

Ⅱ級ゴムの使用が平衡調節機構に与える影響に関する研究

石亀 勝

岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座

(指導 : 三浦 廣行 教授)

(受付 : 1998年10月19日)

(受理 : 1998年11月18日)

Abstract : The objective of this study is to make sure whether class II mechanics with class II elastics causes some abnormal stimuli on stomatognathic muscles, antigravity muscles, and equilibrium function or not, and if there are some abnormal stimuli on those things, whether they are temporary actions or permanent.

A pair of oral appliances (Clear retainers) with class II elastic, having a pull of two hundred gram, for one side which attached lingual buttons for hooks was applied to five volunteer healthy adult men and changes of the electromyogram (EMG) and the electrogravitiogram (EGG) with the stabilometer were observed continuously.

Total length (cm), Length/Time (cm/sec), Length/Envelope area (1/cm), Rectangle area (cm²), Envelope area (cm²), Root mean square area (cm²), Deviation of mean of X (cm), and Deviation of mean of Y (cm) were analyzed from the EGG.

The electromyographic activity of the anterior part of the temporal muscle, the center part of the masseter muscle, the center part of the sternocleidomastoid muscle, the posterior part of the trapezius muscle, and the center part of the gastrocnemius muscle were recorded simultaneously.

The results of this study are indicated as follows:

1. It was recognized tendentiously that an orthodontic force with class II elastics caused an unstable equilibrium function one day after application but then it adapted to the human body immediately.

2. An appropriate orthodontic force with class II elastics was considered also from subjective symptoms that there was not a possibility which could cause serious obstacle to the human body.

3. Taking the EGG continuously while the mandibular position is changeable indicated the possibility which will become important information for having a harmonious mandibular position with the human body and allow dental treatment to progress smoothly.

Key words : class II elastics, equilibrium function, electrogravitiogram (EGG), electromyogram (EMG)

Study of the effect of class II mechanics with class II elastics on equilibrium function

Masaru ISHIGAME

Department of Orthodontics, School of Dentistry, Iwate Medical University
1-3-27 Chuo-dori, Morioka, Iwate 020-8505 JAPAN

岩手県盛岡市中央通1丁目3-27 (〒020-8505)

Dent. J. Iwate Med. Univ. 23 : 188 - 204, 1998

緒 言

ヒトの下顎骨は閉口筋と舌骨、舌骨上下の筋を介して肩と頭蓋の間に位置している¹⁾。このことから咀嚼筋の緊張等がヒトの直立姿勢維持に及ぼす影響について考えてみると、下顎骨およびその周囲の筋の変化は頭蓋の位置に影響を与え、さらに全身の直立姿勢の変化へと影響することが考えられる。

近年、顎口腔系機能異常に伴う関連症状として、頭痛、肩凝り、めまい、耳鳴りなどの異常、頸部、肩部の不快症状、ひいては全身に影響を及ぼすといった報告²⁻⁸⁾があり、顎口腔系機能と平衡調節機構との関連性を疑わざるをえない場合がある。

スポーツ医学の分野でも、咬合の重要性が指摘された報告⁹⁻¹²⁾がなされ、咀嚼や構音以外にも全身の運動に咬合が深く関与していることがうかがわれる。さらに、身体一部の全力運動は常に身体各部の機能的協力を必要としており、我々が身体の一部に強い力を入れる場合、歯を食いしばり、顎口腔周囲筋を強く収縮させる場合があることが知られている¹³⁾。

その他、顎口腔系機能と全身状態とに関する研究では、下顎の水平等尺性運動と頸、肩の筋活動との関連などについて⁸⁾、噛みしめ強度とヒラメ筋H反射の促通量との関連¹⁴⁾、噛みしめ強度と重心動揺との関連¹⁵⁾、実験的咬合干渉と重心動揺との関連¹⁶⁾、顎関節症の症状を有する開咬患者の重心動揺の変化¹⁷⁾などが報告されている。

