

健康文化

噛み締め運動は前頭前野の活性を高めるか？

佐久間 重光

I. 緒言

「噛み締める」には、①力を入れて噛む、食いしばる、②よく噛んで味わう、③物事の味わいや深い意味などを十分に感じ取る、など、人生を楽しむ上で非常に良い言葉のように思われる。しかし、残念ながら歯科領域での「噛み締める／食いしばる：tooth clenching」は、多くの場合において病的な状態を示す。

クレンチング (clenching) はブラキシズム (bruxism) の一種で、睡眠時や覚醒時を問わず、歯を動的もしくは静的にすり合せたり、噛み締めたりする非機能性の咬合習癖と定義されている。また、咀嚼時や開閉口時に咀嚼筋に痛みや違和感を感じたり、顎関節に痛みや雑音を伴う顎関節症の寄与因子の一つとして挙げられている¹⁾。このような症状があり顎関節症と診断された場合には、歯科を受診し可逆的な保存療法²⁾であるスプリント療法、理学療法、薬物療法あるいは認知行動療法などを受け、症状の改善を目指す必要がある。しかし、顎関節症など顎口腔系の機能異常を患っていない人には、「噛み締める」を運動として捉え活用できないものかと考えている。

運動は、身体機能の改善だけでなく、脳機能を改善する可能性のあることが研究者の関心を集めている。ヒトでは、長期的な身体運動を行うことによって加齢に伴う認知機能の衰退を抑制できる³⁾ことや、運動の習慣付けが作業記憶の向上に貢献する⁴⁾という報告など、身体運動と認知機能に関する先行研究は数多く行われている。

歯科に関連する顎口腔系の運動としては、食物を粉砕する「咀嚼運動」をはじめ、口を開け閉めする「開閉口運動」、上下の歯をぐっと噛む「噛み締め運動」などが挙げられ、それぞれ重要な働きをしている。これら運動の中で、咀嚼運動については、認知機能との関係⁵⁾について検討がなされている。一方、噛み締め運動については、運動野を中心として検討がなされているものの⁶⁾、認知機能と関連する前頭前野については、活動状況に関して不明な点が多い。

本研究では、噛み締め運動は前頭前野の活性を高めるか？について機能的近赤外分光法 (fNIRS: functional near-infrared spectroscopy) を用いて検討した。

さらに代表的な顎口腔系の運動である咀嚼運動と比較して、どちらの運動がより前頭前野を活性化させるのか？について考察を加えた。

II. 方法

1. 被験者

被験者は、研究の主旨を説明した上で、研究への参加に同意の得られた右利きの顎口腔機能に異常を認めない健常有歯顎者 22 名（男性 15 名、女性 7 名、平均年齢 25.4 ± 3.8 歳）とした。なお、いずれの被験者も第 3 大臼歯以外に歯の欠損を認めない者。噛み締め運動により顎関節および咀嚼筋に疼痛を自覚しない者。また、神経学的または精神障害の既往がない者とした。なお、本研究は、愛知学院大学歯学部倫理委員会の承認を得て実施した。

2. 噛み締め運動

噛み締め運動として、本研究では中強度に相当する 40%MVC (maximum voluntary contraction) 噛みしめ運動を採用した。噛みしめ強度の規制には、筋電バイオフィードバックユニット（追坂電子機器；MA-2000W）を用いて、表面電極を左側咬筋中央部に貼付し、最大噛みしめを行わせ最大値を記録したのち、被験者に 40%MVC となるようバイオフィードバックユニットの表示部を確認させながら噛み締め運動を行わせた。

