

## 原著論文

タイトル：咬合挙上における前頭前野の血流量の変化

Changes in blood flow in the prefrontal cortex during occlusal elevation

ランニングタイトル：咬合挙上における脳血流量の変化

Changes in cerebral blood flow during occlusal elevation

本間優太，木本克彦，大野晃教，熊坂知就，服部慎太郎，星 憲幸

Yuta Honma, Katsuhiko Kimoto, Akinori Ohno, Tomonari Kumasaka, Shintaro Hattori,

Noriyuki Hoshi

神奈川歯科大学 歯科補綴学講座 クラウンブリッジ補綴学分野

Department of Fixed Prosthodontics, Kanagawa Dental University

## 連絡先

氏 名：本間優太

住 所：〒 238 - 8580 神奈川県横須賀市稲岡町 82 番地

電話番号：046 - 822 - 8805

Fax 番号：046 - 822 - 8712

メールアドレス：y.honma@kdu.ac.jp

## Contact address

Name: Yuta Honma

Address: 82 Inaoka-cho, Yokosuka, Kanagawa 238-8580, Japan

Telephone number: 046 - 822 - 8805

Fax number: 046 - 822 - 8712

Email address: y.honma@kdu.ac.jp

## 抄 録

本研究は、下顎位の変化によって誘発される前頭前野の血流量の変動を計測し、咬合高径の客観的評価法の可能性について検討した。

被験者は、個性正常咬合を有する成人 18 名を対象とし、高さの異なる咬合挙上スプリントを装着した時の前頭前野の神経活動を機能的近赤外分光法 (fNIRS) を用いて計測した。また、その時の情動変化を視覚的アナログスケール (VAS) を用いて主観的に評価した。その結果、咬合挙上量が増加するにつれて不快感は有意に上昇したのに対して、前頭前野の神経活動も変動し、特に前頭極付近で有意な変化が観察された。以上のことから、前頭前野の神経活動より、非侵襲的かつ客観的に咬合高径を評価出来る可能性が示唆された。

( 297 / 300 字 )

## キーワード

機能的近赤外分光法, 咬合高径, 視覚的アナログスケール, 脳血流量, 咬合挙上スプリント

## Abstract

In this study, we measured the change of blood flow in the prefrontal cortex induced by changes in mandibular position in order to investigate the possibility of an objective method for determining the vertical dimension of occlusion. The subjects were 18 adults with individual normal occlusion. The neural activity of the prefrontal cortex was measured using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) when wearing bite-raising splints of different heights (0 mm as control, +2 mm, +4 mm, and +6 mm). Emotional changes were subjectively evaluated using the Visual Analog Scale (VAS). The results showed that the discomfort of the VAS scores increased significantly with the increase of the vertical dimension of occlusion. On the other hand, the neural activity of the prefrontal cortex decreased as the vertical dimension of occlusion increased, and significantly decreased in comparison with 0 mm, +4 mm and +6 mm. In particular, a significant decrease was observed near the frontal pole. These results suggest that the blood flow of the prefrontal cortex changes according to the vertical dimension of occlusion and that the vertical dimension of occlusion can be assessed non-invasively and objectively from the brain activity.

(189 / 200 words)

## Key words:

functional near-infrared spectroscopy, vertical dimension of occlusion, visual analog scale, cerebral blood flow, bite-raising splint

## 緒 言

日常臨床において、多数歯の摩耗や欠損、さらには使用しているクラウンや義歯などの経年的な劣化により、咬合高径が低下している症例に多く遭遇する。咬合高径の喪失は、咀嚼・発語などの機能低下をもたらすばかりでなく、歯の審美性や顔貌・外観も損なうため、患者固有の咬合高径を適切に回復することは補綴治療にとって重要な術式の一つである<sup>1)</sup>。咬合高径は上下顎の歯が咬合したときに2点間で測定された距離として定義されている<sup>2)</sup>。その咬合高径の決定には、顔面計測・指の長さの計測・旧義歯の評価を用いた形態的アプローチ<sup>3-7)</sup>と下顎安静位・最大咬合力・嚥下・発声・神経筋活動を用いた機能的アプローチ<sup>8-12)</sup>に大別される。なかでも、患者の下顎位置感覚を利用する方法は、患者自身の感覚いわゆる快適咬合域(Comfortable Zone)を利用して測定するため、これまでの術者の主観や経験などに左右されない数少ない神経生理学的な手法として紹介されている<sup>1,12,13)</sup>。現在、下顎位置感覚の測定に際しては、精神物理学的測定法の一つである「恒常法」を用いた臨床術式が提唱されているが、術式が煩雑なため日常臨床への応用が難しいのが現状である。これまで国内外の文献を渉猟する限り、脳の神経活動から下顎位置感覚を客観的に評価した報告は少なく、未だ臨床応用にも至っていない。以上のように、これまで多くの臨床術式が提案されているが、理想的な決定法については未だ統一した見解が得られていないことから、日常臨床ではこれら複数の術式を組み合わせ、適正と思われる咬合高径を術者が試行錯誤的に回復しているのが現状である<sup>14)</sup>。さらに、そのように決定された咬合高径は、必ずしも患者の満足度と一致するとは限らず、最終的な咬合高径の決定は患者の主観的感觉に委ねることも少なくない。そのため術者・患者が満足する適切な咬合高径を決定するためにも患者自身の主観的感觉、いわゆる快・不快感情(情動)の変化を客観的に評価できる新たなシステムの確立が今求められている。

顎口腔系感觉情報は、三叉神経を經由して大脳皮質の一次体性感覚野に伝達されるが、感觉情報の快・不快を決定しているのは、島皮質・前帯状皮質や前頭前野が担当していることが知られている<sup>15,16)</sup>。近年、非侵襲的にそれらの脳活動を可視化するニューロイメージング技術が急速に発展してきている。中でも機能的近赤外分光法(functional Near-infrared spectroscopy: fNIRS)は、ポジト

ロン放出断層撮影 (PET) , 脳磁図 (MEG) , 機能的磁気共鳴画像法 (fMRI) などの他のニューロイメージング法と比べても, 自然に近い環境下であるチェアサイドで簡便に脳の活動状態を測定できるため, 臨床応用可能な新たな装置として期待されている<sup>17)</sup>.

これまでいくつかの fNIRS を用いた研究では, 前頭前野の神経活動を計測することで情動状態を評価出来ることが示唆されており<sup>18-20)</sup>, 医科領域では臨床症状や病歴からでは鑑別が難しい精神疾患の客観的評価として臨床応用が開始している<sup>21,22)</sup>.

一方, 歯科領域においては, fNIRS を用いて前頭前野の活動を観察することにより, 咬合状態の変化に関連した口腔感覚を客観的に評価できることが実験レベルで報告されており, 臨床応用の可能性が示唆されている<sup>23-25)</sup>.

現在デジタル技術が進歩する中, 歯科治療においてもデジタル化いわゆる DX ( デジタルトランスフォーメーション ) が急速に拡大している. 特に口腔内スキャナーを用いた光学印象法や CAD/CAM システムによる補綴装置の製作はすでに臨床応用されており, 術者・患者の双方にとって大きなメリットとなっている<sup>26)</sup>. しかしながら咬合採得のデジタル化は, 咬合支持のある有歯顎症例においては臨床応用されているものの, 無歯顎のような咬合支持の喪失した症例では大きな課題となっている.