このように、顎関節に機能異常を認める者だけではなく、健常者に対しても何らかの外的刺激や負荷を与えた場合の反応から、顎口腔系機能と全身状態との間には密接な関わり合いが存在することが十分考えられる。

以上のことから、下顎位の変化を期待して矯正力や顎整形力を多用する矯正臨床においては、平衡調節機構への影響が十分懸念されるところである。しかし、矯正臨床では、治療やメカニクスが先行し、この様な矯正力や顎整形力

を加えることによる全身への影響については、いまだに明確な見解は得られていない。

矯正臨床において、II級メカニクスで用いるII級ゴムの使用は、歯の移動や下顎位の変化による咬合関係の改善に欠かすことのできない治療手段となっている¹⁸⁻²⁴⁾。

そこで本研究では、このII級ゴムの使用が平衡調節機構と顎口腔周囲筋や抗重力筋に対し、異常刺激となっているのか否か、また、何らかの反応があるのならば、それは持続性のものなのかあるいは一過性のものなのかについて検討した。

研究 方 法

1. 対象者

対象者は、上下顎の第三大臼歯以外に欠損歯が無く、歯の実質欠損がないAngle I級の個性正常咬合を有する矯正治療未経験者で、顎口腔系機能異常、ならびに全身的な疾患が認められない者とした。また、重心動揺の判定には年齢別、性別に有意の差は認められないとの報告²⁵⁾から、年齢23歳から30歳までの、成人男性ボランティア5名(A, B, C, D, E)とし、研究の内容を説明し、同意を得た。研究期間中、対象者全員には、体調に変化を来さぬよう注意させ、極力一定の生活リズムを保持させた。

2. II級ゴムの使用法

II級ゴム²²⁾を使用可能な状態にするため、リングボタンを接着したLANCER社製TRU-C 30 COPING MATERIAL(厚さ: .03 inch)を用いて作製した口腔内装置(クリアリテーナー²⁶⁾) (Fig.1)を対象者の上下顎それぞれに装着(Fig.2)した。この装置は、本来動的治療後の保定時に用いるためのもので、歯列全体を覆い、不必要な個々の歯の移動防止が可能である。

さらにII級ゴムの強さを片側200gに設定するため、3M Unitek社製3/16 inch (4.6 mm), 3.5 oz (99.2 g), medium light elasticを口腔内装置の左右両側に用いた。なお、II級ゴムは、食事の際以外は終日使用とし、ゴムの劣

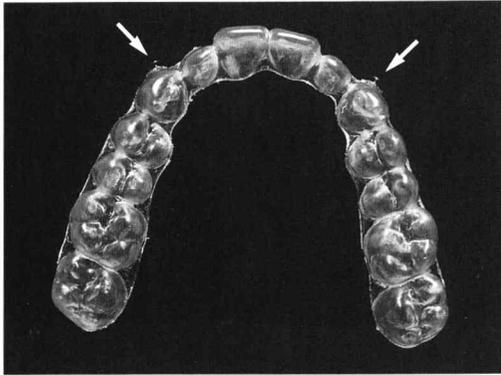


Fig. 1. Occlusal view of upper component of oral appliance (Clear retainer) with lingual buttons as elastic hooks (arrows).

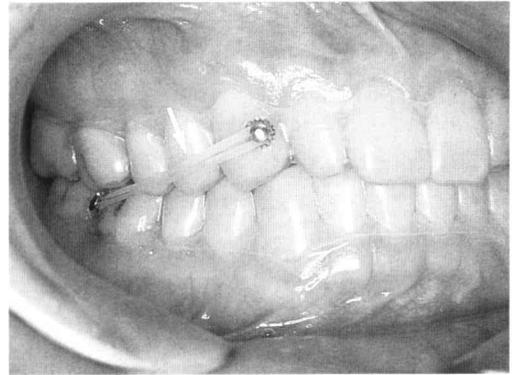


Fig. 2. Lateral intraoral view of upper and lower components of oral appliances (Clear retainers), showing class II elastic (arrow).

