



Title	大臼歯部の単冠補綴装置が咀嚼に及ぼす影響
Author(s)	綿本, 隆生
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/45551
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

大臼歯部の単冠補綴装置が咀嚼に及ぼす影響

大阪大学大学院歯学研究科 統合機能口腔科学専攻

顎口腔機能再建学講座 顎口腔咬合学分野

綿本 隆生

大臼歯部の単冠補綴装置が咀嚼に及ぼす影響

大阪大学大学院歯学研究科 統合機能口腔科学専攻

顎口腔機能再建学講座 顎口腔咬合学分野

綿本 隆生

緒言

日常臨床において、う蝕などによる歯冠崩壊歯に歯内療法、支台築造、歯冠補綴治療を行う一連の処置は、顎口腔機能を回復することを目的として一般的に行われている。なかでも咀嚼は顎口腔機能の主要な部分を占めており、咀嚼を末梢でコントロールする要因として歯、顎関節、咀嚼筋の三つが存在する¹⁾。したがって、歯冠崩壊歯に歯冠補綴装置を装着することにより、咀嚼機能は影響を受けることが予想される。しかし、日常的に行われている歯冠補綴治療が咀嚼に及ぼす影響に関しては報告が少なく^{2, 3)}、臨床エビデンスの早期の蓄積が望まれている。

咀嚼機能を客観的に評価する方法として下顎運動、筋活動、咬合接触状態、咬合力、咀嚼能力などの分析が行われ、臨床応用されている。しかし現在、咀嚼機能を総合的に評価する単一の方法がないため、本研究では咀嚼機能を咀嚼運動と咀嚼能力の両面から評価することを試みた。

咀嚼時の下顎運動は脳幹のパターンジェネレーターで制御される最も原始的かつ巧緻な機能運動の一つであり^{4, 5)}、四肢の運動と同様に熟練した運動である。熟練した運動の主要な目標の一つは最適な円滑運動を行うことである。運動の円滑性は、加速度の時間的変化率で定義されるジャークの大きさの平方平均で定量化されている。よって、運動中のジャークの平方の時間積分として定義されるジャーク・コストを最小化することは明確な運動目標として広く受け入れられている。近年の研究^{6, 7)}において正常咬合者の咀嚼運動は最大円滑運動として説明できることが明らかにされたことから、本研究においては従

来の咀嚼リズム，速度，経路の分析に加えて，咀嚼運動の客観的評価にジャー
ク・コストを応用した．

また，咀嚼には摂食，咬断，粉碎，混合，食塊形成，嚥下などさまざまな段
階があり，また各段階は独立したものではなく，互いに関連し影響しあってい
る．咀嚼能力の検査法には，咀嚼する咀嚼試料より直接判定する方法と咀嚼に
関与する他の要素より間接的に測定する方法とに大別される．そのなかでも粉
砕能力を評価，判定する方法として，方法論的にある程度確立され，臨床応用
が可能であるのが篩分法^{8, 9)}を用いた咀嚼能率である．そこで本研究では咀
嚼能力の評価法として篩分法による咀嚼能率を採用した．

本研究の目的は咀嚼運動を評価する指標である咀嚼運動の円滑性および咀嚼
運動のリズム，速度，経路と，咀嚼能力を評価する指標である咀嚼能率を検討
することにより，咀嚼において重要な役割を果たす^{10, 11)} 大臼歯部への単冠
補綴装置装着が咀嚼に及ぼす影響を明らかにすることである．

方法と材料

1. 被験者

本学附属病院顎関節・咬合科受診患者より表 1 に示す条件を満たす 19 名
(男性 5 名, 女性 14 名, 平均年齢 47.9 歳) を選択した．被験者全員に，本研究
の目的と内容について十分な説明を行い，研究参加の同意を得た．実験内容は
本学倫理委員会の承諾を受けた．

2. 歯冠補綴装置

各被験者の被験歯に、通法どおりの支台築造、支台歯形成、および印象採得を行った後、三種類の歯冠補綴装置を製作した。その形態は、解剖学的形態をもつ a タイプ(anatomical type)、咬合面形態がフラットな f タイプ(flat type)、咬合接触をもたない n タイプ(no-contact type)とした(図 1, 2)。歯冠補綴装置にはタイプⅢ金合金(キャスティングゴールドタイプⅢ, モリタ)を使用した。なお、被験歯はすべて失活歯で、その内訳は上顎第一大臼歯が 5 本、上顎第二大臼歯が 5 本、下顎第一大臼歯が 2 本、下顎第二大臼歯が 7 本であった。

3. 被験食品ならびに測定方法

咀嚼運動の測定には被験食品として、被験者の口腔内にて十分に軟化したチューインガム 1 枚(FREE ZONE, ロッテ)を用い、被験運動は左右側を指定した 20 秒間の片側咀嚼運動左右各 1 回とした。咀嚼開始前に舌背中央に被験食品をのせ、咬頭嵌合位を保持した状態から咀嚼開始の合図で咀嚼を行うように指示した。下顎運動記録装置としてシロナソグラフアナライジングシステムⅢ(カノープス, 東京歯科産業)を用い、下顎切歯点の運動を記録した。

咀嚼能率の測定には被験食品としてピーナッツ(ふれっしゅぴーなっつ, 有馬芳香堂)を用いた。すなわち、ラテックス製の袋(2cm×2cm)を自作し、それにピーナッツ約 3g を封入し、袋ごと被験者に咀嚼させた。被験運動は補綴側における片側咀嚼 20 回とした。

4. データ採得のプロトコル

測定に先立ち、表 2 に示すプロトコルに従い、被験者への実験説明や被験歯の築造などを行い、装着する歯冠補綴装置の順番をランダムに決定した。その後、測定の 1 回目には支台歯の状態にて咀嚼運動、咀嚼能率の測定、歯冠補綴装置の仮着を行った。測定の 2 回目には、前回仮着した歯冠補綴装置の状態にて咀嚼運動、咀嚼能率の測定を行った後、仮着冠を撤去し、別タイプの歯冠補綴装置の仮着を行った。測定の 3 回目、4 回目も 2 回目と同様に測定を行った。測定初回は、咀嚼運動が安定した後に記録を行った。各測定日間は被験者によって異なるが、1～2 週間とした。

分析 1 咀嚼運動のリズム、速度、経路

記録された咀嚼運動よりそのリズム（閉口相時間、開口相時間、咬合相時間、咀嚼周期）、最大速度（閉口時、開口時）、最下方点の座標（前後座標、側方座標、上下座標、原点からの距離）、最大側方幅（図 3～5）の 11 項目についてそれぞれの平均と標準偏差を算出した。なお、分析には専用ソフトウェア Incisal Point Movement Analysis Program (IPMAP) を用いた。統計学的分析には Scheffé の多重比較を用いて各状態における有意差検定を行った。また、被験者を補綴部位により、上顎、下顎の二群に分け、同様の分析を行った。有意水準は危険率 5 % とした。

分析 2 咀嚼運動の円滑性

各咀嚼サイクルにおける、下顎中切歯点変位量の側方成分 x 、前後成分 y 、

垂直成分 z の時系列データに、それぞれ 20 次フーリエ級数を用いて近似することにより、三次元運動を示す関数 $x(t)$, $y(t)$, および $z(t)$ を得た (Mathematica 4.0, Wolfram Research, Champaign, IL, USA). 次に三次元的顎運動の接線速度、経路の長さを求め、以下の計算式 (1) に基づいて閉口相におけるジャーク・コスト¹²⁾ を計算した.

