

研究報告

●老年歯科医学総合研究所 平成28年度研究助成金 研究報告

寝たきり高齢者を対象としたデジタルワークフロー完結による義歯製作法およびベッドサイドで使用可能なEMGを利用した咀嚼側・咀嚼回数計測法の確立

河野正司, 植木一範, 木竜 徹¹
明倫短期大学歯科技工士学科,
¹新潟大学大学院自然科学研究科

Corroboration of the Dentures Workflow using the Digital Technique 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症例においても治療の可能性拡大が予測される¹⁻⁵⁾。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、本研究が実用化される際には、画期的な治療システムや歯科技工工程となると考えている。

一連の当該研究においては、要介護高齢者に安全な口腔内印象法を検討し、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た⁶⁻⁹⁾。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」の開発を進める中で、現在は第二段階として、チェアサイドで安全かつ容易に筋電図測定が可能な測定器の開発を行っている。

2. 研究経過と今年度取組内容

平成27年度の老年歯科医学総合研究所委託研究において、部分欠損歯列の全顎模型を対象にパターン投影法（パターン投影式3Dスキャナー DAVID LASERSCANNER社製 SLS-2 を使用）により光学的印象採得を行い、歯列模型を3次元再現し、口腔内に適合できる義歯床の製作法を開発した。また、健常者の両側咬筋の表面筋電を記録し、RMS 処理をした波形のピークから、咀嚼側とそれぞれの咀嚼回数を求める試行実験を行った。

<平成28年度取組内容>

- 1) 義歯の粘膜面と義歯に許されるスペースを顔面の特徴点と口腔内の光印象よりデジタルデータ化し、滑らかな造形が可能となる光造形方式の3Dプリンター(XYZプリンティングジャパン製 ノーベル1.0)により義歯床を形成する。
- 2) 3Dプリンターによって製作した義歯床の適合度を、歯列模型上で検証する。
- 3) 咀嚼側および咀嚼回数測定法開発の第二段階として、治療室のチェアサイドで高齢の被験者に恐怖感を与えることなく安心安全に、また特別な電子機器の知識を持たない術者にとっても容易に筋電図測定が可能な測定器の開発を行う。

なお、記録した筋電図から咀嚼側とそれぞれの咀嚼回数を求める過程は、昨年度開発したアルゴリズム・装置を使用することとする。

3. 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プリンターの選択

近年、発展が目覚ましい3Dプリンター業界であるが、広く普及している熱融解積層方式(FDM法)においては出力可能な材料が拡大しつつあるし、光学式3Dプリンター(UV硬化法)についても高精度ながら廉価な機種が市場に登場している。さらには、粉末焼結積層造形法においては、金属の出力も可能となり、歯科材料にも適応されるチタンなどが将来

的には臨床に応用される可能性も示唆され始めた状況にある。

当研究では、在宅の寝たきり高齢者に対して、口腔内デジタル印象採得から義歯装着までの期間と工程の短縮を目指し、スキャニング方法と義歯製作法の開発を進めている。ここでは、新たに導入した光学式3Dプリンター（UV硬化法）と、従来の熱融解積層方式により製作した義歯床モデルを比較し、各法の特徴と義歯製作工程における活用法を検討した。

2) 方法

(1) 対象データ: ストラクチャライト方式（パターン投影）の3Dスキャナー（カリダスジャパン社製DAVID SLS-2）を用いて、被験者の口腔内で採得したアルジネート印象から製作した部分歯列欠損症例の元模型を、正確かつ迅速にデジタルデータに再構築した。

(2) プリントモデル: 2種の3Dプリンターで出力した3種の材料による義歯床モデルを比較した。

① 光学式3Dプリンター（XYZプリンティングジャパン社製Nobel1.0）を用いて最小積層0.025mmにて出力した。使用材料は、光硬化樹脂（専用UVレジン）とした。

② 熱融解積層方式3Dプリンター（MUTOH社製 3D MagiX MF-1000）を用いて出力した。使用材料は、PLAフィラメントおよびABSフィラメントを用いて、最小解像度0.1mmにて積層造形を行った。