化防止のため、1日1～3回の交換を指示した。

3. 記録項目および期日

1) 重心図 (EGG: Electrogravitiogram), 2) 筋電図 (EMG: Electromyogram), 3) 血圧, 4) 脈拍, 5) 体温, 6) overjet, 7) overbite, 8) 自覚症状について記録を行った。

これらの項目について、口腔内装置装着前の3日間のControl 1 (以下C1と略す)、口腔内装置のみ装着後の3日間のControl 2 (以下C2と略す)、II級ゴム使用 (以下ELと略す) 直後 (以下EL0と略す)、1日後 (以下EL1と略す)、3日後 (以下EL3と略す)、5日後 (以下EL5と略す)、7日後 (以下EL7と略す)、そして全ての装置撤去 (以下RAと略す) 直後 (以下RA0と略す)、1日後 (以下RA1と略す)、3日後 (以下RA3と略す)、5日後 (以下RA5と略す)、7日後 (以下RA7と略す) の計20日間計測を行った。

またC1とC2についてはそれぞれ朝、昼、晩に3回ずつ、EL、RAについてはそれぞれ1日5回ずつ特定の時間帯に計測を行った。ただし、毎回の計測は連続して行った。

4. 重心動揺の計測法および重心図の分析

重心動揺の計測には、プラットホーム型検出台を用いた重心動揺計 (アニマ社製重心動揺解析システム Windows 95版 G-5500 Ver 1.

01) を用いた。またこれによって得られた重心図の経時的変化のデータ分析を行った。本システムのブロックダイアグラムをFig.3に示す。

計測の条件は、日本平衡神経科学会による平衡機能検査法²⁷⁻²⁹⁾に準じた。つまり、静かで、明るさが均等で、音、風圧³⁰⁾そしてその他の刺激による身体変異が生じない部屋であること、足位はロンベルグテスト³¹⁾を参考に、踵同士そして拇指同士両足を接し、特に今回は対象者全員足位規定板により常に一定の位置に閉足位で自然に直立した姿勢“natural standing”にて計測を行った。記録時間は60秒間で、サンプリング周波数は20 Hzに設定した。閉眼検査においては、視標距離を3m³²⁾とした。閉眼検査においては、初期閉眼効果をさけるため、閉眼開始約20秒後^{15,33)}から計測を行った。

測定した重心図より以下の8つの項目について分析を行った。

1) 総軌跡長 (cm): 総軌跡長は、重心動揺の大きさを表す指標の一部で、計測時間内に重心点の移動した全長を表し、動揺の大きさ、平衡障害の程度が同定可能である。

2) 単位軌跡長 (cm/sec): 単位軌跡長は、計測時間内の重心の移動速度の平均値から求めたもので、動揺の大きさ、平衡障害の程度が同定可能である。

3) 単位面積軌跡長 (1/cm): 単位面積軌跡

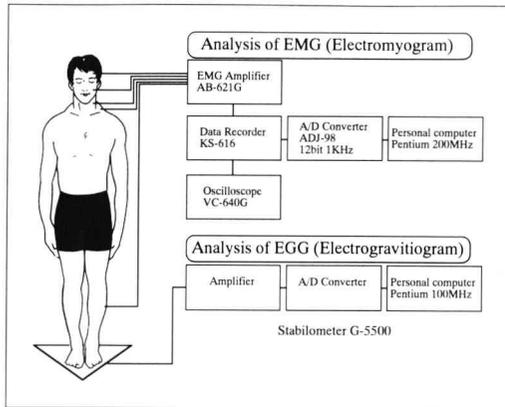


Fig. 3. System block diagram of EMG and EGG.

