

Twin Block Appliance装着直後の前頭前野における脳活動

吉永 聡¹ 廣瀬将邦² 中村真治² 氷室利彦²

Effects of Wearing a Twin Block Appliance on Prefrontal Cortex Activity

Satoshi YOSHINAGA¹, Masakuni HIROSE², Shinji NAKAMURA² and Toshihiko HIMURO²

The purpose of the present study was to investigate the effects of advancing the mandible with a twin block appliance (TBA) on brain activity in the prefrontal cortex during gum chewing in Class II division 1 malocclusion. The subjects were 20 males (25.1±3.0 years old), who were divided equally into the Class I and Class II malocclusion groups based on mandibular retrusion. Brain activity in the prefrontal cortex was measured using near-infrared spectroscopy (NIRS). Without wearing a TBA, we found that the concentration of oxygenated hemoglobin (O₂Hb) in the left prefrontal cortex was significantly lower in the Class II group than in the Class I group. In both groups, the concentration of O₂Hb in the right prefrontal cortex was significantly elevated when a TBA was used at the 0-mm protruding position as compared to when a TBA was not used. No statistically significant differences were observed between the groups with a TBA at the 0-mm protruding position. There was no increase in O₂Hb concentration in the Class II group when the mandible was advanced stepwise to the 8-mm protruding position with a TBA. In contrast, VAS (visual analog scale) scores, used for rating the level of discomfort, increased in accordance with the increase in mandibular advancement. Our results suggest that measurement of brain activity in the prefrontal cortex by NIRS might be useful for monitoring discomfort when masticating with a TBA.

Key words : prefrontal cortex, Twin block appliance, emotion, mandibular advancement, NIRS

緒 言

Class II div. 1 不正咬合¹⁾は、その多くが下顎劣成長に起因し、上顎歯列の狭窄、過蓋咬合と過大なオーバージェットを呈しているため²⁻⁵⁾、咬合挙上、下顎の前進移動、側方拡大が必要となる。Twin block appliance (TBA)^{6,7)}は、上下顎を三次元的に制御できる機能的顎矯正装置で、Class

II div. 1 不正咬合の治療に有効で、成長期だけでなく若年成人にまで適用されている。TBAは、下顎を前方に誘導し咀嚼運動させることで関節突起の成長を促進させる装置である。しかしながら、TBAによって強制的に下顎が前進されるため、装置装着直後から下顎運動に負荷がかかり強い不快感情が生じるものと考えられる。

大脳皮質前頭前野は、思考・行動抑制・意思決

受付：平成22年1月14日

奥羽大学大学院歯学研究科口腔機能学領域顎顔面口腔矯正学専攻¹⁾

奥羽大学歯学部成長発育歯学講座歯科矯正学分野²⁾

(指導：氷室利彦教授)

Department of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Ohu University, Graduate School of Dentistry¹⁾

Division of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Department of Oral Growth and Development, Ohu University School of Dentistry²⁾

(Director : Prof. Toshihiko HIMURO)