本研究の目的は, 咬合高径の変化によって誘発される前頭前野の血流量の変動を計測することで, 咬合高径の新たな決定方法としての有用性を検討することである.

## 材料と方法

### 1. 被験者

被験者は, 成人 18 名 ( 男性 10 名, 女性 8 名 平均年齢  $32.7 \pm 3.5$  歳 ) を対象に, 個性正常咬合を有し, 欠損歯がなく, 顎口腔系に異常のないことを確認後, 下顎安静位と咬頭嵌合位の鼻下点 - オトガイ間距離を計測し, その差を安静空隙量として,  $1.5 \text{ mm} \sim 3.5 \text{ mm}$  以内だった者を被験者として選定した ( 平均安静空隙量  $2.2 \pm 0.4 \text{ mm}$  ). 全ての被験者に対し, ヘルシンキ宣言を遵守し, 実験開始前にインフォームドコンセントを行い, 書面による同意を得た

者のみを対象とした。尚，本研究は，神奈川歯科大学研究倫理審査委員会第 544 号の承認を得て実施された。

## 2. 機能的近赤外分光法 (fNIRS)

脳活動量の測定には fNIRS 装置 (ETG-7100, 日立ヘルスケア・マニュファクチャリング, 千葉, 日本) を使用した。装置のプロローブは, 8 つの発光器と 7 つの検出器を格子状に配置して, 22 チャンネル計測した。2 種類の異なる波長の近赤外光 ( $695 \pm 20 \text{ nm}$  と  $830 \pm 20 \text{ nm}$ ) を使用して 10 Hz のサンプリングレートで酸素化ヘモグロビン (以下 oxy-Hb), 脱酸素化ヘモグロビン (以下 deoxy-Hb), およびそれらの合計の総ヘモグロビン (以下 total-Hb) を測定した。検出器プロローブと発光器プロローブの距離は 30 mm で, 頭皮から 20 mm の深さの脳血流を検出した。頭皮から 20 mm の深さには, 脳血流に加えて頭皮血流も含まれているため, 頭皮血流はタスク対応の主成分分析を行う事でノイズとして除外した。本研究では脳活動の指標は, oxy-Hb 濃度の変化とした<sup>27)</sup>。また, fNIRS のプロローブは, 脳波計で使用される国際 10/20 法<sup>28)</sup> に基づいて配置し, 前頭前野を覆う前頭領域に設定した。最も低いプロローブラインは Fp1 (左前頭極部) - Fp2 (右前頭極部) ラインに沿って配置し, 中央のプロローブは Fpz (正中前頭極部) に配置した。(図 1)

## 3. スプリント製作

被験者は, 有歯顎者であり低い咬合高径は再現できない。そのため今回は, 高い咬合高径の実験モデルを再現し, 一人の被験者に対して咬頭嵌合位でのコントロールスプリントと, 3 種類の咬合挙上スプリントを製作した。咬合挙上スプリントの製作には, 上下顎歯列をシリコーンゴム印象材にて印象採得を行い, シリコンバイトにて咬合採得, フェイスボウトランフアーにて咬合器付着を行った。スプリントの再現性を求めるために, 3D プリンターを用いてスプリントを製作した。上下の歯列弓模型をオーラルスキャナー (Trios 3, 3-Shape, コペンハーゲン, デンマーク) を用いてスキャンした後, 咬合器のインサイザルピン上で 0 mm, 2 mm, 4 mm, 6 mm に設定した状態でバイトスキャンを行った。上下顎歯列弓と各高さのバイトスキャンデータを使用し, 顎矯正手

術シミュレーションシステム (ManMos, マクロシステム社, 東京, 日本) を用いて, 各高さの上下歯列弓間の空隙に, 厚さ 5 mm のスプリントのテンプレートデータを型抜きしてスプリントデータを製作した. その後, スプリントデータを 3D プリンター (Form2, Formlabs, ワシントン D.C., アメリカ) にてプリントアウトした. 製作したスプリントは, 被験者の歯列の概形に合わせてトリミングを行った後, 被験者の口腔内に試適し, 早期接触や干渉がなくなるように咬合紙を用いて削合調整を行った. この時, 設定した咬合高径より下がらないように注意して調整を行った.

尚, コントロールスプリントについては, 本来の咬合接触を確保するために咬頭嵌合位での接触点は覆われていない. (図 2)

#### 4. 咬合タスク

各被験者は, 課題の説明を受けた後, 座位にて fNIRS のプローブを頭部に装着した状態で, コントロールスプリント (0 mm), 各咬合挙上スプリント (2 mm, 4 mm, 6 mm) を装着し, 上下顎歯列を接触させた下顎位を保持するタスクを実施した. スプリントを一つ装着した状態で, 被験者は一連の 3 サイクルのタスクを実施した. 各サイクルは 10 秒のタスクと 30 秒のレストで構成した (図 3). なお, レスト時は咬合接触させないように指示した. プロトコールの指示は, タイムスケジュールに沿って, パソコンのスクリーンに映して行った. 各スプリントを装着して計測する順番は, 被験者ごとにランダムにすることで, 順番による影響を排除するようにした. 各スプリントの計測の間には, 被験者の感覚や脳活動のウォッシュアウト時間として, スプリントを交換する時間を含めて 10 分間設定した. なお, 上記の動作は視覚, 聴覚, 嗅覚を刺激しない静かな個室で行われ, 課題中は可能な限り頭部を動かさず, 課題内容のみに集中するように指示した.

#### 5. データ処理

データ計測後, 課題による血流量の変化を明瞭化し, 各条件間で比較しやすくするために, Integral 解析を用いた. Integral 解析では, 3 回のタスクを繰り返した結果を加算して平均値をとる加算平均処理と, それぞれのタスク間に

において同一条件での解析を可能とするベースライン処理が同時に行われた。

**Integral** 解析後に fNIRS 装置に搭載されている解析ソフト (**Multiple Data Analysis**) を用いて、各チャンネルにおける oxy-Hb の変化の傾向を検討するために、18名のデータを加算平均した波形を算出した。

## 6. スプリント装着時の情動評価

各被験者は、0(不快感なし)から10(極度の不快感)の範囲の視覚的アナログスケール (**Visual Analog Scale : VAS**) でタスク中の主観的な不快感を評価した。VAS スコアは規定の用紙を作製し、被験者に記入してもらい、条件間で VAS スコアの比較を行った。

## 7. データ解析

本研究では、咬合刺激に応答した oxy-Hb の変化量を脳皮質の活動の指標とした。解析に使用するデータは **Integral** 解析後の咬合刺激タスク中の oxy-Hb 変化量の平均値を使用して、各スプリントでの oxy-Hb の変化量をチャンネルごとに取り得し、各スプリント間で比較を行った。解析を行う際のデータ加工は Pre: 5[s], Task: 10[s], Recovery: 10[s], Post: 5[s], Moving average: 10[s] とした。なお、統計処理には、SPSS 22.0 for Windows (SPSS Inc, イリノイ州シカゴ, アメリカ) を使用し、初めに各スプリント装着時における oxy-Hb の変化量の平均値に対し、Shapiro-Wilk 検定により正規性の検定を行い、正規性がないことを確認したので、本データは各スプリント間の中央値の統計的な差異について、Friedman 検定を行った。有意差を認めたチャンネルについては、その後の多重比較検定を行った。多重比較検定は、0 mm を対照群として、Wilcoxon 符号順位検定の Bonferroni 補正にて検定を行い、比較検討を行った。統計学的有意水準を 0.05 とした。なお、側頭筋のノイズが含まれる可能性があるため、側頭筋に近い Ch1, Ch4, Ch5, Ch9, Ch10, Ch13, Ch14, Ch18, Ch19, Ch22 は、統計解析の対象から除外した。また、不快感の VAS スコアについても正規性が認められなかったため、oxy-Hb 濃度の変化量と同じ方法で統計解析を行い、VAS スコアと oxy-Hb の変化量との相関関係を Spearman 順位相関係数にて検定した。



