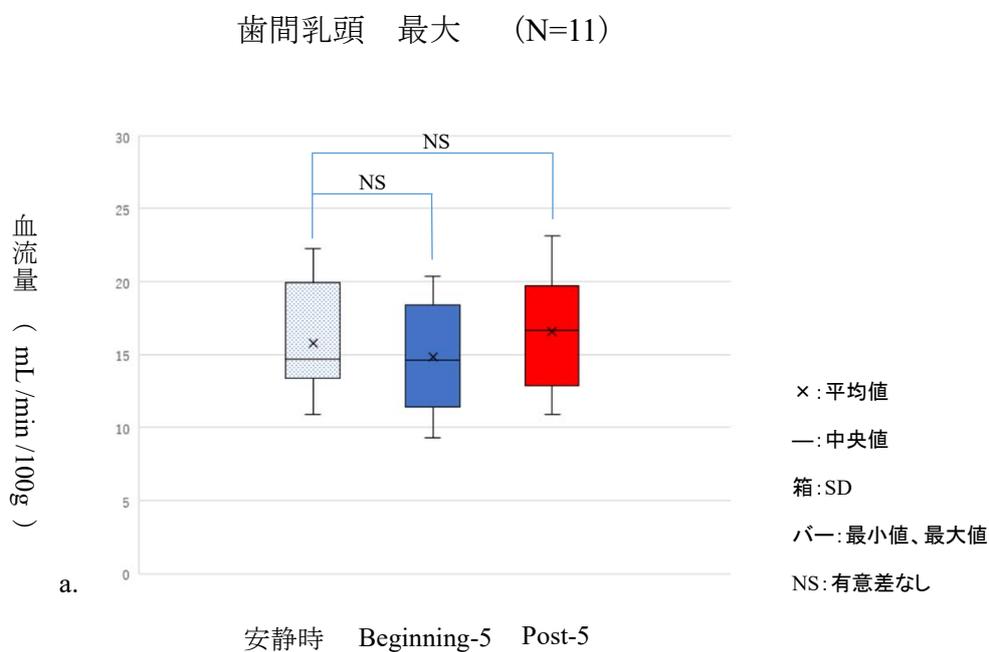
図 5 5 kg 噛み締め時、血流変化について



Wilcoxon sign-ranked test: Bonferroni 補正 $p < 0.05$ 単位 : mL/min/100g

歯間乳頭で測定した 5 kg の噛み締め時の血流量である。安静時と比較した Beginning-5 及び Post-5 に血流量の変化は認められなかった。

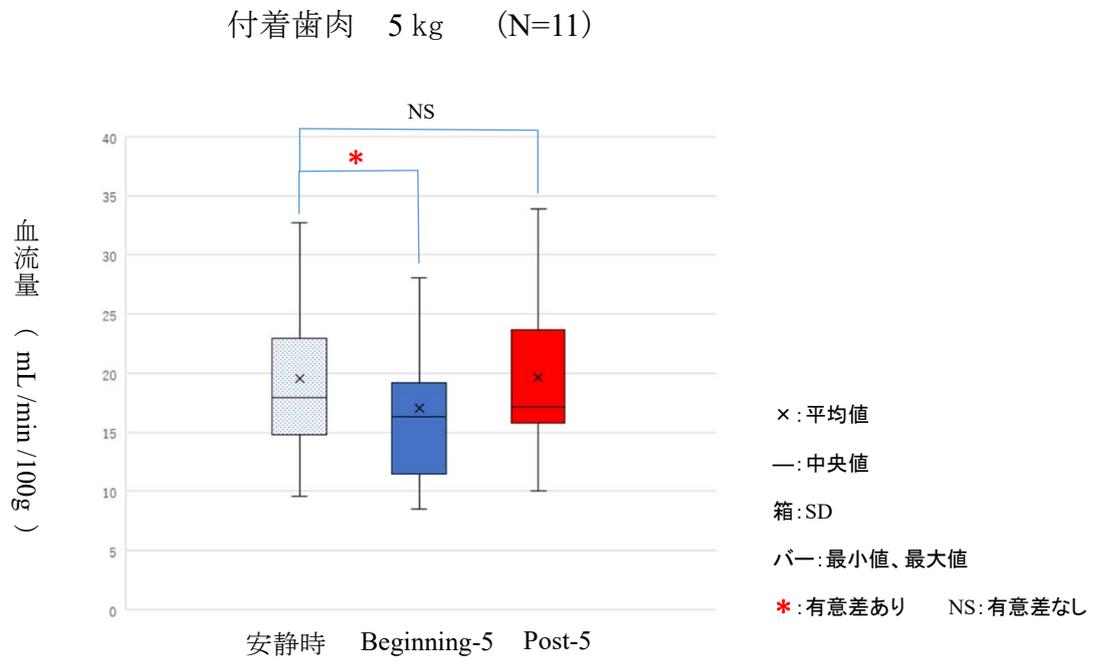
図6 最大噛み締め時、血流変化について



Wilcoxon sign-ranked test: Bonferroni 補正 $p < 0.05$ 単位 : mL/min/100g

歯間乳頭で測定した最大噛み締め時の血流量である。5 kg の噛み締め時と同様に、安静時と比較した Beginning-5 及び Post-5 に血流量の変化は認められなかった。