長は、単位面積当たりの軌跡長を表している。また、これは年齢とともに変化し、若年者では短く、さらに面積、総軌跡長などの動揺の大きさを示すパラメーターとは異なり、ロンベルグ率^{34,35)}との関係は少なく、視性姿勢制御の影響を受けにくいパラメーターのため、重心動揺における深部感覚系平衡調節機構による姿勢制御の微細さを示す³⁶⁾。

4) 矩形面積 (cm²): 矩形面積は、X、Y 各軸の動揺の最大幅で囲まれる長方形の面積を表している。

5) 外周面積 (cm²): 外周面積は、重心動揺の軌跡の最外郭によって囲まれた内側の面積を表し、動揺の大きさ、平衡障害の程度が同定可能である。

6) 実行値面積 (cm²): 実行値は、X 軸、Y 軸において、個々のサンプリングした振幅値と平均値の差を二乗し、X 軸の値、Y 軸の値の和を積算して、サンプル数で割った値の平方根を表している。この値は振幅を変えながら、時間経過につれて作られる動揺の広がりや、それと等しい仕事をする円の面積で置き換えたときの半径に相当する。この値を半径にした円の面積、いわゆる実行値面積は、外周面積と比べ、動揺の密度が考慮に入れられており、動揺の大きさを単純な円で表現した優れたパラメーターとして用いられる。

7) X 軸方向動揺平均中心偏位 (cm): X 軸

方向動揺平均中心偏位は、重心の左右方向への動揺の大きさを表し、迷路障害などで生じる四肢、躯幹の筋緊張の左右差から生じる偏位を評価することができる³⁵⁾。

8) Y 軸方向動揺平均中心偏位 (cm): Y 軸方向動揺平均中心偏位は、重心の前後方向への動揺の大きさを示し、抗重力筋緊張の亢進、低下を評価することができる³⁵⁾。ただし、X 軸方向と Y 軸方向との 2 方向の間にはあまり大きな相関は無く、それぞれ独立した振動系としてとらえることが可能である³⁷⁾。

5. 筋電図の記録および分析

筋電図は、重心動揺の計測と同時記録を行った。

筋電図の導出部位は、まず咀嚼筋である側頭筋前部 (以下 TM と略す)、咬筋中央部 (以下 MM と略す)、側頸筋である胸鎖乳突筋中央部 (以下 SM と略す)、背筋である僧帽筋後頸部 (下行部) (以下 TR と略す)、さらにこの他に抗重力筋の一つである腓腹筋外側頭中央部 (以下 GM と略す) の計 5 筋とし、左側より導出した。筋電図の記録には、電極中央間距離 19.0 mm の双極導出用電極 (DUO-TRODE® silver/silver chloride EMG electrodes, MYO-TRONICS, INC.) を用いて、これを筋の走行と平行に貼付し導出した。また不関電極は対象者の額中央部に貼付した。この時の表面電極間抵抗値はそれぞれ 10 kΩ 以下に設定した。導出した筋電図は生体電気増幅器 (AB-621 G, 日本光電社製) を用い、時定数 0.03 で増幅した。筋電図は、データレコーダ (KS-616, ソニーマグネスケール社製) で記録した。テープ速度は 4.8 cm/sec であった。

筋電図は記録時と同じテープ速度で再生し、12 bit A/D 変換ボード (ADJ-98, カノープス社製) を用いて 1 kHz サンプリングでデジタル化した。デジタル化したデータはパーソナルコンピュータ上の多用途生体情報解析プログラム (BIMUTAS, キッセイコムテック社製) を用い、30 Hz のハイパスフィルターを用い、フィルタリング処理を行った後整流し、重心図記録

Table 1. Blood pressure, heart rate, and body temperature during the experimental period.