(3) 精度評価: 高精度計測が可能である接触式3Dスキャナーにて、元模型と各義歯床モデルを同様に計測し、断面形状の差より、適合度を求め精度評価とした。

3) 3Dプリンターで出力した3種の材料による義歯床の検証

元模型の計測データと出力した義歯床モデルの再計測データより適合度を各条件（PLA樹脂、ABS樹脂、光硬化積層法）にてそれぞれ求めたところ、図2に示すように、光硬化積層モデルにおいて、誤差の範囲が小さく、最も適合のよい結果が示された。

観察によっても表面性状が非常に滑らかであるし、熱変形がないことから、元模型の反転形状を高精度に再現しているといえる。熱融解方式は過熱および冷却工程による熱変形がみられ、表面性状にも材料フィラメントの（等高線のような）積層面が観察できるため、出力後のある程度の修正が必要である。

しかし、表1に示すように各材料には一長一短があり、本研究の目的に最適な加工法はまだ選択の余地があるが、光学式プリンターにより、デジタル完結の高精度な新しい義歯製作法を提案できる可能性が広がったといえる。

表1 各義歯床モデルの加工特性

加工法	光学式	熱融解積層方式	
材料	UVレジン	PLA樹脂	ABS樹脂
熱変形	なし	あり (小)	あり (大)
加工時間	2.3 h	1.5 h	1.5 h
最小積層	0.025	0.1	0.1
後処理修正	困難	困難	容易

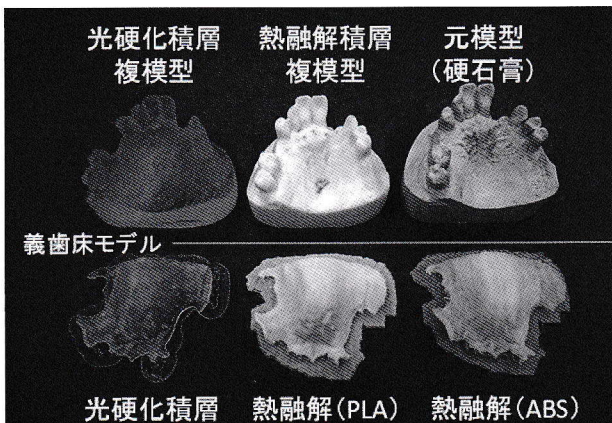


図1 サポート材を利用した薄板状の義歯床の出力

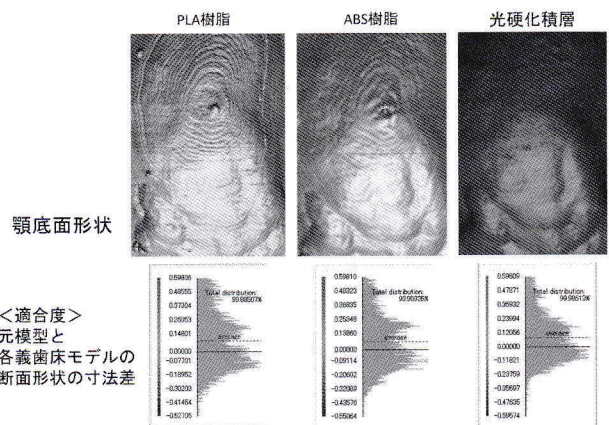


図2 義歯床モデルの精度評価

4) 考察と課題

新しい義歯製作法の提案を行い、精度の高い義歯製作の可能性がみえた反面、現在のところ、設計や加工に従来法より多くの時間を費やしているの

まずは時間短縮が大きな課題である。工程と作業時間の短縮を目標としているが、義歯製作後に、在宅診療における義歯修正が容易なシステム構築を進める必要があると考えている。3Dプリンターのさらなる技術革新も臨まれるが、何より患者情報の口腔内情報や咬合採得などのデータを集約し、迅速に義歯の設計に反映させることのできる、専用のCADソフトウェア開発もこのシステムの進化には不可欠であると感じている。

4. 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、現在歯数とその健康状態、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。一方、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。

しかし、「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。現存歯中での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(図3, 4)。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、歯の欠損やその健康状態に起因する習癖などのために、左右側のどちらか一側でしか咀嚼しない咀嚼側の偏向した「片側咀嚼」が存在している。

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。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。