## 結 果

図 4 は各スプリント装着時における 被験者 18 名のチャンネル毎の 3 回のタスクの平均値の oxy-Hb の変化を示す。Ch 2, Ch 3, Ch 11 を除く全てのチャンネルにおいて、0 mm のコントロールスプリントの oxy-Hb が最も高い値を示し、咬合挙上量が増加するに従い、oxy-Hb が減少し、6 mm のスプリントで最も低い値を示す傾向にあった。波形はタスク開始から変化が大きくなり、タスク中の 5 秒ほどで頂点に達し、その後はタスク終了から 5 ~ 15 秒かけて徐々にベースライン (0) に戻っていることが確認された。

図 5 は 4 種類のスプリント間で、oxy-Hb の変化量に有意な差が認められたチャンネルを示す。前頭極付近の Ch 15, Ch 16, Ch 17 において、咬合挙上量が増加するにつれて、oxy-Hb 量は減少する傾向が認められた。Ch 15, Ch 16, Ch 17 は、0 mm のコントロールスプリントと 6 mm のスプリントとの比較において有意な減少が認められた ( $p < 0.05$ )。Ch 16 は 0 mm と 4 mm との比較においても有意な減少が認められた。(図 6)

各スプリントを装着した時の不快感を示す VAS スコアは、咬合挙上量が増加するにつれて有意に増加し ( $p < 0.01$ )、(図 7) VAS スコアと oxy-Hb の変化量との間において、Ch 15, Ch 16, Ch 17 に有意な負の相関が確認された ( $p < 0.01$ )。(図 8)

## 考 察

今回は、脳の計測部位として、前頭葉内に位置している前頭前野を選択した。顎口腔系の感覚情報は、一般的に大脳皮質の感覚野に伝達・処理され、その後、扁桃体を中心とする大脳辺縁系へ伝達され、快・不快のような情動の評価が行われる。前頭前野は、意思や計画性、判断、創造、記憶、抑制、集中など、多くの働きを司っていることはよく知られており、特に大脳辺縁系での快・不快のような情動発現に対して抑制的に働く。また、今回検出された前頭極付近はヒトに特有な脳部位であり、他の前頭連合野部位と異なり高次な情報の統合機能を持っていることから<sup>29)</sup>、計測部位としては妥当性がある<sup>30)</sup>。また、臨床応用を見据えた場合、簡便に脳活動を測定できる部位であることも選択理由の一

つである。fNIRS 計測を行う際は、体動やタスク遂行時の筋活動によるアーチファクトの影響が危惧されており、本研究においても咬合させるため、咀嚼筋の特に側頭筋の筋活動による影響を受ける可能性がある。今回、その影響を極力少なくするために、検出部位は前頭前野の中央部分にあたる前頭極付近～背外側前頭前野付近とした。現時点では、非侵襲的かつ感度高く脳活動状態を測定できる部位と考えている。

前頭前野領域の神経活動の指標とした oxy-Hb 量は、身体に痛みやストレス、不快感情によって増加することが報告されている<sup>19,31,32</sup>。fNIRS を使用して咬合関連タスクを与えた臨床研究においても、スプリントを装着し片側でのクレンチング<sup>23</sup> や、下顎位を変位させてのクレンチング<sup>24</sup>、上下顎大臼歯間にストリップスを介在させてのグライインディング<sup>25</sup> などの動的な咬合タスクを与えることにより不快感が向上し、oxy-Hb 量も上昇することが報告されている。しかしながら、本研究では、oxy-Hb 量と不快感の間には負の相関性が示された。その理由として計測時（ベースライン）の oxy-Hb 量の違いが挙げられる。本来、fNIRS は oxy-Hb 量の絶対的な変化ではなく、相対的な変化を計測する装置である。これまでの報告はベースラインである安静時に対して動的タスク時の変化を計測しているため、oxy-Hb 量は増加したと考えられる。それに対して、今回の咬合挙上のタスクは、レスト期間中は安静空隙を超えた開口量を維持し不安定な状態のためベースラインの oxy-Hb 量はすでに上昇した状態になっている。そしてタスク時は咬合することによって下顎位が安定することで、不快感が軽減し oxy-Hb 量が減少したものと推察する。

スプリント装着時の脳活動を調べた MRI 研究<sup>33</sup> では、スタビライザー型スプリント装着により、大脳皮質の感覚・運動野や快・不快感にかかわる大脳辺縁系の島皮質や帯状皮質の活動が減少することが報告がされており、本結果を支持している。また、各咬合挙上量の oxy-Hb 量を比較してみると、コントロール (0 mm) に対して 4 mm と 6 mm 挙上では有意な変化は認められたものの 2 mm 挙上では認められなかった。このことは患者固有の安静空隙が影響したと推察している。安静空隙量には個人差があり、少ない人で 1 mm、大きい人では 9 mm と変動は大きいものの、平均で 2～3 mm 程度と報告されている<sup>34</sup>。今回計測を行った被験者の安静空隙量は平均で 2.2 mm であり、平均的な

安静空隙量の被験者が対象となったため、変動は少なかったと考えられる。これまで低位咬合の補綴治療において、安静空隙内での咬合挙上が実際に行われていることから、臨床とよくリンクしている結果と思われた<sup>35,36)</sup>。いずれにしても今回の結果からは、咬合を挙上することにより前頭前野の血流量は、一定の変動傾向を示したものの、fNIRS を応用する際には、同じ咬合タスクであっても計測時の下顎位によって脳血流量の変動傾向は異なる可能性が示唆された。

本研究は、脳活動から咬合高径（垂直的な下顎位）を決定しようとするプレリミナリーな実験のため、いくつかの限界がある。その一つは、予備データが不十分なため実験前にサンプルサイズを適切に設定することが出来なかったことである。本結果から検出力とサンプルサイズを算出すると、検出力はコントロール（0 mm）に対して 4 mm 挙上で 0.944，6 mm 挙上で 0.933 と問題はなかったが、必要サンプルサイズは 22 となり、計算上症例数は不足していた。また、本研究は有歯顎者を対象としたため、低い咬合高径の実験デザインや中長期的な検証も出来ていないことも挙げられる。今後は無歯顎患者を対象に、咬合高径の低い実験デザインや中長期的な検証も必要と考えている。

デジタルデンティストリーが日常臨床に浸透していく中で、患者の情動をデジタル化し歯科治療の方法や評価に応用することは、これからの新たなデジタル手法の一つとなりうると期待している。

## 結 論

本研究では、脳活動より患者固有の咬合高径を決定するための基盤研究として、被験者 18 名に対して、高さの異なるスプリントを用いて実験的咬合挙上を行い、その時の前頭前野の脳活動量と被験者の情動評価をした結果、次の結論を得た。