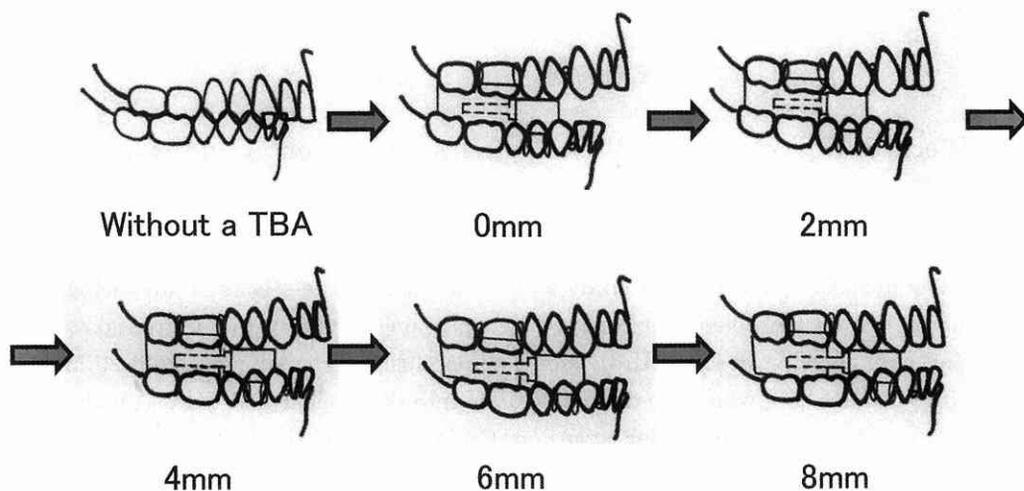


図1 Setting of mandibular advancement.

ツインブロック装置の上顎臼歯部ブロックに下顎前進用ネジが組み入れられている。

下顎前進量は、上下顎中切歯間で垂直的に2mm挙上し、未装着および0, 2, 4, 6, 8mmとした。

定などに関わる高位の中枢で、快・不快感情の認知にも関与している。Davidson ら⁸⁾は、快感情が左半球の EEG 活性を高め、不快感情が右半球の活性を高めると報告している。fMRI を用いて検討した Ueda ら⁹⁾は、快刺激が左側前頭前野、不快刺激が右側前頭前野の活性を引き起こしたと報告しており、Morinaga ら¹⁰⁾は、NIRS を用いて右側前頭前野における酸化ヘモグロビン濃度の上昇が事前の不安感情と関連することを明らかにした。これらの研究から、快感情は左側前頭前野、不快感情は右側前頭前野の脳活動と関連する⁸⁻¹²⁾ことが示唆された。脳活動は神経細胞の活動電位に起因する EEG により測定されるが、この神経活動によってエネルギー代謝が活発となり、グルコースや酸素を脳に供給する局所脳血流量が二次的に増加することになる。そのため、光トポグラフィによりヘモグロビンの濃度変化を局所的に測定することは、脳機能の活性部位を知るために重要な指標となる¹³⁾。咀嚼運動による脳活動については、ガム咀嚼によって大脳皮質前頭前野の脳活動が活発になること^{14,15)}が明らかになっている。光トポグラフィに代表される NIRS は、fMRI や

PET とは異なり非拘束性であるために、咀嚼筋の影響を受けずに咀嚼運動中の脳活動を計測することができる¹⁶⁾。そこで、本研究では、1) TBA 装着による不快感によって右側前頭前野の脳活動が上昇する、2) 下顎前進移動量の増加によって右側前頭前野の脳活動が上昇する、という仮説をもとに、次のような仮説を立てた。本研究の目的は、Class II 不正咬合者について、TBA 装着直後および下顎を段階的に前進させ、ガム咀嚼した時の快・不快感情に関わる前頭前野の脳活動について明らかにすることにあった。

方 法

1. 被 験 者

被験者は、本学の男子学生20名 (25.1±3.0 歳 [mean ± SD]) とした。被験者の内訳は、顔貌診査 (リーガン・バーストン分析¹⁷⁾) によって下顎後退の見られた Class II div.1 である10名 (24.9 ± 4.3歳) を Class II 群とし、個性正常咬合を示し顔貌が整っている10名 (25.3 ± 1.1歳) を Class I 群とした。

