

過度の咬合力によって生じる歯髓の痛み感覚閾値の低下に関する研究

——とくに歯髓血流を指標とした機序の解明を中心に——

杉 山 豊

東北大学大学院歯学研究科 口腔病態外科学講座 口腔診断学分野
(指導: 笹野 高嗣教授)

内容要旨: 近年, 象牙質知覚過敏の発症原因の一つとしてクレンチングが指摘されているが, その詳細については不明である。本研究はクレンチングが歯髓の痛み感覚閾値を低下させるか否かについて, 歯髓血流動態を指標として検討した。

同意の得られた健康ボランティアの健全な上顎側切歯を被験歯として, 咬合力負荷前後の痛み感覚閾値をパルプテスターによって測定した。また, 持続的な咬合力に対する歯髓血流変化について透過型レーザードブラー血流計を用いて解析した。さらに, 咬合力負荷条件と歯髓血流変化との関連について, 咬合力の大きさ, 持続時間, 繰り返し回数を変化させて検討した。

その結果, 1. 過度の咬合力で行ったクレンチング後の歯髓の痛み感覚閾値は, クレンチング前の値よりも有意に低下した。2. 歯髓血流は, クレンチング負荷中は減少し続け, クレンチング終了後に血流減少から血流増加反応に転じ, その後徐々に刺激前の血流値に回復した。3. クレンチング後に痛み感覚閾値での弱い電気刺激を被験歯に与えると, クレンチング前に比較して著明な血流増加反応がみられた。4. 痛み感覚閾値での電気刺激に対する痛み感覚強度は, クレンチング後ではクレンチング前よりも有意に増大した。

以上から, クレンチングはヒト歯髓において痛み感覚閾値を低下させ, その機序にクレンチングによって生じる歯髓血流反応が関与する可能性が考えられた。

Key word: 象牙質知覚過敏, クレンチング, 咬合力, 歯髓血流, レーザードブラー血流計

緒 言

クレンチングはブラキシズムの一種で, 上下の歯を強くかみしめ, くいしばる現象である。習慣的かつ日常高頻度の病的クレンチングは, 歯周病¹⁻³⁾, 顎関節症, 顔面痛, 頭痛の原因となる^{4,5)}。さらに近年, 象牙質知覚過敏症の発症にも関わる可能性が指摘されている⁶⁻⁹⁾。象牙質知覚過敏症の原因は, 一般に象牙質の侵食症, 摩耗症, 咬耗症とされ, 象牙質に異常のない場合は精神的因子 (神経質, 神経症, ヒステリー) や身体疲労とされてきた¹⁰⁾。ところが実際の歯科臨床の場で, カリエスや歯周病のない歯に生じた原因不明の象牙質知覚過敏症がスプリント装着によって改善される場合があり, クレンチングが象牙質知覚過敏症の発症原因の一つと考えられるようになった⁶⁻⁹⁾。しかしながら, クレンチングが象牙質知覚過敏症を惹起するか否か, その因果関係は未だ不明である。

一方, 歯痛の発症には血流変化が密接に関与することが知られている。すなわち, 歯髓は周囲を硬組織で囲まれ, 根尖孔という非常に小さな隙間のみから血液の供給及び排出が行われるために, ひとたび歯髓血流が増加すると, 歯髓内圧が亢進し感覚神経が圧迫されて歯痛が惹起される¹¹⁾。さらに, 歯髓へ与えられた痛み刺激が, 歯髓内に軸索反射性血管拡張を惹起すること¹²⁾により歯痛の発症に関与することが近年明らかとされた。もしもクレンチングによって歯髓血流増加が生じるならば, 歯髓内圧の亢進を介して象牙質知覚過敏症を生じる可能性

があると考えられる。

本研究では, クレンチングが歯髓の痛み感覚閾値を低下させるか否かについて明らかにするとともに, 歯髓血流を指標としてその発症機序について検討した。

被験者および方法

被験者および被験歯

被験者は, 健全な上顎側切歯を有する 23 歳から 33 歳までの健康ボランティア 24 名 (男性: 16 名, 女性: 8 名, 平均年齢: 27 歳) とした。各被験者には実験の目的と方法について十分説明し, 実験協力にインフォームドコンセントを得た。実験内容については, 東北大学大学院歯学研究科倫理委員会の承認を得て, ヘルシンキ宣言を遵守し倫理委員会の指導要項に従って実験を行った。

被験歯は, カリエスや歯周病のない健全な上顎側切歯とした。

血流測定方法

歯髓血流は, 透過型レーザードブラー血流計 (SNF12007, サイバーファーム社製, JAPAN) を用いて, 被験歯の歯冠中央部から持続的にモニターした。血流計のプロブは, 被験歯に装着したレジンキャップを固定源として強固に固定した (図 1)。なお, 歯髓血流が確実にモニターされていることを確認す