$$\text{jerk - cost} = 0.5 \int_0^T \left[\{x'''(t)\}^2 + \{y'''(t)\}^2 + \{z'''(t)\}^2 \right] dt \quad \dots (1)$$

また、各咀嚼サイクル間で運動時間と運動距離が異なっているため、時間軸と移動距離を正規化した正規化ジャーク・コスト (NJC)¹³⁾ を以下の計算式 (2) に基づいて算出し、比較に用いた. ここで、 T は咀嚼 1 サイクルにかかる時間 (ms), D は咀嚼 1 サイクルの距離 (mm) を示す.

$$\text{NJC} = (\text{jerk - cost}) \times \frac{T^5}{D^2} \quad \dots (2)$$

ジャーク・コストは咀嚼サイクル毎に算出されるため、補綴側におけるすべての NJC の分布を検討し、中央値を各被験者の代表値として用いた. 統計学的分析には Steel-Dwass の検定を用いて各状態における NJC の有意差検定を行った. また、被験者を補綴部位により、上顎、下顎の二群に分け、同様の分析を行った. 有意水準は危険率 5 % とした.

分析3 咀嚼能率

被験者により咀嚼されたラテックス製の袋を開封し、咀嚼後のピーナッツの粉砕片を容器に移し、その状態で、十分に自然乾燥させた。その後、Manly の篩分法⁷⁾に準じ、咀嚼後の粉砕片を10メッシュの篩にかけ、篩を通過した粉砕片の全重量に対する重量%を算出した。粉砕片の重量測定には、パーソナル電子天秤(EW-150i, エーアンドアイ)を用いた。統計学的分析には Scheffé の多重比較を用いて各状態における咀嚼能率の有意差検定を行った。また、被験者を補綴部位により、上顎、下顎の二群に分け、同様の分析を行った。有意水準は危険率5%とした。

結果

1. 咀嚼運動のリズム、速度、経路

平均値については、咀嚼運動のリズム、速度、経路のいずれに関しても被験歯が支台歯、nタイプ、fタイプ、aタイプいずれの状態同士を比較しても有意差は認められなかった。一方、標準偏差についても、11項目中9項目では有意差は認められなかった(表3)。しかし、閉口相時間の標準偏差(図6)は支台歯の状態に比較してaタイプが有意に小さな値となった($P<0.05$)。また、被験歯が下顎の場合(図6)、支台歯の状態に比較してfタイプ、aタイプは咬合相時間の標準偏差が有意に小さな値となった($P<0.05$)。

2. 咀嚼運動の円滑性

全被験者の補綴側におけるN J Cの中央値は、被験歯が支台歯、nタイプ、fタイプ、aタイプの順に4346.5, 2340.9, 2364.0, 1872.3となった(図7). nタイプ、fタイプ、aタイプそれぞれのN J Cは、支台歯の状態と比較して有意に小さな値となった($P<0.01$). すなわち、補綴装置装着により咀嚼運動の円滑性は有意に向上することが示された. 補綴装置間には有意差を認めなかった.

全被験者の非補綴側におけるN J Cの中央値は、被験歯が支台歯、nタイプ、fタイプ、aタイプの順に1569.3, 2102.6, 1738.3, 1853.5となった(図7). しかし、いずれの状態を比較しても有意差を認めなかった. すなわち、補綴処置を施していない側での咀嚼運動の円滑性は変化しないことが示された.

被験歯が上顎の場合、N J Cの中央値は被験歯が支台歯、nタイプ、fタイプ、aタイプの順に4092.5, 2108.1, 2402.8, 2059.1となった(図8). しかし、いずれの状態を比較しても有意差は認めなかった.

被験歯が下顎の場合、N J Cの中央値は被験歯が支台歯、nタイプ、fタイプ、aタイプの順に4399.9, 2617.5, 2364.0, 1854.9となった(図8). nタイプ、fタイプ、aタイプそれぞれのN J Cは、支台歯の状態と比較して有意に小さな値となった($P<0.05$). すなわち、下顎に対する歯冠補綴治療は咀嚼運動の円滑性を有意に向上させることが示された. 補綴装置間には有意差を認めなかった.

結果 3 咀嚼能率

全被験者の咀嚼能率の平均値は、被験歯が支台歯、nタイプ、fタイプ、aタイプの順に 70.9%、83.9%、82.7%、86.7%であった（図9）。nタイプ、fタイプ、aタイプそれぞれにおける咀嚼能率は支台歯の状態における咀嚼能率と比較し、有意に大きな値となった（ $P<0.01$ ）。すなわち、一歯のみ的大臼歯歯冠補綴装置の装着により咀嚼能率は有意に向上することが示された。補綴装置間には有意差を認めなかった。

被験歯が上顎の場合、咀嚼能率の平均値は被験歯が支台歯、nタイプ、fタイプ、aタイプの順に 69.0%、81.6%、81.0%、86.5%であった（図10）。aタイプにおける咀嚼能率は支台歯の状態における咀嚼能率と比較し、有意に大きな値となった（ $P<0.01$ ）。補綴装置間には有意差を認めなかった。

被験歯が下顎の場合、咀嚼能率の平均値は被験歯が支台歯、nタイプ、fタイプ、aタイプの順に 73.1%、86.6%、84.5%、87.0%であった（図10）。nタイプ（ $P<0.01$ ）、fタイプ（ $P<0.05$ ）、aタイプ（ $P<0.01$ ）それぞれにおける咀嚼能率は支台歯の状態における咀嚼能率と比較し、有意に大きな値となった。補綴装置間には有意差を認めなかった。

考察

近年、補綴治療分野において治療効果を機能面から客観的に評価しようとする試みが数多くなされ、なかでも口腔の生理機能の一つである咀嚼の評価に関しては、咀嚼能率検査^{8, 9, 14, 15)}、咀嚼運動検査¹⁶⁾が報告され、臨床応用

されている。また、咀嚼運動と咬合との関連性を調べた報告は数多く存在する^{17~19)}。しかし、咬合の最小単位である1本の歯の歯冠形態の変化が、咀嚼に及ぼす影響を検討した報告は数少ない。著者らは単一歯であっても、その歯冠形態の変化により歯根膜の感覚受容器から中枢神経系への感覚入力の変化およびに周囲の口腔軟組織との協調性に変化が生じ、咀嚼機能に何らかの影響が生じると考え、検討を行った。

1. 咀嚼運動のリズム、速度、経路について

咀嚼運動のリズム、速度、経路の分析結果より、aタイプ装着時は他の状態に比較して閉口相時間の安定性が高いことが明らかとなった。aタイプ装着時は咀嚼能率も高い値となり、この咀嚼能力との相関性は、運動経路および運動リズムの安定性であるという報告^{20, 21)}に一致する。しかし、それ以外の咀嚼運動のリズム、速度、経路には歯冠補綴装置装着の有無にかかわらず、またどの歯冠補綴装置形態同士を比較しても変化は認められなかった。咀嚼運動の分析項目は平均値と標準偏差を合わせると22項目と多いことから、分析時には α エラーが大きくなりやすいことを考慮すると、歯冠補綴装置の装着による咀嚼リズムの安定性に対する影響は少ないと考えられる。過去の研究^{2, 3)}においても、歯冠補綴装置により被験者間共通の変化は認められず、個人内の咀嚼運動のリズムの安定性が向上したことが報告されており、本研究の結果を支持するものである。