オーバージェットに関しては、Class II 群が

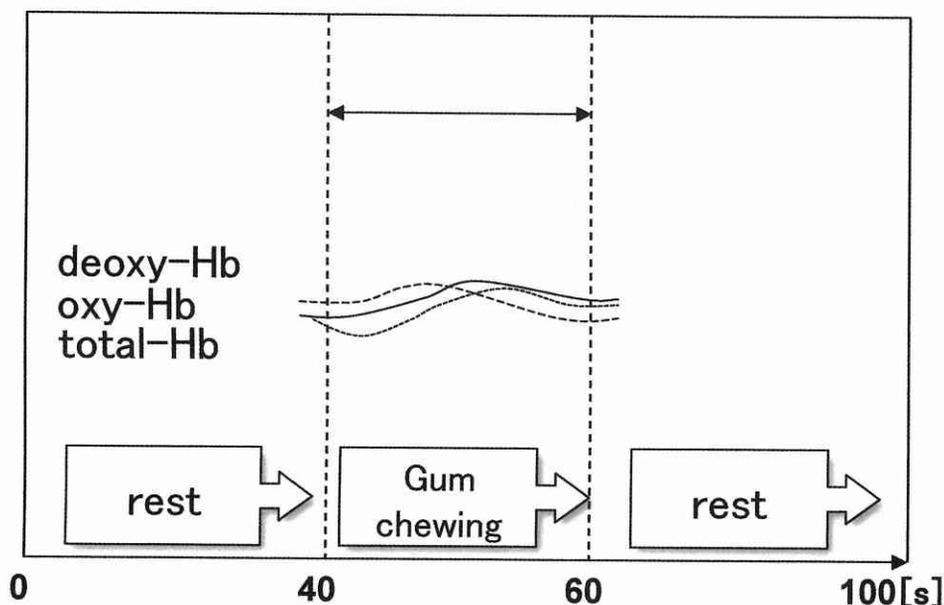


図2 Task and Measurement.

酸化ヘモグロビン濃度測定は、測定開始から40秒間下顎を安静にさせた後、タスクとして20秒間ガム咀嚼を実施した。再び40秒間安静にさせた。

[+11.1±4.2mm] であり、Class I 群では [+1.9±0.5mm] で、両者間には統計学的に有意な差が認められた ($p < 0.01$)。なお、被験者はすべて右利きであった。

本研究については、本学倫理審査委員会の承認を受け、被験者に十分な説明をし、同意を得た上で行った。

2. Twin block appliance(TBA)の作製

構成咬合の採得は、Pro-Jet Bite Jigs kit (Great Lakes 社製, N.Y., USA) を使用し、上下顎中切歯間を垂直的に 2 mm、前後的には 0 mm として行った。この場合、臼歯部でおよそ 3 ~ 5 mm 程度挙上される⁷⁾。プロジェクトバイトゲージを介して上下顎のキャストモデルを咬合器 (FKO スプリットポストフィックスゼーター, Dentaauram 社製, Ispringen, Germany) に付着して、上顎のブロック部にはステンレス製のネジを咬合平面に平行となるよう内蔵させ、下顎の前進量を正確に調節できる機構をもった装置を使用した。

3. 実験の手順

被験者には、脳活性計測のためのプローブキャップを装着し、姿勢を安静に保つよう指示した。この後あらかじめ咀嚼して軟化させたガムによって研究を行った。

Class I 群では、TBA 未装着および装着の 2 条件、Class II 群では TBA 未装着時および前方 0mm, 2mm, 4mm, 6mm, 8mm 前進させた 6 条件で順に大脳皮質前頭前野の脳活動の指標となる酸化ヘモグロビン量の測定を経時的に行った (図 1)。構成咬合量の設定には、最小表示量 0.01mm, 器差 ±0.02mm のデジマチックキャリパ (Mitutoyo 社製, 神奈川, 日本) を用いた。

研究手順は、測定開始から40秒間下顎を安静にさせた後、タスクとして20秒間ガム咀嚼させ、最後に40秒間の安静状態を保持させたところで測定を終了した (図 2)。なお、ガム咀嚼は、各条件で一定のリズムとなるよう指示し、自由咀嚼とした。また、各条件間には 5 分の安静状態を設けた。