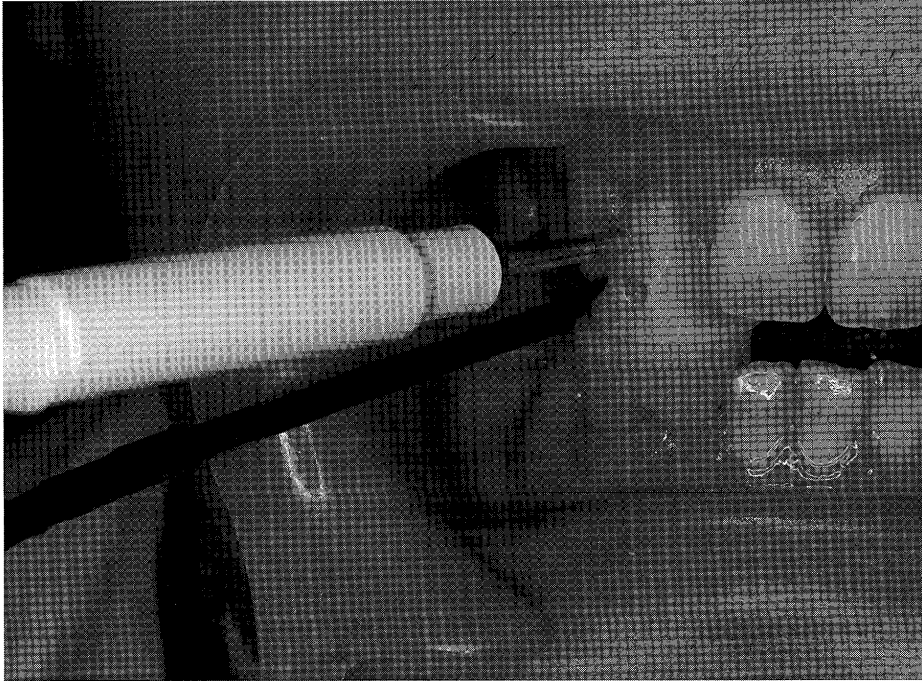


図1. 透過型レーザードプラー血流計による歯髄血流量測定方法

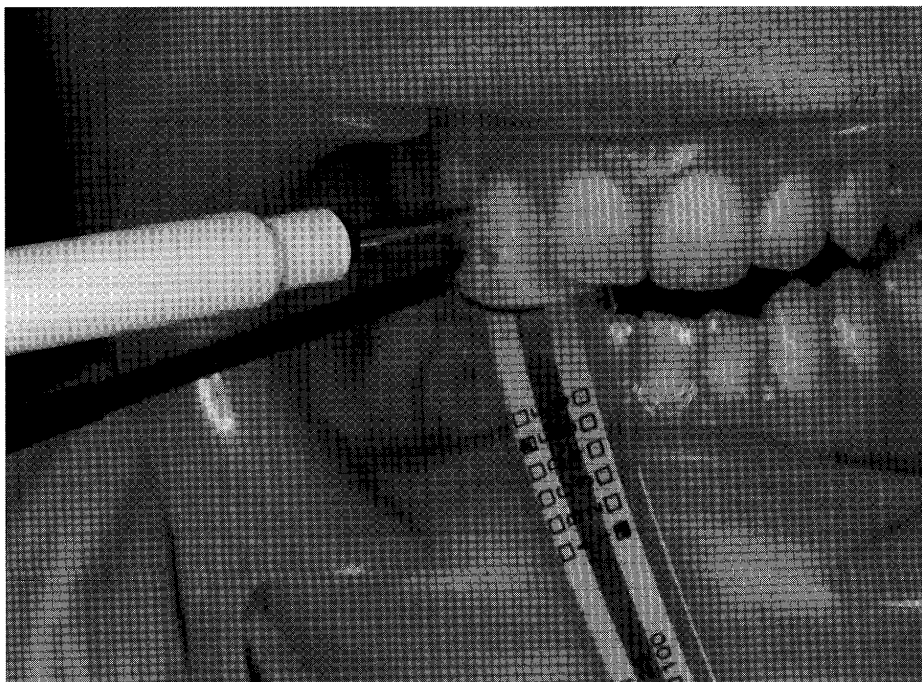


図2. フレキシフォース ボタンセンサによる持続的咬合力測定方法

るために、各実験に先立ち、被験者に息みをさせて、血圧に同調した歯髄血流増加反応が生じることを確認した^{13,14}。

クレンチング時の咬合力測定方法

クレンチング時の咬合力は、持続的に咬合力を測定できるフレキシフォース ボタンセンサ (A201-25, ニッタ社製、

JAPAN)、ならびにオクルーザルフォースメーター (GM10, 長野計器 (株), JAPAN) を用いて測定した。被験歯以外の歯は咬まないようにするため、対合歯にもレジンキャップを装着し、その高さを調整した。被験歯と対合歯は垂直に咬合させ、上下レジン間にボタンセンサをはさみ、クレンチング時の咬合力を持続測定した (図2)。なお、咬合力はモニター画面に誘導表示

して、視覚的フィードバックにより被験者に一定の咬合力を持続負荷させた。

歯髄の電気刺激方法

歯髄の電気刺激は、歯科臨床で用いられている電気歯髄診断器 (Electrical Pulp Tester 2002, Analytic Technology, USA) を用い、被験歯を防湿乾燥下で伝導ペーストを貼付して刺激した。

痛み感覚強度の測定方法

歯髄電気刺激時の痛み感覚強度は、Visual Analogue Scale を用いて測定した。

血圧測定法

全身血圧は、連続血圧測定装置 (Finometor, Finapres Medical Systems 社製) を用いて、手指から持続的にモニターした。

実験手順

実験 I-1. クレンチングが歯髄の痛み感覚閾値に及ぼす影響について

- 1) クレンチング前に、被験歯に痛みを感じるまで電気刺激を行い、痛み感覚閾値を測定した。
- 2) 次に、被験歯を各人の最大咬合力で 30 秒間咬ませ、その後 1) と同様に電気刺激に対する痛み感覚閾値を測定した。
- 3) 被験歯と反対側の上前側切歯において、1), 2) と同様に、電気刺激に対する痛み感覚閾値を測定した。

実験 I-2. クレンチングが痛み感覚強度に及ぼす影響について

- 1) クレンチング前に、被験歯に痛みを感じる時点まで電気刺激を行い、電気刺激によって生じる痛み感覚閾値を測定した。
- 2) 各人の最大咬合力で被験歯を 30 秒間クレンチングさ

せ、その後、1) と同一量の電気刺激を行い、電気刺激によって被験歯の痛み感覚強度を測定した。

3) 被験歯と反対側の上前側切歯において、1) および 2) と同様に被験歯のクレンチング前後での同一量の電気刺激によって生じる、痛み感覚強度を測定した。

実験 II-1. クレンチングが歯髄血流に及ぼす影響について

被験歯を一定の咬合力で持続的にクレンチングさせた時の、歯髄血流変化を観察した。さらに、クレンチング時の咬合力 (2 kg, 4 kg, 6 kg; 他の条件は 30 秒, 1 回に統一), クレンチング持続時間 (30 秒, 60 秒, 90 秒; 他の条件は 2 kg, 1 回に統一), 繰り返回数 (1 回, 2 回, 3 回; 他の条件は 2 kg, 30 秒に統一) をそれぞれ変化させ、歯髄血流変化への影響について検討した。

実験 II-2. クレンチングが電気刺激に生じる歯髄血流反応に及ぼす影響について

各被験歯を最大咬合力で 30 秒間クレンチングさせ、その前後で、被験歯への同一量 (クレンチング前の痛み感覚閾値) の電気刺激によって生じる歯髄血流反応の変化を比較検討した。なお、実験 I-1 と実験 I-2 は同一日に行い、実験 II-1 と実験 II-2 はそれぞれ実験間隔を 1 週間以上あけた異なる日に行った。

歯髄血流変化量は、刺激前の基調血流量を 100% として算出した。統計学的検討は、実験 I-1, I-2 および実験 II-2 については paired-t test を用い、実験 II-1 については repeated measure one-way ANOVA ならびに Fisher's PLSD を用いて行った。危険率 $p < 0.05$ を有意差ありとした。

結 果

実験 I-1. クレンチングが歯髄の痛み感覚閾値に及ぼす影響について

歯髄電気刺激に対する痛み感覚閾値は、クレンチング側では、クレンチング後の方がクレンチング前よりも有意に低下し

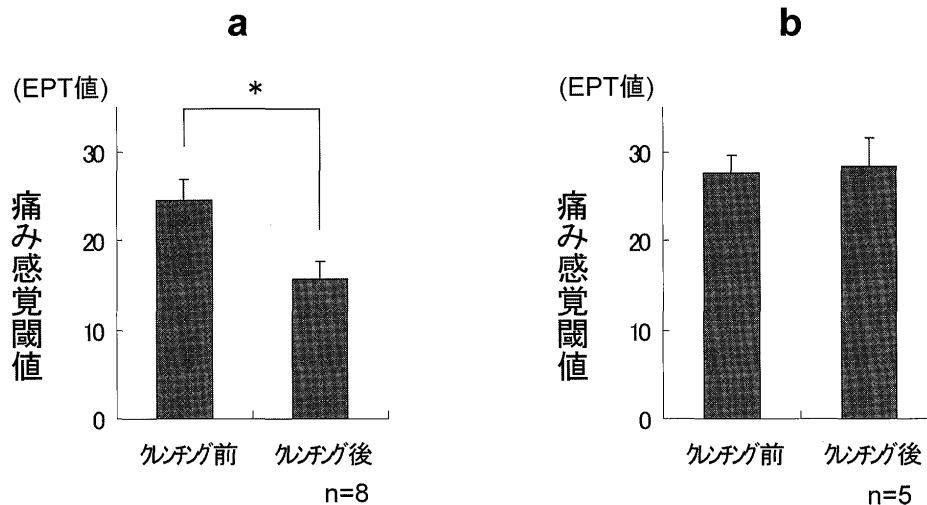


図 3. クレンチング前後における歯髄電気刺激に対する痛み感覚閾値
a: クレンチング側, b: 反対側, * $p < 0.01$

ていた (クレンチング前: 24.6 ± 2.1 , クレンチング後: 15.6 ± 1.9) ($n=8$) ($p < 0.01$) (図 3-a)。一方, 反対側では, クレンチング前とクレンチング後の痛み感覚閾値の間に差はなかった (クレンチング前: 27.6 ± 1.9 , クレンチング後: 28.4 ± 3.1) ($n=5$) ($p=0.405$) (図 3-b)。