3. fNIRS 脳機能計測システム

脳活動に伴い変化する酸素化ヘモグロビン(oxy-Hb)の測定には、2つの近赤外光の波長（695 nm および 830 nm）を用いた多チャンネル fNIRS 測定システム（ETG-4000: Hitachi Medical Corporation, Tokyo, Japan）と、これに付属する 22 チャンネルのプロープを用いた。測定用のプロープは、照射部と検出部の距離が 3cm、光ファイバーの配列は 3×5 のものを使用した。プロープは、前頭前野領域を対象として、プロープ最下列が脳波測定時に利用されている T3-Fpz-T4(国際 10-20 システム基準点)⁷⁾のラインと一致するように設置した。なお、各プロープに対する解剖学的脳部位は、上前頭回（Ch2、Ch3、Ch7、Ch12、Ch16、Ch21）、中前頭回（Ch1、Ch4、Ch5、Ch6、Ch8、Ch9、Ch10、Ch11、Ch13、Ch15、Ch17、Ch20、Ch22）および下前頭回（Ch14、Ch18、Ch19）となっている。

4. タイムスケジュールおよび計測項目

計測のタイムスケジュールは、プロープを装着して 5 分間の安静をとったのち、40%MVC 噛み締め運動を 1 分間行い、最後に 5 分間の安静をとり終了した。また、本研究では、前頭前野に位置する 22 チャンネルからサンプリングタイム

0. 1秒にて得られた oxy-Hb (単位: mM・mm) を計測した。

5. fNIRS データの分析

40%MVC 噛み締め運動により前頭前野が活動するか否かを把握するために、チャンネルごとに運動を行う直前の安静時および運動時のそれぞれ1分間における oxy-Hb の平均値を求め各被験者の代表値とし、Paired t-test を行い比較した。次に、噛み締め運動による前頭前野の経時的な活動様相を検討するために、まず被験者ごとに oxy-Hb の平均値 (oxy-Hb 値) を運動開始直前の安静時 20 秒間(Rest 20s)と、運動時の1分間を運動開始から 20 秒 (task 0-20s)、運動開始 20 秒から 40 秒 (task 20-40s)、運動開始 40 秒から 60 秒 (task 40-60s) の 20 秒間隔で3分割してチャンネルごとに算出した。次いで、すべての被験者から得られた oxy-Hb 値を使用し、運動開始直前から運動に伴う oxy-Hb の変化の有無をチャンネルごとに一元配置分散分析により検討した。さらに、有意差が認められたチャンネルについては、多重比較検定 (Bonferroni 法) を行い、運動に反応した脳部位および経時変化について解析した。

III. 結果

40%MVC 噛み締め運動により前頭前野が活動するか否かを把握するために、安静時および噛み締め時の oxy-Hb 値をチャンネルごとに比較した。その結果、噛み締め運動により、中前頭回 (Ch9、Ch10、Ch13、Ch22)、下前頭回 (Ch18、Ch19) に位置する 6 チャンネルが有意に増加した。

40%MVC 噛み締め運動による前頭前野の経時的な活動様相を検討するために、運動開始直前から運動に伴う oxy-Hb の変化の有無をチャンネルごとに一元配置分散分析により検討した。その結果、対象とした 22 チャンネルのうち 17 チャンネルが有意に増加した。また、その脳部位は上前頭回 (Ch7、Ch12、Ch21)、中前頭回 (Ch1、Ch4、Ch5、Ch6、Ch8、Ch9、Ch10、Ch13、Ch15、Ch17、Ch20、Ch22)、下前頭回 (Ch18、Ch19) であった (図1)。