- ・ 前頭前野領域の内、前頭極付近の神経活動量は、咬合挙上量が増加するにつれて、減少する傾向を示した。特に 4 mm と 6 mm 挙上において有意に変化が認められた。
- ・ VAS スコアを用いた主観的な情動評価においては、咬合挙上量が増加するにつれて、不快感は有意に増加した。

- ・ VAS スコアと oxy-Hb の変化量は有意な負の相関関係を示した。

以上のことから、前頭前野の神経活動を計測することにより、咬合高径の変化を、非侵襲的かつ客観的に評価出来る可能性が示唆された。

#### 利益相反

本研究に関して開示すべき利益相反状態はない。

#### 文 献

- 1) 細井紀雄, 平井敏博, 大川周治, 市川哲雄 (編). 無歯顎補綴治療学. 第3版: 医歯薬出版; 2016. p.135-145.
- 2) 日本補綴歯科学会 (編). 歯科補綴学専門用語集. 第5版: 医歯薬出版; 2019. p.35.
- 3) Willis FM. Esthetics of full denture construction. J Am Dent Assoc 1930; 17: 636–642.
- 4) McGee GF. Use of facial measurement in determining vertical dimension. J Am Dent Assoc 1947; 35: 342–350.
- 5) McGrane HF. Five basic principles of the McGrane full denture procedure. J Florida Dent Soc 1949; 20: 5–8.
- 6) Watt DM, MacGregor AR. Designing complete dentures. 2nd ed. Bristol: Wright; 1986. p.166–175.
- 7) Zarb GA, Bolender CL, Hickey JC, Carlsson GE. Boucher's prosthodontic treatment for edentulous patients. 10th ed. St Louis: CV Mosby Co; 1990. p.272–281.
- 8) Niswonger ME. The rest position of the mandible and the centric relation. J Am Dent Assoc 1934; 21: 1572–1582.
- 9) Boos RH. Intermaxillary relation established by biting power. J Am Dent Assoc 1940; 27: 1192–1199.
- 10) Silverman MM. The speaking method in measuring vertical dimension. J Prosthet Dent 1953; 3: 193–199.
- 11) Shanahan TE. Physiologic jaw relations and occlusion of complete dentures. J Prosthet Dent 1955; 5: 319–324.
- 12) Lytle RB. Vertical relation of occlusion by the patient's neuromuscular perception. J

- Prosthet Dent 1964; 14: 12–21.
- 13) 野首孝祠, 安井 栄. 下顎位置感覚測定装置 (PMP レコーダ) を用いたコンプリートデンチャーにおける咬合採得法. QDT 2000; 25: 1382-1391.
  - 14) Alhaji MN, Khalifa N, Abduo J, et al. Determination of occlusal vertical dimension for complete dentures patients: an updated review. J Oral Rehabil 2017; 44: 896–907.
  - 15) Haggard P, de Boer L. Oral somatosensory awareness. Neurosci biobehav Rev 2014; 47: 469-484.
  - 16) Apkainrian AV, Bushnell MC, Treede RD, et al. Human brain mechanisms of pain perception and regulation in health and disease. Eur J Pain 2005; 9: 463-484.
  - 17) Cui X, Bryant DM, Reiss AL. NIRS-based hyperscanning reveals increased interpersonal coherence in superior frontal cortex during cooperation. Neuroimage 2012; 59: 2430–2437.
  - 18) Yasui H, Takamoto K, Hori E, et al. Significant correlation between autonomic nervous activity and cerebral hemodynamics during thermotherapy on the neck. Auton Neurosci 2010; 156(1-2): 96-103.
  - 19) Hoshi Y, Huang J, Kohri S, et al. Recognition of human emotions from cerebral blood flow changes in the frontal region: a study with event-related near-infrared spectroscopy. J Neuroimaging 2011; 21(2): e94-e101.
  - 20) Doi H, Nishitani S, Shinohara K. NIRS as a tool for assaying emotional function in the prefrontal cortex. Front Hum Neurosci 2013; 7: 770.
  - 21) 里村嘉弘, 山岸美香, 櫻田華子, ほか. NIRS を用いたうつ病研究. 日本生物学的精神医学会誌 2017; 28: 185-189.
  - 22) Fukuda M. Optical Topography as an Auxiliary Laboratory Test for Differential Diagnosis of Depressive State: Clinical Application of Near-infrared Spectroscopy (NIRS) as the First Trial for Approved Laboratory Tests in Psychiatry. Seishin Shinkeigaku Zasshi 2015; 117(2): 79-93.
  - 23) 田口千穂, 大塚剛郎, 高橋 豪, ほか. 片側咬合挙上時における前頭前野の賦活様相: 近赤外線分光法による検討. 神奈川歯学 2012; 47(1): 6-14.
  - 24) Otsuka T, Yamasaki R, Shimazaki T, et al. Effects of Mandibular Retrusive Deviation on Prefrontal Cortex Activation: A Functional Near-Infrared Spectroscopy Study. Biomed

- Res Int 2015; 2015: 373769.
- 25) Ono Y, Kobayashi G, Hayama R, et al. Prefrontal Hemodynamic Changes Associated with Subjective Sense of Occlusal Discomfort. *Biomed Res Int* 2015; 2015: 395705.
  - 26) 木本克彦. デジタルソリューションが歯科治療にもたらすものとは. *日本歯科理工学会誌* 2019; 38(3): 187-192.
  - 27) Hoshi Y, Kobayashi N, Tamura M. Interpretation of near-infrared spectroscopy signals: a study with a newly developed perfused rat brain model. *J Appl Physiol* (1985). 2001; 90(5): 1657-1662.
  - 28) Okamoto M, Dan H, Sakamoto K, et al. Three-dimensional probabilistic anatomical cranio-cerebral correlation via the international 10-20 system oriented for transcranial functional brain mapping. *Neuroimage* 2004; 21(1): 99-111.
  - 29) 渡邊正孝. 前頭連合野のしくみとはたらき. *高次脳機能研究* 2016; 36(1): 1-8.
  - 30) 小野弓絵. 脳機能画像検査で観る情動と身体のコロストーク. *自律神経* 2015; 52: 28-31.
  - 31) 石井良和, 尾形 元, 山本賢一, ほか. 脳波・NIRS を用いたストレスに関する研究. *MBE 医用・生体工学研究会* 2008; 35: 63-66.
  - 32) 小野弓絵. 歯痛と口腔違和感の脳機能イメージング・診断・治療. *日本顎関節学会雑誌* 2019; 31(2): 100-105.
  - 33) Lotze M, Lucas C, Domin M, et al. B. The cerebral representation of temporomandibular joint occlusion and its alternation by occlusal splints. *Human brain mapp* 2012; 33: 2984-2993.
  - 34) Goldstein G, Goodacre C, MacGregor K. Occlusal Vertical Dimension: Best Evidence Consensus Statement. *J Prothodont* 2021; 30(S1): 12-19.
  - 35) 西山弘崇. 咬耗による審美不良に対してフルマウスリハビリテーションにより対応した一症例. *日本歯科補綴学会誌* 2021; 13: 82-85.
  - 36) 北見恩美. 咬合高径の低下に対し治療用義歯を用いて咬合再構成を行った症例. *日本補綴歯科学会誌* 2021; 13: 150-153.