なお, 被験者の上顎側切歯における最大咬合力は, 女性では 7.5 ± 0.7 kg, 男性では 12.4 ± 0.8 kg であった。

実験 I-2. クレンチングが痛み感覚強度に及ぼす影響について

歯髄電気刺激によって生じる痛み感覚強度は, クレンチング側では, クレンチング後の方がクレンチング前よりも有意に増大した。(クレンチング前: 20.2 ± 4.9 , クレンチング後: 39.8 ± 7.1) ($n=8$) ($p < 0.01$) (図 4-a)。一方, 反対側では, 有意差は得られなかった (クレンチング前: 21.8 ± 2.7 , クレンチング後: 22.1 ± 2.4) ($n=5$) ($p=0.6729$) (図 4-b)。

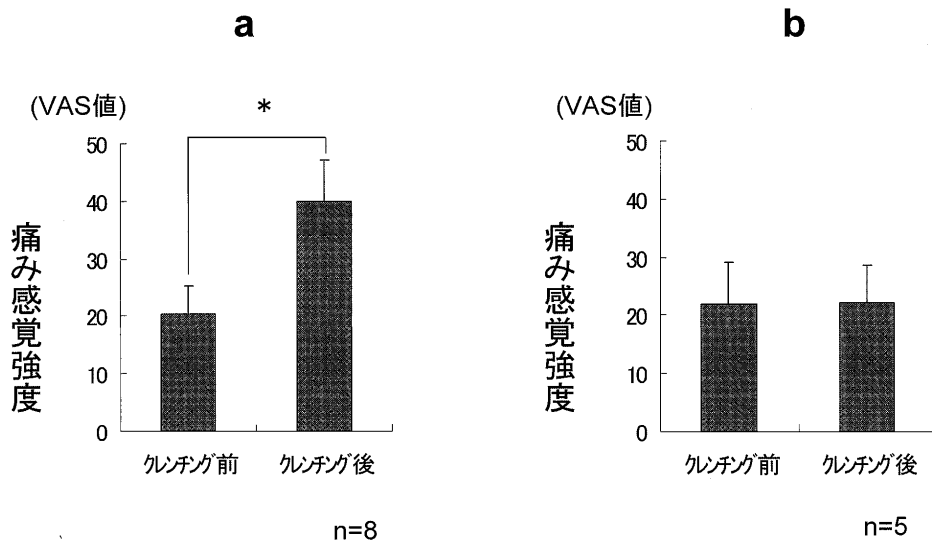


図 4. クレンチング前後における痛み感覚強度 (VAS 値) の違い
a: 同一量の電気刺激に対するクレンチング側の痛み感覚強度, b: 反対側の痛み感覚強度, * $p < 0.01$

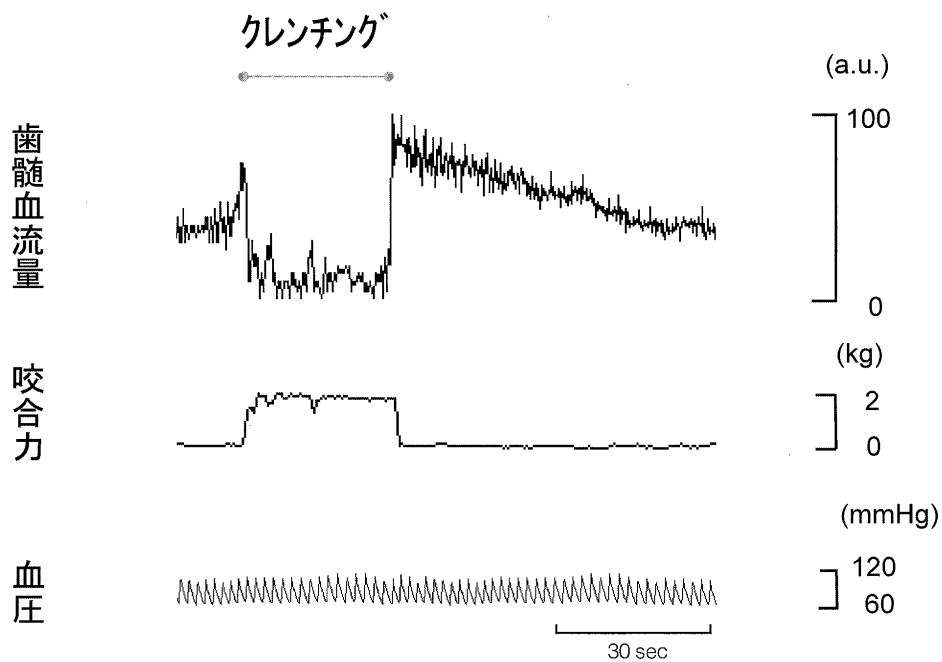


図 5. クレンチングが歯髄血流に及ぼす影響について (典型例)

実験 II-1. クレンチングが歯髄血流に及ぼす影響について

クレンチングにより、全身血圧の著明な変動なく歯髄血流は変化した。歯髄血流の変化様式は、クレンチング開始と同時に減少し、負荷中はその低値を保ち、クレンチング終了に伴い血流減少から増加に転じ、その後、徐々に刺激前の血流値に回復した(図5)が、反対側においては変化は見られなかった。さらに、血流減少成分と血流増加成分のそれぞれについて、クレンチング条件との関係について検討し、以下の結果を得た。

1) 歯髄血流減少成分について

① クレンチング時の咬合力の影響

各咬合力で生じた歯髄血流減少量の間、統計学的有意差なかった(2 kg: 88.3±7.2%, 4 kg: 86.2±10.5%, 6 kg: 84.6±9.8%) (n=7) (p=0.299) (図6-a)。

② クレンチング持続時間の影響

各持続時間で生じた歯髄血流減少量の間、統計学的有意差

はなかった(30秒: 87.8±7.1%, 60秒: 87.1±7.7%, 90秒: 86.2±8.2%) (n=8) (p=0.712) (図6-b)。

③ クレンチング繰り返し回数の影響

各繰り返し回数で生じた歯髄血流減少量の間、統計学的有意差なかった(1回: 83.7±10.1%, 2回: 87.3±7.8%, 3回: 81.6±9.1%) (n=10) (p=0.052) (図6-c)。

2) 歯髄血流増加成分について

① クレンチング時の咬合力の影響

クレンチング後の血流増加量は、咬合力の増加に伴い有意に増大した。(2 kg: 120.1±8.4%, 4 kg: 125.1±8.7%, 6 kg: 131.9±27.8%) (n=8) (p<0.01) (図7-a)。

