

令和 6 年 5 月 15 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K10087

研究課題名（和文）振動解析を用いた関節頭の機能的な位置付けへの挑戦-顎変形症、骨折、再建において-

研究課題名（英文）Positioning of the condyle where it works functionally after surgery by vibration analysis

研究代表者

松下 和裕（Matsushita, Kazuhiro）

北海道大学・大学病院・准教授

研究者番号：10399933

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：下顎枝分割術後、長期安定性を獲得するためには、骨片固定を行う際の関節窩に対する下顎頭の位置付けが重要である。しかし、これは専ら術者の経験に頼っており客観的な手法はない。そのため、今回探傷技術を参考にし、分割した下顎枝に振動を与え、関節窩内での構造を探索するシステムを構築した。

加振方法、受振方法、分析方法の3つの観点から検討した。加振は、2000Hz前後の周波数でおこなった。受振は、頭部に装着するヘッドセットに加速度センサーを埋め込み、経皮的に骨伝導周波数を計測した。しかし、関節内構造に特徴的な波動を描出するのは困難でFFT解析までは踏み込まず、今後課題を残す結果となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

下顎頭の位置に配慮しながら離断した骨片同士をプレーティングする手法は、術後の安定性を左右する上でとても重要である。しかし、客観的な手法がないのが問題である。今回、建築業界で一般的である探傷技術を手術に応用した発想が新しいと考える。画像評価ではなく、波動で評価する手法は構造物の物性や質の判断が可能で、機能を予測できる。よって、振動解析は新たな顎関節の評価法として、今後発展することが期待される。

研究成果の概要（英文）： The positioning of the condyle in the glenoid fossa in sagittal split ramus osteotomy is important to achieve long-term stability after surgery. However, there is no objective method to determine this, as it relies solely on the surgeon's experience. Therefore, we have developed a system that vibrates the segmented ramus to search for the actual structures in the fossa.

Three aspects were examined: the method of giving vibration, the method of receiving vibration, and the method of analysis. Vibration was applied at frequencies of around 2000Hz. For the vibration receiving method, an acceleration sensor was implanted in a headset worn on the head to measure the bone conduction frequency percutaneously. However, it was difficult to delineate the waves characteristic of the intra-articular structures, and we were unable to go as far as FFT analysis.

研究分野：口腔外科

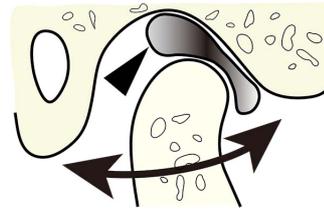
キーワード：口腔外科 顎変形症 振動解析

1. 研究開始当初の背景

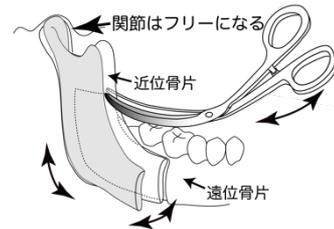
下顎枝矢状分割術を施行後、想定した位置で良好に上下の歯牙が嵌合し、顎関節の症状が無く、機能的に安定した咬合状態を長期維持するためには、骨片固定を行う際、関節窩に対する下顎頭の位置づけがとても重要である。下顎頭の形態変化や関節円板の状態、そして、様々な形状である関節窩にも配慮した誘導が必要である。しかし、日常の臨床においてこれに関する客観的な指標はなく、これは専ら術者の経験に頼っているのが実情である。よって、この手技を精度高く確実に行うには、客観的な基準や、容易でかつ正確に行える手法が望まれる。後世を育成する観点でも必要である。

MRI で関節円板の位置や状況は評価可能で、高頻度に前方転位していることが確認できるが、それはあくまでも静的な状況であり、実際の関節円板や下顎頭の物性については不明である。そこで、橋や鉄橋など建造物の探傷や地表面の多層構造解析に振動を用いて分析している方法を参考にし、関節窩内での構造を振動で探る手法を思いついた。得られた波形を高速フーリエ変換 (FFT) 解析して、関節を構成している構造物それぞれの特徴を把握できるともくろんだ。下顎枝矢状分割術は、歯が付いている遠位骨片を理想な位置に移動させる技術のみならず、関節が付いている近位骨片をフリーにして、下顎頭と関節窩との関係を直に評価できる優れた特徴も有する。