## 図の表題と説明

- 図 1 : fNIRS の計測風景と前頭前野におけるプローブの装着部位
- 図 2 : 各咬合挙上スプリントの装着
- 図 3 : 咬合タスクデザイン
- 図 4 : 各スプリント装着時におけるチャンネル毎の加算平均を行った oxy-Hb 量の変化
- 図 5 : 各チャンネルにおける oxy-Hb 変化量の検定結果
- 図 6 : 各スプリント装着時の Ch 15, Ch 16, Ch 17 の oxy-Hb 量の変化
- 図 7 : 各スプリント装着時の情動の変化
- 図 8 : Ch 15, Ch 16, Ch 17 における各スプリント装着時の oxy-Hb の変化量と VAS スコアとの相関性

## Legend

Figure 1: fNIRS measurements and the location of the probe in the prefrontal cortex

Figure 2: Application of each bite-raising splint

Figure 3: Occlusal task design

Figure 4: Changes in oxy-Hb levels with additive averaging for each channel at each bite-raising splint

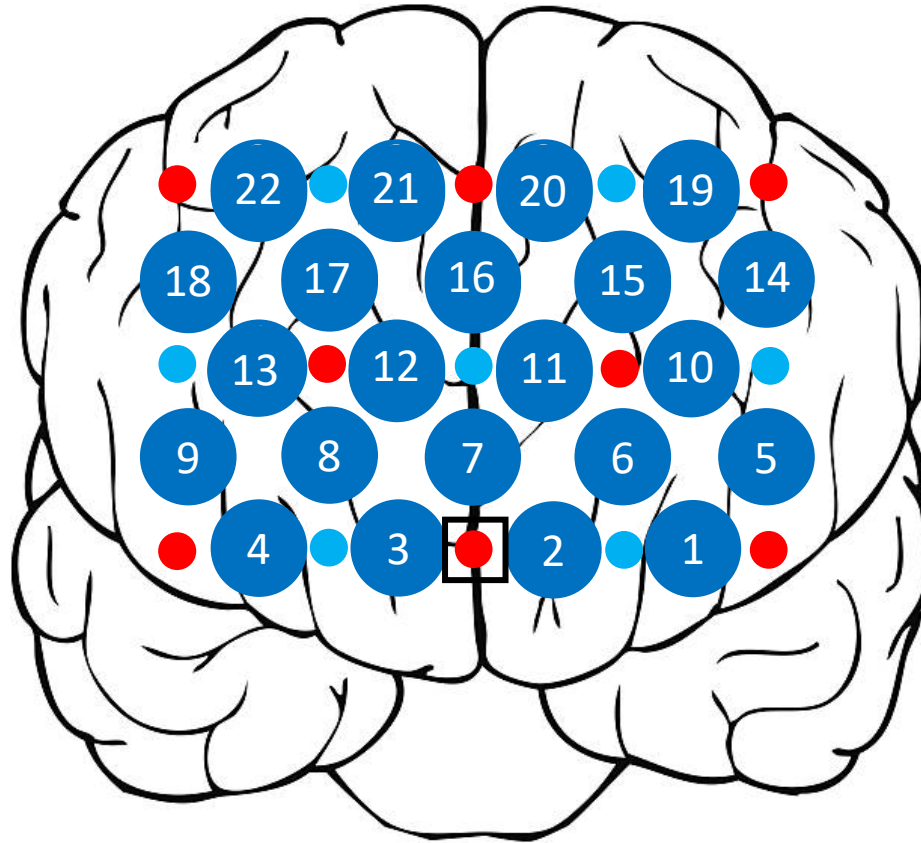
Figure 5: Test results of oxy-Hb change in each channel

Figure 6: Changes in oxy-Hb levels in Ch 15, Ch 16, and Ch 17 when wearing each bite-raising splint

Figure 7: Emotional changes with each bite-raising splint

Figure 8: Correlation between change in oxy-Hb and VAS scores at each bite-raising splint in Ch 15, Ch 16, and Ch 17





- : 発光器プローブ
- : 検出器プローブ
- : Fpz ( 正中前頭極部 )

