原 著 論 文

身体運動時のクレンチングに関する研究

横山 雄一

Involuntary Teeth Clenching during Physical Exercise

Yuichi Yokoyama

Abstract : Involuntary clenching is common during physical exercise ; therefore, the purpose of this study was to elucidate the relationship between stomatognathic function and physical exercise as well as role and mechanism of involuntary teeth clenching during physical exercise.

In 15 healthy, fully dentate males (mean age 26.5 ± 2.1), electromyographic activities from jaw closing (JM), sternocleidomastoid, biceps brachial (BB), and rectus femoral (RF) muscles ; mandibular positions ; and muscle strength during both isometric elbow flexion and knee extension exercises were recorded and analyzed.

From the analysis of electromyographic activities and mandibular position, the subjects were divided into two groups, Clenching group ($n=9$) and Non-clenching group ($n=6$). The subjects in the Clenching group showed involuntary clenching during the exercise and their mandibular positions were located at the intercuspal position. The onset of electromyographic activity of JM was earlier than that of the agonist (BB, RF) in the 7 subjects of the Clenching group. In the Clenching group, both elbow flexion and knee extension strength with involuntary clenching were lowered when voluntary mouth opening was directed during the exercise.

These results suggested that stomatognathic function and physical exercise had an interdependent relationship and involuntary clenching during physical exercise could be explained by a so-called feedforward mechanism.

Key words : clenching, physical exercise, stomatognathic function, EMG, feedforward mechanism

I. 緒 言

一般的にクレンチングとは、上下顎の歯を無意識に強く噛みしめる動作であり、習慣性のものは病的なブラキシズムの一種であるとされている¹⁾。また、正常者においても、不特定な急激な精神的緊張や高度な身体的ストレスにはクレンチングが伴うとされている²⁾。特に、最大筋力を発揮するような身体運動時には、クレンチングが無意識下

に発現することが古くより経験的に知られている。なお、この身体運動時に随伴するクレンチングの発現頻度については、石島ら³⁾によって、成人男性 100 名を被験者とした背筋力測定時における Photoocclusion と Memory-wafer を用いた観察から、約 6 割の被験者に明確なクレンチングの発現が認められ、約 3 割の被験者には全く認められなかったことが報告されている。また、市岡⁴⁾は、肘関節屈曲運動時にクレンチングが随伴する者であっても、強度なクレンチングが発現する者と軽度なクレンチングが発現する者がいることを報告している。

顎口腔系機能と身体運動機能との関連については、Smith⁵⁾ が、スポーツ選手の等尺性筋力を向上させることに MORA⁶⁾ (mandibular orthopedic repositioning appliance) と呼ばれる口腔内装置の装着が有効であることを

北海道医療大学歯学部歯科補綴学第 1 講座 (主任・指導：平井敏博教授)

Department of Removable Prosthodontics, Health Sciences University of Hokkaido School of Dentistry (Chief・Director : Prof. Toshihiro Hirai)

平成 9 年 9 月 25 日受付

報告して以来、米国において、1970年代から1990年代にかけて、MORAを上下顎歯列間に装着して咬合を挙上することにより、全身の各種運動能力の向上を図ろうとする試みがなされ、多くの報告がなされている⁷⁻¹¹⁾。しかし、その有効性に関しては、歯科界のみならず、スポーツ界からも大きな注目を集めたものの、未だ結論が得られるまでには至っていない。

わが国においても、前述のMORA、オクルーザル・スプリント、バイト・スプリント、テンプレートなどと呼ばれる咬合挙上装置を装着することによって咬合位や咬合高径を変化させ、これらの装置の装着が身体各部の発揮筋力¹²⁻¹⁵⁾や全身持久力¹⁶⁾、さらには、重心動揺¹⁷⁻²¹⁾に及ぼす影響について報告がなされている。しかし、これら一連の研究は、咬合挙上装置の装着を余儀なくされるため、厳密な意味では、「上下顎の歯を強く噛みしめる」クレンチングと身体運動機能との関連を検索したとはいえない。また、装置装着による非生理的な口腔環境や、プラセボ効果が懸念されるところである。

一方、厳密な意味での噛みしめが身体運動に及ぼす影響についての報告はきわめて少ないが、宮原²²⁾と上野²³⁾は、初めて両者の関連を科学的に明らかにした注目すべき報告を行っている。宮原は、噛みしめ強度を筋電図を用いたビジュアルフィードバックで、被験者にコントロールさせる客観的な噛みしめ強度が身体運動に及ぼす影響を検討した。すなわち、意識的な噛みしめを行わせた状態で脛骨神経を電気刺激した場合、これにより誘発されるヒラメ筋H反射が著しい促進を受けること、さらに、その促進量は噛みしめ強度と正の相関をもつことを報告している。また、上野は、同様の方法で、咬頭嵌合位における噛みしめ強度と等尺性肩関節内転筋力との間に有意な正の相関があることを報告している。しかし、これらの研究における噛みしめは意識的あるいは随意的であり、身体運動時に随伴する非意識的な、あるいは不随意的なクレンチングとはその発現様相や発現機構が異なっていることは明らかである。

このように、顎口腔系機能と身体運動機能との関連性が明らかになりつつあるものの、身体運動時のクレンチングの発現機構や発現様相、ならびにその役割については、未だ不明な点も多く、十分な検討はなされていない。

そこで、今回、顎口腔系機能と身体運動機能との関連を明らかにするための基礎的資料を得ることを目的として、随意最大等尺性肘関節屈曲運動、ならびに膝関節伸展運動試行時の下顎位と顎口腔系諸筋群、および身体運動の主動筋の筋活動を同時に記録し、身体運動に随伴するクレンチング発現時の下顎位と各筋の筋活動量、ならびに筋活動開始時期について分析した。さらに、意識的な開口あるいは意識的なクレンチングを指示したときの身体運動による発揮筋力を測定し、身体運動時のクレンチングの有無が身体

運動能力に及ぼす影響についても検討した。

なお、本研究において、「クレンチング」とは「身体運動に随伴する非意識的な、あるいは不随意的なクレンチング (Involuntary clenching)」を意味し、「噛みしめ」とは「身体運動に随伴する噛みしめではなく、意識的あるいは随意的に上下顎歯が咬頭嵌合位で咬合接触している状態のクレンチング (Voluntary clenching)」を意味している。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は、定期的な筋力トレーニングなどを行っておらず、顎口腔系を含む全身に異常を認めない健康な男性15名(平均年齢:26.5±2.1歳)である。なお、実験は、すべての被験者に対してその趣旨を十分に説明し、同意を得たうえで開始した。