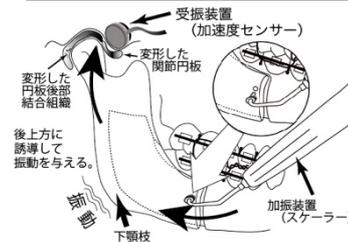
本研究では、分割された関節頭を含む近位骨片に振動を与え、振動の減衰や伝播様式により関節窩と下顎頭の位置関係や性状、ならびにその間に介在する関節円板や円板後部結合組織の状態を評価する振動解析システムを具体化し、下顎頭を理想の位置に誘導する技術の礎を構築する。そのために必要な加振方法、受振方法、分析方法の3つを考案し、今後の方向性や問題点を明らかにする。



関節円板が解剖学的に正しい位置にあることは少なく、変形もしている。そのため、関節円板の位置や弾性を評価する。



近位骨片をフリーにでき、自由に操作できる。



遠位骨片を加振し、関節結節上皮膚に装着したセンサーで伝播した振動を受振する。

2. 研究の目的

下顎枝矢状分割後に骨片を固定する際、従来の画像評価では評価が困難であった顎関節構造物の物性を把握し、術後に下顎が最も安定すると予測される位置への下顎頭位置付けの手法の確立、ならびにそれをフィードバックする根拠の局所情報収集を行う。ならびに、振動解析がもたらす結果情報と手術手技との連携の可能性を探る。

3. 研究の方法

未だかつて施行されたことのない手法であるため、加振方法、受振方法、分析方法を考案する。試作機を製作するなど各種パイロット実験を行い、問題点を抽出してその改良を図る。

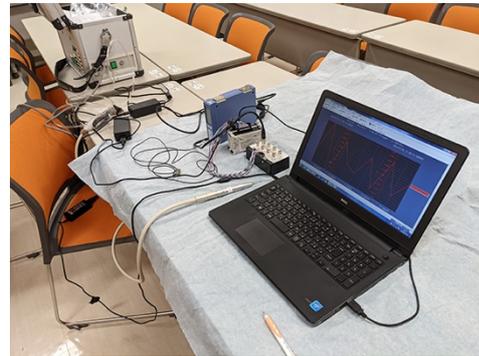
なお、北海道大学病院 生命・医学系研究倫理審査委員会に申請し(研究番号:生 023-0040)承認を得た。

4. 研究成果

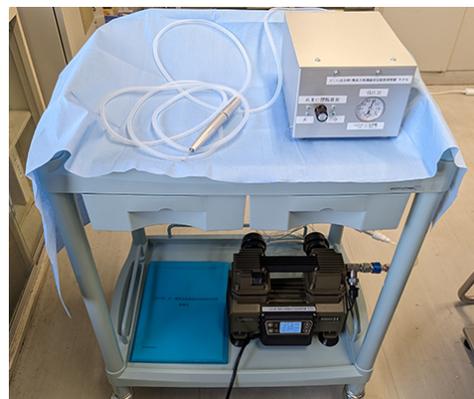
(1) 加振方法

低侵襲での測定を念頭に置き、経皮的手法を考えた。2000Hz 以下の周波数帯域では、軟組織による振動の吸収が少ないため、線形的に振動は伝播し経皮的頭蓋振動測定が可能とされる¹⁾。また、使用する波形(正弦波、矩形波、ノコギリ波、Time-stretched-pulse, swept sine signal など)によっても伝播方法や減衰特性が異なるが、今回はあくまでもパイロット試験であるため一般的な正弦波・横波での加振を考えた。

加振装置として、スマートフォンのバイブ機能を参考に偏心モーターやボイスコイルモーターの使用を検討した。しかし、ウォーターシールが確実、口腔内使用可能、回路に鉛成分を使用しない、滅菌可能などの諸条件より、限られた期間、限られた予算での作成は困難と考え、通常の歯科治療や手術でも用いている器械の活用を考えた。歯科用の駆動装置であるエンジンドリル、レシプロカナルソー、タービン、超音波スケーラーなど候補にあがった。2000Hzを挟んだ周囲の周波数帯を用いることが望ましいため、その周波数を発生できる装置を選択した。歯科用のドリル(エンジン)は 30,000~40,000rpm (500Hz~667Hz) でそのままでは使えず、増速が必要となった。一方で、エアータービンやスケーラーは 60,000rpm~300,000rpm (1200Hz~5000Hz) 程度の振動発生が可能であるため、圧縮空気の圧力を調整することで 120,000rpm (3000Hz) の振動は発生可能と判断し、歯科用のエアスケーラーをベースに加振装置を開発するのが効率的と判断して、歯科器材の長田電機技術開発部に相談した。エアースケーラー「Sirius」をベースにカスタマイズし、先端チップも試作し、スケーリングに用いる鋭利な形状ではなく、プレート固定のために形成した孔にスムーズに入り込む round-end 状の形態とした。先端直径も工夫した。実際の患者で測定することを想定し、気動式として手術室の壁に設置してある室素のアウトレットを用いることを考え、その接続や圧の調整方法を検討した。しかし、医療器械としての承認を受けていない装置をアウトレットに接続し故障した場合、手術室日常業務に与える影響や補償問題にも発展するため断念した。そのため、歯科の往診コンプレッサーにヒントを得て、持ち運び可能なコンパクトな形状を考えた。市販のコンプレッサー (HAIGE HG-DC880N1) を用いてスケーラーを駆動させることだけに特化したシステムを作り上げた。