1-22 : 前頭前野計測チャンネル番号

1-4 : 眼窩前頭皮質相当部

6-8, 11-12, 15-17 : 前頭極相当部

19-22 : 背外側前頭前皮質相当部

fNIRS の計測風景と前頭前野におけるプローブの装着部位

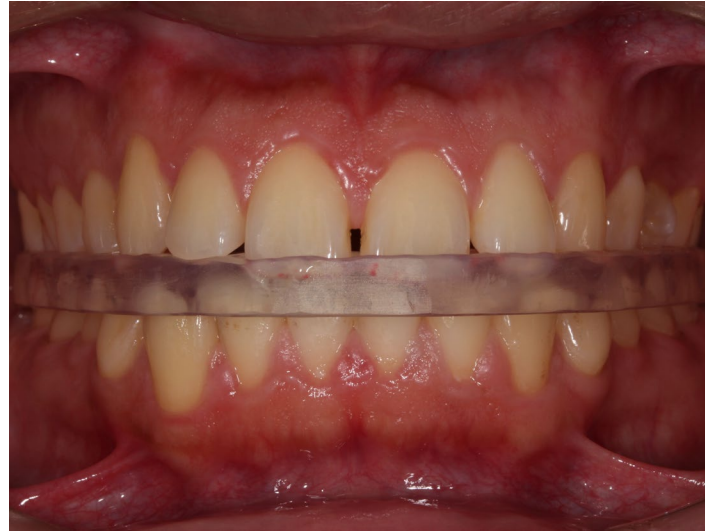
図 2



0mm



2mm

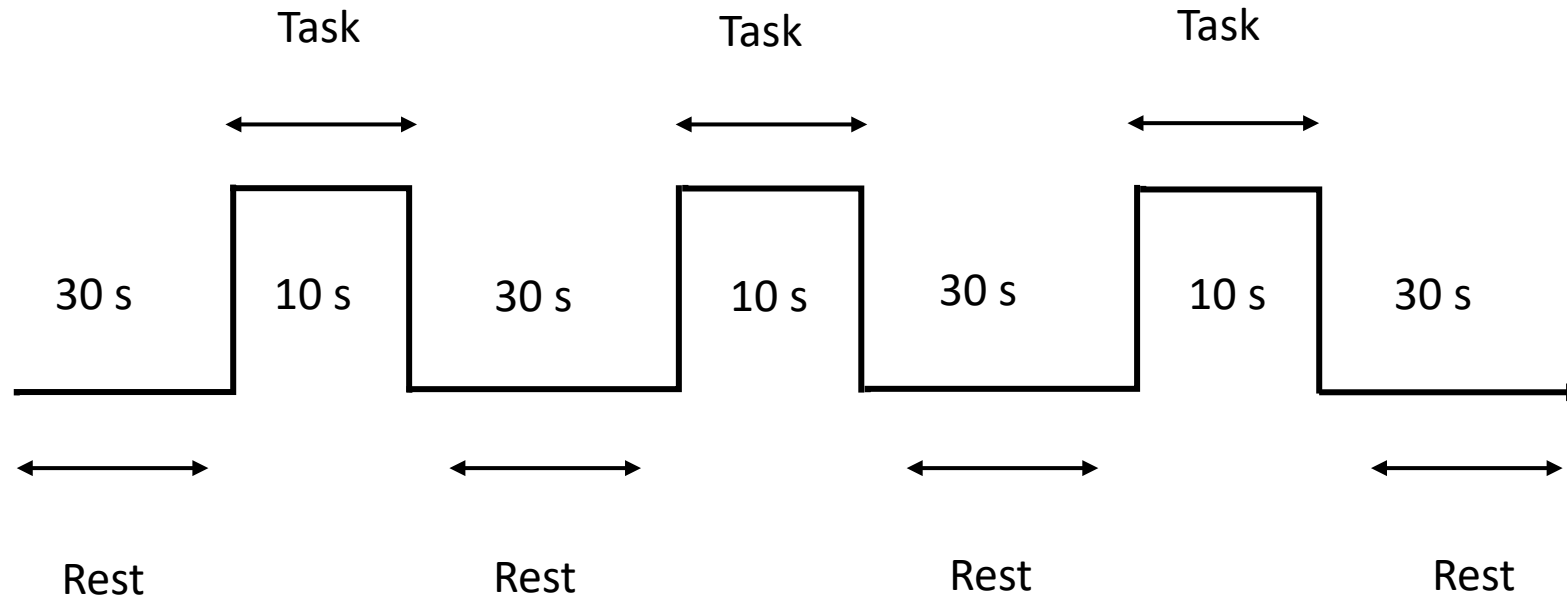


4mm



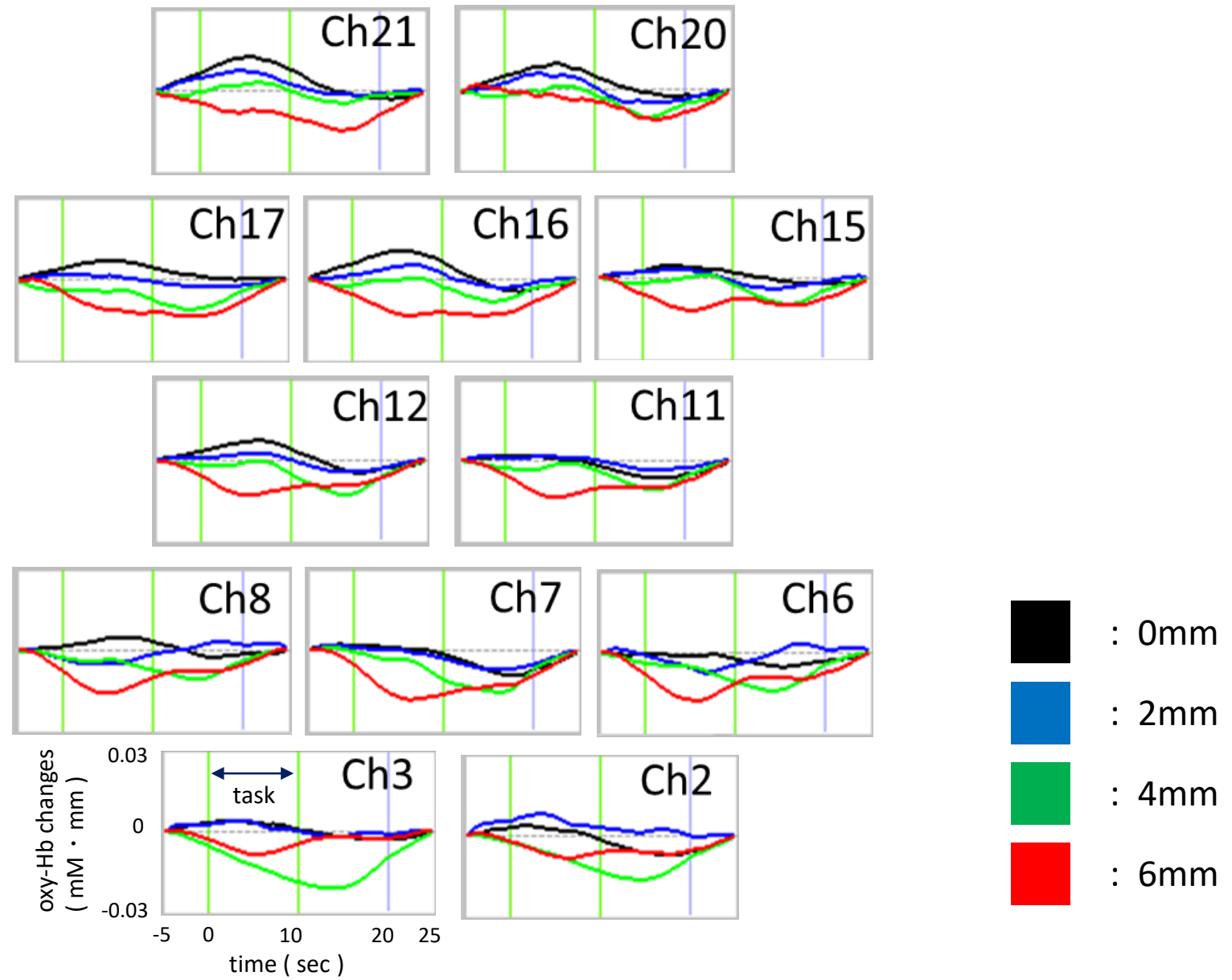
6mm

各咬合挙上スプリントの装着