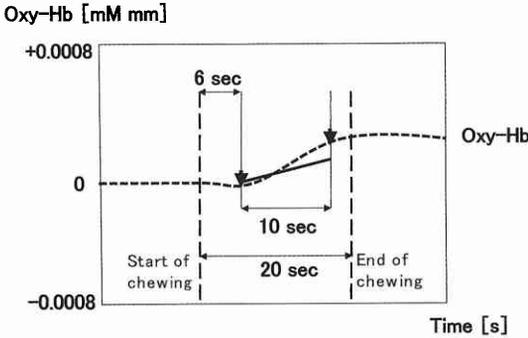


図3 Analysis.
ガム咀嚼開始6秒経過後、10秒間の線形近似曲線から直線の傾きを求めた。

4. 評点尺度法 (Visual Analog Scale, VAS) による不快感とその部位の調査

下図のように、10cmVASの左端を「不快感なし」、右端を「強い不快感」とし、各条件での計測後に不快感の大きさを10cmVAS上に斜線で記入させ、さらに不快と感じた部位を調査した。

5. ガム咀嚼による脳活性の測定

脳活性の測定には、光トポグラフィ(日立メディコ社製 ETG-100, 東京, 日本)を用いた。光トポグラフィは、Oxy-Hb, Deoxy-Hbの光吸収特性を利用し、生体透過性が比較的高い780nmと820nmの2波長の近赤外光を用い脳組織内のOxy-Hb, Deoxy-Hb, および Total-Hbの濃度変化を検出するとともに、多チャンネル光計測により大脳皮質活動を最小0.1秒間隔で動画像化する非侵襲脳機能計測システムである。

本研究では、快・不快感情にかかわる前頭前野の酸化ヘモグロビン濃度を測定するために、前頭部に片側12チャンネルの光ファイバーキャップ(照射-検出間距離30mm, 24Ch)を装着し、室内温度は、25°C±1に設定して測定を行った。近赤外光を用いた脳活性測定は、国際10-20法に従って、前頭前野に相当する部位を同定した。

6. データ解析

神経活動の変化が脳血流量の変化に反映されるまでにおよそ6秒の遅れがあるため¹⁸⁾、被験者の各条件下におけるガム咀嚼開始後6秒から10秒間の波形について線形近似曲線から得られた一次

表1 VAS (Visual Analog Scale) score

	下顎前進量						Sig.
	未装着	0mm	2mm	4mm	6mm	8mm	
中央値	0	17.73	28.20	54.50	75.70	93.77	P<0.05
4分位範囲	0	33.05	32.59	38.13	25.39	10.49	

Feidman's χ^2 r-test

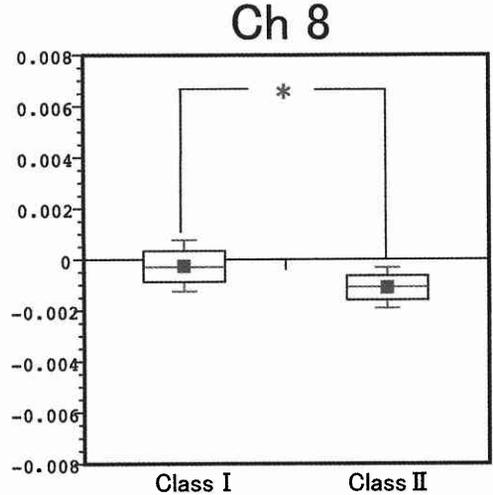


図4 Cerebral activity during gum-chewing in Class I group

直線の傾きを酸化ヘモグロビン濃度変化とし(図3)、片側12部位、両側で合計24部位において計測した。酸化ヘモグロビン濃度波形の傾きは、+の符号は濃度上昇、-の符号は濃度減少を示す。

Class I群のTBA未装着と装着0mmとの間には、24チャンネルそれぞれについてWilcoxon t-testを行った。Class I群とClass II群の各TBA未装着およびTBA装着間には、24チャンネルそれぞれについてMann-Whitney U-testを行った。Class II群内では、TBA未装着と装着0mm間についてはWilcoxon t-testを行い、下顎を前方に0mm, 2mm, 4mm, 6mm, 8mm移動させた5条件に対してはFriedman's χ^2 r-testを行った。また、TBA未装着および装着0mm, 2mm, 4mm, 6mm, 8mm前方移動時のVAS scoreに対してはFriedman's χ^2 r-testを行った。

