

研究報告

寝たきり高齢者を対象とした口腔内光印象法と3Dプリンターを用いた義歯製作法およびベッドサイドで使用可能な咀嚼側・咀嚼回数計測器の開発

河野正司, 植木一範, 木竜 徹¹

明倫短期大学, ¹新潟大学大学院自然科学研究科

Verification of an Oral Photo Impression Using Pattern Projective Technique and 3D Printer and a Measuring Device of Chewing Efficiency for Bedridden Elderly Patients

Shoji Kohno, Kazunori Ueki, Tohru Kiryu¹

Department of Dental Technology, Meirin College,
¹Niigata University

キーワード：光学印象, CAD/CAM, 3Dプリンター, 咀嚼, 訪問歯科診療

1. 緒言

口腔内の印象採得に危険性の伴う寝たきり高齢者に対して、訪問歯科診療時に印象材を使用せずに、デジタル方式で口腔内形状を低侵襲かつ高速に印象採得できれば、従来、治療方法が限定的であった寝たきり高齢者における難しい症例も治療の可能性の拡大が予測される¹⁻⁴⁾ことから、本研究が実用化される際には、今後さらなる超高齢社会が進み、在宅診療も増加する日本社会において、画期的な治療システムとなると考えている。

今年度は、特に要介護高齢者に安全な口腔内印象採得法として光学印象法を検討し、3Dプリンター等のデジタル機器を用いた安全な義歯製作法の開発を推進させてきた^{5,6)}。さらに、製作した義歯の咀嚼機能をチェアサイドで機能的・客観的、しかも簡便かつ高精度に測定・評価する「咀嚼側・咀嚼回数計測装置」の開発を進め、使用している義歯の咀嚼機能の評価システムについて検討したので報告する。

今年度の計画

- 1) 光印象採得した歯列模型の欠損部に義歯床と人工歯を3Dプリンター（株式会社ムトーエンジニアリング製 MF-1000）により形成し、3Dプリンターによって製作した部分床義歯床の適合度を、歯列模型上で検証する。また、開発した光印象法について、小型化および近接撮影の検証を行う。
- 2) 第二段階として、製作した義歯の機能状態をチェアサイドの患者さんで検証できる「咀嚼側・咀嚼回数計測装置」を開発する。

2. 口腔内光印象法と3Dプリンターを用いた義歯製作法の検討

- 1) 3Dプリンターを用いた義歯床の適合度の検証
3Dプリンターの機械的特徴に依存する課題として、立体形状の製作にはサポート材を利用しなけれ

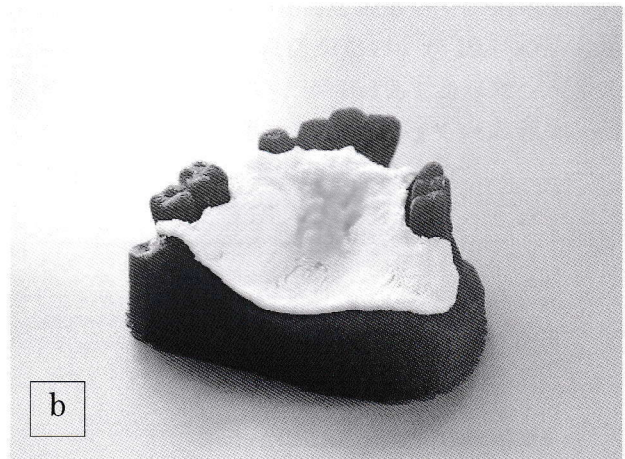
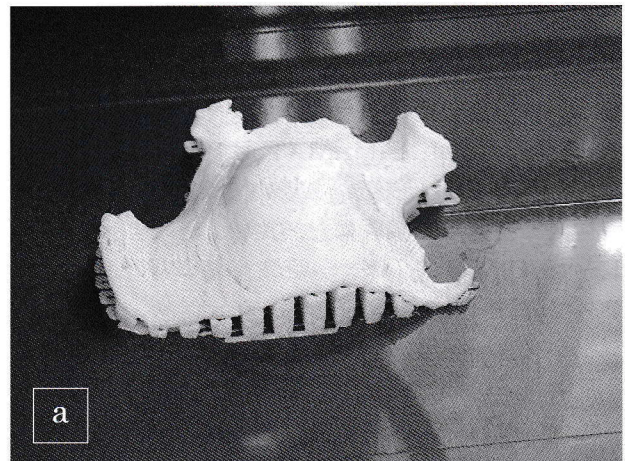