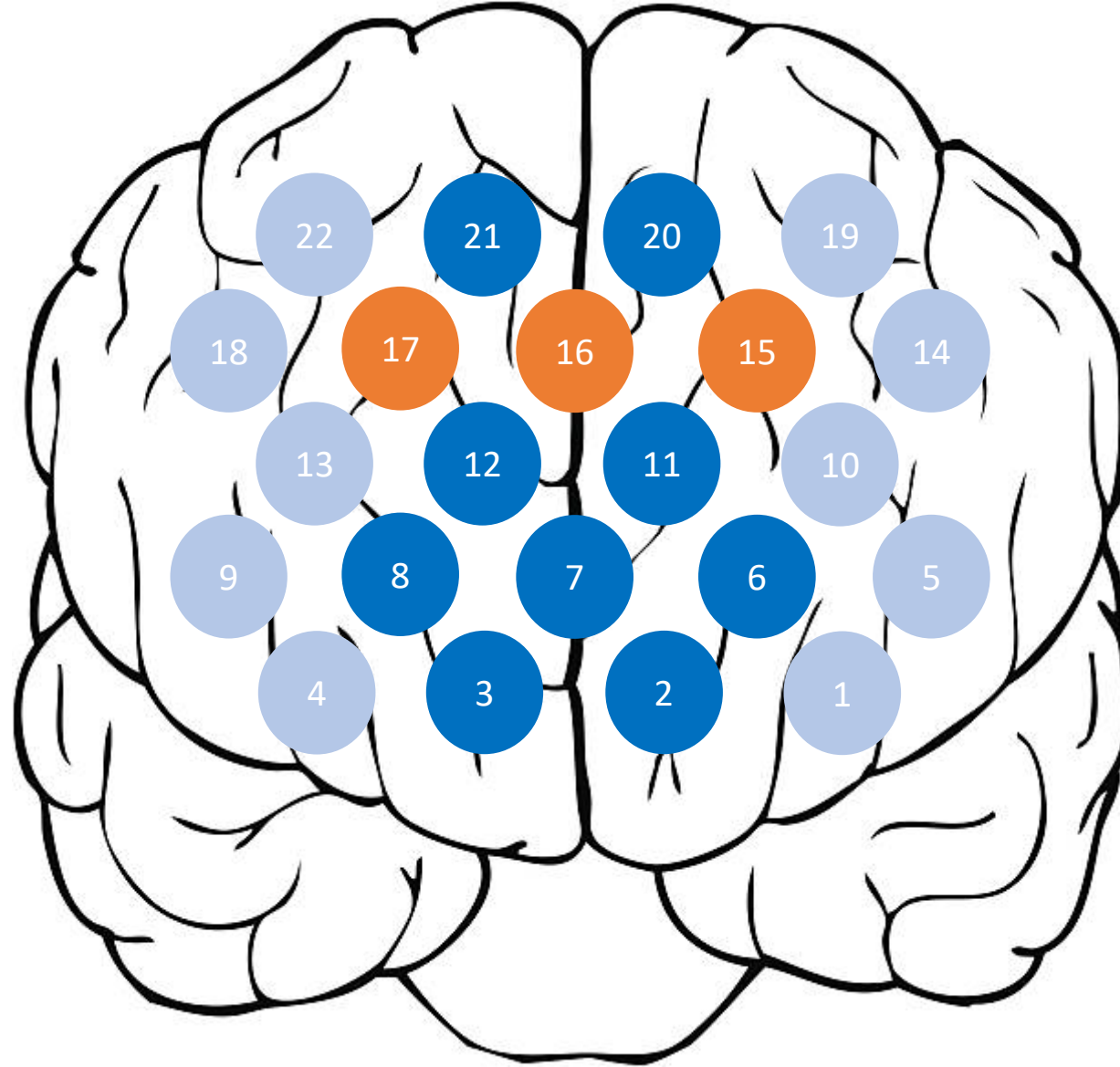


咬合タスクデザイン

図 4

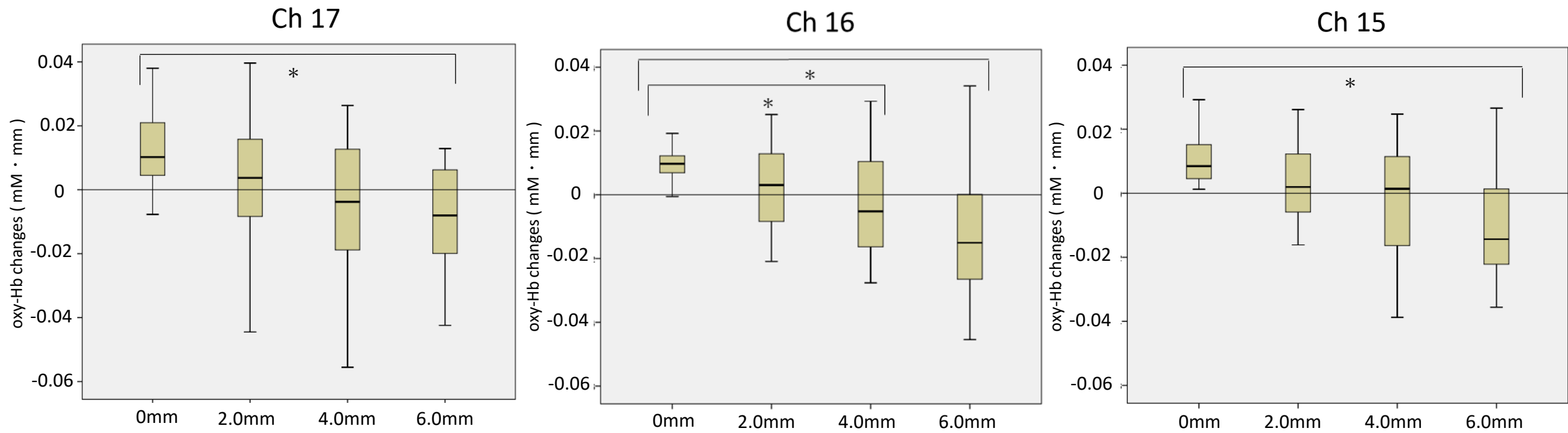


各スプリント装着時におけるチャンネル毎の加算平均を行った oxy-Hb 量の変化



- : 除外
- :  $p > 0.05$
- :  $p < 0.05$

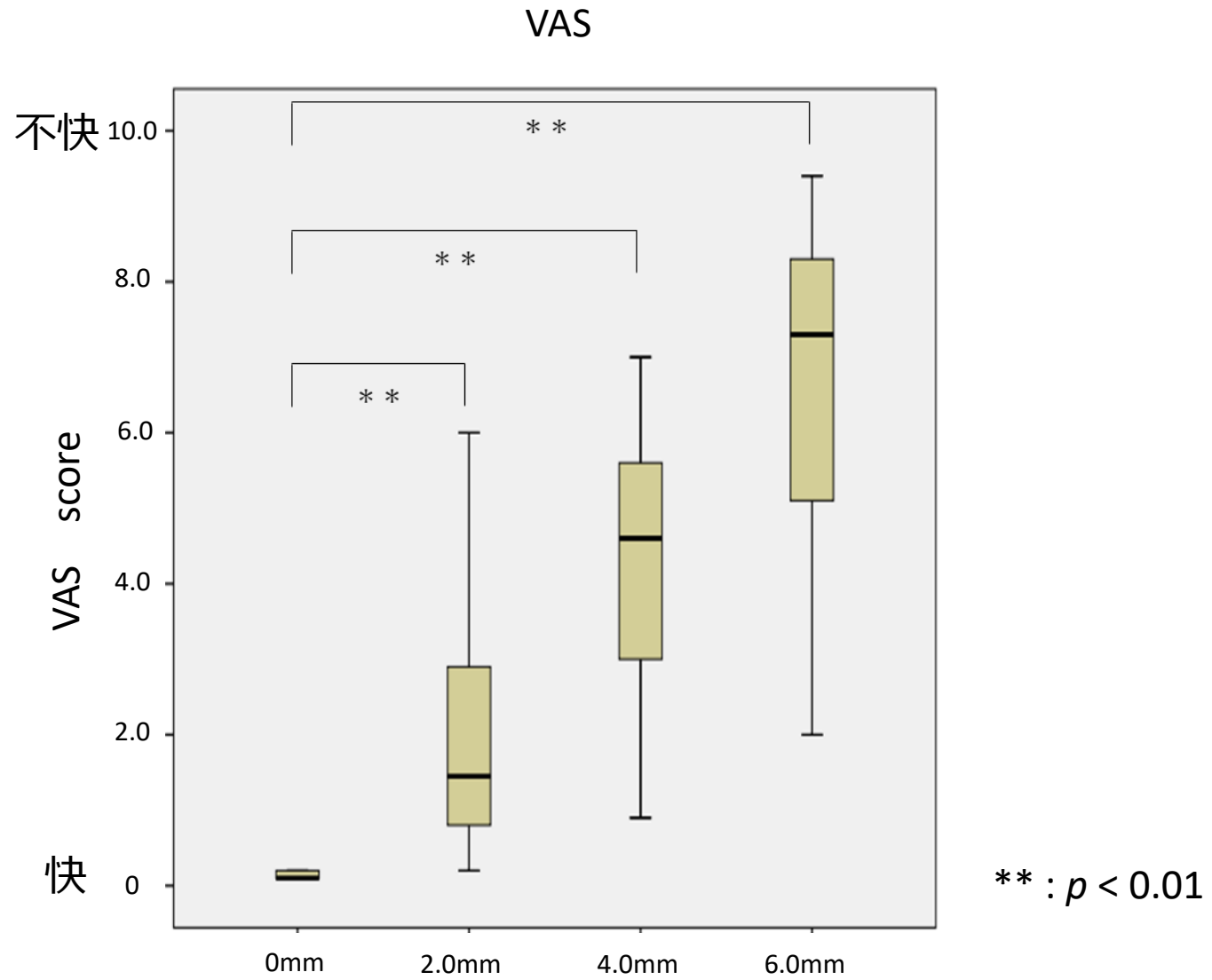
各チャンネルにおける oxy-Hb 変化量の検定結果



\* :  $p < 0.05$

各スプリント装着時の Ch 15, Ch 16, Ch 17 の oxy-Hb 量の変化