2. 測定装置

1) 肘関節屈曲筋力および膝関節伸展筋力測定装置

肘関節屈曲筋力および膝関節伸展筋力は、ロードセル(A & D社製, LC 1205-K 100)とウェイング・インジケータ(A & D社製, AD 4323 B)からなる測定装置を用い、サーマルアレイコーダ(グラフテック社製, WR 8000)によるモニタリング下において、テープ・スピード9.6 cm/secにてデータ・レコーダ(共和電業社製, RTP-670 A)に収録した。なお、ウェイング・インジケータはロードセルからの出力を70 HzにてA/D変換し、デジタル表示するものである。

2) 下顎位測定装置

下顎位の測定は、マンディブラーキネジオグラフ(Myotronics社製, K 5:以下, MKGとする)を用い、身体運動の発揮筋力と同様にデータ・レコーダに収録した。

3) 筋電図測定装置

筋電図の導出は皮膚処理を行い、インピーダンスの低下を図った後、銀-塩化銀表面電極(日本光電社製, NT-511 G)を左右の咬筋(RM, LM)、側頭筋前部(RTa, LTa)、胸鎖乳突筋(RSCM, LSCM)および右側の顎二腹筋前腹(RDa)、上腕二頭筋(BB)、大腿直筋(RF)に、筋線維の走行に一致させ、筋腹中央部に電極間距離20 mmで貼付し、双極誘導にて行った。なお、不関電極は右側耳朶に貼付した。

筋電図の測定はマルチテレメータシステム(日本光電社製, WEB-5000)を使用して行い、時定数0.03 sec、高域遮断周波数1 kHzとし、身体運動の発揮筋力と同様にサーマルアレイコーダによるモニタリング下にて、データ・レコーダに収録した。

図 1 A view of measurement during elbow flexion exercise
肘関節屈曲運動時の測定風景

図 2 A view of measurement during knee extension exercise
膝関節伸展運動時の測定風景

3. 測定方法

身体運動として、肘関節屈曲運動では被験者の肘関節が 90° になるように上腕および前腕を固定し、また、膝関節伸展運動では被験者の膝関節が 90° になるように大腿および下腿を固定し、光刺激をトリガーとして 5 秒間、最大筋力を発揮するよう被験者に指示し、随意最大肘関節屈曲運動および膝関節伸展運動を行わせた。そして、そのときの発揮筋力である肘関節屈曲筋力と膝関節伸展筋力、下顎位および咬筋、側頭筋前部、胸鎖乳突筋、顎二腹筋前腹、上腕二頭筋および大腿直筋の各筋活動を同時に測定し記録した (図 1, 2)。なお、トリガー発生のタイミングを被験者に予測させないために、言葉によるトリガー発生予告から光刺激までの時間間隔をランダムに設定した。本試行を 5 分間のインターバルをおいて 6 回行わせた。なお、この 6 回の試行のほかに、顎口腔系諸筋群の筋活動量の指標を得るために、各運動を行わない状態での 5 秒間の意識的な最大噛みしめを行わせた。さらに、身体運動に伴ってクレンチングの認められた者に対しては、意識的な開口を、一方、クレンチングの認められなかった者に対しては、意識的な噛みしめを行うように指示を与えて、同様の試行を 6

図 3 Block diagram of measuring and analyzing system
測定・分析方法のブロックダイアグラム

回行わせた。

4. 分析方法

各筋の筋活動は、データ・レコーダに収録したアナログデータを A/D コンバータ (カノープス社製, ADX-98 E) を介してパーソナルコンピュータ (日本電気社製, PC-9801 DS) に入力し、多目的ダイナミック・データ処理および解析システムである SPIRAS (共和電業社製) と専用ソフトウェアを用いて、サンプリング周波数 1 kHz にて活動電位を筋電図積分値として表示し、分析した。また、4 秒間の発揮筋力を同様の装置により積分値として表示したパラメータを設定し、肘関節屈曲強さおよび膝関節伸展強さとして分析した。なお、筋電図積分値および発揮筋力の積分値は、トリガー発生より 0.5 秒後からの 4 秒間を対象として算出した。また、今回、各被験者間の筋活動量を比較するための指標として、左右咬筋および側頭筋前部 (閉口 4 筋) の身体運動時の筋電図積分値を意識的な最大噛みしめ時のそれで除した百分率 (以下, Clenching Index とする) をパラメータとして設定した。

各筋の筋活動開始時期については、サーマルアレイコーダにて記録された筋電図波形をデジタイザー (Photron 社製, Oscon SQ-3100) とパーソナルコンピュータを用いて筋活動の開始時期の差を求め、比較検討した (図 3)。

5. クレンチングの発現の有無の判定基準

クレンチングの発現の有無の判定は以下の通り行った。すなわち、筋電図所見において、左右の咬筋および側頭筋前部に活動が認められ、かつ、MKG 所見において、課題運動遂行中の下顎位に変化がなく、咬頭嵌合位にあると判断された被験者を「クレンチングの発現・有」と判定した。一方、筋電図所見において、左右の咬筋および側頭筋前部に活動が認められず、かつ、MKG 所見において、課題運動遂行中の下顎位が経時的に変化する被験者を「クレンチングの発現・無」と判定した。また、左右咬筋および側頭

筋筋部に若干の活動が認められるものの、課題運動遂行中の下顎位が経時的に変化する被験者は「クレンチングの発現・無」と判定した。

III. 結 果

1. 肘関節屈曲運動時および膝関節伸展運動時における顎口腔系諸筋群の筋活動および下顎位

肘関節屈曲運動時にクレンチングが随伴する被験者における所見(図4)は以下の通りであった。すなわち、筋電図所見より、肘関節屈曲運動時に左右咬筋、側頭筋前部、胸鎖乳突筋に筋活動が認められ、また、MKG所見より、肘関節屈曲運動時の下顎位は咬頭嵌合位にあった。なお、被験者15名中9名が「クレンチングの発現・有」と判定された。また、膝関節伸展運動時においても、被験者15名中9名に同様な所見が認められ、「クレンチングの発現・有」と判定された。なお、肘関節屈曲運動時には「クレンチングの発現・有」と判定されたものの、膝関節伸展運動時には「クレンチングの発現・無」と判定された者と、逆に肘関節屈曲運動時には「クレンチングの発現・無」と判定されたものの、膝関節伸展運動時には「クレンチングの発現・有」と判定された者が各1名ずつ存在した。

肘関節屈曲運動時にクレンチングが随伴しない被験者における所見(図5)は、以下の通りであった。すなわち、筋電図所見より、肘関節屈曲運動時に、左右咬筋および側頭筋前部に筋活動は認められず、また、MKG所見より、

肘関節屈曲運動時の下顎位は咬頭嵌合位に位置していなかった。なお、被験者15名中6名が「クレンチングの発現・無」と判定された。また、膝関節伸展運動時においても、被験者15名中6名に同様な所見が認められ、「クレンチングの発現・無」と判定された。