Subject		Blood pressure (mm Hg)		Heart rate (/minute)	Temperature (°C)
A	Max.	155.00	/ 94.00	90.00	36.70
	Med.	142.50	/ 84.50	83.00	36.50
	Min.	130.00	/ 61.00	74.00	36.20
	Ave.	140.89	/ 83.07	81.79	36.49
	S. D.	5.78	/ 7.07	4.62	0.15
B	Max.	137.00	/ 82.00	85.00	37.30
	Med.	118.50	/ 68.50	75.00	36.60
	Min.	101.00	/ 48.00	64.00	36.00
	Ave.	118.21	/ 67.79	74.96	36.63
	S. D.	8.53	/ 7.52	5.55	0.33
C	Max.	148.00	/ 95.00	75.00	36.80
	Med.	127.50	/ 63.00	61.00	36.20
	Min.	112.00	/ 52.00	52.00	35.60
	Ave.	129.57	/ 64.07	61.86	36.17
	S. D.	10.04	/ 9.15	4.32	0.36
D	Max.	139.00	/ 81.00	76.00	36.70
	Med.	126.50	/ 74.50	70.00	36.30
	Min.	110.00	/ 67.00	63.00	35.80
	Ave.	126.93	/ 73.61	68.86	36.28
	S. D.	7.38	/ 4.37	3.10	0.24
E	Max.	146.00	/ 88.00	95.00	36.90
	Med.	132.00	/ 81.00	85.00	36.45
	Min.	113.00	/ 66.00	65.00	35.60
	Ave.	132.75	/ 79.71	84.11	36.41
	S. D.	6.73	/ 5.95	6.64	0.37

Max.: Maximum.

Med.: Median.

Min.: Minimum.

Ave.: Average.

S. D.: Standard deviation.

を行っている 60 秒間についての各筋の筋電図積分値を算出した。

なお、得られた各データは、C1を100とし、百分率にて算出した。

6. Vital sign (血圧, 脈拍, 体温) の測定, overjet, overbite の計測, 自覚症状の記録

重心動揺の毎計測直前に vital sign (血圧, 脈拍, 体温) の測定を行った。測定には、ベッドサイドモニター (Life scope 8, BSM-7106, 日本光電社製) を用いた。

口腔内装置装着前, RA 0, RA 0 より 2 か

月後における overjet, overbite をノギスにて計測した。

毎回の自覚症状は、被験者からの訴えをもとに記録した。

7. 統計処理

上記の重心図の各分析項目に関し、対象者 5 名 (A, B, C, D, E) の II 級ゴム使用前後の C1, C2, EL, RA の全ての時期について、One-way Repeated-Measures ANOVA による分散分析を行い、II 級ゴムを使用した場合の経日的変化について検討した。

Table 2. The measurement of overjet and overbite before application of class II elastics, RA 0, and two months after RA 0.

Subject		Berore app.	RA 0	2M after RA 0
A	Overjet (mm)	2.55	2.30	2.60
	Overbite (mm)	3.95	3.30	4.00
B	Overjet	4.10	3.40	4.05
	Overbite	3.70	2.50	3.30
C	Overjet	3.70	2.90	3.85
	Overbite	3.20	1.90	3.30
D	Overjet	3.50	2.50	3.50
	Overbite	5.20	4.00	5.10
E	Overjet	1.65	0.90	1.75
	Overbite	0.95	0.80	1.00

Before app.: Before application of class II elastics.

RA 0 : Just removed all oral appliances.

2M after RA 0 : Two months after RA 0.

Table 3. Subjective symptoms during the experimental period.

Period	Subject : A	B	C	D	E
0					Discomfort
1	TMJ: pain	Migraine, Body: fatigue, Incisors: pain		Stagger	Discomfort
3	Incisors: pain	Shoulder: stiffness, Body: fatigue, Fever, Incisors: pain	Masseter m.: pain		
5	Incisors: pain	Body: fatigue, Incisors: pain	Masseter m.: pain	Shoulder: stiffness, Masseter m.: tonus	
7	TMJ: fatigue, Shoulder: stiffness				
0					
1			Masseter m.: pain, Sternocleidomastoid m.: tonus		
3					
5					
7					

EL : The period of the oral appliances with class II elastics.

RA : The period of the removed all oral appliances.

m. : muscle

結 果

1. Vital sign (血圧, 脈拍, 体温), overjet, overbite, 自覚症状

研究期間中, 対象者へは予め, なるべく平常

の行動パターンを崩さぬよう注意させたが, 状態把握を客観的にするため, 重心図や筋電図の測定直前に, ベッドサイドモニターを用いて vital sign (血圧, 脈拍, 体温) の測定を行った。その結果, 対象者全員において, Ⅱ級ゴム使用