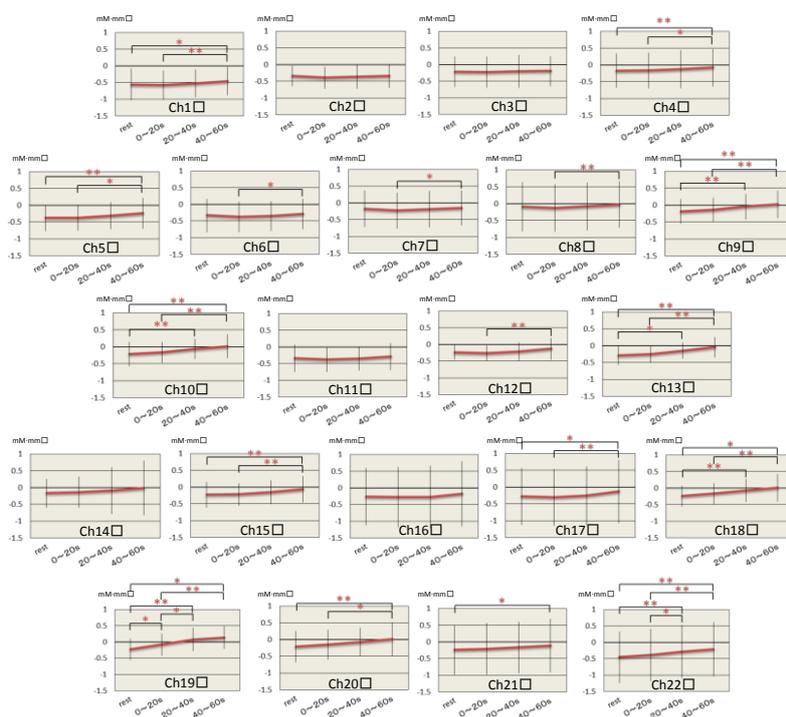


図1 噛み締め運動による前頭前野の経時的活動様相

IV. 考 察

1. 顎口腔系の運動に伴う脳活動の計測について

四肢の運動と脳機能に関する研究から、長期的な中強度運動によって記憶力が向上すること⁸⁾や、一過性の中強度運動が認知課題遂行時の行動選択に要する反応時間を短縮させること⁹⁾が報告されている。しかし、顎口腔系の運動を行った際の前頭前野における血流動態については、十分に検討されていないのが現状であり、今後さらなる研究が必要である。

fNIRS のメリットとして、放射線や強磁場を利用していないこと。拘束性が少なく、どのような姿勢・環境下でも計測が可能であること。装置が小型で可搬性であること等が挙げられる。これらは介護を必要とする寝たきりの患者にも比較的簡便に脳機能の計測が可能なることに繋がることを意味する。近年では、歯・口腔の健康は、個人の生涯にわたる QOL の保持に欠かすことのできない要素であり、全身の健康状態を保持し改善する潜在力のあることが明らかにされてきている。したがって、今後、これらの関係を客観的に把握していく上で、顎口腔の運動に伴い変化する前頭前野の活動状況を検討する際には、fNIRS を活用することが望ましいものと考えている。

2. 噛み締め運動による前頭前野の活動について

前頭前野の機能は、 Wisconsin Card Sorting Test (Wisconsin Card Sorting Task) や Stroop Test (Stroop test) などの認知課題を用いてその機能が評価されており、極めて多岐にわたることが明らかになっている¹⁰⁾。下前頭回は情動や動機付けとの関係が深く、中前頭回は記憶、注意、学習、行動のモニタリング、運動のプログラミング、ワーキングメモリーを司ることが明らかにされている。

本研究では、被験者に筋電バイオフィードバックユニットの表示部を視覚的に確認させながら中強度に相当する 40%MVC 噛みしめを行わせた。したがって、噛みしめ運動は視覚情報が伝達することにより開始されることになる。視覚情報は、網膜の視細胞から視神経、視交叉を経て1次視覚野に伝達される。視覚野に伝達された情報は、頭頂葉に至る背側経路と側頭葉に至る腹側経路の2つの並列な経路に伝達される¹¹⁾。背側視覚路は、対象の位置や動きの把握と関係している。一方の腹側視覚路は、視覚対象の認識や形状の表象（意識にのぼる映像）と関係しており、サル単一ニューロン活動の記録から腹側経路の視覚情報は、前頭前野に送られたのちに視覚情報に基づく行動決定に貢献していることが見出されている¹²⁾。前頭前野に伝達された情報は、運動前野、高次運動野に送られ一次運動野から三叉神経運動覚を経由して咀嚼筋に伝達され噛みしめ運動が実行される。この信号伝達経路は側頭葉から前頭葉に至る経路であり、側頭連合野が活性化することにより近接する前頭回の oxy-Hb が経時的に増加したものと考えられる。