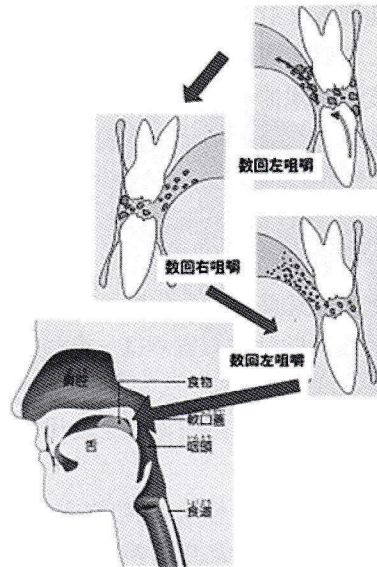
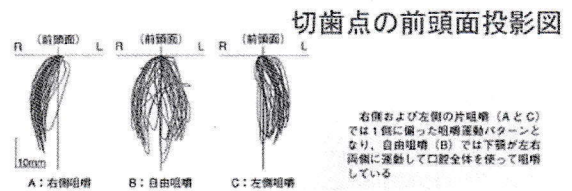


図3 ヒトの咀嚼から嚥下までの行動を模式化して表示
ヒトの咀嚼行動は、左右側のどちらかで数回咀嚼をすると、食物を対側に歯列に移動させてその歯列で数回咀嚼をする。このような咀嚼側の交換を行いながら、両側の歯列を交互に使って食物粉碎することで、粉碎した食物は口腔外にこぼれることなく、舌背上に集積されてなめらかに嚥下することができている。



自由咀嚼時の筋電図



図4 ヒトの咀嚼行動を下顎切歯部の前頭面投影像として、また一側の咬筋表面筋電図を表示

通常の両側歯列を使用した咀嚼を「自由咀嚼」と呼ぶが、もちろん意図すれば一側だけの歯列を使用した「片咀嚼」も行えるが、粉碎した食物が口腔前庭に残留してしまい、滑らかな嚥下が困難となってくる。

一側の咬筋表面筋電図から、振幅の大きさによって咀嚼側を知ることができる。記録側での咀嚼時には、筋電の振幅は大きくなっていくので、これから咀嚼側を判定できることになる。

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。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、昨年度の貴財団より頂戴した研究費により開発することができた⁹⁾。

4) 本年度に新規開発した筋電図記録装置

昨年度使用した筋電図記録装置は、商用電源を使用した汎用の測定器であった。本年度は被験者にとってより安全な、また術者にとっても測定記録がより簡便な装置の開発を目的とした。

① 筋電図記録装置の製作概要

- ・咬筋表面に貼付する電極は、直径約5cmの同心円電極とする
- ・測定装置の電源は商用電源を使用せず、小型電池とする。
- ・被験者の胸元に小型・軽量の測定装置を設置し、無線にて記録した筋電情報を波形記録装置に送信する。
- ・波形記録装置(I Pad) 内に記録されたデータは、昨年開発した咀嚼回数計測装置⁹⁾で数値化して、データ処理を行う。
- ・測定開始・終了(測定装置ON・OFF)は、チェックサイドで容易に行えること

② 測定装置の性能

- ・測定チャンネル数 → 2チャンネル
- ・周波数特性 → 10 Hz to 500 Hz
- ・感度(増幅度) → 980倍: 約60 dB
- ・電源 → 12V battery MN21
- ・使用電極 → Concentric electrode
CoDe: 同心円電極
- ・アース → 耳たぶ等、電気的信号が存在しない箇所

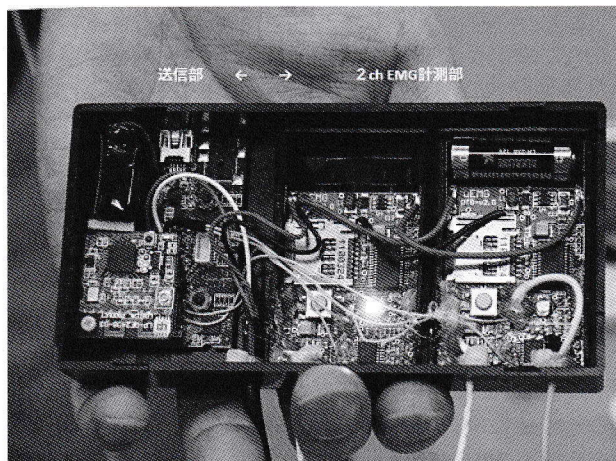


図5 新たに開発した電池駆動の筋電測定装置
2ch筋電図計測部と、データの無線送信部から構成されている。

③ 測定器の大きさ、重量、内・外観 (図5)

測定器ケース寸法:

長さ95mm, 幅58mm, 高さ18mm

測定器重量: 質量: 約130g

スイッチ操作部: 測定器本体からケーブルにより外部で独立

寸法 長さ40mm, 幅30mm, 高さ20mm

④ 測定時のブロックダイアグラム

- ・筋電計測装置 <-> WLANコンバータ(アンテナ)間の無線通信規格

=> 2.4GHz帯特定小電力無線

- ・WLANコンバータ(アンテナ) <-> iPad間の無線通信規格 => WLAN (WiFi)

- ・WLANコンバータの仕様:

LOGICAL PRODUCT製のWiFiコンバータ(LP-RF24WFCB)

変調方式DS-SS方式:

無線周波数2405MHz ~ 2480MHz

リチウムイオンポリマー充電電池

外径寸法: 160[mm] x 80[mm] x 35[mm]

(アンテナ長150[mm])

質量: 約330g (電池重量を含む)

5) 臨床における使用法 (図6)

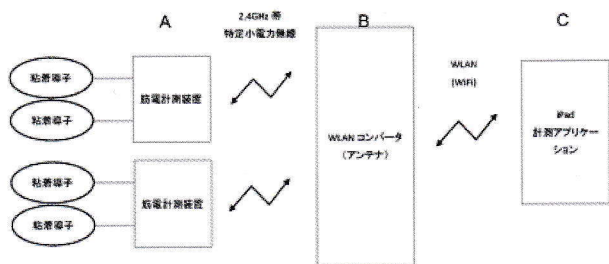
- ・被験者の両側咬筋表面に同心円電極を、手首にアース電極を固定



図6 被験者において計測中の様子

被験者の胸元に測定器が内蔵されたポーチ(A)があり、両側咬筋に貼付された同心円電極と手首にアース電極が繋がれている。測定データは無線でWLANコンバータ(B)に無線送信される。

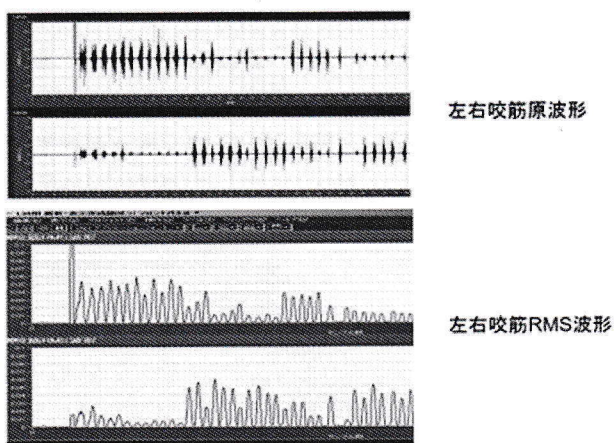
さらに、WLANコンバータ(B)から記録データは波形表示装置(C: iPad)に無線送信される。このように、被験者の周囲には小型軽量のポーチと電極のみで、離れた場所でデータを受信し処理できる構成となっている。



・筋電計測装置<->WLANコンバータ(アンテナ)間の無線通信規格
=>2.4GHz帯特定小電力無線

・WLANコンバータ(アンテナ)<->iPad間の無線通信規格
=>WLAN (WiFi)

図7 測定装置のダイアグラムを表示



No.11・ピーナッツ自由咀嚼

図8 咬筋の表面筋電(上図)からRMS波形(下図)を求めることで、ピーク波形数が咀嚼回数を表し、ピークの大小から咀嚼側を知ることができる。

- ・被験者の胸元にポーチに入った測定器
- ・記録データは無線にて波形記録・表示装置に送信し、保存される
- ・保存した筋電原波形は、昨年開発した咀嚼回数計測装置⁹⁾で数値化して、データ処理を行う(図7, 8)。

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) 浅野真吾, 今田裕也, 上鷗瀬美奈, 木村健二: Varseo-3Dプリンターを使用した歯科技工の可能性-. デジタルデンティストリーイヤーブック2016, 71~78, 2016
- 6) 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
- 7) 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, 102, 19(1), 2015
- 8) 植木一範, 河野正司: 光学式3Dプリンターによる高精度な義歯製作法の開発. 明倫紀要, 20(1), 2016
- 9) 河野正司, 植木一範, 木竜徹: 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. 老年歯科医学総合研究所報告, 43-50, 2015