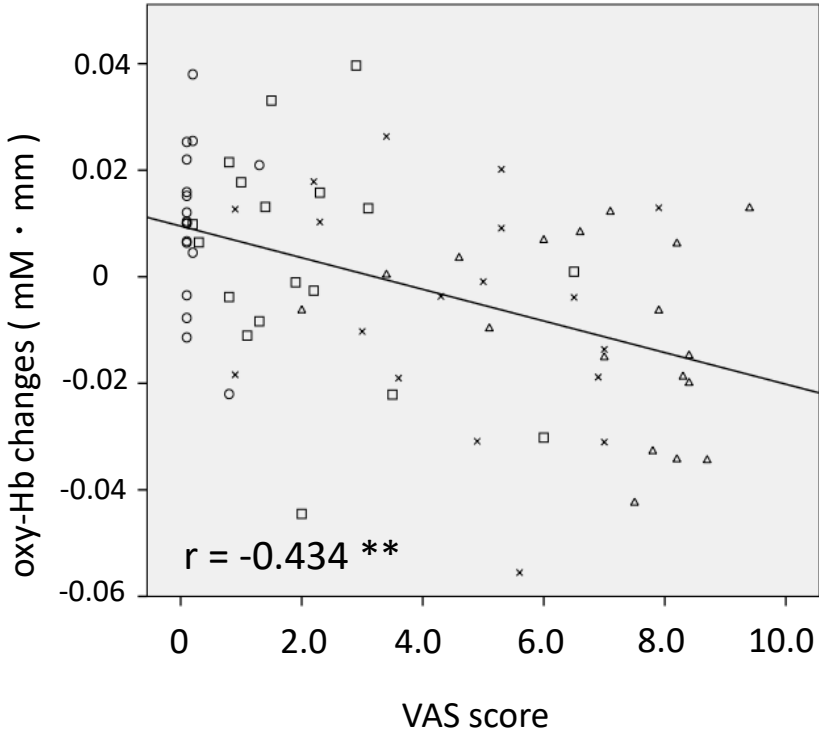
図 7



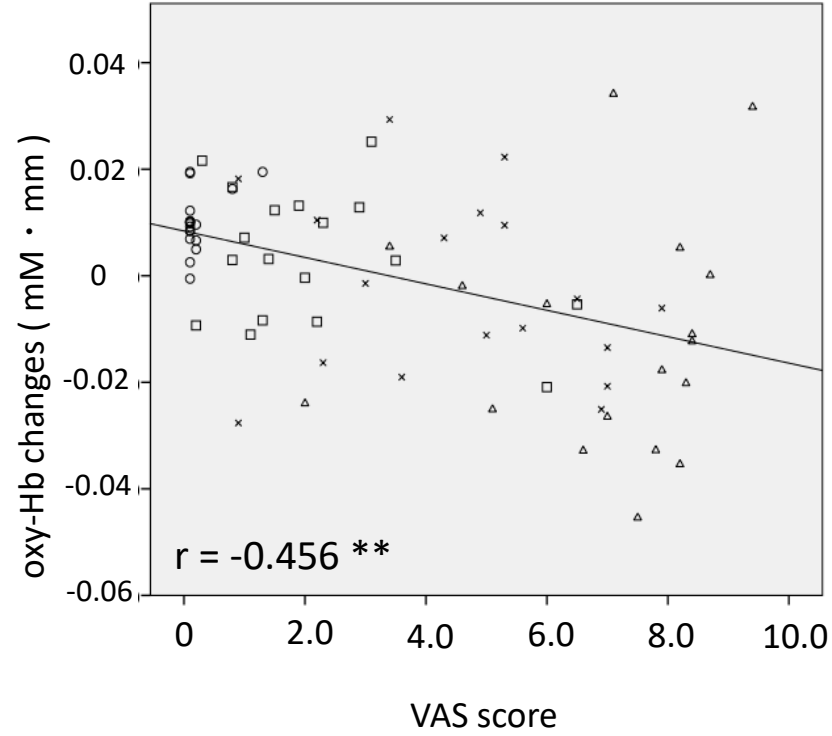
各スプリント装着時の情動の変化

- : 0 mm
- : 2 mm
- × : 4 mm
- △ : 6 mm

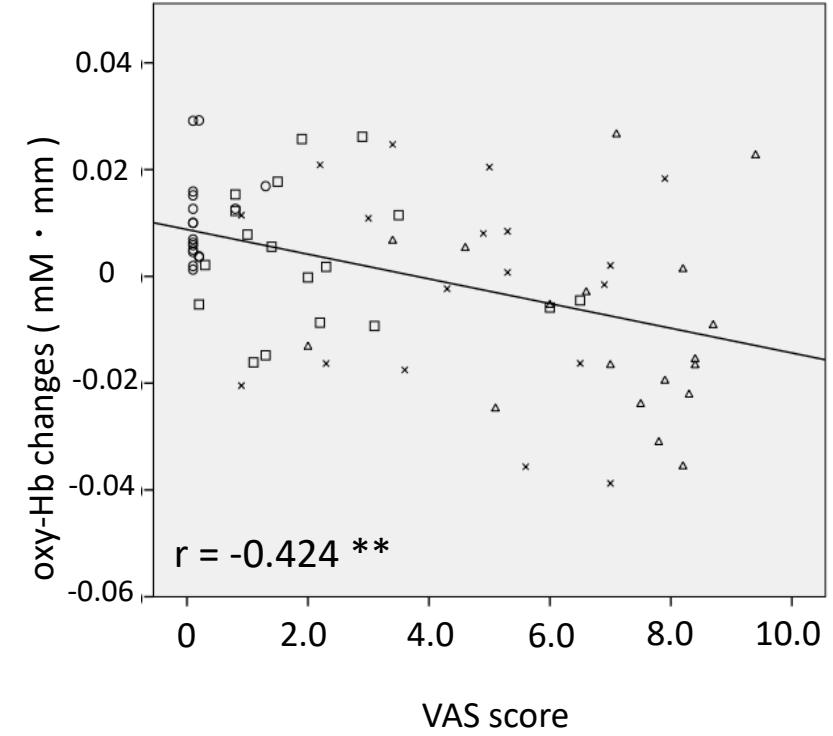
Ch 17



Ch 16



Ch 15



\*\* :  $p < 0.01$

Ch 15, Ch 16, Ch 17 における各スプリント装着時の oxy-Hb の変化量と VAS スコアとの相関性