② クレンチング持続時間の影響

クレンチング後の血流増加量は、クレンチング持続時間の延長に伴い有意に増大した。(30秒: 122.1±12.6%, 60秒: 126.5±10.2%, 90秒: 130.3±10.6%) (n=8) (p<0.01) (図7-b)。

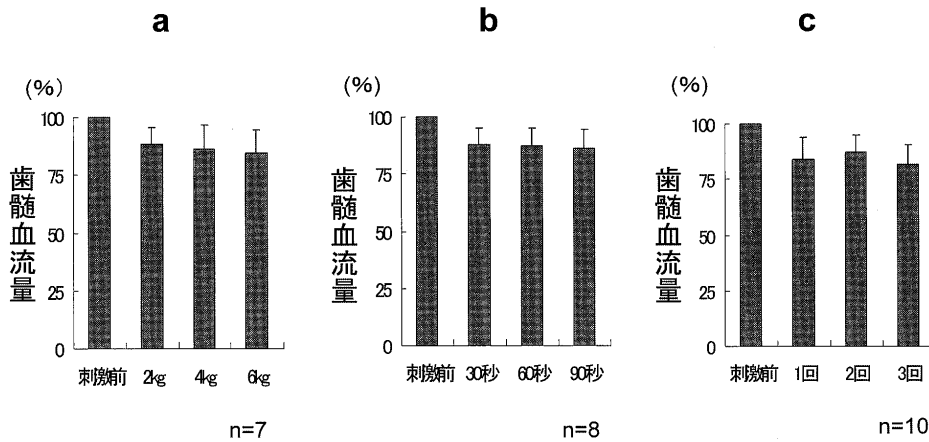


図6. 歯髄血流減少反応に関わる因子
 a: クレンチング時の咬合力 (2 kg, 4 kg, 6 kg; 他の条件は 30 秒, 1 回に統一) と歯髄血流減少量との関係, b: クレンチング持続時間 (30 秒, 60 秒, 90 秒; 他の条件は 2 kg, 1 回に統一) と歯髄血流減少量との関係, c: クレンチング繰り返し回数 (1 回, 2 回, 3 回; 他の条件は 2 kg, 30 秒に統一) と歯髄血流減少量との関係

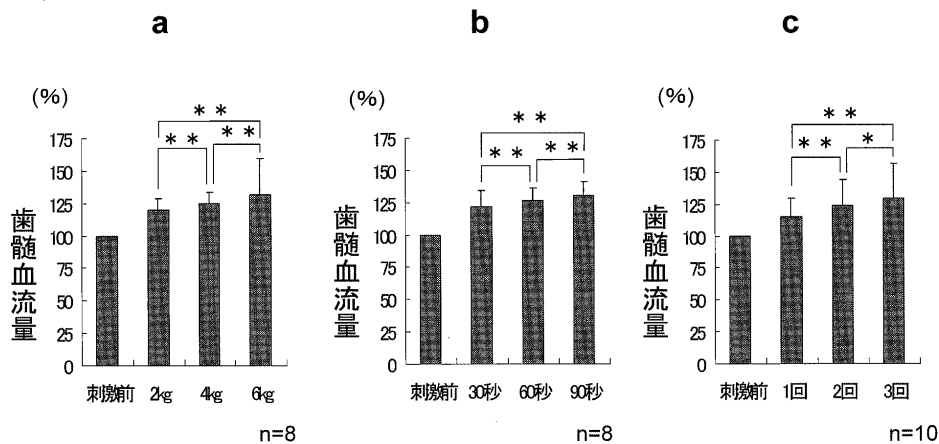


図7. 歯髄血流増加反応に関わる因子
 a: クレンチング時の咬合力 (2 kg, 4 kg, 6 kg; 他の条件は 30 秒, 1 回に統一) と歯髄血流増加量との関係, b: クレンチング持続時間 (30 秒, 60 秒, 90 秒; 他の条件は 2 kg, 1 回に統一) と歯髄血流増加量との関係, c: クレンチング繰り返し回数 (1 回, 2 回, 3 回; 他の条件は 2 kg, 30 秒に統一) と歯髄血流増加量との関係, *p<0.05, **p<0.01

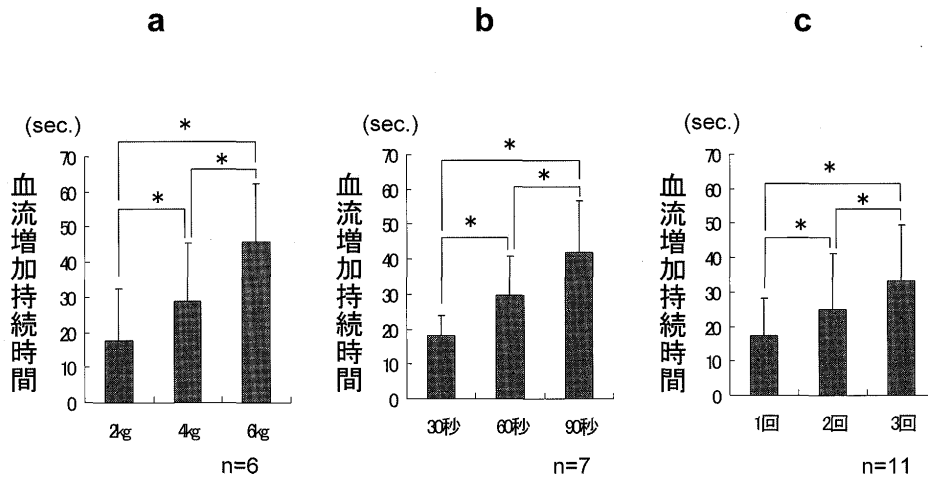


図8. 歯髄血流増加持続時間に関わる因子
 a: クレンチングの咬合力 (2 kg, 4 kg, 6 kg; 他の条件は 30 秒, 1 回に統一) と歯髄血流増加持続時間との関係, b: クレンチング持続時間 (30 秒, 60 秒, 90 秒; 他の条件は 2 kg, 1 回に統一) と歯髄血流増加持続時間との関係, c: クレンチング繰り返し回数 (1 回, 2 回, 3 回; 他の条件は 2 kg, 30 秒に統一) と歯髄血流増加持続時間との関係, * $p < 0.01$

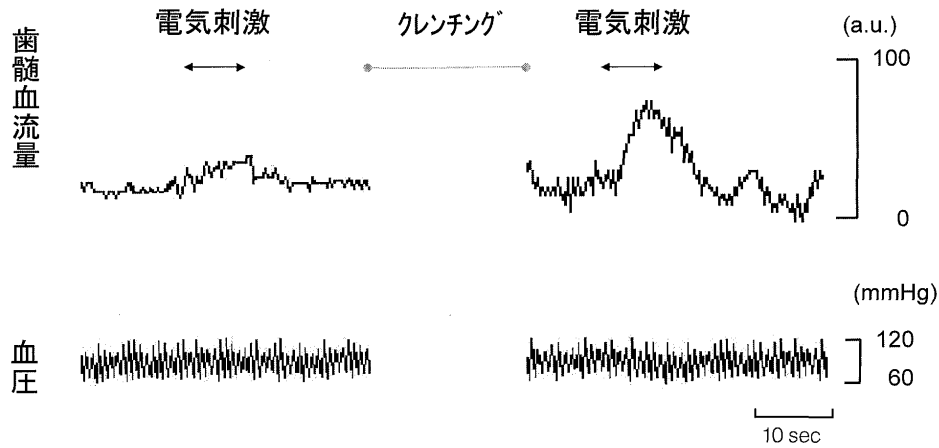


図9. クレンチング前後における歯髄電気刺激に対する歯髄血流反応 (典型例)