以上の身体運動時の閉口筋の筋活動と下顎位の分析結果から、本研究における被験者は、身体運動時に無意識下でクレンチングが発現するClenching groupとクレンチングが発現しないNon-clenching groupの2群に分類されることが確認できた。

2. 肘関節屈曲運動時および膝関節伸展運動時における閉口4筋の筋活動量

肘関節屈曲運動時、または膝関節伸展運動時にクレンチングの認められた各々9名の被験者におけるClenching Indexは、表1に示す通りであった。すなわち、各被験者におけるClenching Indexの平均値は、肘関節屈曲運動時では20.5~91.2、一方、膝関節伸展運動時では18.7~81.8であり、身体運動時の閉口筋活動量からみたクレンチング強さには個人差があることが明らかになった。また、運動の種類によりClenching Indexが異なる傾向を示す被験者(被験者A, D, E, F, H, I, J)も認められた。なお、本研究においては、クレンチング強さを身体運動中の4秒間の閉口4筋の筋活動量によって評価したが、被験者によっては、咬筋ならびに側頭筋前部の筋電図所見から、瞬間的により強度なクレンチングが発現してい

図4 Distinctive pattern of Clenching group (sub. A)
Clenching group (sub. A) における記録波形の一例

図5 Distinctive pattern of Non-clenching group (sub. K)
Non-clenching group (sub. A) における記録波形の一例

表 1 Clenching Index of jaw closing muscles during physical exercise
肘関節屈曲運動時および膝関節伸展運動時における閉口 4 筋の Cleanching Index

	肘関節屈曲運動		膝関節伸展運動	
	Ave.	S.D.	Ave.	S.D.
sub. A	91.2	7.5	57.9	3.9
sub. B	82.2	12.1	81.8	8.0
sub. C	64.0	10.2	59.2	10.6
sub. D	49.3	7.0	66.3	9.7
sub. E	49.1	20.6	—	—
sub. F	40.1	8.5	72.0	6.7
sub. G	26.3	9.9	18.7	5.2
sub. H	21.4	2.2	61.8	7.0
sub. I	20.5	5.3	62.6	8.3
sub. J	—	—	23.5	10.4

図 6 Time coordination pattern of jaw closing muscles and biceps brachial muscle during elbow flexion exercise in the Clenching Group
肘関節屈曲運動時における咬筋・側頭筋の筋活動開始時期

る所見も認められた。

3. 肘関節屈曲運動時および膝関節伸展運動時における閉口筋の筋活動開始時期

肘関節屈曲運動時に「クレンチングの発現・有」と判定された 9 名の被験者について、身体運動の主動筋である上腕二頭筋の筋活動開始時期を基準として、咬筋および側頭筋前部の筋活動開始時期と比較した結果、9 名中 7 名の被験者（被験者 A, B, C, D, E, G, H）では、咬筋および側頭筋前部の筋活動が上腕二頭筋の筋活動に先行して開始し、一方、他の 2 名の被験者（被験者 F, I）においては、咬筋および側頭筋前部の筋活動が上腕二頭筋の筋活動に遅れて開始していた（図 6）。

膝関節伸展運動時に「クレンチングの発現・有」と判定された 9 名の被験者について、同様に、身体運動の主動筋である大腿直筋の筋活動開始時期を基準として、咬筋および側頭筋前部の筋活動開始時期と比較した結果、9 名中 7 名の被験者（B, C, D, F, G, H, J）では、咬筋お

図 7 Time coordination pattern of jaw closing muscles and rectus femoral muscle during knee extension exercise in the Clenching Group
膝関節伸展運動時における咬筋・側頭筋の筋活動開始時期

よび側頭筋前部の筋活動が大腿直筋の筋活動に先行して開始し、一方、他の 2 名の被験者（被験者 A, E）においては、咬筋および側頭筋前部の筋活動が大腿直筋の筋活動に遅れて開始していた（図 7）。

4. 肘関節屈曲運動時および膝関節伸展運動時における胸鎖乳突筋の筋活動開始時期

すべての被験者において、肘関節屈曲運動時および膝関節伸展運動時に胸鎖乳突筋の筋活動が認められた。

身体運動の主動筋である上腕二頭筋、または大腿直筋の筋活動開始時期を基準として、胸鎖乳突筋の筋活動開始時期と比較した結果、すべての被験者において、胸鎖乳突筋の筋活動開始時期は主動筋である上腕二頭筋と大腿直筋の筋活動に遅れて開始していた（図 8, 9）。

5. クレンチングの有無と肘関節屈曲筋力および膝関節伸展筋力

肘関節屈曲運動時にクレンチングの発現が認められた 9 名の被験者に対して、意識的な開口を指示して肘関節屈曲運動を行わせた場合の肘関節屈曲筋力と上腕二頭筋の筋活動量を、特別な指示を与えないで行わせた場合のそれらと比較した結果は、図 10 に示す通りであった。すなわち、意識的な開口を指示したときの肘関節屈曲運動による発揮筋力は、特別な指示を与えないで行わせたとき（非意識的なクレンチングが随伴したとき）のそれに比して、有意に低値を示した ($p < 0.05$)。なお、上腕二頭筋の筋活動量に関しては、両条件間に有意差は認められなかった。また、膝関節伸展運動時にクレンチングの発現が認められた 9 名の被験者についての結果は、図 11 に示す通りであった。すなわち、意識的な開口を指示したときの膝関節伸展運動による発揮筋力は、特別な指示を与えないときのそれに比して、有意に低値を示した ($p < 0.05$)。なお、大腿直筋の筋活動量に関しては、両条件間に有意差は認められ

図 8 Time coordination pattern of sternocleidomastoid muscles and biceps brachial muscle during elbow flexion exercise
肘関節屈曲運動時における胸鎖乳突筋の筋活動開始時期

図 9 Time coordination pattern of sternocleidomastoid muscles and rectus femoral muscle during knee extension exercise
膝関節伸展運動時における胸鎖乳突筋の筋活動開始時期

なかった。

肘関節屈曲運動時にクレンチングの発現が認められなかった6名の被験者について、意識的な噛みしめを指示して肘関節屈曲運動を行わせた場合の肘関節屈曲筋力と上腕二頭筋の筋活動量を、特別な指示を与えないで行わせた場合のそれらと比較した結果は、図12に示す通りであった。すなわち、発揮筋力および上腕二頭筋の筋活動量ともに、両条件間に有意な差は認められなかった。また、膝関節伸展運動時にクレンチングの発現が認められなかった6名の被験者についての結果は、図13に示す通りであった。すなわち、発揮筋力および大腿直筋の筋活動量ともに、両条件間に有意な差は認められなかった。