咀嚼運動は下顎運動の中でも重要な機能運動であり、顎口腔系の諸器官と上位中枢との協調によるリズムカルな反射運動の様相をもっている^{22, 23)}。こ

の運動の際に、上位中枢とあわせて機能的咬合系を構成する歯、咀嚼筋、顎関節の自己受容器からの求心性情報によるフィードバックが運動制御に大きな役割を果たしていると考えられる。しかし、本研究においては咀嚼運動のリズム、速度、経路に大きな変化が現れなかったことより、単一歯のみの歯冠補綴による中枢への影響は隣在歯によって補償がされたものと推察される。また、歯冠形態の違いが咀嚼運動に及ぼす影響としては、アンテリアガイダンスを変化させることにより咀嚼運動が変化することが報告されている²⁴⁾が、本研究は単一歯の歯冠形態が変化するだけの微小な変化であったため、咀嚼運動に与える影響が少なかったものと考えられる。

以上より、単一歯の歯冠形態の変化は咀嚼運動のリズム、速度、経路などを大きく変えてしまうような影響を及ぼさないことが示唆された。

2. 咀嚼運動の円滑性について

衝動性眼球運動や目的の決まった腕運動を行う時、眼球や腕が目標物に到達することのできる軌跡は無限に存在する²⁵⁾。しかしながら、ヒトは運動を行う時、最も円滑な運動軌跡を選択する^{26~29)}。すなわち、運動神経系によって構成される運動軌跡は律動を最小にし、効率を最大にするように選択されることが知られている^{20~33)}。そこで、身体の単純な繰り返し運動について、「運動目標を達成するために最も適した運動軌跡が形成される」との仮定のもとに、運動制御原理を示す数理モデルが構築されてきた^{12, 34~42)}。このような運動目標の例としては、①一定時間内において運動距離や最大速度、円滑性を最大にすること、②運動時間や消費エネルギーを最小にすること、③目標達

成失敗率を最小にすること，④機械的作業効率を最大にすること，などがあげられる．近年，咀嚼運動を分析する際にも，運動の円滑性の評価にジャーク・コストが応用された結果，個性正常咬合者の咀嚼運動は最大円滑運動であることが明らかとなり，咀嚼運動の客観的，定量的評価が可能となった^{6, 7)}．

咀嚼サイクルの開口相では舌や口唇との協調により咀嚼運動の軌跡が多様化し，咀嚼サイクル間での変動が大きくなる．しかし閉口相では開口相で行われているような舌や口唇との協調は行われておらず^{43, 44)}，咀嚼運動の軌跡は開口相と比較し，画一的になる⁶⁾．そこで本研究では，歯冠補綴装置が咀嚼運動の円滑性に与える影響を検討するために，閉口相におけるジャーク・コストを分析し，評価を行った．

その結果，歯冠補綴装置の形態にかかわらず，補綴装置装着により補綴側における咀嚼運動の円滑性は有意に向上し，特に下顎に対する歯冠補綴治療は咀嚼運動の円滑性を向上させることが示された．よって，歯冠崩壊歯の隣在歯とのコンタクトポイント，歯冠豊隆を回復させることが咀嚼運動の円滑性を回復させるのに重要であることが示唆された．またaタイプ装着により咀嚼運動の円滑性が向上する傾向が認められた．一方，非補綴側における咀嚼運動の円滑性は被験歯の状態にかかわらず変化を認めなかった．このことは咀嚼運動の円滑性は再現性を有するという報告⁴⁵⁾に一致し，歯冠補綴装置が非補綴側における咀嚼運動の円滑性に対して影響を及ぼしていないことが示唆された．

予想に反して，歯冠補綴装置の違いによる咀嚼運動の円滑性には有意差は認められなかった．補綴装置装着により隣在歯との接触点を回復すると，歯列に食品を効果的に位置付けることや圧接することが可能となり，歯冠部への食片

圧入などが起こらない。そのことにより単一歯の処置の場合には、nタイプやfタイプのような非解剖学的な形態をもつ補綴処置が行われた場合でも、隣在歯による補償が十分に行われることを示している。この補償により、歯冠補綴装置の歯冠形態の違いにより咀嚼運動の円滑性に差が生じなかったものと考えられる。

また興味深いことに、下顎を処置した被験者のみに、支台歯の状態と比較して3タイプの補綴装置装着により咀嚼運動の円滑性は向上し、上顎を処置した被験者には咀嚼運動の円滑性に変化は認められなかった。咀嚼時の下顎運動の目的は、下顎を円滑に動かすだけではなく、舌や口唇と協調して^{43, 46)}食塊を効率よく粉砕すること⁴⁷⁾にある。被験食品であるガムは、咀嚼運動の開口相において下顎、舌、口唇の動きにより咬合面に効率的に位置付けられている。しかし、閉口相においては、食品粉砕、細分化、粉砕する粒子の選択など行われていない^{43, 44)}。よって下顎の被験歯が支台歯の場合、開口相において咬合面に効率的にガムを位置付けることができず、その影響が閉口相に及び、咀嚼運動の円滑性の減少となって現れたものと考えられる。一方、上顎が被験歯の場合には、下顎歯列は正常であるためガムを咬合面に効果的に位置付けることは可能である。しかし支台歯の状態では、咀嚼運動の円滑性が減少傾向であったことは、ガムを上顎歯列に圧接する際に被験歯が支台歯の状態であると、効果的に圧接することができないことを示している。

咀嚼能率の結果が咀嚼運動の円滑性と同様の結果であったことも、本考察を裏付ける結果であると考えられる。

3. 咀嚼能率について

咀嚼能率の測定には方法論的にある程度確立され、臨床応用が可能であり、粉砕能力を評価、判定する篩分法を用いることが妥当である⁴⁸⁾と考え、代表的な篩分法である Manly 法を用いた。Manly 法で用いるピーナッツは本来、何の加工も行わずに被験者に 20 回咀嚼させ、吐き出させて重量の測定を行うものである。しかし、本研究においては、単冠補綴装置による咀嚼能率に対する影響を明確にし、篩分法を簡便に行い、被験者に対する負担を軽減するためにピーナッツをラテックス製の袋に封入した。過去に報告⁴⁹⁾がなされているようにラテックス製の袋を使用することによる咀嚼能率に対する影響はないものと考えられる。

その結果、補綴装置の形態にかかわらず、補綴装置装着により補綴側における咀嚼能率は有意に向上し、特に下顎に対する歯冠補綴治療は咀嚼能率を向上させることが示された。また a タイプ装着により咀嚼能率が向上する傾向が認められた。

予備実験として行った個性正常咬合者 23 名の咀嚼能率の平均は 86%であり、本研究における a タイプでの咀嚼能率の平均は 86.7%であり、ほぼ同等であった。すなわち、a タイプ装着時の被験者は個性正常咬合者と変わらない咀嚼能力を回復したと考えられる。この値は過去に報告がなされている正常咬合者の咀嚼能率 (78~82%)⁸⁾ よりも高値であるが、これはピーナッツが袋に入っているため口腔内からの回収率が向上したことによると思われる。被験歯が支台歯の状態では咀嚼能率は 70.9%となり、a タイプ装着時と比較して約 16%減少する。一方、f および n タイプ装着時、咀嚼能率は a タイプ装着時と比較