上記の統計学的解析は、統計解析ソフトウェア(SPSS 16.0J, SPSS社, Tokyo)を使用した。

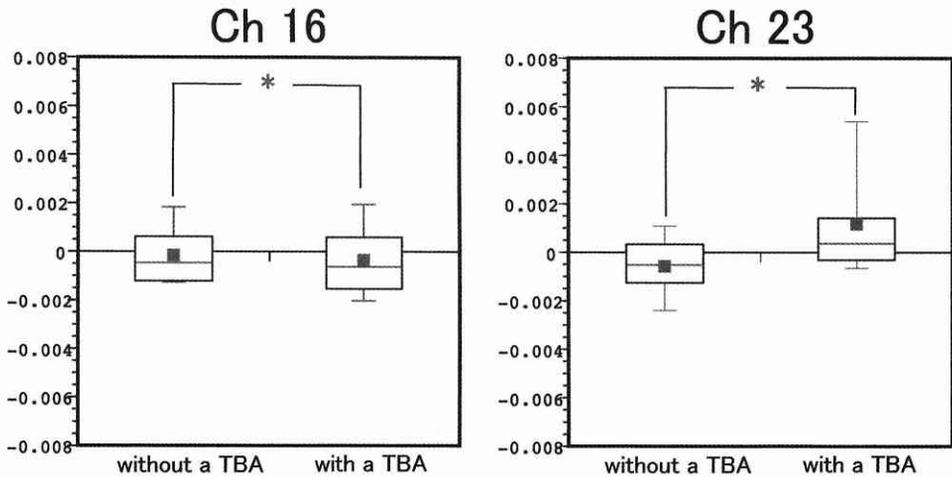


図5 Comparison between Class I and Class II during gum-chewing without a TBA

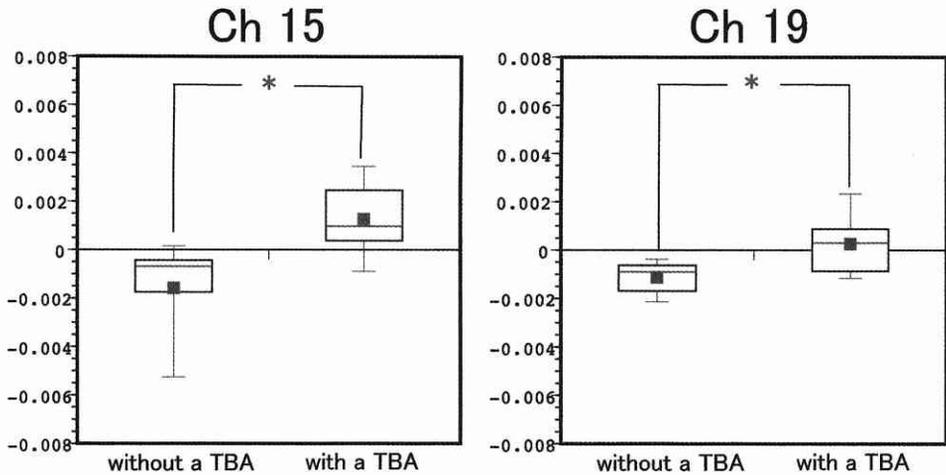


図6 Cerebral activity during gum-chewing in Class II group

結 果

1. VAS 計測

VAS は、TBA 未装着時、TBA 装着の下顎前進 0mm、2mm、4mm、6mm、8mm のそれぞれについて、ガム咀嚼した時の不快感の大きさを記入させて Friedman's χ^2 r-test を行ったところ、下顎を前進させるにつれて統計学的に有意に不快感情の値は大きくなり ($p < 0.05$) (表 1)、下顎を