IV. 考 察

顎口腔系が咀嚼、嚥下、発音、呼吸など、ヒトが生命を維持するうえで、また健全な社会生活を営むうえできわめて重要な機能を担っていることから、従来の歯科医学では、顎口腔系のみがその臨床ならびに研究の対象とされて

図 10 EMG activity of biceps brachial muscle and elbow flexion strength with and without clenching in Clenching group
クレンチングの有無と上腕二頭筋の筋活動量ならびに肘関節屈曲筋力 (n=9)

図 11 EMG activity of rectus femoral muscle and knee extension strength with and without clenching in Clenching group
クレンチングの有無と大腿直筋の筋活動量ならびに膝関節伸展筋力 (n=9)

きた。しかし、近年、咬合と全身の機能との関連についての報告²⁴⁾、さらに、咬合・咀嚼機能の低下が全身の病的老化を進行させる因子の1つとなりうることの報告²⁵⁾がなされている。すなわち、顎口腔系機能の健全性を維持することは全身の健康に大きくかかわっており、咬合の保全あるいは再建はきわめて大きな意義をもっている。このことから、顎口腔系機能と全身の機能との関連を明らかにすることは、歯科医学全体として学際的に究明していくべき最重要課題の1つであると考えられる。

顎口腔系と身体運動機能との関連についての報告は、顎口腔系機能異常に対する咬合治療に用いるスプリント様装置を身体運動能力の向上を目的として使用することに関するものが大多数を占めている⁴⁻²³⁾。なお、これらのなかには、クレンチングの強度と身体運動能力との間に有意な相関を認めた報告が含まれており^{4,22,23)}、咬合機能と身体運動機能との密接な関連が示唆されてきている。しかし、身体運動機能に及ぼすクレンチングについての検討は未だ十分ではない。

図 12 EMG activity of biceps brachial muscle and elbow flexion strength with and without clenching in Non-clenching group
クレンジングの有無と上腕二頭筋の筋活動量ならびに肘関節伸展筋力 (n=6)

図 13 EMG activity of rectus femoral muscle and knee extension strength with and without clenching in Non-clenching group
クレンジングの有無と大腿直筋の筋活動量ならびに膝関節伸展筋力 (n=6)

1. 方法について

1) 被験者について

本研究においては、顎口腔系機能と身体運動機能との関連を明らかにするための基礎的資料を得ることを目的としたため、体格および年齢に大きな差がなく、事前の診査により顎口腔系を含む全身に異常を認めない健康な成人男性を選択した。また、身体運動に随伴するクレンジングの個人差についての検討を行うために、被験者に対して身体運動時のクレンジングの有無の自覚についての事前調査を行わず、無作為に選択した。さらに、身体運動の運動能力について比較検討を行う際には、トレーニング効果を考慮する必要がある。すなわち、身体運動能力の向上および低下がトレーニングにより得られたものであるのか、別の要因で得られたものなのかを明らかにしなければならない。本研究において、被験者は定期的な筋力トレーニングなどを行っていないものを選択した。なお、本研究における課題運動は単純かつ短時間で測定が完了することから、トレーニング効果についてその影響を受けにくいと考えられる。加えて、スキルの巧緻性についても被験者の選択時に考慮する必要があるが、これについてもトレーニング効果と同様に本研究で課題とした身体運動についてはその必要がないものと判断した。

2) 身体運動課題としての肘関節屈曲運動と膝関節伸展運動について

本研究における身体運動課題として、肘関節屈曲運動と膝関節伸展運動を選択した。これらの運動により発揮される肘関節屈曲筋力(屈腕力)および膝関節伸展筋力(脚筋力)の測定は、握力、背筋力とともにスポーツ・テストの1項目として多用されており、等尺性の上肢の屈曲力および下肢の伸展力を評価することになる²⁶⁾。

肘関節は上腕骨下端と橈骨上端、上腕骨下端と尺骨上端、橈骨上端、尺骨上端の3関節からなる複関節であり、肘関節固有の運動は屈曲運動と伸展運動だけである。ま

た、肘関節の屈曲は、上腕二頭筋、上腕筋および腕橈骨筋が主動筋であり、補助動筋として円回内筋、主関節屈筋群が作用する。一方、膝関節は脛骨と大腿骨、膝蓋骨と大腿骨の2つの関節の複合体であり、膝関節の伸展は大腿四頭筋、大腿筋膜張が動筋として作用する²⁷⁾。このように、肘関節屈曲運動ならびに膝関節伸展運動は、筋力測定として一般的に用いられていること、また、単純な運動であること、かつ、主動筋の特定が容易に行えること理由から、本研究においては身体運動課題として用いた。

肘関節屈曲運動ならびに膝関節伸展運動の試行に関しては、筋の疲労を考慮して、5分間のインターバルをおいて行った。なお、上腕二頭筋に関して、20秒間の最大収縮の後、3分間の休憩によって筋の運動単位の発火頻度は最初の時点の95±10%に回復することが報告されている²⁸⁾。

3) 筋活動量および身体運動の発揮筋力の分析について
筋活動量および身体運動による発揮筋力の分析は、多目的ダイナミック・データ処理および解析システムであるSPIRAS(共和電業社製)を用いて行った。本システムは、A/Dコンバータに、DMA(Direct Memory Access)転送方式を採用していることにより、筋電図積分値(8チャンネル)および身体運動の発揮筋力(1チャンネル)の複数チャンネルを分析するにあたり分析基準の標準化と処理の効率化が図られたと考えられる。

4) Clenching Index について

咬合力と筋活動量は、咬筋と側頭筋で直線相関があることが従来より報告されている²⁹⁻³¹⁾。また、市岡⁴⁾はクレンジング強さと閉口4筋総活動量(左右咬筋活動量と左右側頭筋前部活動量の和)との間に認められた相関が、咬筋あるいは側頭筋単独での相関より高かったことを報告している。すなわち、咬筋、側頭筋の筋活動量から咬合力を推測することは比較的容易であるが、筋活動量には被験者間での個人差があり被験者間での比較は困難である。そこで本

研究においては、各被験者間の筋活動量ならびにクレンチング強さを比較するための指標として、左右咬筋および側頭筋前部（閉口4筋）の身体運動時の筋電図積分値を意識的的最大噛みしめ時のそれで除した百分率である Clenching Index をパラメータとして設定した。

2. 結果について

1) 肘関節屈曲運動時および膝関節伸展運動時におけるクレンチングの発現様相について

肘関節屈曲運動時および膝関節伸展運動時のクレンチングの発現の有無に関しては、筋電図および下顎位の測定結果より、クレンチングが随伴する者が15名中9名（Clenching group：60%）であり、全くクレンチングの随伴しない者が15名中6名（Non-clenching group：40%）であった。なお、石島ら³¹⁾は、正常有歯顎者を対象とした背筋力測定時のクレンチングの発現頻度に関して、明らかにクレンチングの発現が認められた者が58%、クレンチングとは認められず、単に、偏心位における咬合接触が認められただけの者が約13%、また、咬合接触の全く認められない者が約29%存在したことを報告しているが、本研究からも、身体運動時のクレンチングの発現には個人差があることが明らかになった。なお、発現頻度の比率に関しては、今回の被験者数が15名であることから、論じることは困難である。