して約 5%の減少にとどまった。これらの結果は咀嚼能率と咬合支持域との正の相関関係を報告^{50~52)}したものとも一致する。

本研究の結果より、大臼歯部は食品の粉碎や細分化を主に行う部位^{10, 11)}であるため、単一歯が歯冠崩壊することによって、咀嚼運動の円滑性ならびに咀嚼能率が減少することが明らかとなった。解剖学的な形態をもつ歯冠補綴装置を装着することにより、咀嚼運動の円滑性、咀嚼能力はより向上する傾向を示したが、歯冠形態の違いによる咀嚼機能に対する影響には有意差は認められなかった。これは、隣在歯による咀嚼機能の補償、補綴装置装着に対する被験者の順応が起こったためと考えられる。また、上顎大臼歯を補綴した場合と下顎大臼歯を補綴した場合の結果の違いは、下顎歯列に食品を舌や頬の働きにより効果的に位置付けることが、咀嚼を円滑で効率的に行う上で重要な役割を果たしていることを示している。咀嚼運動の円滑性と咀嚼能率は相関関係を有する可能性が考えられるが、本研究では被験食品の違い、分析方法の違いにより両者の関係を厳密に比較することはできなかった。この点に関しては今後さらなる検討を行うことが必要であると考えられる。

結論

咬合の最小単位である単一歯であっても、歯冠が崩壊した大臼歯に歯冠補綴を施すことにより、咀嚼運動の円滑性ならびに咀嚼能率が向上することが明らかとなった。

謝辞

稿を終えるにあたり，本研究を行う機会を与えて頂き，終始懇切なるご指導，ご高閲を賜りました大阪大学大学院歯学研究科統合機能口腔科学専攻顎口腔再建学講座（歯科補綴学第一教室）の矢谷博文教授に深甚なる謝意を表します．

また，研究に対し，種々のご援助，ご配慮を頂きました同教室の教員をはじめ教室員各位，ならびに被験者としてご協力頂きました方々に心から御礼申し上げます．

本論文の要旨の一部は第 111 回日本補綴歯科学会（平成 16 年 5 月，東京．），第 33 回日本顎口腔機能学会学術大会（平成 16 年 11 月，大阪．）において発表した．

文献

- 1) 河村洋二郎 (1972) : 口腔生理学. 1 版, 永末書店, 京都, 158-232.
昭和 47
- 2) 中村康弘, 桑原俊也, 瑞森崇弘, 桑原隆男, 西尾公一, 高島史男, 宮内修平, 丸山剛郎 (1986) : 咀嚼運動に単一歯冠補綴物が及ぼす影響に関する臨床的研究. 補綴誌, **30**, 638-645. 昭和 61.
- 3) 中村康弘, 宮内修平, 丸山剛郎 (1987) : 咀嚼運動に大臼歯の咬頭およびその斜面の及ぼす影響に関する臨床的研究. 補綴誌, **31**, 1237-1248. 昭和 62.
- 4) Chandler, S.H. and Goldberg, L.J. (1984): Differentiation of the neural pathways mediating cortically induced and dopaminergic activation of the central pattern generator (CPG) for rhythmical jaw movements in the anesthetized guinea pig. *Brain Res.*, **323**, 297-301.
- 5) Lund, J.P. and Enomoto, S. (1988): The generation of mastication by the mammalian central nervous system. In: Neural control of rhythmic movements. Cohen H, Rossignol S, Grillner S, editors. New York: Wiley, pp. 41-71.

- 6) Yashiro, K., Yamauchi, T., Fujii, M. and Takada, K. (1999): Smoothness of human jaw movement during chewing. *J. Dent. Res.*, **78**, 1662-1668.
- 7) Yashiro, K., Fujii, M., Hidaka, O. and Takada, K. (2001): Kinematic modeling of jaw-closing movement during food breakage. *J. Dent. Res.*, **80**, 2030-2034.
- 8) 小石好孝 (1955) : 咀嚼粉碎能率に関する実験的研究—日本人青年男子について—。歯科医学, **37**, 427-460. 昭和 30.
- 9) Manly, R.S. and Braley, L.C. (1950): Masticatory performance and efficiency. *J. Dent. Res.*, **29**, 448-462.
- 10) 加藤 均, 古本 譲, 長谷川成男(1996) : 咀嚼時, 主機能部位の観察. 顎機能誌, **2**, 119-127, 平成 8 年.
- 11) 加藤 均, 長谷川成男, 吉田恵一, 岡田大蔵(1999) : 続・咀嚼時, 主機能部位の観察—食片圧入との関係—. 顎機能誌, **5**, 125-133, 平成 11 年.
- 12) Flash, T. and Hogan, N. (1985): The coordination of arm movements: An experimentally confirmed mathematical model. *J. Neurosci.*, **5**, 1688-1703.

- 13) Wiegner, A.W. and Wierzbicka, M.M. (1992): Kinematic models and human elbow flexion movements: Quantitative analysis. *Exp. Brain Res.*, **88**, 665-673.
- 14) 山本 誠 (1993) : 全部義歯装着者の咀嚼能率, 咀嚼筋活動および下顎運動による咀嚼機能評価. 阪大歯学誌, **38**, 303-331. 平成 5.
- 15) 田中 彰, 志賀 博, 小林義典 (1994) : グミゼリー咀嚼時のグルコースの溶出量の分析による運動機能および咀嚼筋活動の定量的評価. 補綴誌, **38**, 1281-1294. 平成 6.
- 16) 瑞森崇弘 (1987) : 咀嚼運動分析による顎口腔機能診断に関する研究. 阪大歯学誌, **27**, 189-210. 昭和 62.
- 17) Proschel, P. and Hofmann, M. (1988): Frontal chewing pattern of the incisor point and their dependence on resistance of food and type of occlusion. *J. Prosthet. Dent.*, **59**, 617-624.
- 18) Bourdiol, P. and Mioche, L. (2000): Correlations between functional and occlusal tooth-surface areas and food texture during natural chewing sequences in humans. *Arch. Oral Biol.*, **45**, 691-699.

- 19) Kim, S.K., Kim, K.N., Chang, I.T. and Heo, S.J. (2001): A study of the effects of chewing patterns on occlusal wear. *J. Oral Rehabil.*, **28**, 1048-1055.
- 20) 志賀 博, 小林義典 (1990) : 咀嚼運動分析による咀嚼機能の客観的評価に関する研究. 補綴誌, **34**, 1112-1126. 平成 2.
- 21) 松尾 卓, 志賀 博, 小林義典 (1997) : グミゼリー咀嚼時における咀嚼能率と咀嚼運動の安定性との関係. 補綴誌, **41**, 686-697. 平成 9.
- 22) 中村嘉男 (1988) : 咀嚼運動の生理学. 1 版, 医歯薬出版, 東京, 1-181.
平成 10
- 23) 中村嘉男 (1984) : 咀嚼運動の神経・筋メカニズム. 歯界展望, **63**, 477
—492. 昭和 59.
- 24) Ogawa, T. Ogawa, M. and Koyano, K (2001): Different responses of masticatory movements after alteration of occlusal guidance related individual movement pattern. *J. Oral Rehabil.*, **28**, 830-841.
- 25) Wolpert, D.M. (1997): Computational approaches to motor control. *Trends Cogn. Sci.*, **1**, 209-216.