試作中の加振装置と受振装置。
奥に往診用コンプレッサーが見える。

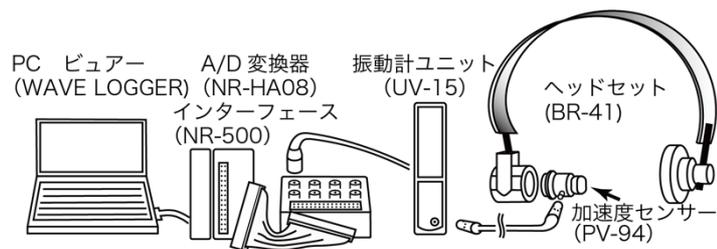


完成した加振装置。
下段に市販のコンプレッサー
(HAIGE HG-DC880N1)が見える。

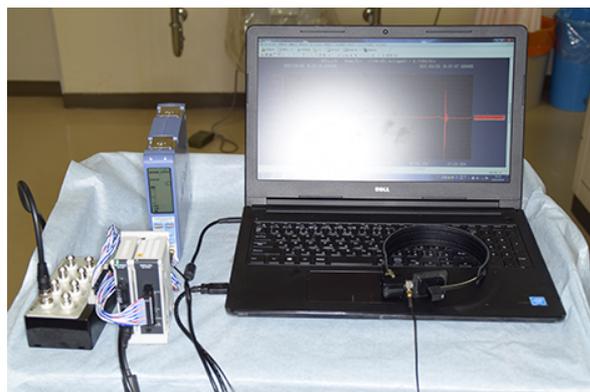
¹⁾骨固定型ピックアップを用いた食道発声支援装置用骨伝導マイクロホンの開発 音声言語医学 53(1): 84-85, 2012

(2) 受振方法

経皮的頭蓋振動測定のため、皮膚上に均一に圧接可能で、簡便な方法を検討した。顎関節に近接し、骨面からの厚さが薄く、安定している箇所として関節結節直上にセンサーを設置した。センサーは経皮的頭蓋振動測定を行った過去の報告を参考に、2000~10000Hz前後の振動数を測定できる圧伝式加速度ピックアップ(リオン:PV-94)を用いた。これを聴力検査に用いているヘッドセットに組みこみ、容易に装着できる形状とした。振動計ユニットは(同:UV-15)を用いて、BNC端子台(キーエンス:OP-66853)、高速アナログ計測キット(同:NR-HA08)を介して、PCダイレクトインターフェースユニット(同:NR-500)に接続、そしてノート型コンピュータ上のビューアー(同:WAVE LOGGER)を用いる受振装置を最終的に構築した。



受振・解析装置全体模式図



受振・解析装置の実際 全体像

(3) 解析方法

下顎枝矢状分割術での施行の前に、下顎埋伏智歯を抜歯するためにフラップを挙上した症例でパイロット試験を行った。下顎枝の立ち上がりの部分を先端が鋭であるチップを骨に圧接して加振し、関節結節の部分にヘッドセットで圧接した加速度ピックアップで受振した。受振は可能であるものの、開口の状況により下顎頭が前方に移動し均一の測定環境を維持する事が困難であった。また、バキュームでの振動も検出していた。そのため、ヘッドセットから加速度ピックアップをはずし、弾力絆で直接圧接したり、部位を変更したり施行錯誤した。歯科ユニット上で行う場合は、ユニットのタービンホースに接続すると均一の空気圧が得られ振動は安定していた。しかし、市販のコンプレッサーでは圧縮空気のタンクの容量が小さいため圧が変動しやすく、発生した振動数の変化が見られた。FFT解析に活用できるデータは得られなかった。