③ クレンチング繰り返し回数の影響

クレンチング後の血流増加量は、クレンチング繰り返し回数の増加に伴い有意に増大した。(1回: $114.8 \pm 14.8\%$, 2回: $123.3 \pm 20.4\%$, 3回: $129.5 \pm 26.6\%$) ($n=10$) ($p < 0.01$) (図7-c)。

3) 歯髄血流増加が基調血流値に回復するまでの持続時間について

① クレンチング時の咬合力の影響

基調血流に回復するまでの持続時間は、咬合力の増加に伴い有意に延長した。(2 kg: 17.7 ± 14.7 秒, 4 kg: 28.7 ± 16.6 秒, 6 kg: 45.7 ± 16.5 秒) ($n=6$) ($p < 0.01$) (図8-a)。

② クレンチング持続時間の影響

基調血流に回復するまでの持続時間は、クレンチング持続時間の延長に伴い有意に延長した。(30 秒: 18.1 ± 5.4 秒, 60 秒: 29.5 ± 11.2 秒, 90 秒: 41.7 ± 14.7 秒) ($n=7$) ($p < 0.01$) (図8-b)。

③ クレンチング繰り返し回数の影響

基調血流に回復するまでの持続時間は、クレンチング繰り返し回数の増加に伴い有意に延長した。(1回: 17.2 ± 11.0 秒, 2回: 25.0 ± 16.9 秒, 3回: 33.1 ± 16.1 秒) ($n=11$) ($p < 0.01$) (図8-c)。

実験II-2. クレンチングが電気刺激で生じる歯髄血流反応に及ぼす影響について

クレンチング後に歯髄電気刺激によって生じる歯髄血流増加反応は著明に増大した(図9)。歯髄血流増加反応量は、クレンチング側では、クレンチング後の方がクレンチング前よりも有意に増加した(クレンチング前: $109.3 \pm 3.6\%$, クレンチング後: $135.6 \pm 9.7\%$) ($n=8$) ($p < 0.01$) (図10-a)。クレンチング反対側では、有意差は得られなかった(クレンチング前: $108.6 \pm 1.3\%$, クレンチング後: $109.2 \pm 1.9\%$) ($n=5$) ($p = 0.467$) (図10-b)。また、歯髄血流増加反応が基調血流値に回復

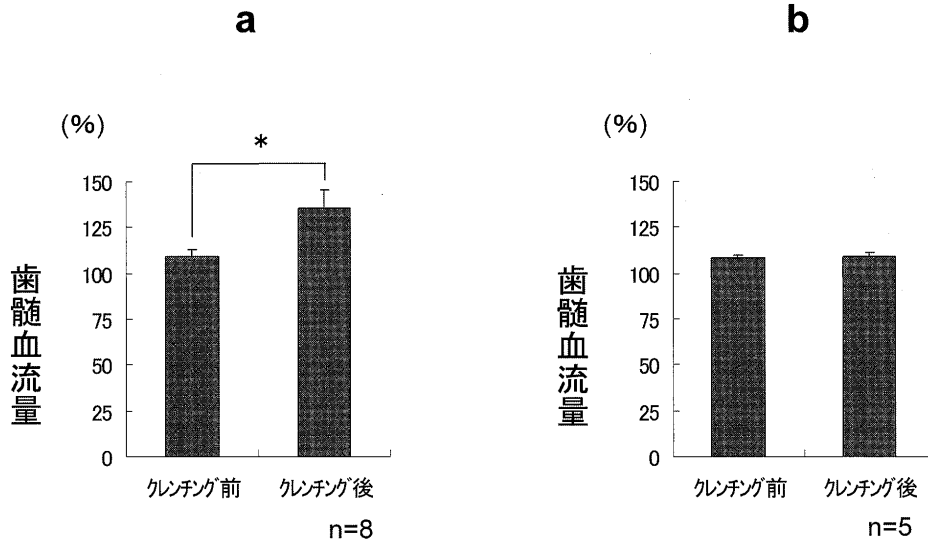


図 10. 歯髄電気刺激に対する歯髄血流反応 1—クレンチング前後における反応量の違い—
a: クレンチング側, b: 反対側, * $p < 0.01$

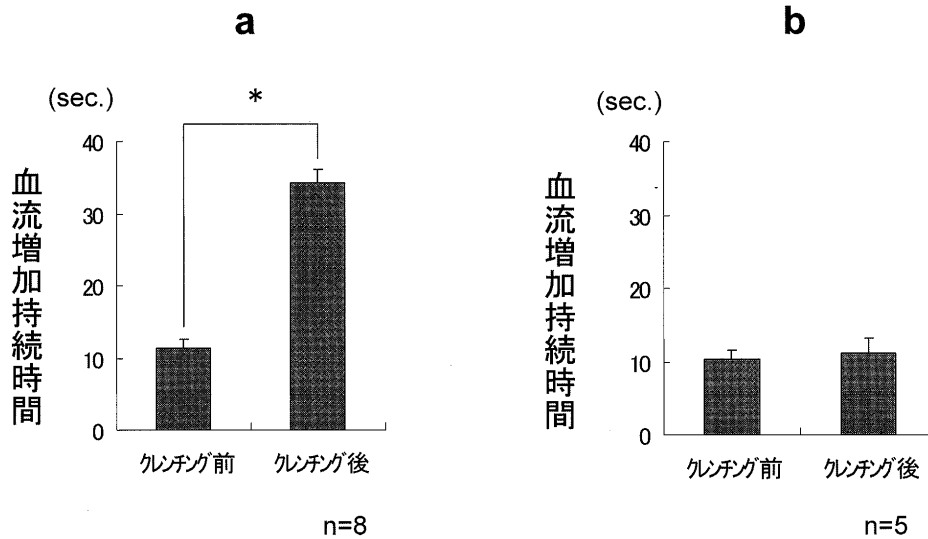


図 11. 歯髄電気刺激に対する歯髄血流反応 2—クレンチング前後における反応持続時間の違い—
a: クレンチング側, b: 反対側, * $p < 0.01$

するまでの時間は、クレンチング側では、クレンチング後の方がクレンチング前よりも有意に延長した (クレンチング前: 11.3 ± 1.1 秒, クレンチング後: 34.1 ± 4.2 秒) ($n=8$) ($p < 0.01$) (図 11-a)。反対側では、有意差は得られなかった (クレンチング前: 10.4 ± 1.1 秒, クレンチング後: 11.2 ± 1.9 秒) ($n=5$) ($p=0.0993$) (図 11-b)。

考 察

1. 咬合力の持続負荷方法について

最近、電気抵抗値の変化を原理として圧力を持続測定するフレキシフォースが開発され、工業製品の精度検査ならびに寝たきり患者の褥創性潰瘍の防止などに用いられている¹⁵⁻¹⁷⁾。現在