- 26) Harris, C.M. and Wolpert, D.M. (1998): Signal-dependent noise determines motor planning. *Nature*, **394**, 780-784.
- 27) Terrence J. Sejnowski (1998): Making smooth moves. *Nature*, **394**, 725-726.
- 28) Marasso, P. (1981): Spatial control of arm movements. *Exp. Brain Res.*, **42**, 223-227.
- 29) Collewyn, H., Erkelens, C.J. and Steinman, R.M. (1988): Binocular coordination of human horizontal saccadic eye-movement. *J. Physiol.*, **404**, 157-182.
- 30) Bizzi, E., Accornero, N., Chapple, W. and Hogan, N. (1984): Posture control and trajectory formation during arm movement. *J. Neurosci.*, **4**, 2738-2744.
- 31) Hogan, N. (1984): An organizing principle for a class of voluntary movements. *J. Neurosci.*, **4**, 2745-2754.
- 32) McMillan, A.S. and Hannam, A.G. (1992): Task dependent of human masseter motor unit reflex behavior. *Exp. Brain. Res.*, **88**, 443-446.
- 33) Tweed, D. and Villis, T. (1990): Geometric relations of eye position and velocity vectors during saccades. *Vision Res.*, **30**, 111-127.

- 34) Edelman, S. and Flash, T. (1987): A model of handwriting. *Biol. Cybern.*, **57**, 25-36.
- 35) Hogan, N., Bizzi, E., Mussa-Ivaldi, F.A. and Flash, T. (1987): Controlling multi-joint motor behavior. *Exercise, Sport. Sci. Rev.*, **15**, 153-189.
- 36) Stein, R.B., Cody, F.W.J. and Capaday, C. (1988): The trajectory of human wrist movement. *J. Neurophysiol.*, **59**, 1814-1830.
- 37) Viviani, P. and Flash, T. (1995): Minimum-jerk, two-thirds power law, and isochrony: Converging approach to movement planning. *J. Exp. Psychol.*, **21**, 32-53.
- 38) Hreljac, A. (1993): The relationship between smoothness and performance during practice of lower limb obstacles avoidance task. *Biol. Cybern.*, **68**, 375-379.
- 39) Furuna, T. and Nagasaki, H. (1993): Trajectory formation of vertical arm movements through a via- point: A limit of the minimum-jerk model. *Perceptual and Motor Skills*, **76**, 875-884.
- 40) Hogan, N. (1988): Planning and execution of multipoint movements. *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, **66**, 508-517.

- 41) Nelson, W.L. (1983): Physical principles for economies of skilled movements. *Biol. Cybern.*, **46**, 135-147.
- 42) Flament, D. and Hore, J. (1988): Relations of motor cortex neural discharge to kinematics of passive and active elbow movements in the monkey. *J. Neurophysiol.*, **60**, 1268-1283.
- 43) Takada, K., Yashiro, K., Sorihashi, Y., Morimoto, T. and Sakuda, M. (1996): Tongue, jaw, and lip muscle activity and movement during experimental chewing efforts in man. *J. Dent. Res.*, **75**, 1598-1606.
- 44) Hannam, A.G. (1979): Mastication in man. In: Oral motor behavior: impact on oral conditions and dental treatment. Proceedings of the Symposium, May 16-17, 1979. Bryant P, Gale E, Rugh J, editors. Bethesda, MD: National Institutes of Health.
- 45) Takagi, M., Yashiro K. and Takada, K. (2003): Reliability and sensitivity of jerk-cost analysis for masticatory jaw movements. *J. Dent. Res.*, **82**, C-438.
- 46) Lui, Z.J., Masuda, Y., Inoue, T., Fuchihata, H., Sumida, A., Takada, K. and Morimoto, T. (1993): Coordination of cortically induced rhythmic jaw and tongue movements in the rabbit. *J. Neurophysiol.*, **69**, 569-584.

- 47) Van der Glas H.W., Van der Bilt A., Olthoff, L.W. and Bosman, F. (1987): Measurement of selection chances and breakage functions during chewing in man. *J. Dent. Res.*, **66**, 1547-1550.
- 48) 河野正司 (2002) : 咀嚼障害評価のガイドラインー主として咀嚼能力検査法ー. 補綴誌, **46**, 35-41. 平成 14.
- 49) Mowlana, F. and Heath, R. (1993): Assessment of masticatory efficiency: new methods appropriate for clinical research in dental practice. *Eur. J. Prosthodont. Restor. Dent.*, **1**, 121-125
- 50) Hatch, J. P., Shinkai, R. S. A., Sakai, S., Rugh, J. D. and Paunovich, E. D. (2000): Determinants of masticatory performance in dentate adults. *Arch. Oral Biol.*, **46**, 641-648.
- 51) Van der Bilt A., Olthoff, L.W., Bosmann, F. and Oosterhaven, S.P. (1994): Chewing performance before and after rehabilitation of post-canine teeth in man. *J. Dent. Res.*, **73**, 1677-1683.
- 52) Van der Bilt A., Olthoff, L.W., Bosmann, F. and Oosterhaven, S.P. (1993): The effect of missing post-canine teeth on chewing performance in man. *Arch. Oral Biol.*, **38**, 423-429.