前進させることが、被験者に不快感情を覚えさせることが示唆された。

2. 大脳皮質前頭前野の活性の計測

1) 装置装着による快・不快感情への影響

Class II 群における TBA 未装着は、前頭前野の快領域とされる左半球の Ch8 (中央値： -1.1×10^{-3} 、4分位範囲： 1.0×10^{-3}) で Class I 群未装着 (中央値： -1.1×10^{-3} 、4分位範囲： 1.0×10^{-3}) と比較して、統計学的に有意に酸化ヘモグロビン

濃度が低かった) $p < 0.05$ (図4)。その他のすべてのチャンネルでは、2群間で有意な差は認められなかった。

Class I群においては、前頭前野の不快領域とされる右半球のCh16 (中央値: -9.3×10^{-4} , 4分位範囲: 2.2×10^{-3}) および Ch23 (中央値: 3.6×10^{-4} , 4分位範囲: 2.5×10^{-3}) で装着前の値 Ch16 (中央値: -2.4×10^{-4} , 4分位範囲: 2.5×10^{-3}), Ch23 (中央値: -8.0×10^{-4} , 4分位範囲: 2.2×10^{-3}) のそれぞれと比較したところ、統計学的に有意に上昇した ($p < 0.05$) (図5)。

Class II群においては、TBA装着後に前頭前野の不快領域とされる右半球のCh15 (中央値: 9.7×10^{-4} , 4分位範囲: 2.5×10^{-3}) と Ch19 (中央値: 3.0×10^{-4} , 4分位範囲: 2.1×10^{-3}) について、装着前の値 Ch15 (中央値: -6.9×10^{-4} , 4分位範囲: 1.8×10^{-3}) と Ch19 (中央値: -8.9×10^{-4} , 4分位範囲: 1.2×10^{-3}) と比較して統計学的に有意に上昇した ($p < 0.05$) (図6)。

TBA装着0mm前進時のClass II群とClass I群を比較したところ、すべてのチャンネルで統計学的に有意な差は認められなかった。

これらの結果は、TBA装着により不快感情が起きたことを示している。

2) 下顎前進量による快・不快感情への影響

TBAを装着し下顎を0, 2, 4, 6, 8mmまで前進させた5条件でFriedman's χ^2 r-testを行った結果、統計学的に有意な差は認められなかった。すなわち、TBA装着して下顎前進を行っても不快感情に差は認められなかったことを示している。

考 察

本研究では、TBA装着時のClass I群とClass II群の両群ともに装着後に酸化ヘモグロビン濃度が上昇し、右半球のチャンネルにのみ有意な差が認められた。前田と福味¹⁹⁾は、健康者に対し3, 5, 7mm咬合挙上したマウスピースを使用させ、5mmの場合に最も大脳の脳活動が上昇したと報告した。本研究では、TBA装着時に臼歯部の咬合が3-5mm挙上されており、最も脳活動が高まることが予測される。しかしながら、本研究では右側前頭前野のみで統計学的に有意な脳活

動の上昇がみられた。右半球の脳活動は不快感情を反映している^{8~12)}ことが分かっている。したがって、TBA装着直後の脳活動の上昇は咬合挙上しガム咀嚼したことによって生じた不快感情であると考えられる。また、TBA装着時のClass I群とClass II群を比較すると、すべてのチャンネルで有意な差が認められなかった。これは、どちらの群においても装置装着後すでに不快感情が生じたためと推測された。

Class II群においてTBAを装着し、下顎を0, 2, 4, 6, 8mmまで前進させた5条件でFriedman's χ^2 r-testを行った結果、統計学的に有意な差は認められなかった。これは、挙上により生じた不快感情が下顎前進移動量によって強調されなかったことを示している。この結果は、sleep apneaの口腔内装置を装着し下顎最前方位の67%まで下顎を前進させても有意な脳活性が認められなかったというHashimotoら²⁰⁾の結果と一致している。