図1a サポート材を利用した薄板状の義歯床の出力
図1b 3Dプリントモデルとプリント義歯床の適合チェック

ばならないという点が挙げられる。垂直方向の曲面形状やアンダーカット部は、サポート材による積み上げを行い、立体形状を製作するため、サポート材を製作物と同種材料で製作すると、除去に非常に手間がかかり、研磨等による形状変更もあるため、義歯床のフィッティングでは、十分な適合が得られない原因になっている。そこで、本研究では、水溶性のサポート材を利用可能な3Dプリンターによる製作法を検討し、サポート材による影響を排除しようと試みているが、現在の比較的廉価な汎用3Dプリンターにおいては、その必要条件を満たす機能を持つ機種が見当たらず、当面の課題となっている。

現在のところ、図1に示すような出力形状に対し、時間はかかるが、サポート材を十分に除去し、さらに凹凸の修正を数カ所加えることで、臨床応用可能なレベルには製作可能ということが分かっている。従って、今後は、製作にあたる時間短縮とサポート材の課題に対して検討していく予定である。

2) 光印象法についての小型化および近接撮影の検証

無歯顎もしくは部分歯列欠損の口腔内を対象に義歯製作に最適なデジタル印象が得られる計測方法を検討し、光学式3Dスキャナーのスキャン方式は、ストラクチャライト方式を採用して検証を進めている。そこで、実用化に向けて、近接3次元計測法について計測距離によるデータ検証を行い、計測精度と小型化に向けた課題を明らかにした。

(1) 方法

スキャン方式による計測精度の検証においては、ストラクチャライト方式（パターン投影）を利用した光学式3Dスキャナー（カリダスジャパン社製 DAVID SLS-2）に対し、コントロールとしてレーザー方式の3Dスキャナー（コニカミノルタ社製 VIVID910）を採用し比較した。測定深度は、ストラクチャライト方式はプロジェクターの焦点距離が撮影可能範囲となり、約120mm～数mが対象であった。レーザー方式では、投影部と撮影部の距離は固定であるため、レーザーを振れる角度によって約400mm～700mmが対象距離であった。ストラクチャライト方式においては、パターン投影部と撮影部の距離（80mm～200mm）と測定対象との距離（120mm～600mm）を段階的に変更し、平面版と部分歯列欠損のサンプル模型に対して、計測形状をCAD上にて評価した。

(2) 結果

ストラクチャライト方式においては、投影部と撮

影部の距離を自由に設定できること、複数のパターンを投影することによって、自由曲面形状を捉えやすいことなどの利点があるが、パターン投影はプロジェクターを利用する方法が主流であり、焦点距離がそのまま撮影可能域となる。従って、本システムでは、焦点距離を最短とする120mmが近接計測の限界であった。120mmの近接計測の結果、平面データではパターン投影痕が多く残り、鋸の歯状に凹凸の入り組んだ状態となった。以降、測定対象の距離を拡大していくと、計測領域に対象が大きく含まれる200mmでは、データ密度の高い良好な形状を示した。次いで、距離を300mmまで延長するとデータ密度が低下し、再びパターン投影痕が生じ始める傾向が認められた。

また、コントロールとしたレーザー方式と、ストラクチャライト方式（計測距離200mm）におけるサンプル模型データの計算偏差（図2）では概ね0.1mm内の誤差となり、データ密度も10倍近くあるため、後者の高精度計測が可能になった。

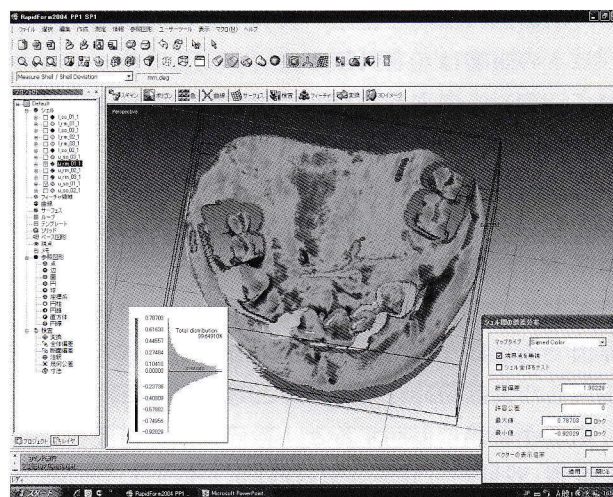


図2 コントロール（レーザー方式）と、ストラクチャライト方式の計算偏差結果

(3) 考察

結果より、プロジェクターの最小焦点距離における近接計測では、3次元データ構築時にエラーが起きやすく、測定深度を確保できる計測領域に大きく対象を含む条件においては良好なデータ構築が可能であった。従って、今後はプロジェクター投影における焦点距離についてレンズ等を用いてさらに短縮し、カメラ側もマクロレンズなどを採用することでさらなる近接撮影と小型化の可能性を探っていきたいと考えている。