本研究において、「クレンチングの発現・有」と判定された者においては、肘関節屈曲運動および膝関節伸展運動の主動筋である上腕二頭筋、大腿直筋に加えて、これらとは離れた位置にある咬筋および側頭筋前部に活動が認められた。さらに、「クレンチングの発現・有」と判定された者にも「クレンチングの発現・無」と判定された者にも、胸鎖乳突筋の活動が認められた。一般的に運動学の分野においては、1つの運動に参加するすべての筋を共同筋と定義している²⁷⁾。このことから、肘関節屈曲運動および膝関節伸展運動において、「クレンチングの発現・有」と判定された者では、咬筋、側頭筋前部、胸鎖乳突筋が、「クレンチングの発現・無」と判定された者では胸鎖乳突筋が共同筋活動を営んでいるといえる。この観点からも、顎口腔系機能と全身運動機能との間の密接な関連がうかがわれる。

本研究において、Clenching group に分類された9名のクレンチングの発現する下顎位が咬頭嵌合位であることが判明した。Ishijima ら³²⁾は、全身運動に随伴するクレンチング強さは意識的的最大咬合力（voluntary maximal clenching force：VMC）に匹敵するか、あるいは、これを超える場合があることを報告している。なお、クレンチングの習癖は、強い咬合接触を伴い、持続的な強い力が加わるため、歯周組織に大きな影響を与え、さらに歯髄組織にも影響を及ぼすことが報告されている³³⁾。さらに、いわゆる顎関節症の発症にクレンチングや不良姿勢に伴う力の影響

が大きく関与していることが指摘されている³⁴⁾。石島ら³⁵⁾は、身体運動時のクレンチングが、歯の咬耗や、歯槽骨の吸収、さらには咀嚼筋の疲労感などを引き起こしたと思われる症例について考察し、身体運動時のクレンチングが、歯の咬耗、破折や動揺、歯周疾患の進行や、いわゆる顎関節症の発症などの発現に関与している可能性があることを指摘している。また、持続的な噛みしめが、全身的に、骨格筋の緊張の増加を引き起こしたり、脳波、血圧、呼吸等にも影響を及ぼすという報告³⁶⁾もある。したがって、Clenching group に分類される被験者の咬頭嵌合位に咬頭干渉や早期接触が存在すると、身体運動に随伴するクレンチングが顎口腔系組織に対して為害作用として働き、生理的なクレンチングからブラキシズムとしての病的な習慣性のクレンチングに移行してしまう可能性もあると考える。さらに、これに伴って、先にも述べたように、歯、歯周組織、咀嚼筋や顎関節などの顎口腔系各器官への悪影響の波及も懸念される。したがって、Clenching group に分類される者にとっては、健全な顎口腔系器官の維持、管理、特に咬頭嵌合位における適正な咬合接触関係の確保が不可欠であるといえる。

2) 肘関節屈曲運動時および膝関節伸展運動時の閉口4筋の筋活動量について

肘関節屈曲運動時、または膝関節伸展運動時にクレンチングの認められた9名の被験者における閉口4筋の Clenching Index の平均値は、各被験者によりバラツキがあり、身体運動時の閉口筋活動量を指標としたクレンチング強さには個人差があることが明らかになった。身体運動時のクレンチング強さについては、市岡⁴⁾の調査より、その強度を機械的に測定し、クレンチングの発現が認められた12名の被験者を、85.3～58.9 kgf のクレンチング強さが認められた強クレンチング群と、13.2～4.9 kgf のクレンチング強さが認められた弱クレンチング群に分類できたことを報告している。しかし、本研究の Clenching Index からは、Clenching group の被験者を2群に区別するラインを設定することはできなかった。逆に、被験者数の増加や課題運動の種類によっては、さまざまなレベルでのクレンチングが身体運動時に発現することさえも予想される。なお、市岡⁴⁾の研究では、各々の被験者の意識的的最大噛みしめ強さを測定していないため、本研究の Clenching Index と単純に比較することはできない。また、本研究では、身体運動中の4秒間の平均値をもってクレンチング強さを評価したのに対して、市岡⁴⁾は身体運動時のクレンチング強さの最大値をもってクレンチング強さを評価していることが、Clenching group の被験者を2群に区別するラインを設定することはできなかった原因とも考えられる。

また、身体運動の種類を変化させることにより、同一の被験者でも Clenching Index が異なる傾向を示したり、クレンチングの発現を認めなくなる被験者が存在することか

ら、クレンチングの発現様相は身体運動の種類によっても異なる可能性があることが明らかになった。このように、最大筋力を発揮するようなすべての身体運動にクレンチングが随伴するわけではないことから、身体運動時のクレンチングは「最大努力」といった運動課題がトリガーとなり発現するのではなく、身体運動の種類により選択的に発現すると仮定できるかもしれない。

3) 肘関節屈曲運動時および肘関節伸展運動時における閉口筋の筋活動開始時期について

身体運動学分野においては、随意運動が意図した通りに行われるためには2通りの制御機構が必要であるとされている³⁷⁾。すなわち、閉ループコントロール (closed loop control) あるいはフィードバック機構と呼ばれる制御機構と、開ループコントロール (open loop control)、あるいはフィードフォワード機構と呼ばれる制御機構である³⁸⁾。前者は、視覚情報などの感覚入力による連続的な制御を意味しており、望ましい運動と実際に遂行されている運動との誤差を、知覚系を介して反射的にまた随意的に運動系に伝達し、コントロールする機構である。一方、後者は運動自体がすべて大脳皮質などの上位中枢にあらかじめプログラムされており、いったん開始したら何の変更もなく最後まで遂行されるという制御を意味しており、「予測的姿勢制御」などのように、事象の起きる前に事象を予測して、すでに修正が行われるという制御機構である。

本研究において、肘関節屈曲運動時および肘関節伸展運動時にクレンチングの発現が認められた被験者各9名中7名 (Clenching group) では、咬筋および側頭筋前部の筋活動開始時期が身体運動の主動筋である上腕二頭筋、大腿直筋のそれより先行して開始するという結果が得られた。このように身体運動の主動筋の活動に先行して閉口筋の活動が認められる者が存在したこと、さらに先に述べたように、クレンチングが発現しない者も存在すること、また、身体運動の種類によってクレンチングが発現する者としいない者が存在することから、身体運動時に随伴するクレンチングは、身体運動によって生じた反射活動ではなく、また、主動筋に反応した活動でなく、いわゆる予測的姿勢制御と同様な、学習によりすでにプログラムされている運動パターン、すなわちフィードフォワード機構による共同筋活動のメカニズムによるものである可能性があることが推測される。しかし、活動開始時期についても個人差が大きく、また、個人内においてもそのバラツキも大きいので、さらなる検討が必要であると考えられる。