図表の説明

図1 歯冠補綴装置（模式図）

上段に上顎，下段に下顎の補綴装置の前頭面観を示す．補綴装置は左より a タイプ，f タイプ，n タイプである．

a タイプ：患者の口腔内に調和した解剖学的形態をもつ．咬合接触はBとA もしくはCコンタクトを含み3点以上あるもの．

n タイプ：a タイプにおける隣接面のコンタクトポイント程度の咬合高径をもち，対合歯と咬合接触をもたないもの．

f タイプ：咬合接触は有するが，咬合面形態がフラットなもの．

図2 実際の補綴装置

ある被験者の口腔内と三種類の歯冠補綴装置を示す．

図3 咀嚼1ストロークの解説（左咀嚼時前頭面観）

図4 下顎切歯点垂直成分の時間変化

図5 咀嚼1ストロークの速度変化

図6 咀嚼運動のリズム，速度，経路の分析結果

図 7 咀嚼運動の円滑性の分析結果（全被験者）

結果を箱ひげ図で示す。グラフは上方から最大値，75パーセンタイル値，中央値，25パーセンタイル値，最小値を示す。

図 8 咀嚼運動の円滑性の分析結果（上下顎別）

図 9 咀嚼能率の分析結果（全被験者）

図 10 咀嚼能率の分析結果（上下顎別）

表 1 被験者の選択基準

表 2 データ採得のプロトコル

初診から測定1回目までは4～6週間，測定日間は1～2週間の間隔とした。