VASでは、Class II群においてTBA未装着およびTBA装着して下顎を0, 2, 4, 6, 8mmまで前進させた6条件でFriedman's χ^2 r-testを行った結果、装置を装着し下顎を前進させるにつれて統計学的に有意に不快感情の値は大きくなった。本研究の前頭前野の脳活動では、下顎前進によって不快感情の増加を認めず、VAS結果で不快感情の増加が認められている。したがって、TBAの装着そのものが不快感情を引き起こし、VAS結果に影響を与えたためと考えられる。

Aggarwalら²¹⁾は、TBA装着後6か月まで筋電図分析を縦断的に行った結果、Class II div. 1の後退した下顎が矢状的に再配置されるのは、機能的装置治療の開始からおよそ3か月以内であるという可能性が強いことを示した。Pancherzら²²⁾は、下顎劣成長において下顎の成長促進を図る固定式装置であるHerbst applianceを装着後、EMGの分析から最初の3か月間は咀嚼筋の機能障害がみられるが、装着前の水準に復帰するのに6か月間必要だったと報告している。

Nakajoら²³⁾は咬合挙上時に対し、下顎前方誘導時のタッピングで前頭前野や頭頂連合野の有意な差が認められたと述べている。また、

Nakamura ら²⁴⁾ は、TBA を装着し下顎を前進させた時の一次感覚運動野の脳活動から、TBA 装着により下顎運動に負荷がかかっていることと推定している。本研究で VAS の不快数値が有意に増加したことは、顎位を変えて咀嚼運動することによって筋活動を司る脳の運動領域と装置装着に伴う不快感に関与する感覚領域への影響が関係している可能性も考えられた。

結 論

大脳皮質前頭前野の血流中の酸化ヘモグロビン濃度計測により、TBA 装着に伴う不快感情の抽出は可能であり、装着時に不快感情が生じるが、下顎前進による不快感情の増加は認められないことが分かった。TBA 装着患者の不快感情をモニターすることで、臨床上、有益となることが示唆された。

謝 辞

稿を終わるに臨み、本研究の遂行にあたりご協力を頂きました歯科矯正学分野の教職員各位に厚く御礼申し上げます。また、脳機能測定および解析手法についてご指導いただいた福島大学人間発達文化学類高谷理恵子准教授に衷心より感謝申し上げます。