ヒトの咬合力測定方法として、デンタルプレスケールが用いられているが、デンタルプレスケールは瞬間最大咬合力を測定する装置であり、咬合力を持続的に測定することはできない。本研究では、フレキシフォースを応用し、咬合力をモニター画面に誘導表示して視覚的フィードバックさせることにより、被験者に一定の咬合力を持続負荷することを可能とした。咬合力の大きさを決定するために、予備実験として、各人の側切歯における最大瞬間咬合力を測定した結果、女性では約 7 kg、男性では約 12 kg であった。高見沢¹⁸⁾は、被験者が疼痛を自覚する時点まで、一歯のみを対合歯と咬ませた最大咬合力は、下顎の第一大臼歯が最大で 74.49 kg、ついで第二大臼歯 70.44 kg、第二小臼歯 55.36 kg、第一小臼歯 44.32 kg、犬歯 31.36 kg、中切歯 20.15 kg、側切歯が 19.65 kg であったと報告している。以上を

もとの、咬合力の大きさは、高見沢の報告の約1/10, 2/10, 3/10である2 kg, 4 kg, 6 kgを用いた。また咬合持続時間は、予備実験で2 kgでクレンチングさせた時の持続限界時間が女性では180秒間、男性では240秒間であったこと、最大クレンチング力の80%のクレンチングでは72秒間¹⁹⁾, 90秒間²⁰⁾, 107秒間²¹⁾持続可能であった過去の報告をもとに、30秒, 60秒, 90秒とした。

II. クレンチングによる歯髄の痛み感覚閾値の低下について

電気刺激に対する歯髄の痛み感覚閾値は、最大咬合力でクレンチングさせた後の方がクレンチング前よりも有意に低下していた(図3-a)。クレンチング反対側では、電気刺激に対する痛み感覚閾値は、クレンチング前後で差がなかったことから、クレンチングは、中枢レベルではなく末梢レベルで、すなわち当該歯の支配神経自体の感覚閾値を低下させる可能性が考えられた。

III. クレンチングによる痛み感覚強度の増加について

クレンチング後には、同一量の電気刺激に対する歯髄の痛み感覚強さ(VAS値)は、クレンチング前よりも有意に増大した(図9-a)。クレンチング反対側では、有意差がなかったことから、支配感覚神経自体の感覚閾値を低下させて痛みを増大させたと考えられた。その機序は①クレンチング自体による血流増加のために歯髄内圧が亢進していること、②クレンチングによってneuro peptideが放出されているために、歯髄神経の自発放電量が増えること、などが関係し、閾値に達するのに必要な刺激量が少なくなると推測される。

本研究の結果は、通常は痛みを惹起しない弱い刺激が、クレンチング後には、痛み刺激に変わる可能性を示唆している。歯髄への刺激は、電気刺激、温度刺激、機械的刺激など全ての刺激が、閾値を越えると痛みを誘発する²²⁾。本研究終了後、被験者の中には、クレンチング前後で同じ冷蔵庫の水を飲んだ時に、クレンチング後には被験歯に痛みが生じた者がみられた。実験で繰り返しクレンチングを行った被験歯には、歯髄充血が生じている可能性があり、この状態で冷たい・熱い飲み物などの刺激が歯髄に加わると、実験II-2でみられた軸索反射性血管拡張反応が生じ、歯髄内圧がさらに亢進して歯痛が生じると考えられた。臨床において、病的クレンチングが繰り返されると、歯髄血流増加加算による歯痛の増悪回路が形成される可能性も考えられる。

クレンチングによる歯髄組織変化に関する報告は、筆者が検索した限りではみあたらない。しかしながら矯正力をヒト第一小臼歯に150gで20日間持続付与したヒト歯髄には、歯髄組織の石灰化物や線維化、充血、炎症所見、出血がみられたとする報告²³⁾や、挺出力を加えた歯髄に、充血、血管拡張、象牙芽細胞の変性、歯髄の空砲化、浮腫、線維化がみられたとする報告²⁴⁾、矯正力を付加した第一小臼歯の歯髄を培養すると、血管

新生が有意に多く観察されたとする報告²⁵⁾がある。以上の報告から、病的クレンチングが繰り返されると、歯髄血流変化のみならず歯髄組織変性が生じることは十分に考えられる。

IV. クレンチングによって生じる歯髄血流変化について

歯髄血流は、クレンチング開始と同時に減少し、負荷中はその低値を保ち、クレンチング終了に伴い、血流減少から増加に転じ、その後徐々に刺激前のもとの血流値に回復する連続した変化様式を示した(図5)。以下に、クレンチングによる血流減少成分と血流増加成分にわけて考察する。

1. 血流減少成分について

歯への外力が歯髄血流へ及ぼす影響は、矯正力について、これまで検討されてきた。

Brodinら²⁶⁾はヒト側切歯に5分間の挺出力または圧下力を加えると、挺出力では歯髄血流に変化は得られなかったが、圧下力で血流減少が生じることを報告した。Sanoら²⁷⁾は、6日間0.5Nによる矯正ワイヤーの圧下力の影響を検討し、歯髄血流は圧下中有意に減少し、圧下力停止後には圧下前の血流値に回復することを報告した。また、Ikawaら²⁸⁾は約0.5Nから5Nの圧下力を20秒間与えると、歯は歯根方向へ移動し、それと同時に歯髄血流が減少したことを報告している。しかしながらこれらの検討は、反射型レーザードブラー血流計で行われており、その欠点として、歯髄血流測定時の出力値に歯周組織血流成分が約65%含まれることが指摘されている^{29,30)}。Sasanoら³¹⁾は反射型レーザードブラー血流計を用いて、ネコ犬歯に圧下力が加わっている間は歯根膜血流が減少することを報告している。従って、これまでの報告は歯周組織血流の変化が反映されたもので、歯の圧下力に対する純粋な歯髄血流変化については不明であった。

一方、Sasanoら^{32,33)}は、歯髄血流の検出方法として、周囲歯周組織血流成分を含んだ反射レーザー光ではなく、歯髄を透過した透過レーザー光を利用することを試み、透過型レーザードブラー血流計を新しく開発した。この装置では、従来の反射型で失活歯の歯髄血流を測定した場合に検出されてしまう歯周組織血流成分が全く導出されることなく、歯周組織の影響を排除した純粋な歯髄血流を測定することができる。本実験では歯の圧下時に歯髄血流減少が観察され、減少率は約15%で、Sanoら²⁷⁾やIkawaら²⁸⁾の減少率約30%に対して約1/2と少なかった。これは、本実験で歯周組織成分を排除できたことを裏付ける所見と考えられる。透過型レーザードブラー血流計を用いた本研究で歯髄血流の減少が観察されたことから、クレンチング負荷時に歯髄血流そのものが減少することは明らかである。

今回のクレンチング中の歯髄血流減少量は、咬合力の大きさ、クレンチング持続時間および繰り返し回数のいずれの条件を変化させても変わらなかった。Ikawaら²⁸⁾は、約0.5Nから約6Nまでの圧下力を20秒間与えた場合、歯髄血流の減少は

約 5 N で飽和に達したこと、さらに歯髄血流減少量は圧下力の大きさとは相関せず、歯の根尖方向への移動量と相関したと報告している。Picton ら³⁴⁾ は、5 N の垂直圧下力で、歯の根尖方向への移動は限界に達し、その移動量は約 45 μm であったと報告している。本実験で用いた最小咬合力 (2 kg, 30 秒間) は、彼らの報告の 4 倍であり、歯の根尖方向への移動は既に限界に達し、歯髄血流減少量が飽和に達していたと考えられた。クレンチングによる血流減少の機序は、歯の圧下すなわち根尖方向への歯の移動によって歯根根尖部の血管が機械的に圧迫されて生じると考えられた。