次いで、下顎枝矢状分割術でも施行した。下顎枝を分割し、プレート固定のために形成した小孔にround-endのチップを挿入して加振した。顔面皮膚を消毒しているため、ヘッドセットは付けられず、手術開始前に加速度ピックアップ本体を弾力絆で圧接した。やはり市販のコンプレッサーでは、測定中に圧が変化し一定した振動の発生は困難で、また、内側骨片(遠位骨片)との干渉や、筋鈎での押さえや展開もあり、術中に筋弛緩による開口量の変化はないものの、顎関節内部の状況を反映した波形は得られなかった。そのため、こちらもFFT解析には活用できなかった。



下顎枝矢状分割術後、加振の実際
エアースケラーを用いて加振した。

今回判明した問題点

システム試作器は完成し、振動の描出までは可能となったが、数多くの問題点が浮き彫りになった。

- (1) 駆動装置のコンプレッサーが移動に便利なコンパクトな形状であるためタンクの容量が小さく、エアースケラーを用いると容易に空気圧が低下し、振動数に影響を及ぼした。空気圧を一定に保つ難しさが判明した。空気圧の影響を排除するため気動式ではなく、電気モーターの活用した電動式の方が望ましいと思われた。
- (2) エアコンプレッサーの音や振動が著しいため、その振動も拾ってしまった。経皮的に振動の受振は可能でもノイズが混入し、防振対策が必須と考えられた。
- (3) 加振した遠位骨片に近接した近位骨片や組織、筋鈎、吸引管などにも振動が拡散し、頭蓋に伝達された振動だけを測定するのは困難であった。
- (4) このような環境から、当初予定していた FFT解析で波動と関節円板の状況や関節表面の形態との関係性を追求することはできなかった。
- (5) 各種予備実験の際はヘッドセットに組み込んだ加速度ピックアップで受振できたが、実際の下顎枝矢状分割術の際には覆布がかかった状態でヘッドセットを直接術野に設置することは困難で、加振や受振の手法のみならず、手術に即した環境設定の必要性も明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kazuhiro Matsushita, Yuki Wakabayashi, Soichi Tanaka, Tetsuya Seikai, Masaki Donen	4. 巻 8
2. 論文標題 CAD/CAM surgical guide for precise interdental osteotomy at the site between the crowded teeth in cleft lip and palate patients	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Advances in Oral and Maxillofacial Surgery	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.adoms.2022.100379	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 松下和裕, 山本隆昭, 佐藤嘉晃, 高道理, 武藤麻未, 中西康, 宮上雄希, 義達理恵子, 町田友梨, 足利雄一, 道念正樹, 小堀善則, 大井一浩, 原田沙織, Nguyen Thi Trang, 格口渉, 坂田健一郎, 山口博雄, 大廣洋一
2. 発表標題 上下顎骨形成術を行った開咬患者における側貌軟組織の変化について
3. 学会等名 第32回 特定非営利活動法人 日本顎変形症学会総会・学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小堀善則, 松下和裕, 高道理, 古谷忠典, 茶谷竜仁, 栗橋可織, 鎌田卓, 内藤亮, 金子真梨, 遠藤憲雄, 茶谷仁史, 田幡千尋, 河上宗博
2. 発表標題 ナビゲーションシステムを使った上顎骨片の位置の計測法の考案
3. 学会等名 第32回 特定非営利活動法人 日本顎変形症学会総会・学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大賀則孝, 坂田健一郎, 浅香卓哉, 佐藤淳, 松下和裕, 北川善政
2. 発表標題 上顎無歯顎の骨格性反対咬合患者に外科的矯正治療を施行した 例
3. 学会等名 第67回 公益社団法人日本口腔外科学会総会・学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松下 和裕, 山本 隆昭, 佐藤 嘉晃, 高道 理, 武藤 麻未, 中西 康, 義達理恵子, 関口 珠希, 町田 友梨, 足利 雄一, 道念 正樹, 小堀 善則, 大井 一浩, 原田 沙織, 格口 渉, 大賀 則孝, 坂田 健一郎, 山口 博雄, 大廣 洋一
2. 発表標題 オトガイ形成術を行った患者における側貌軟組織の変化について
3. 学会等名 第33回 特定非営利活動法人 日本顎変形症学会総会・学術大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 松下 和裕
2. 発表標題 OK - 432 (ピシパニール) を用いた習慣性顎関節脱臼治療
3. 学会等名 第36回 日本顎関節学会総会・学術大会
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------