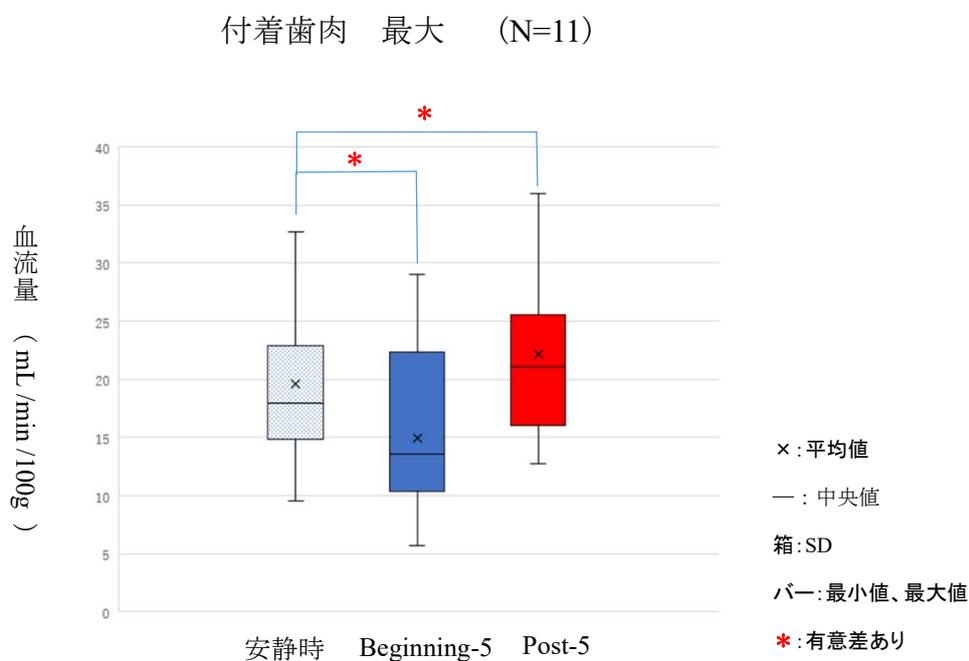
図7 5 kg 噛み締め時、血流変化について



Wilcoxon sign-ranked test: Bonferroni 補正 $p < 0.05$ 単位: mL/min/100g

付着歯肉で測定した 5 kg 噛み締め時の血流量である。安静時と比較した Beginning-5 に血流量の有意な減少が認められ、Post-5 では血流量の変化は認められなかった。

図8 最大噛み締め時、血流変化について



Wilcoxon sign-ranked test: Bonferroni 補正 $p < 0.05$ 単位 : mL/min/100g

付着歯肉で測定した最大噛み締め時の血流量である。安静時と比較した Beginning-5 に血流量の有意な減少が認められ、Post-5 では血流量の増加が認められた。