2. 血流増加成分について

これまでの Sano ら²⁷⁾ や Ikawa ら²⁸⁾ などの報告では、歯への圧下力負荷終了後、歯髄血流は速やかに元の血流値に回復していた。しかしながら、本実験では、クレンチング終了後に、歯髄血流は減少から増加反応に転じた。彼らの報告では、付与力は 0.5 N から約 5 N であったのに対して、本研究で与えた咬合力は、2 kg (約 20 N), 4 kg (約 40 N), 6 kg (約 60 N) と、彼らの報告の約 10 倍以上の強い力であった。本研究結果の違いは、被験歯へ加えられた力の大きさの違いに基づくと考えられた。

Okabe ら³⁵⁾ は、頸静脈結紮後におこるラット歯肉における反応性充血の機序について検討し、反応性充血は結紮によって障害された血管から放出されるブラジキニンに起因することを明らかとした。本研究では歯髄内のブラジキニンなどのケミカルメディエーターの測定は行っていないが、過度の咬合力によるクレンチングは、根尖部血管を持続的に圧迫して障害し、障害血管からブラジキニンなどの炎症性物質が遊離放出され、その結果、歯髄に反応性充血が惹起されたと考えられる。

本研究では、歯髄血流増加成分は減少成分とは異なり、咬合力の大きさ、クレンチング持続時間、繰り返す回数に明らかに依存していた。この結果から、実際の臨床では、クレンチングが習慣的に日常高頻度に繰り返される病的状態になると、根尖部血管が障害されて、起炎物質放出量が増え反応性充血が持続したままの状態に陥る可能性があるかと推察された。

V. クレンチングが電気刺激によって生じる歯髄血流反応に及ぼす影響について

本実験では、電気刺激によって生じる歯髄血流反応が、クレンチングによって著明に増加した。

近年、歯髄の痛み刺激は口腔領域に様々な反射性血管拡張を惹起することが、動物実験ならびにヒトを対象とした実験によって明らかとされた^{14,36,37)}。今回、電気刺激によって生じた歯髄血流増加反応は、血圧の変動を伴わなかったことから、従来報告されている反射性血管拡張、特に軸索反射性血管拡張であると考えられる^{12,38,39)}。今回の結果から、過度の咬合力でのクレンチングは、歯髄に著明な軸索反射性血管拡張を惹起させることが示唆された。軸索反射性血管拡張は、クレンチング自体

によって生じる歯髄血流増加 (実験 II-1 の結果) に加算して、歯髄内圧をさらに亢進させる可能性がある。

VI. 過度の咬合力による象牙質知覚過敏症発症の可能性について

臨床におけるクレンチングによる象牙質知覚過敏症例の報告では、歯痛は一歯から数歯に局限している⁶⁻⁹⁾。本研究ではクレンチングは一歯のみに行われたが、全歯列でクレンチングさせた時の咬合力について服部ら⁴⁰⁾ は、1 分間できるかぎり強くプレスケールをかみしめた時の側切歯の咬合力平均値は 12.6 N (1.26 kg) であったと報告している。一般に日常行われるクレンチングでは、咬合力は全歯列に分散し一歯のみで咬合した時よりもはるかに低い。しかしながら、修復物の咬合不調和や歯の移動 (歯周病や矯正治療などによる) などで一歯のみが強くあたる早期接触が存在すると、当該歯に過度の咬合力が加わり、本研究結果で確認されたような歯髄血流増加が生じて歯痛が発生することが十分に考えられる。本研究は、早期接触がある歯列での病的クレンチングは、過度の咬合力を早期接触歯に与え、象牙質知覚過敏症を発症させる可能性があることを強く示唆する。

結 論

1. 歯髄電気刺激に対する痛み感覚閾値は、クレンチング後ではクレンチング前よりも有意に低下した。
2. 歯髄電気刺激に対する痛み感覚強度は、クレンチング後では、クレンチング前よりも有意に増大した。
3. 歯髄血流は、クレンチング自体によって、血圧の変動なく変化した。変化様式は、クレンチング開始と同時に減少し、負荷中はその低値を保ち、クレンチング終了に伴い血流減少から増加に転じ、その後、徐々に刺激前の血流値に回復する連続した様式を示した。血流減少量は、クレンチング条件によって変化しなかったが、血流増加量は、クレンチング時の咬合力、クレンチング持続時間および繰り返す回数の増加に伴い増大した。
4. 歯髄電気刺激による歯髄血流増加反応は、クレンチング後では、クレンチング前にはみられなかった著明な血流増加反応が惹起された。

以上の結果から、過度の咬合力は、歯髄血流を増加させ、痛み感覚閾値を低下させることが明らかとなった。本研究結果は、早期接触などで生じる病的クレンチング (過度の咬合力でのクレンチング) は象牙質知覚過敏症を発症する可能性を示唆する。

謝 辞

本稿を終えるにあたり、御懇意なるご指導とご鞭撻を賜りました東北大学大学院歯学研究所 口腔病態外科学講座 口腔

診断学分野 笹野高嗣教授に謹んで感謝の意を表します。また、本研究及び論文作成にあたり、細部にまで終始、御指導、御助言頂きました東北大学大学院歯学研究科 口腔病態外科学講座 口腔診断学分野 佐藤しづ子博士に心より拝謝いたします。また、本研究および論文作成にあたり細部にまで終始ご指導、ご助言頂きました東北大学大学院 口腔診断科 刈田啓史郎先生、東北大学大学院 歯科生体材料学分野 片倉直至先生に心より拝謝いたします。さらに、フレキシフォースに関してご指導頂きましたニッタ株式会社 樋口章雄氏、透過型レーザードプラー血流計に関してご指導頂きましたサイバーファーム株式会社 未至磨和人氏、小浦建夫氏、宮原隆明氏、矢島秀明氏に心より拝謝申し上げます。最後に被験者を快く引き受けていただきました口腔診断科の医局員の皆様に心から感謝申し上げます。

なお、本研究の一部は第123回日本歯科保存学会学術大会(2005年11月25日,東京),第125回日本歯科保存学会学術大会(2006年11月6日,鹿児島)において発表した。