本研究の要旨の一部は、第46回奥羽大学歯学会(2008年11月8日 郡山)において発表した。

文 献

- 1) Angle, E. H. : Treatment of malocclusion of the teeth and fractures of the maxillae **58** ; 34-44 1977.
- 2) Drelich, R. C. and City, J. : A Cephalometric study of untreated Class II , division 1 Malocclusion, *Angle Orthod* **18** ; 70-75 1948.
- 3) Craig, C. E. and Vancouver, B. C. : The Skeletal Patterns Characteristic of Class I and Class II, division 1 malocclusions in normal lateralis, *Angle Orthod* **21** ; 44-56 1951.
- 4) McNamara, J. A. : Components of Class II malocclusion in children 8-10 years of age, *Angle Orthod* **51** ; 177-202 1981.
- 5) Chung, C. H. and Wong, W. W. : Craniofacial growth in untreated skeletal Class II subjects : A longitudinal study, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* **122** ; 619-626 2002.
- 6) Chintakanon, K., Sampson, W., Wilkinson, T. and Townsend, G. : A prospective study of Twin-block appliance therapy assessed by magnetic resonance imaging, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* **118** ; 494-504 2000.
- 7) Clark, W. J. : The twin block technique, *Am J Orthod Dentofacial Orthop* **93** ; 1-18 1988.
- 8) Davidson, R. J. and Fox, N. A. : Frontal brain asymmetry predicts infants' response to maternal separation, *J Abnorm Psychol* **98**(2) ; 127-131 1989.
- 9) Ueda, K., Okamoto, Y., Okada, G., Yamashita, H., Hori, T. and Yamawaki, S. : Brain activity during expectancy of emotional stimuli : an fMRI study, *Neuroreport* **14**(1) ; 51-55 2003.
- 10) Morinaga, K., Akiyoshi, J., Matsushita, H., Ichioka, S., Tanaka, Y., Tsuru, J. *et al.* : Anticipatory anxiety-induced changes in human lateral prefrontal cortex activity, *Biol Psychol* **74**(1) ; 34-38 2007.
- 11) Hsrrmann, M. J., Ehls, A. C. and Fallgatter, A. J. : Prefrontal activation through task requirements of emotional induction measured with NIRS, *Biol Psychol* **64**(3) ; 255-263 2003.
- 12) Wang, J., Rao, H., Wetmore, G. S., Furlan, P. M., Korczykowski, M., Dinges, D. F. *et al.* : Perfusion functional MRI reveals cerebral blood flow pattern under psychological stress, *Proc Natl Acad Sci U.S.A.* **102**(49) ; 17804-17809 2005.
- 13) Ginsberg, M. D., Dietrich, W. D. and Busto, R. : Coupled forebrain increases of local cerebral glucose utilization and blood flow during physiologic stimulation of a somatosensory pathway in the rat : Demonstration by double-label autoradiography, *Neurology* **37** ; 11-19 1987.
- 14) Onozuka, M., Fujita, M., Watanabe, K., Hirano, Y., Niwa, M., Nishiyama, K. *et al.* : Age-related changes in brain regional activity during chewing : a functional magnetic resonance imaging study, *J Dent Res* **82**(8) ; 657-660 2003.
- 15) Takada, T. and Miyamoto, T. : A fronto-parietal network for chewing of gum : a study on human subjects with functional magnetic resonance imaging, *Neurosci Lett* **360**(3) ; 137-149 2004.
- 16) 佐々木 淳 : ガムによる咀嚼運動がヒト脳組織内ヘモグロビン量の変化に及ぼす影響, *口病誌* **68** ; 72-81 2001.
- 17) Harry L. Legan, Charles J. Burstone. : Soft tissue cephalometric analysis for orthognathic surgery, *J Oral Surgery* **38** ; 744-751 1980.

- 18) 酒井邦嘉：光トポグラフィによる脳機能マッピング, *Radioisotopes* **49** ; 115-116 2000.
- 19) 前田剛司, 福味廣員：咬合拳上の運動効果に関する研究(2)咬合拳上と大脳活動の関係についての検討. 福井工業大学研究紀要 **33** ; 261-266 2003.
- 20) Hashimoto, K., Ono, T., Honda, E., Maeda, K., Shinagawa, H., Tsuiki, S. *et al.* : Effects of mandibular advancement on brain activation during inspiratory loading in healthy subjects : a functional magnetic resonance imaging study, *J Appl Physiol* **100** ; 579-586 2006.
- 21) Aggarwal, P., Kharbanda, O. P., Mathur, R., Duggal, R. and Parkash, H. : Muscle response to the twin-block appliance : an electromyographic study of the masseter and anterior temporal muscles, *Am J Orthod* **116**(4) : 405-414 1999.
- 22) Pancherz, H., Anehus-Pancherz, M. : The effect of continuous bite jumping with the Herbst appliance on the masticatory system : a functional analysis of treated Class II malocclusions, *Eur J Orthod* **4**(1) ; 37-44 1982
- 23) Nakajo, T., Sato, K., Mitani, H. and Watanabe, Y. : Effects of artificial premature contact on dynamics of cerebral blood flow-Examination using functional MRI-, *Orthod Waves-Jpn Ed* **65**(2) ; 101-111 2006.
- 24) Nakamura, S., Himuro, T. and Fukui, K. : Changes in cranio-facial soft tissue surface temperature and brain activity during tapping with Twin block appliance, *Orthod Waves* **65** ; 112-119 2006.

著者への連絡先：吉永 聡, (〒963-8611) 郡山市富田町字三角堂31-1 奥羽大学歯学部成長発育歯学講座歯科矯正学分野

Reprint requests : Satoshi YOSHINAGA, Division of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, Department of Oral Growth and Development, Ohu University School of Dentistry

31-1 Misumido, Tomita, Koriyama, 963-8611, Japan