3. 咀嚼側・咀嚼回数計測装置の開発

1) 咀嚼回数と健康・歯科疾患との関係

咀嚼行動は、食物を摂取して粉碎し、唾液と混和して食塊形成する一連の過程であり、この間に観察できる咀嚼回数は、食品の量、性状に加え、現在歯数、唾液分泌能等の歯・口腔環境の影響を受けている。

咀嚼能力は現在歯数が多ければ高くなるであろうが、現存する歯の健康状態に問題が存在しないなど、一定の状態にあることが前提となろう。この前提の元では、咀嚼能力が高ければ一定の食物を咀嚼する回数は減少する、逆相関の現象を見せている^{7,8)}。

しかし現在歯数が減少すると、咀嚼能力の低下による代償行為として咀嚼回数が増加する可能性がある。一方、「よく噛めない」という咀嚼器官に何らかの原因が存在すると、咀嚼回数の減少が生じてくる。現存歯中の中う蝕や歯周病罹患歯の存在や、咬合異常などによって、咀嚼回数は減少して咀嚼能力が低下することは容易に想像できる。

2) 咀嚼側の偏向と健康・歯科疾患との関係

ヒトの咀嚼は左右両側の歯列を交互に使って行われている。このように交互に咀嚼側を変更するヒト固有の咀嚼行動である「自由咀嚼」に対して、片側歯列における歯牙欠損や習癖などのために、左右側のどちらか一侧でしか咀嚼しない咀嚼側の偏向状態を示す「片側咀嚼」が存在している。

左右歯列を交互に乗り換えた自由咀嚼が何らかの原因で困難になると、片側歯列を多用する咀嚼側の偏向した食品粉碎行動をとると考えられる。

咀嚼が一側に偏向すると、粉碎食品が口腔前庭部に貯留・残留し、口腔内の自浄作用が低下してくる⁸⁾。この現象によって、全身的な抵抗力が低下している高齢者では、う蝕や歯周病などの歯の疾患の発症のみでなく、誤嚥性肺炎発症のリスクが高まってくる。

そこで診療室のチェアサイドで、咀嚼側の偏向状態を簡便かつ正確に計測できるシステムを開発し、咀嚼側偏向と顎口腔器官の健康状態および口腔内組織の衛生状態との関係を明らかにすることは、患者さんの歯科治療方針の決定に大きく資すると考えられる。

3) 咀嚼回数および咀嚼側計測法について

正確な咀嚼回数は下顎運動記録法により計測されるが、歯列に大きな計測装置を装着する必要がある、咀嚼行動の障害になる可能性がある。このため、下顎運

動の作動源となっている閉口筋のうち、顔面表層に存在する咀嚼筋である左右側咬筋の活動電位を表面筋電図として記録し、筋活動電位波形のピーク数から咀嚼回数を計測する方法を採用することにした。また、活動電位を示す筋電図の振幅値は、咬筋の作業側>非作業側であることから、咀嚼側の判定も可能となると思われるので分析法の開発を進めることとした(図3)。

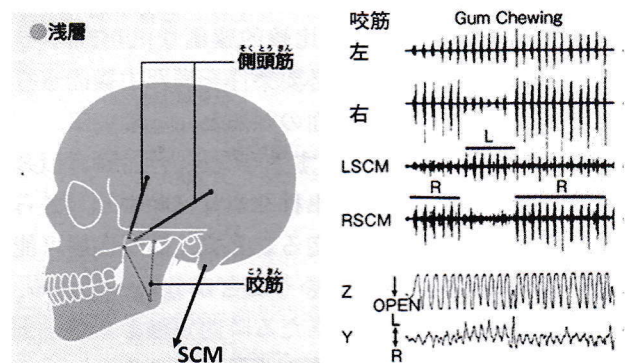


図3 左右側咬筋の活動電位の表面筋電図

4) 咬筋筋電図の記録法

筋電図の記録は、被験者が歯科用チェア上で座位を保ち、左右側咬筋の皮膚表面上に筋繊維方向に沿って電極間隔1cmで、2-barアクティブレイ電極(DELSSYS社製)を専用の両面テープで貼付し、USB接続A/Dコンバータ(16 [bit], 2048[Hz], National Instruments National Instruments社製)で作成した筋電図計測ユニットを用いた。計測した筋電波形は、タブレットPC(Compaq Tablet PC TC1100, Hewlett Hewlett Packard社製, Windows XP)上に表示・記録し、解析はLabVIEW 8.2(National Instruments社製)ソフトにより、またRMS波形分析にはMATLAB6.2(Math Works社製)を用いた(図4,5)。