表 3 咀嚼運動のリズム，速度，経路の分析結果（平均値と標準偏差）

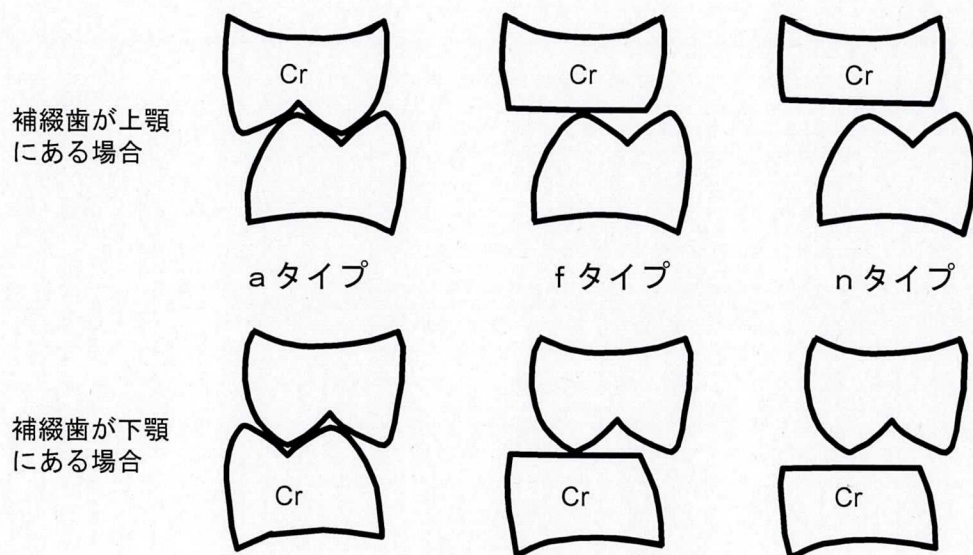


図 1. 歯冠補綴装置（模式図）

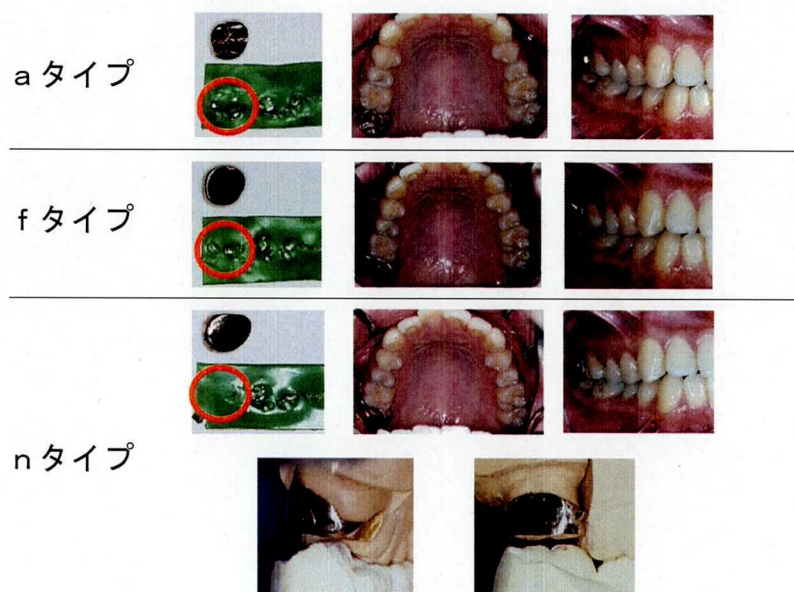


図2. 実際の歯冠補綴装置

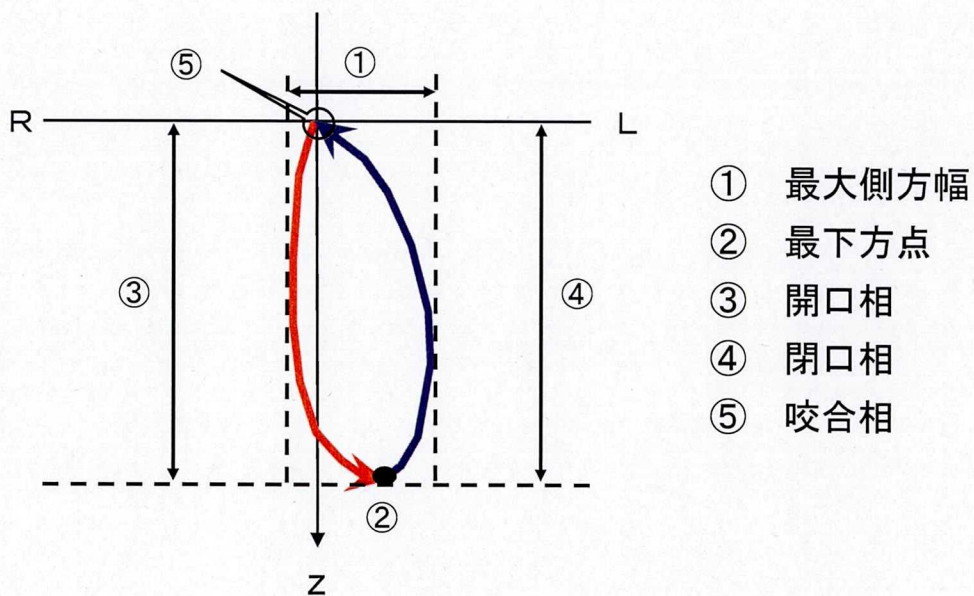


図 3. 咀嚼 1 ストロークの解説（左咀嚼時前頭面観）

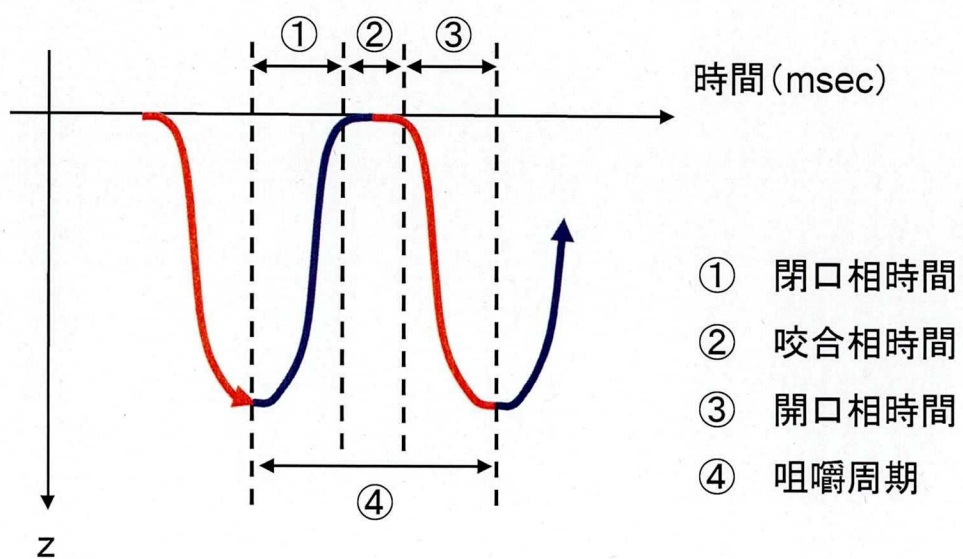


図 4. 下顎切歯点垂直成分の時間変化

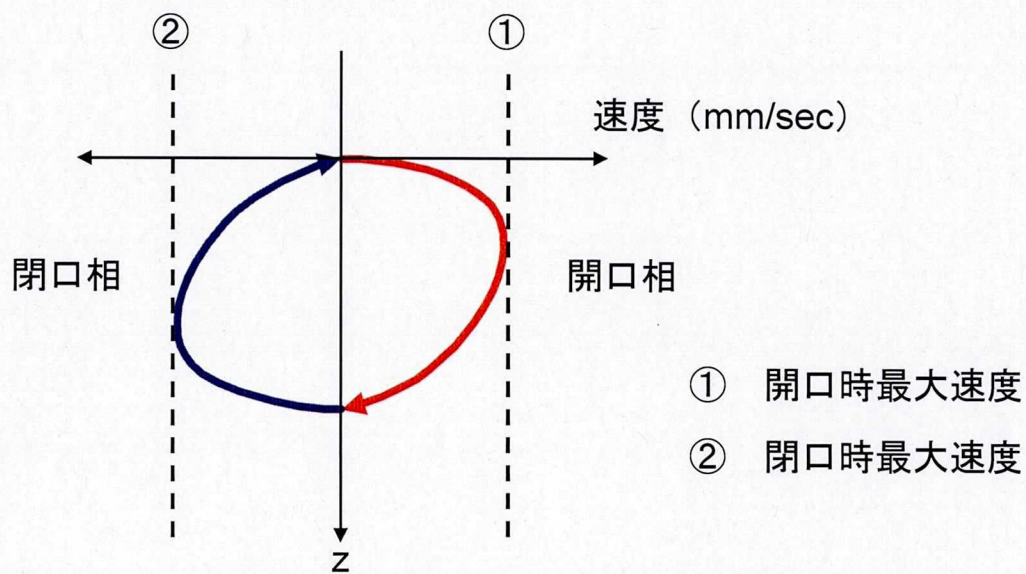


図5. 咀嚼1ストロークの速度変化

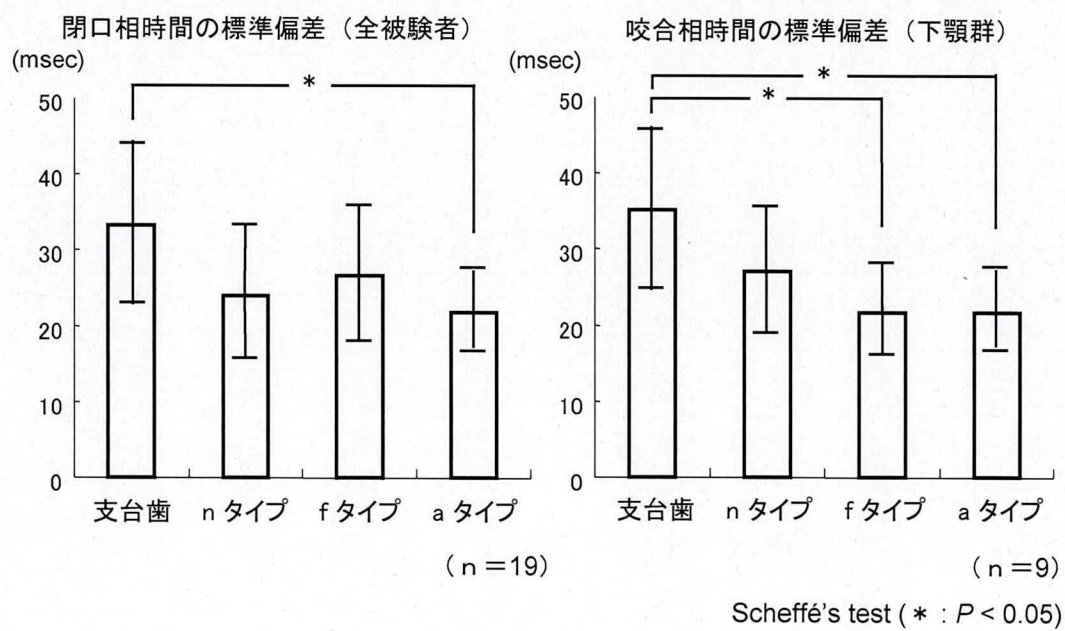


図6. 咀嚼運動のリズム, 速度, 経路の分析結果

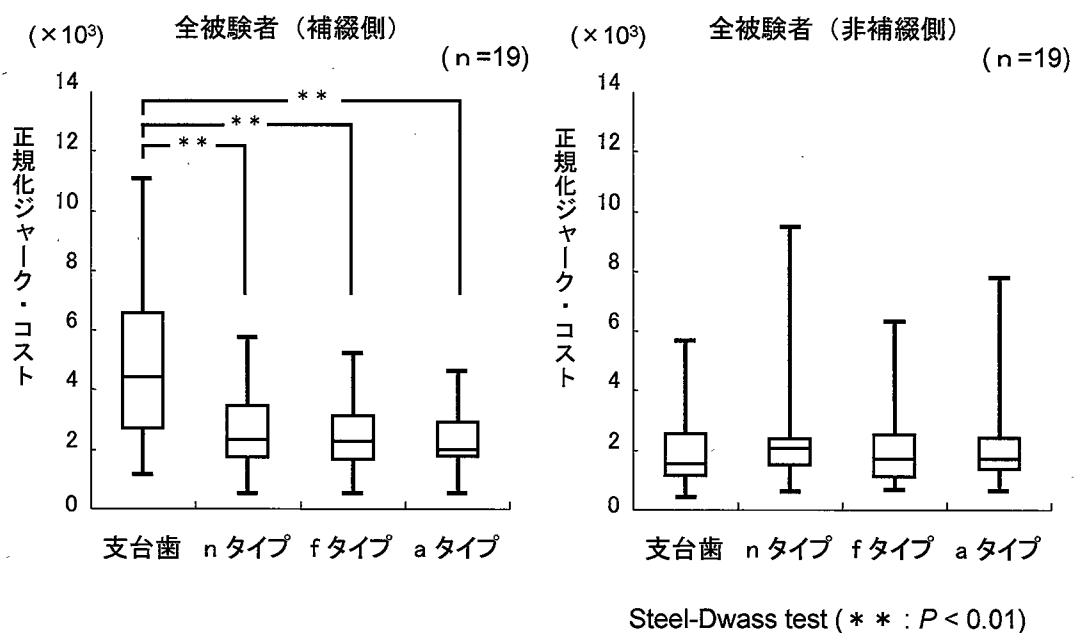


図7. 咀嚼運動の円滑性の分析結果(全被験者)

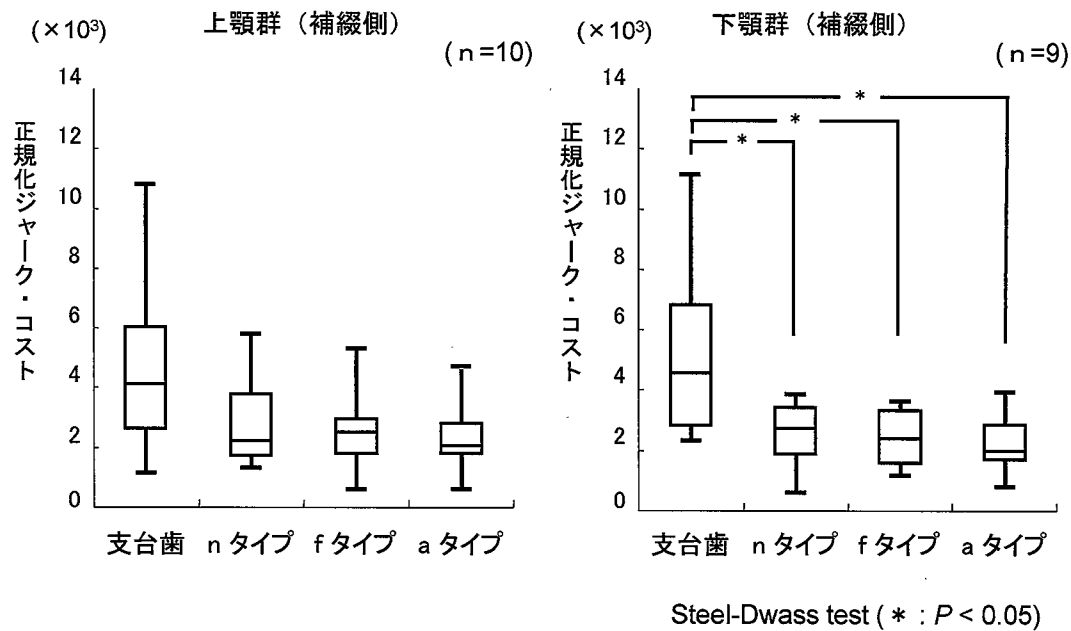


図8. 咀嚼運動の円滑性の分析結果(上下顎別)