前後の C1, C2, EL, RA の全ての時期における vital sign (血圧, 脈拍, 体温) (Table 1) は安定しており, 各時期において大きな変化も認められなかった。よって, 重心図や筋電図の測定条件としては適切であったと判断できる。

RA 0 には全ての対象者において, overjet, overbite (Table 2) 共減少する変化が認められたが, その2か月後には, II級ゴムの使用以前の状態に殆ど戻っていた。

自覚症状の発現の時期は, それぞれ対象者間で異なり, その内容も異なっていた (Table 3)。しかし, EL 3~5 をピークに, 次第に症状は軽減あるいは消失した。

2. 重心図

Fig. 4, 5 はそれぞれ開眼時と閉眼時の各パラメーターの変化を示しており, 各パラメーターの変化について One-way Repeated-Measures ANOVA による解析を行った。

1) 総軌跡長 (Fig. 4-A, Fig. 5-A)

閉眼時において経日的な有意差 ($P < 0.05$) が認められた。

2) 単位軌跡長 (Fig. 4-B, Fig. 5-B)

閉眼時において経日的な有意差 ($P < 0.05$) が認められた。

3) 単位面積軌跡長 (Fig. 4-C, Fig. 5-C)

開閉眼時共, 経日的な有意差は認められなかった。

4) 矩形面積 (Fig. 4-D, Fig. 5-D)

閉眼時において経日的な有意差 ($P < 0.05$) が認められた。

5) 外周面積 (Fig. 4-E, Fig. 5-E)

閉眼時において経日的な有意差 ($P < 0.05$) が認められた。

6) 実行値面積 (Fig. 4-F, Fig. 5-F)

閉眼時において経日的な有意差 ($P < 0.05$) が認められた。

7) X 軸方向動揺平均中心偏位 (Fig. 4-G, Fig. 5-G)

開閉眼時共, 経日的な有意差 ($P < 0.05$) が認められた。

8) Y 軸方向動揺平均中心偏位 (Fig. 4-H, Fig. 5-H)

開閉眼時共, 経日的な有意差 ($P < 0.05$) が認められた。

さらに, 有意差が認められた項目について Bonferroni の多重比較検定を行った。この結果より, 総軌跡長について, 閉眼時では他の日と比較し, EL 1 において有意に変化量が大きくなる ($P < 0.05$) 傾向があった。単位軌跡長についても, 閉眼時で他の日と比較し, EL 1 において有意に変化量が大きくなる ($P < 0.05$) 傾向があった。単位面積軌跡長については, 開閉眼時共に一定の傾向は認められなかった。矩形面積, 外周面積, 実行値面積それぞれの面積による解析項目では, 閉眼時で他の日と比較し, EL 1 において有意に変化量が大きくなった ($P < 0.05$)。X 軸方向動揺平均中心偏位において, 全ての時期を通じて開閉眼時共常に左側への偏位が認められたが, EL 1 にて更に左側への変化量の増加 ($P < 0.05$) が認められた。Y 軸方向動揺平均中心偏位においても, 全ての時期を通じて開閉眼時共常に後方への偏位が認められたが, EL 1 にて特に後方への変化量の減少 ($P < 0.05$) が認められた。