文 献

- 加藤 滌: 歯周治療における咬合治療, プラキシズムの処置. 最新歯周病学第1版. 医歯薬出版, 東京, 1997, pp. 247-282.
- 畢 良佳, 加藤 滌: 歯周組織の炎症と咬合性外傷が合併した時のサル歯周組織の変化—炎症の程度と咬合性外傷の強さの影響について—. 日歯周誌 **38**: 385-399, 1996.
- 加藤 滌, 坂上竜資: 歯ぎしり—歯周炎の進行に咬合性外傷が関わっていると考えられる症例. 歯科診療の実践(3); 第1版, 医歯薬出版, 東京, 1995, pp. 126-129.
- Ramfjord, S.P. and Ash, M.M.: Occlusion; 3rd ed, W.B. Saunders Co, Philadelphia, 1971.
- Zarb, G.A., Carlsson, G.E. and Rugh, J.D.: Clinical management. Zarb, G.A., Carlsson, G.E., Sessle, B.J. and Mohl, N.D. (edit.): Temporomandibular joint and masticatory muscle disorders. 1st (edit). Munksgaard, Copenhagen, 1994, pp. 529-548.
- Wilson, T.G.: Bruxism and cold sensitivity. Quintessence International **33**: 559, 2002.
- Yip, K.H., Chow, T.W. and Chu, F.C.: Rehabilitating a patient with bruxism-associated tooth tissue loss. a literature review and case report. General Dentistry **51**: 70-74, 2003.
- 常盤 修, 竹澤保政, 高橋洋一, 笹栗健一, 佐藤真雄: 歯科疾患とプラキシズムの関係に関する実態調査. 神奈川歯学 **39**: 188-191, 2004.
- 寺岡康利: プラキシズムをめぐる背景とスプリント療法. Dental Diamond **12**: 26-32, 2004
- 歯科医学大事典編集委員会編集: 歯科医学大事典 第1版. 1988, pp. 1712.
- 笹野高嗣: 歯髄における血流調節のしくみ. 歯界展望 **94**: 902-912, 1999.
- Konno, Y., Daimaruya, T., Kanzaki, R., Takahashi, I., Iikubo, M. and Sasano, T.: The morphological and hemodynamical analysis in the dog dental pulp following molar intrusion using the skeletal anchorage system (SAS). Am J. Orthod Dentofacial Orthop, in press.
- Sasano, T., Kuriwada, S. and Sanjo, D.: Arterial blood pressure regulation of pulpal blood flow as determined by Laser Doppler. J. Dent. Res. **68**: 791-795, 1989.
- 橋本憲二: ヒト歯髄における反射性血管拡張について. 日歯保誌 **46**: 878-887, 2003.
- 安東範明, 藤本泰代, 安東美波留, 真野行生, 高柳哲也: 筋ジストロフィー症の車椅子用クッションの検討. 神経治療学 **11**(3): 273-277, 1994.
- 阿部 薫: 圧力センサーを用いた臨床研究と応用. POP アカデミージャーナル **7**(1): 1999.
- 平田雅子, 深田裕子, 岩永淳子: 褥瘡の発生予防と治療に関する研究 (第2法)—発生因子観察方法の考察とわれわれの選択—. 神戸市立看護短期大学紀要 **12**: 27-35, 1993.
- 高見沢忠: 健康永久歯の相対咬合力および個歯咬合力に関する研究. 補綴誌 **9**: 217-226, 1965.
- Monteiro, A.A., Svensson, H., Bornmyr, S., Arborelius, M. and Kopp, S.: Comparison of ¹³³Xe clearance and laser doppler flowmetry in assessment of blood flow changes in human masseter muscle induced by isometric contraction. Archs. Oral. Biol. **34**: 779-786, 1989.
- Rasmussen, O.C., Bonde-Petersen, F., Christensen, L.V. and Moller, E.: Blood flow in human mandibular elevators at rest and during controlled biting. Arch. Oral. Biol. **22**: 539-543, 1977.
- Mao, J., Stein, R.B. and Osborn, J.W.: Fatigue in human jaw muscles, a review. J. Orofac. Pain. **7**: 135-142, 1993.
- 市岡正道 総編集: 歯髄の感覚; 最新歯学生理学; 第2版, 医歯薬出版, 東京, 1978, pp. 213-217.
- Raiden, G., Missana, L., Santamaria, T.E., Kozuszko, S. and Pedroso, R.: Pulpal response to intrusive orthodontic forces. Acta Odontol Latinoam. **11**: 49-54, 1998.
- Mostafa, Y.A., Iskander, K.G. and El-Mangoury, N.H.: Iatrogenic pulpal reactions to orthodontic extrusion. Am. J. Orthod Dentofacial Orthop. **99**: 30-34, 1991.
- Delcanho, R.E., Kim, Y.J. and Clark, G.T.: Haemodynamic changes induced by submaximal isometric contraction in painful and non-painful human masseter using near-infrared spectroscopy. Arch. Oral Biol. **41**: 585-596, 1996.
- Brodin, P., Linger, L. and Aars, H.: Instant assessment of pulpal blood flow after orthodontic force application. J. Orofacial Orthopedics **57**: 306-309, 1996.
- Sano, Y., Ikawa, M., Sugawara, J., Horiuchi, H. and Mitani, H.: The effect of continuous intrusive force on human pulpal blood flow. Eur. J. Orthodontics. **24**: 159-166, 2002.
- Ikawa, M., Fujiwara, M., Horiuchi, H. and Shimauchi, H.: The effect of short-term tooth intrusive on human pulpal blood flow measured by laser Doppler flowmetry. Arch. Oral Biol. **46**: 781-787, 2001.
- Amess, T.R., Andrew, D., Son, H. and Matthews, B.: The contribution of periodontal and gingival tissues to the laser Doppler blood flow signal recorded from human

- teeth. *J. Physiol. (Lond)* **473**: 142, 1993.
- 30) Hartmann, A., Azerad, J. and Boucher, Y.: Environmental effects on laser Doppler pulpal blood-flow measurements in man. *Archs. Oral Biol.* **41**: 333-339, 1996.
- 31) Sasano, T., Kuriwada, S., Sanjo, D., Izumi, H., Tabata, T. and Karita, K.: Acute response of periodontal ligament blood flow to external force application. *J. Periodontal Res.* **27**: 301-304, 1992.
- 32) Sasano, T., Nakajima, I., Shoji, N., Kuriwada, S., Sanjo, D., Ogino, H. and Miyahara, T.: Possible application of transmitted laser light for the assessment of human pulpal vitality. *Endod. Dent. Traumatol.* **13**: 88-91, 1997.
- 33) Sasano, T., Onodera, D., Hashimoto, K., Iikubo, M., Satoh-Kuriwada, S., Shoji, N. and Miyahara, T.: Possible application of transmitted laser light for the assessment of human pulpal vitality. Part 2. Increased laser power for enhanced detection of pulpal blood flow. *Endod. Dent. Traumatol.* **21**: 37-41, 2005.
- 34) Picton, D.C.: The effect of normal vertical tooth mobility of the rate of thrust and the time interval between thrusts. *Arch. Oral Biol.* **8**: 291-299, 1963.
- 35) Okabe, E., Todoki, K. and Ito, H.: Direct Pharmacological action of vasoactive substances on pulpal blood flow: an analysis and critique. *J. Endod.* **15**: 473-477, 1989.
- 36) Shoji, N., Sasano, T., Satoh-Kuriwada, S., Iikubo, M., Taniguchi, M. and Marumo, M.: Somatosensory afferents mediating the bilateral reflex vasodilatation in cat palate induced by noxious tooth-pulp stimulation. *J. Periodontal Res.* **35**: 242-246, 2000.
- 37) Satoh-Kuriwada, S., Sasano, T., Date, H., Karita, K., Izumi, H., Shoji, N. and Hashimoto, K.: Centrally mediated reflex vasodilatation in the gingival induced by painful tooth-pulp stimulation in sympathectomized human subjects. *J. Periodontal Res.* **38**: 218-222, 2003.
- 38) Olgart, L., Edwall, L. and Gazelius, B.: Involvement of afferent nerves in pulpal blood-flow reactions in response to clinical and experimental procedures in the cat. *Arch Oral Biol.* **36**: 575-581, 1991.
- 39) Matthews, B. and Vongsavan, N.: Axon reflex vasodilatation in cat tooth-pulp. *Soc. Neurosci. Absyr.* **17**: 1368, 1991.
- 40) 服部佳功, 佐藤智昭, 渡辺 誠: 咬みしめ時の歯列における咬合力分布. *顎機能誌* **2**: 111-117, 1996.