Clenching group の被験者について、身体運動に随伴するクレンチングが運動プログラムとして獲得されているとすると、その獲得がいかになされるかは非常に興味深いものである。なお、運動プログラムとは、“過去の経験に基づき、姿勢調整と運動を生じさせる中枢神経内の通信”と定義されており³⁹⁾、過去の経験による学習で獲得されると

考えられる。また、運動学習については小脳が重要な働きをしており⁴⁰⁾、大脳基底核の被殻が運動学習の形成の場となっていることが報告されている^{41,42)}。したがって、Clenching group の被験者における身体運動時のクレンチングは、学習による意識的運動であったものが運動プログラムとして獲得されることにより、意識的運動から無意識的・自動的運動に移行したものと推察される。また、学習によりプログラムされたとすると、獲得した時期と理由があることは容易に想像できるが、これらを明らかにする報告はなされておらず、未だ不明である。しかし、最大筋力を発揮するような運動経験の頻度が関与していることが推測される。また、経験的に最大筋力を発揮するような場合には「歯をくいしばって頑張る」といったことが広く知られており、これがトリガーとなり学習される可能性もあると考えられる。

4) 肘関節屈曲運動時および肘関節伸展運動時における胸鎖乳突筋の筋活動開始時期について

胸鎖乳突筋の主たる機能は、頭部の回旋および屈曲とされている。しかし、この本来の機能とは異なり、咀嚼時や噛みしめ時においても咬筋、側頭筋の収縮と同調した筋活動が認められたという報告⁴³⁻⁴⁵⁾や、顎機能異常に認められる胸鎖乳突筋の疼痛が咬合治療により改善されたという報告⁴⁶⁾があり、胸鎖乳突筋と咬合機能との関連が指摘されている。

本研究において、胸鎖乳突筋の筋活動がすべての被験者に認められた。胸鎖乳突筋の本来の機能から、この筋活動は身体運動時に頭部を固定する役割を演じたと考えられる。また、胸鎖乳突筋の筋活動開始時期は、閉口筋とは異なり、すべての被験者において、身体運動の主動筋である上腕二頭筋、大腿直筋のそれに遅れて開始する結果が得られた。このことは、肘関節屈曲運動時および肘関節伸展運動時の胸鎖乳突筋の筋活動が、先に述べたようなフィードフォワード機構によるものではなく、主動筋である上腕二頭筋、大腿直筋の活動とこれに伴って発現する閉口筋の活動の両者によって引き起こされる、いわゆるフィードバック機構により発現するものではないかと推察される。

5) クレンチングの有無と肘関節屈曲運動および肘関節伸展運動について

身体運動により発揮される最大筋力には生理的限界と心理的限界があり⁴⁷⁾、今回指標とした等尺性最大筋力は、「最大努力」という刺激によって発揮された心理的限界の筋力である。しかしながら、その刺激は意志の力に基づくものであり、大脳や下位中枢における制御が危険防止の安全弁として常に作用するため、筋の生理的能力のすべてを発揮した場合に得られる生理的限界での筋力との間に20~30%の差があると考えられている³⁷⁾。このような筋力の生理的限界と心理的限界については、「ピストル音 (shot)」、被験者自身による「かけ声 (shout)」、「薬物

(Amphetamine)」、[催眠]により、それまで大脳に存在していた内制止 (internal inhibition) を脱制止 (disinhibition) することにより、筋収縮が運動単位のより高い水準の興奮によって行われるようになり、心理的限界が上昇するとの報告がある^{47,48)}。すなわち、最大筋力の心理的限界の上昇は、何らかの形で中枢での抑制を抑制することにより得られると推察される。

クレンチングが身体運動機能に及ぼす影響については、宮原²²⁾や上野²³⁾は、クレンチング強度を筋電図を用いたビジュアルフィードバックで被験者にコントロールさせることにより、客観的にクレンチング強度が身体運動に及ぼす影響を評価し、その結果として、ヒラメ筋 H 反射の促進量はクレンチング強度と正の相関をもつことや、クレンチングと等尺性肩関節内転筋力の間に正の相関があることを明らかにしている。さらに、前者はヒラメ筋 H 反射の促進が上位中枢からの運動指令と口腔領域に生ずる感覚情報が関与するとしており、後者は「噛みしめ」が最大筋力を発揮する際に心理学的因子となり、筋力および筋活動量の増加が噛みしめ強度の増加とともに噛みしめによる positive effect が漸増したためとしている。

本研究では、Clenching group の 9 名について、意識的な開口を指示したときの発揮筋力は、特別な指示を与えないとき、すなわち無意識にクレンチングが随伴したときのそれに比して、有意に低下する結果が得られた。すなわち、身体運動時に無意識のうちにクレンチングが随伴する Clenching group においては、クレンチング、すなわち咬合機能と身体運動とが密接に関連しており、咬頭嵌合位の新たな機能的意義が示唆された。また、咬合支持の有無と身体運動との関連について、平井ら⁴⁹⁾は無歯顎患者を被験者とし、義歯装置の有無による全身反応時間を検討し、青木ら²⁵⁾はラットを用いて歯冠切除による咬合支持の喪失が遊泳持続時間に及ぼす影響を検討し、それぞれの結果から身体運動における咬合支持の確保の意義を報告している。このことから、身体運動における咬頭嵌合位による咬合支持の意義がうかがえ、その保全が身体運動に及ぼす役割は大きいものと考えられる。

さらに、開口を指示した場合に発揮筋力が低下することは、「クレンチング」という行為が中枢での抑制を抑制する役割を担っており、心理的限界を上昇することができる可能性があると考えられる。しかし、逆に Clenching group の被験者にとって身体運動時の「開口」状態は非日常的状态であり、これが発揮筋力に対して抑制的に作用した可能性もある。今後、身体運動に対する中枢での抑制機構についてのさらなる検討が必要と思われる。田中⁵⁰⁾は、リズムカルな顎運動が相反性 Ia 抑制を減弱することから、顎口腔機能が等尺性運動に対しては向上、等速度性運動に対しては制限の働きがある可能性を示唆している。本研究で課題とした身体運動は等尺性運動であり、Clenching

group における開口時の発揮筋力の有意な低下はこの可能性を裏づけるものと考えられる。しかし、本研究においては、Clenching group の被験者すべてが開口時に筋力の低下を示したわけではなく、また、「筋力の発揮」と「開口」の 2 種類の課題を同時に与えるといったことについての心理学的影響も考えられるため、今後のさらなる検討が必要である。