3. 他の顎口腔系の運動との関係について

著者は、ガム咀嚼運動や噛み締め運動など顎口腔系の運動を行った際の前頭前野における活動状況を fNIRS を用いて解析を進めている。健常者に 2Hz (2回/秒) の速度でガムを咀嚼させた際の前頭前野における活動状況をみると、右側中前頭回および両側下前頭回が活性化を示した¹³⁾。これを今回の結果と比較して考察すると、噛み締め運動、ガム咀嚼運動ともに、運動に伴い中前頭回および下前頭回が活性化を示す (図2)。ただし、活性化を示すチャンネル数すなわち領域が噛み締め運動において広いようである。これは、噛み締め運動の方がガム咀嚼運動より効率よく前頭前野を活性化させることを示唆している。活性化を示したこれらの部位は背外側前頭前野に相当する。背外側前頭前野は、前帯状回と密な神経連絡をとっており、実行機能の制御に重要な役割を果たすことが報告されている¹⁴⁾。したがって、顎口腔系の運動を行うことにより、このネットワークが一過性に活性化して oxy-Hb が増加しているものと推察する。

今後は、高次の脳機能を向上させるためにはどのような顎の運動が良いのかをさらに検討を重ねる予定である。

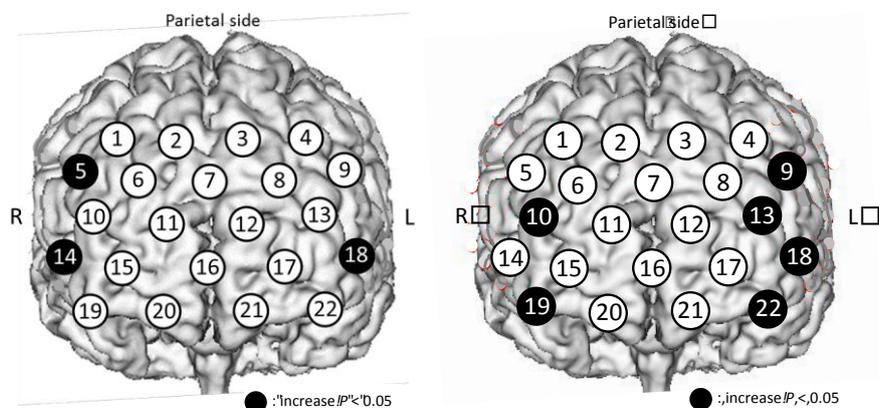


図2 ガム咀嚼運動および噛み締め運動時における前頭前野の活性化部位

V. まとめ

中強度の噛み締め運動を1分間継続して行うことにより、活性化の指標となるoxy-Hbは経時的に増加を示した。また、ガム咀嚼運動と比較して噛み締め運動は、ワーキングメモリーを司る前頭前野を広範囲に活性化させる可能性のあることが示唆された。したがって、脳機能の向上を目的として顎口腔系の運動を行う場合には、すでに報告のなされているガム咀嚼運動よりも噛み締め運動を行う方がより向上に寄与する可能性のあることが推察される結果となった。今後は実証実験を行い運動条件等さらなる検討を進める予定である。

最後に、冒頭で述べたように、顎関節症の症状がある場合には、本研究で実施した「噛み締め運動」は症状を増悪させる可能性があるため、まずは専門医療機関の受診をお勧めする。以下に、顎関節の自己チェック法¹⁵⁾を記載するので、参考にしていいただければ幸いである。

あなたの顎関節の自己チェック法（合計点数が8.6以上では顎関節症の危険り）

1. 口を大きく開いたとき、人差し指から薬指を並べた3本指を縦にして入りますか？

- (1. すっと入る 2. ほぼ問題ない 3. どちらともいえない 4. やや困難
5. 全く入らない)

2. 口を大きく開け閉めした時、あごの痛みがありますか？

- (1. 全くない 2. たまにある 3. どちらともいえない 4. しばしばある
5. いつもある)

3. 口を大きく開いたとき、まっすぐに開きますか？

(1. いつもまっすぐ 2. たまに曲がる 3. どちらともいえない 4. しばしば曲がる 5. いつも曲がる)