3. 筋電図

1) TM については, 開閉眼時共に C2 において変化量が増加する傾向が認められた (Fig. 6-A, B)。

2) MM については, 開閉眼時共に EL 0 と RA 0 において変化量が増加する傾向が認められた (Fig. 6-C, D)。

3) SM については, 開閉眼時共に RA 3 において変化量が増加する傾向が認められた (Fig. 6-E, F)。

4) TR については, 開眼時に EL 3 において, 閉眼時に EL 5 において変化量が増加する傾向が認められた (Fig. 6-G, H)。

5) GM については, 突出したデータや一定の傾向は認められなかった (Fig. 6-I, J)。

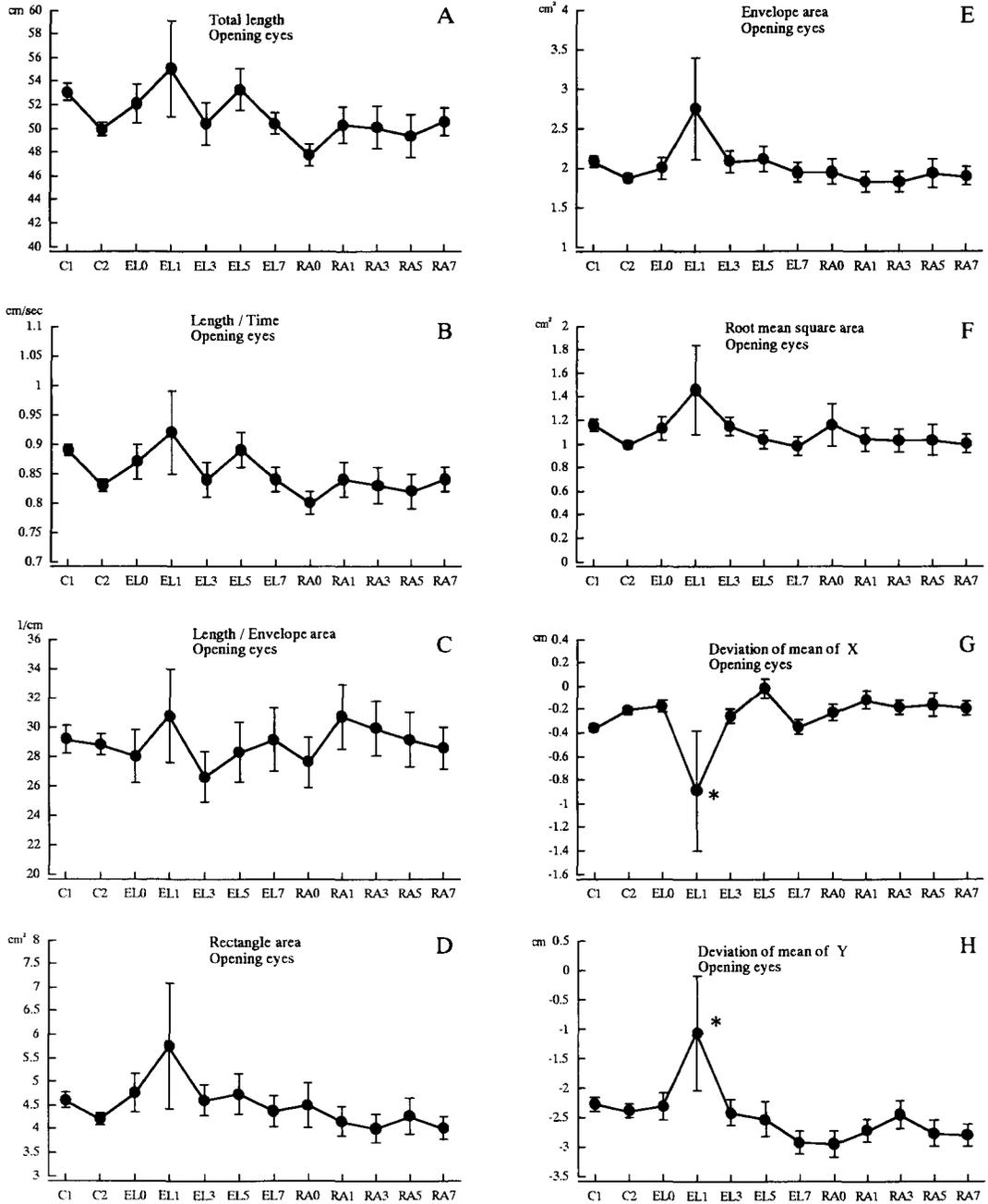


Fig. 4. Bonferroni's multiple range tests (* $p < 0.05$) among the items which had significant differences from a comparison of the average value of opening eyes' EGG change with passage of day by eyes' EGG change with passage of day by One-way Repeated-Measures ANOVA ($p < 0.05$). Each point represents the average \pm S. E.