一方、Non-clenching group の 4 名について、両条件間に有意差は認められなかった。すなわち、身体運動時にクレンチングが随伴しない Non-clenching group においては、意識的なクレンチングを行わせても、身体運動能力が向上するとは限らず、逆に低下する可能性があることが示唆された。

上野²³⁾は、クレンチング習慣の有無により被験者を分類して発揮筋力を比較検討したところ、両群ともに噛みしめ強度との間に正の相関を認めている。本研究では、Clenching group では類似した結果が得られたものの、Non-clenching group ではクレンチングによる発揮筋力の増加は認められなかった。この結果の差異について考察すると、上野は被験者に対して噛みしめの指示を行う際に、その強さについての指示を与えたことにより、身体運動の課題のほかに噛みしめを行うという課題に加えて、その強度を調節するといった課題を与えたこと、また、筋力を表示するパラメータが Peak Torque と Average Torque であったことが関与しているものと考えられる。

以上のように、身体運動時のクレンチングの意義には個人差があることから、身体運動時にスプリント等を口腔内に装着して意識的に咬合させることが運動能力の向上につながるという考え方は、すべての人にあてはめるべきではないと考えられる。また、身体運動能力向上という観点から、咬合を挙上すべきか否か、あるいは挙上するとなればその量をどれほどにするかについては、各個人においても異なるため、今後、その裏づけとしてのより詳細な科学的な研究と、その結果に基づいた診断法の確立が必要であると考えられる。また、咬合と身体運動能力との関連について検討する際には、身体運動時にクレンチングが随伴する者のなか否かを考慮して被験者を選択すべきであると考えられる。

V. 結 論

1. 身体運動時の閉口筋の活動および下顎位の分析から、身体運動に随伴するクレンチングの発現には個人差があり、Clenching group, Non-clenching group に分類できることが明らかになった。また、Clenching group では、咬頭嵌合位でクレンチングが発現することが明らかになった。

2. 肘関節屈曲運動時および膝関節伸展運動時の閉口 4 筋の筋活動量の分析から、身体運動時の閉口筋活動量を指

標としたクレンチング強度には個人差があることが明らかになった。また、身体運動の種類を変化させることにより、閉口4筋の筋活動量が異なる者およびクレンチングの発現を認めなくなる者が存在し、クレンチングの発現様相は身体運動の種類によって異なることが明らかになった。

3. 身体運動時における各筋の筋活動開始時期の分析結果から、身体運動に伴伴するクレンチングは、身体運動によって生じた反射活動ではなく、学習によりすでにプログラムされている運動パターン、すなわち、フィードフォワード機構によるものである可能性があることが示唆された。一方、身体運動時の胸鎖乳突筋の筋活動は、主動筋である上腕二頭筋、大腿直筋の活動と閉口筋の活動の両者によって引き起こされる、フィードバック機構によるものと推測された。

4. Clenching group の被験者に対して、意識的な開口を指示して肘関節屈曲運動および膝関節伸展運動を行わせると、発揮する筋力が低下する結果が得られ、身体運動に伴伴するクレンチングが発揮筋力の向上に重要な役割を演じている可能性が示唆された。

5. Non-clenching group の被験者に対して、意識的な噛みしめを指示して肘関節屈曲運動および膝関節伸展運動を行わせても、発揮筋力に及ぼす有意な影響は認められなかった。すなわち、意識的な噛みしめが必ずしも身体運動能力の向上につながるわけではないことが明らかになった。

以上のことから、特に Clenching group において、身体運動機能と顎口腔系機能との間には密接な関連があり、さらに、咬頭嵌合位の新たな機能的意義が示唆された。

稿を終えるにあたり、本研究に際して終始ご懇篤なるご指導とご校閲を賜りました平井敏博教授に深甚なる謝意を表します。また、本研究の遂行にあたり多大なるご指導とご教示を頂きました石島 勉助教授に深く感謝の意を表すとともに、多くのご支援を頂きました大学院生各位ならびに歯科補綴学第1講座各位に心より感謝いたします。最後に、本研究に対してご協力頂きました被験者諸氏に厚くお礼申し上げます。

なお、本論文の一部は、The First Biennial Meeting ICPAC (平成6年11月3日、鹿児島)、第13回東日本歯学会学術大会 (平成7年2月25日、当別)、日本顎口腔機能学会第8回学術大会 (平成7年12月16日、名古屋)、The Second Biennial Meeting ICPAC (平成8年6月28日、横須賀)、第8回スポーツ歯学研究会学術大会 (平成9年6月28日、東京) において発表した。

文 献

- 1) 石川 純, 佐藤文彦. Bruxism 咬合を考える. 歯界展望/別冊 89-102, 1973.
- 2) Ramfjord SP. Occlusion 177-187, Philadelphia : Saunders, 1976.
- 3) 石島 勉, 平井敏博, 今村 円ほか. 全身運動時のクレンチングの発現頻度に関する研究. 補綴誌 35 : 193-199, 1991.
- 4) 市岡典篤. 咬合機能と身体運動機能との関連について—下顎位の水平的な差異がクレンチング強さと前腕屈曲筋力に及ぼす影響—. 補綴誌 39 : 213-224, 1995.
- 5) Smith SD. Muscular strength correlated to jaw posture and the temporomandibular joint. NY State Dent J 44 : 278-285, 1978.
- 6) Gelb H. Clinical management of head, neck and TMJ and dysfunction. Philadelphia : Saunders, 1977.
- 7) Stenger JM. Physiologic dentistry with Notre Dame athletes. Basal Facts 2 : 8-18, 1977.
- 8) Bates RE Jr, Atkinson WB. The effects of maxillary MORA's on strength and efficiency tests. J Craniomandib Pract 1 : 37-42, 1983.
- 9) Verban EM, Groppe JL, Pfautsch EW et al. The effects of a mandibular orthopedic repositioning appliance on shoulder strength. J Craniomandib Pract 2 : 232-237, 1984.
- 10) Kaufman RS, Kaufman A. An experimental study on the effects of the MORA on football players. Basal Facts 6 : 119-126, 1984.
- 11) Forgione AG, Mehta NR, McQuade CF et al. Strength and bite, part II : Testing isometric strength using a MORA set to a functional criterion. J Craniomandib Pract 10 : 13-20, 1992.
- 12) 月村直樹. 顎口腔系の状態と全身状態との関連に関する研究—垂直的顎間関係位の変化が背筋力に及ぼす影響—. 補綴誌 36 : 705-719, 1992.
- 13) 氏家 康. 顎口腔系の状態と全身状態との関連に関する研究—垂直的顎間関係位の変化が伸筋および屈筋筋力に及ぼす影響—. 日大歯学 68 : 719-729, 1994.
- 14) 星野浩之. 顎口腔系の状態と全身状態との関連に関する研究—水平的顎間関係位の変化が背筋力に及ぼす影響—. 補綴誌 38 : 937-951, 1994.
- 15) 大岩陽太郎. 顎口腔系の状態と全身状態との関連に関する研究—咬合支持領域の大小が背筋力および咬筋筋活動量に及ぼす影響—. 日大歯学 69 : 542-551, 1995.
- 16) 西川修弘. 顎口腔系の状態と全身状態との関連に関する研究—マウスプロテクター装着が心肺機能に及ぼす影響—. 補綴誌 40 : 725-737, 1996.
- 17) 宮田敏則, 佐藤武司, 島田 淳ほか. 顎口腔系の状態と全身状態との関連に関する研究. I—1. 咬合の変化が姿勢, 特に重心動揺軌跡に及ぼす影響. 補綴誌 32 : 1233-1240, 1988.
- 18) 宮田敏則. 顎口腔系の状態と全身状態との関連に関する研究—実験的咬合干渉が姿勢, 特に重心動揺および抗重力筋に及ぼす影響—. 補綴誌 34 : 631-645, 1990.
- 19) 島田 淳. 顎口腔系の状態と全身状態との関連に関する研究—水平的下顎位の変化が姿勢, 特に重心動揺および抗重力筋に及ぼす影響—. 補綴誌 35 : 501-514, 1991.
- 20) 佐藤武司. 顎口腔系の状態と全身状態との関連に関する研究—垂直的顎間関係の挙上が姿勢, 特に重心動揺および抗重力筋に及ぼす影響—. 補綴誌 35 : 574-587, 1991.