4. 干し肉、するめ、タコなど硬いものを食べるとあごや顔が痛みますか？

(1. 痛まない 2. たまに痛む 3. どちらともいえない 4. しばしば痛む 5. いつも痛む)

あるいは設問2に「はい」と回答した方も顎関節症である可能性がありますので、専門医を受診することをお勧めします。

本研究に関して開示すべき利益相反状態はない。

文 献

- 1) Sato F, Kino K, Sugisaki M, Haketa T, Amemori Y, Ishikawa T, Shibuya T, Amagasa T, Shibuya T, Tanabe H, Yoda T, Sakamoto I, Omura K, Miyaoka H. Teeth contacting habit as a contributing factor to chronic pain in patients with temporomandibular disorders. *J Med Dent Sci.* 53: 103-9, 2006.
- 2) 一般社団法人 日本顎関節学会編. 新編 顎関節症. 永末書店(京都). 16-17. 2013.
- 3) Hatta A, Nishihira Y, Kim SR, Kaneda T, Kida T, Kamiyo K, Sasahara M, Haga S. Effects of habitual moderate exercise on response processing and cognitive processing in older adults. *Japanese Journal of Physiology*, 55: 29-36, 2005.
- 4) Yanagisawa H, Dan I, Tsuzuki D, Kato M, Okamoto M, Kyutoku Y, Soya H. Acute Moderate Exercise Elicits Increased Dorsolateral Prefrontal Activation and Improves Cognitive Performance with Stroop Test. *NeuroImage*, 50: 1702-1710, 2010.
- 5) Hirano Y, Obata T, Kashikura K, Nonaka H, Tachibana A, Ikehira H, Onozuka M: Effects of chewing in working memory processing. *Neurosci Lett*, 436: 189-192, 2008.
- 6) Shibusawa M, Takeda T, Nakajima K, Jun H, Sekiguchi S, Ishigami K, Sakatani K. Functional near-infrared spectroscopy study on primary motor and somatosensory cortex response to biting and finger clenching.

- Adv Exp Med Biol, 662: 485-90, 2010.
- 7) Jasper H: The ten-twenty electrode system of the International Federation. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 10: 367-380, 1958.
 - 8) Kramer F, Hahn S, Cohen J, Banich T, McAuley E, Harrison R, Chason J, Vakil E, Bardell L, Boileau A, Colcombe A: Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400: 418-419, 1999.
 - 9) Davranche K, Audiffren M, Denjean A: A distributional analysis of the effect of physical exercise on a choice reaction time task. *J Sports Sci*, 24: 323-329, 2006.
 - 10) Stuss DT, Levine B, Alexander MP, Hong J, Palumbo C, Hamer L, Murphy KJ, Izukawa D: Wisconsin card sorting test performance in patients with focal frontal and posterior brain damage: effects of lesion location and test structure on separable cognitive processes. *Neuropsychologia*, 38: 388-402, 2000.
 - 11) Goodale MA, Milner AD. Separate visual pathways for perception and action. *Trends Neurosci*. 15: 20-5, 1992.
 - 12) Lauwereyns J, Koizumi M, Sakagami M, Hikosaka O, Kobayashi S, Tsutsui K. Interference from irrelevant features on visual discrimination by macaques (*Macaca fuscata*): a behavioral analogue of the human Stroop effect. *J Exp Psychol Anim Behav Process*. 26: 352-7, 2000.
 - 13) 佐久間重光. 噛むことと前頭前野の活性化との関係. *健康文化*. 49: 1-8, 2014.
 - 14) Byun K, Hyodo K, Suwabe K, Ochi G, Sakairi Y, Kato M, Dan I, Soya H: Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: An fNIRS study. *Neuroimage*, May 2; 98C: 336-345. 2014.
 - 15) 一般社団法人 日本顎関節学会 あなたの顎（がく）関節の自己チェック法 <http://kokuhoken.net/jstmj/general/index.shtml>

(愛知学院大学 歯学部 冠・橋義歯学講座講師)