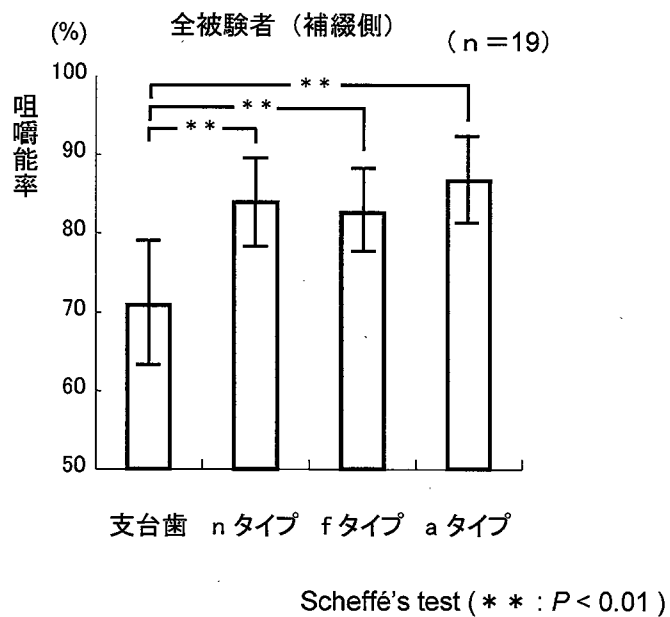


図9. 咀嚼能率の分析結果(全被験者)

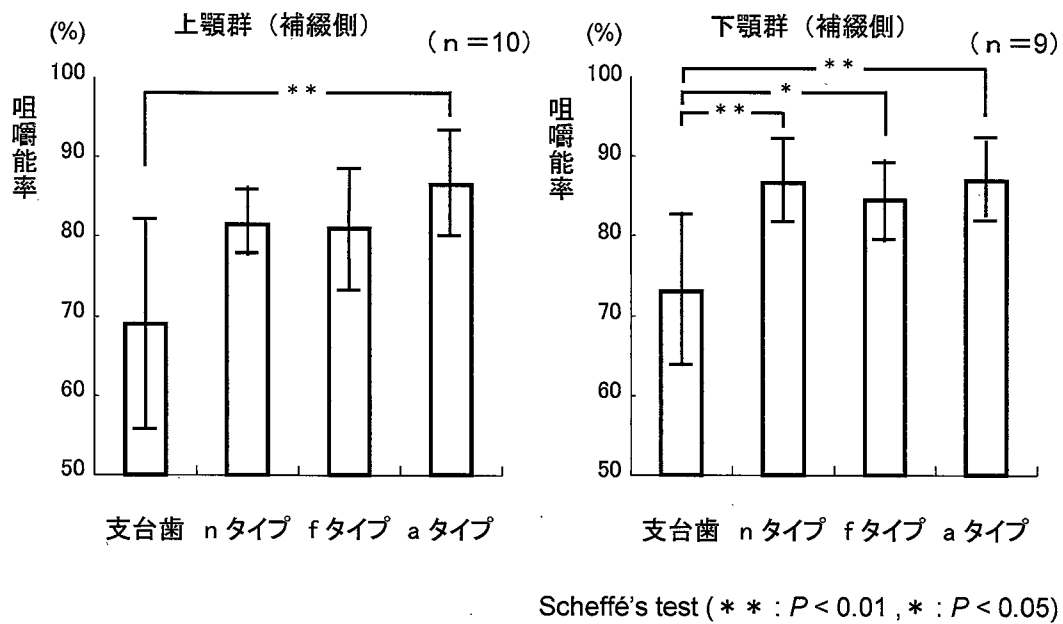


図10. 咀嚼能率の分析結果(上下顎別)

表1. 被験者の選択基準

包含基準

1. 実験に同意を得られたもの
2. 大臼歯一歯のみの歯冠補綴処置が必要な個性正常咬合者

除外基準

1. 顎関節の自発痛, 圧痛, 運動時痛, 雑音, 開口障害を認めるもの
2. 咀嚼筋の圧痛を認めるもの
3. 第三大臼歯以外の歯の欠損を認めるもの
4. 顕著な下顎偏位および咬合異常を認めるもの
5. 不良補綴物, カリエス, 歯の自発痛, 冷温水痛, 打診痛, 咬合時痛, 動揺を認めるもの
6. 矯正治療, 顎顔面外傷の既往, 不良習癖を認めるもの

表2. データ採得のプロトコル

初診	口腔内診査研究, 内容の説明, 同意書の取得
前処置	支台築造, 支台歯形成, 印象採得(暫間補綴装置の装着は行わない) 実験用補綴装置の作製(装着順序はランダム化)
測定1回目	支台歯の状態にて咀嚼運動, 咀嚼能率測定 実験用歯冠補綴装置仮着
測定2回目	咀嚼運動, 咀嚼能率測定, 仮着冠撤去 別タイプの歯冠補綴装置仮着
測定3回目	咀嚼運動, 咀嚼能率測定, 仮着冠撤去 別タイプの歯冠補綴装置仮着
測定4回目	咀嚼運動, 咀嚼能率測定 実験終了

表 3. 咀嚼運動のリズム, 速度, 経路の平均値と標準偏差
(n=19)

	a タイプ	f タイプ	n タイプ	支台歯
開口相時間 (msec)	249.7(33.5)	272.5(37.3)	252.0(45.1)	266.9(47.2)
閉口相時間 (msec)	236.1(21.8)	248.9(26.7)	238.6(24.1)	240.8(33.3)
咬合相時間 (msec)	163.1(24.8)	166.2(26.4)	163.3(25.8)	185.3(33.5)
咀嚼周期 (msec)	648.9(44.9)	687.6(45.1)	654.4(49.2)	698.4(60.9)
開口時最大速度 (mm/sec)	134.8(18.6)	123.0(18.9)	135.6(21.3)	121.1(18.5)
閉口時最大速度 (mm/sec)	138.6(18.4)	130.5(19.7)	135.0(22.9)	129.6(19.8)
最下方点までの距離 (mm)	15.5(1.6)	15.2(1.8)	15.2(2.0)	15.5(2.0)
最大側方幅 (mm)	35.1(12.2)	36.3(11.6)	34.8(12.5)	27.6(12.5)

(標準偏差)