- 21) 石上恵一, 星野浩之, 武田友孝ほか. 顎口腔系の状態と全身状態との関連に関する研究—スプリントによる咬合挙上がアーチェリーにおける姿勢維持に及ぼす影響—. 補綴誌 36: 481-487, 1992.
- 22) 宮原孝雄. ヒトのヒラメ筋 H 反射の噛みしめによる変調. 口病誌 58: 670-686, 1991.
- 23) 上野俊明. 噛みしめと上肢等尺性運動の関連性に関する研究. 口病誌 62: 212-253, 1995.
- 24) 小林義典, 松本敏彦, 石上恵一ほか. 咬合と全身機能との関係. 補綴誌 40: 1-23, 1996.
- 25) 青木 聡, 武田秀勝, 平井敏博ほか. 咀嚼機能が高年齢ラットの全身持久性に及ぼす影響. 老年歯学 10: 128-136, 1995.
- 26) 東京都立大学身体適性学研究室編. 日本人の体力標準値第3版 115-127, 東京: 不昧堂出版, 1985.
- 27) 中村隆一, 斉藤 宏. 基礎運動学, 東京: 医歯薬出版, 1995.
- 28) Bigland-Ritchie BR, Dawson NJ, Johansson RS et al. Reflex origin for the slowing of motoneurone firing rates in fatigue of human voluntary contractions. J Physiol 379: 451-459, 1986.
- 29) Hosman H, Naeije M. Reproducibility of the normalized electromyographic recordings of the masseter muscle by using the EMG recording during maximal clenching as a standard. J Oral Rehabil 6: 49-54, 1979.
- 30) Desmedt JE, Godaux E. Recruitment patterns of single motor units in the human masseter muscle during brisk jaw clenching. Arch Oral Biol 24: 171-178, 1979.
- 31) 羽田 勝, 松本直之, 山口和憲ほか. 咬合力発現機構に関する研究 第2報 生体における筋電図学的研究. 補綴誌 24: 432-441, 1980.
- 32) Ishijima T, Ichioka N, Konishi Y et al. Mandibular Position and Physical Exercise. In: Tsuru H, editor, Advanced Prosthodontics World Wide 530-531, Hiroshima: WCP Hiroshima, '91 Publication Committee, 1991.
- 33) 池田隆志. 強い咬合接触が歯の感覚および歯周組織に及ぼす影響. 補綴誌 31: 675-688, 1987.
- 34) McCoy G (筒井昌秀 訳). Dental Compression Syndrome と咬合治療. QE 13: 782-789, 1994.
- 35) 石島 勉, 平井敏博. 歯科領域におけるスポーツ外傷・障害とマウスガード. 日歯医師会誌 45: 843-851, 1992.
- 36) 河村洋二郎, 藤本順三, 船越正也ほか. “かみしめ”により生じる身体機能変化に就いて. 阪大歯学誌 1: 47-58, 1956.
- 37) 猪飼道夫編著. 身体運動の生理学. 東京: 杏林書院, 1978.
- 38) 今川忠男. 運動学習の運動療法への応用—姿勢と運動の制御の発達—. 理学療法 11: 57-61, 1994.
- 39) Brooks VB. Motor program revisited. In: Talbott RE, Humphrey DR, editors, Posture and Movement 13-49, New York: Raven Press, 1979.
- 40) 柳原 大. 運動学習と小脳. 体育の科学 46: 455-463, 1996.
- 41) 木村 實. 基底核の役割. 脳神経 45: 605-616, 1993.
- 42) 浜田生馬. 被殻と四肢運動の制御. 脳神経 46: 723-730, 1994.
- 43) 河村哲夫. 下顎運動時における頸部の筋の活動性に関する筋電図学的検討. 口病誌 50: 94-115, 1983.
- 44) 河野正司, 吉田恵一, 小林 博ほか. 咬合機能時にみられる胸鎖乳突筋の活動様相. 補綴誌 31: 764-769, 1987.
- 45) 長砂 孝, 田中昌博, 川添堯彬ほか. 急速な下顎随意運動に伴う胸鎖乳突筋の共同筋活動に関する研究 第1報 咀嚼筋との活動開始時期の比較について. 補綴誌 37: 1232-1237, 1993.
- 46) 河野正司, 小林 博, 吉田恵一ほか. Anterior Guidance の異常に由来すると考えられる胸鎖乳突筋の疼痛症例. 補綴誌 31: 409-417, 1987.
- 47) 猪飼道夫, 石井喜八. 筋力の生理的限界と心理的限界の筋電図学的研究. 体育研 5: 154-165, 1961.
- 48) Ikai M, Sreinhaus AH. Some factors modifying expression of human strength. J Appl Physiol 16: 157-163, 1961.
- 49) 平井敏博, 石島 勉, 越野 寿. 高齢者の咀嚼機能と全身運動との関連についての研究. 高齢者問題研究 9: 43-48, 1993.
- 50) 田中立弥. リズミカルな顎運動中にみられるウサギ下腿筋運動ニューロンの相反性 Ia 抑制の減弱. 口病誌 63: 153-163, 1996.