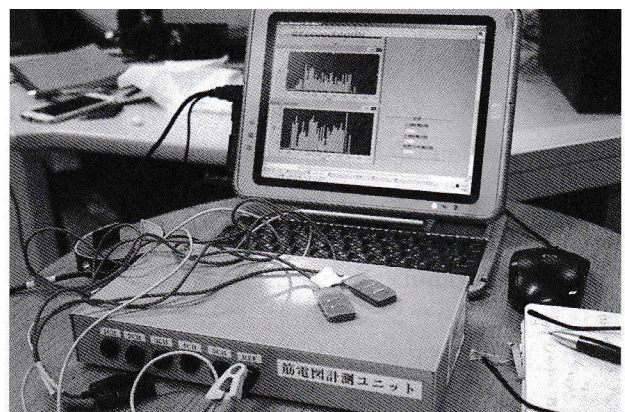


図4 筋電図計測ユニット

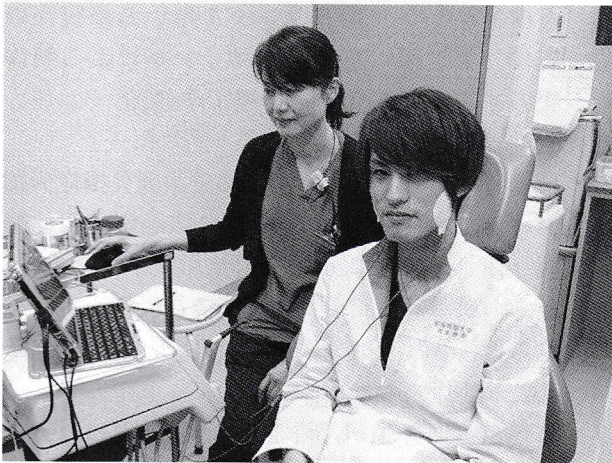


図5 計測風景

5) 咀嚼回数の測定法

記録した筋電の原波形(図6上2段)から、二乗平均平方根(RMS: Root Mean Square)波形(図6下2段)を求め、咀嚼回数を計測する方法をとった。

RMS波形上では咀嚼筋のストローク毎に活動ピークが出現するので、ピーク数を数えることから咀嚼回数を求めることができる。

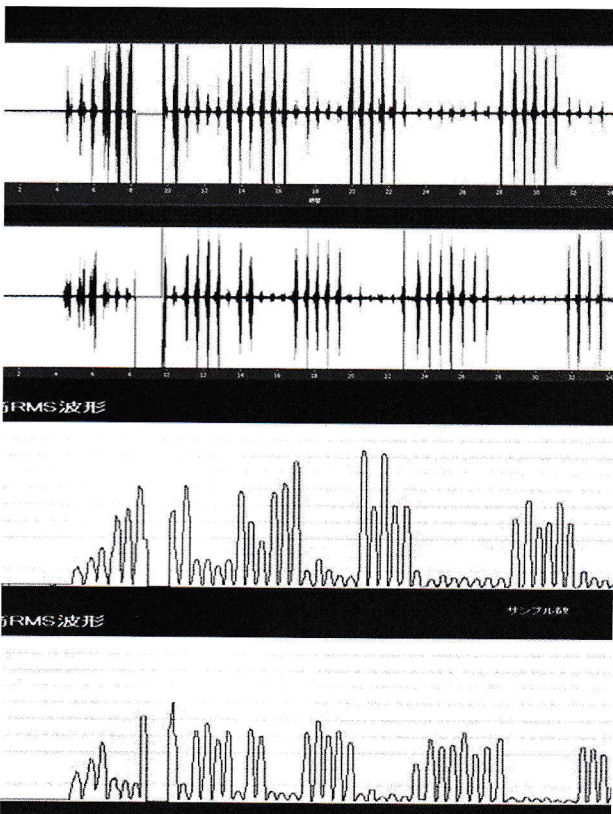


図6 筋電の原波形(上2段)、二乗平均平方根(RMS: Root Mean Square)波形(下2段)

6) 咀嚼側の判定法

左右側咬筋においてストローク毎の筋活動率を比

較することにより、値が大きい側を咀嚼側と判定した。

測定できた咀嚼回数は、判定できた咀嚼側ごとに、PC画面上で図7に示すように表示した。

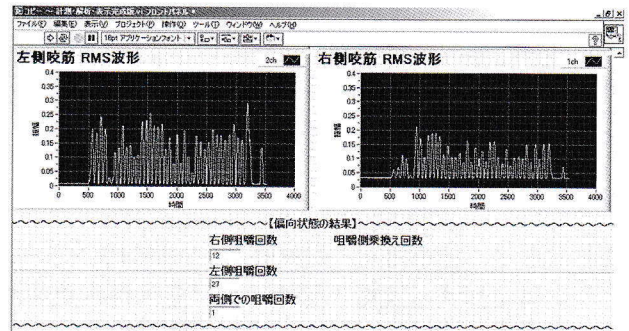


図7 咀嚼側の判定

7) 計測法の簡易検定

本システムの精度を検証するために、咀嚼中の性状がほとんど変化せず、安定した咀嚼行動が行えると思われるチューイングガムを試験食品に選び、咀嚼側と回数を指定して咬筋筋電図を記録、前述の方法を使用して分析・検定した。

被験者は健常な成人男性7名、女性3名の計10名とし、事前に実験プロトコルにより実験に伴うリスク、いかなる時でも被験者の意志で実験を中止できることを説明し、承諾の上で同意書に署名をもらった。

試技の内容はSTEP 1: 右側だけで30回咀嚼, STEP 2: 左側だけで30回咀嚼, STEP 3: 咀嚼側を指示した30回咀嚼の3種類である。

その結果、全被験者のSTEP1での平均判定率は96.1 [%] だった。また、STEP2は98.2 [%], STEP3でも95.7 [%] だった(表1)。

表1 判定率 [%]

Subject	STEP 1	STEP 2	STEP 3	Total
1	100	97	97	98
2	100	94	100	98
3	100	100	97	99
4	100	100	100	100
5	100	97	100	99
6	100	100	90	96.7
7	61	100	93	84.6
8	100	100	97	99
9	100	94	83	92.3
10	100	100	100	100
Mean	96.1	98.2	95.7	96.7

8) 検定結果

チューイングガムは咀嚼中の性状がほとんど変化せず、安定した咀嚼行動ができることから、良好な結果が得られたと考えられる。しかし、日常摂取する食品は、咀嚼行動により粉碎されることで物理的性状が変化することから、他の被験食品を用いて本システム精度や有用性を検証する必要がある。

文 献

- 1) 金澤学, 山本信太, 岩城麻衣子, 水口俊介: コンピューター支援・製造における全部床義歯. 日歯理工学誌, 33 (6), 519~522, 2014
- 2) 金澤学, 山本信太, 中村敏成, 水口俊介: CAD/CAM総義歯の潮流. QDT CAD/CAM YEAR BOOK 2013, 10~21, 2013
- 3) 前田芳信, 十河基文, 石井和雄, 村本睦司, 堤定美: 有床義歯へのCAD/CAMの応用. Quintessence of Dental Technology, 25, 1526~1531, 2000
- 4) 石田祥己ほか: 3Dプリンタを用いた修復物の製作 第1報 光造形3Dプリンタによる製作報の寸法精度. 日本歯科理工学会誌, 32 (5), 348, 2013
- 5) 植木一範, 河野正司: 全顎部分歯列欠損症例における3Dプリントモデルの形状評価. 明倫紀要, 18 (1), 39, 2014
- 6) 植木一範, 河野正司: 口腔内直接計測を可能とする近接3次元計測法の検討. 明倫紀要, 19(1), 102, 2016
- 7) 本間済, 河野正司, et al.: "煎餅を用いた食塊形成能力からみた咀嚼能力評価法." 日本顎口腔機能学会雑誌10 (2): 151-160, 2004
- 8) 本間和代, 河野正司, 本間済, 櫻井直樹: 自由咀嚼と片側咀嚼の機能的差異の検討, 補綴誌, 49: 459-468, 2005
- 9) 黒崎康文: 咀嚼の偏向状態を評価するチェアサイドフイーバックシステムの構築, 平成27年度卒業論文 新潟大学 工学部 福祉人間工学科.