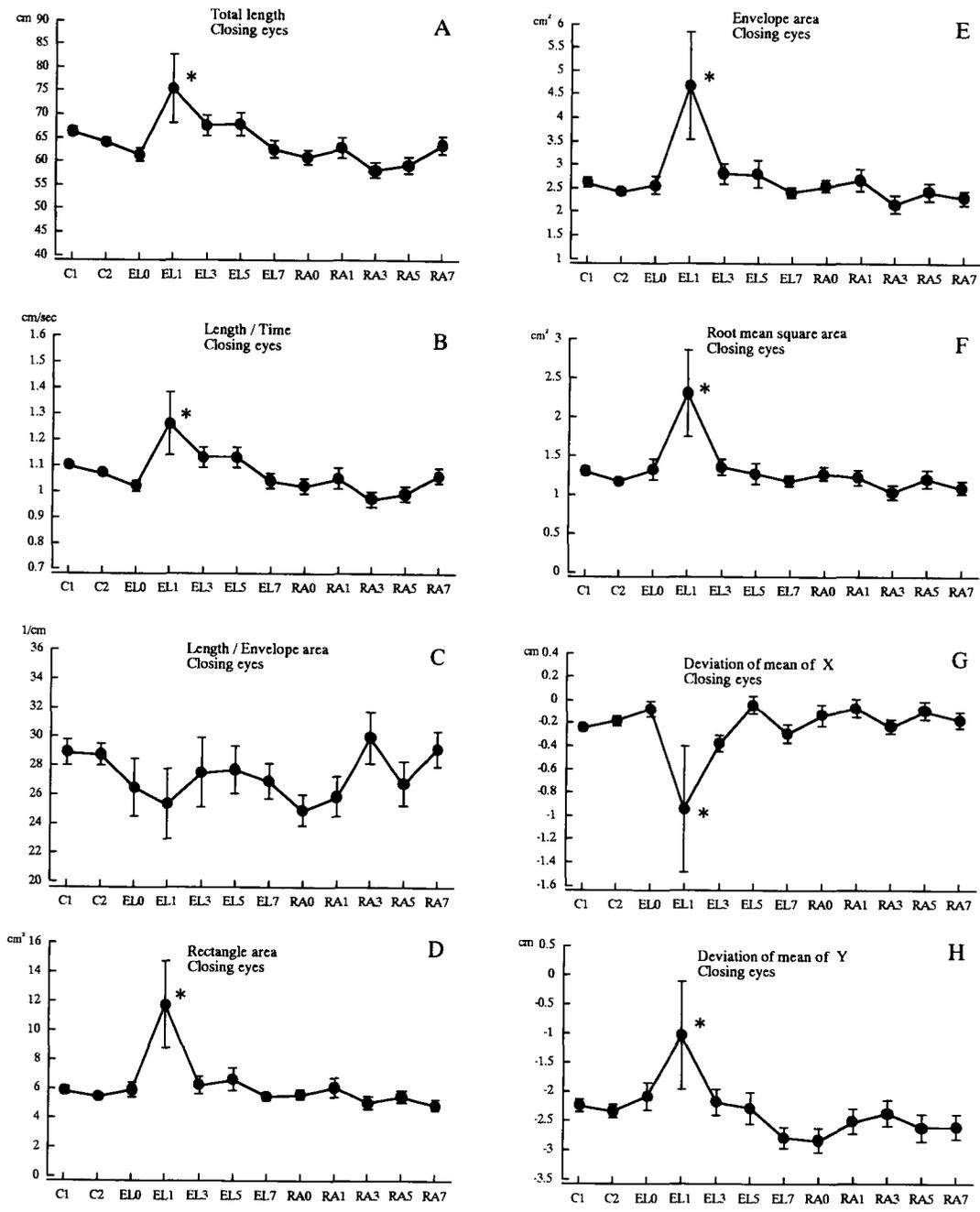


Fig. 5. Bonferroni's multiple range tests (* $p < 0.05$) among the items which had significant differences from a comparison of the average value of closing eyes' EGG change with passage of day by One-way Repeated-Measures ANOVA ($p < 0.05$). Each point represents the average \pm S. E.

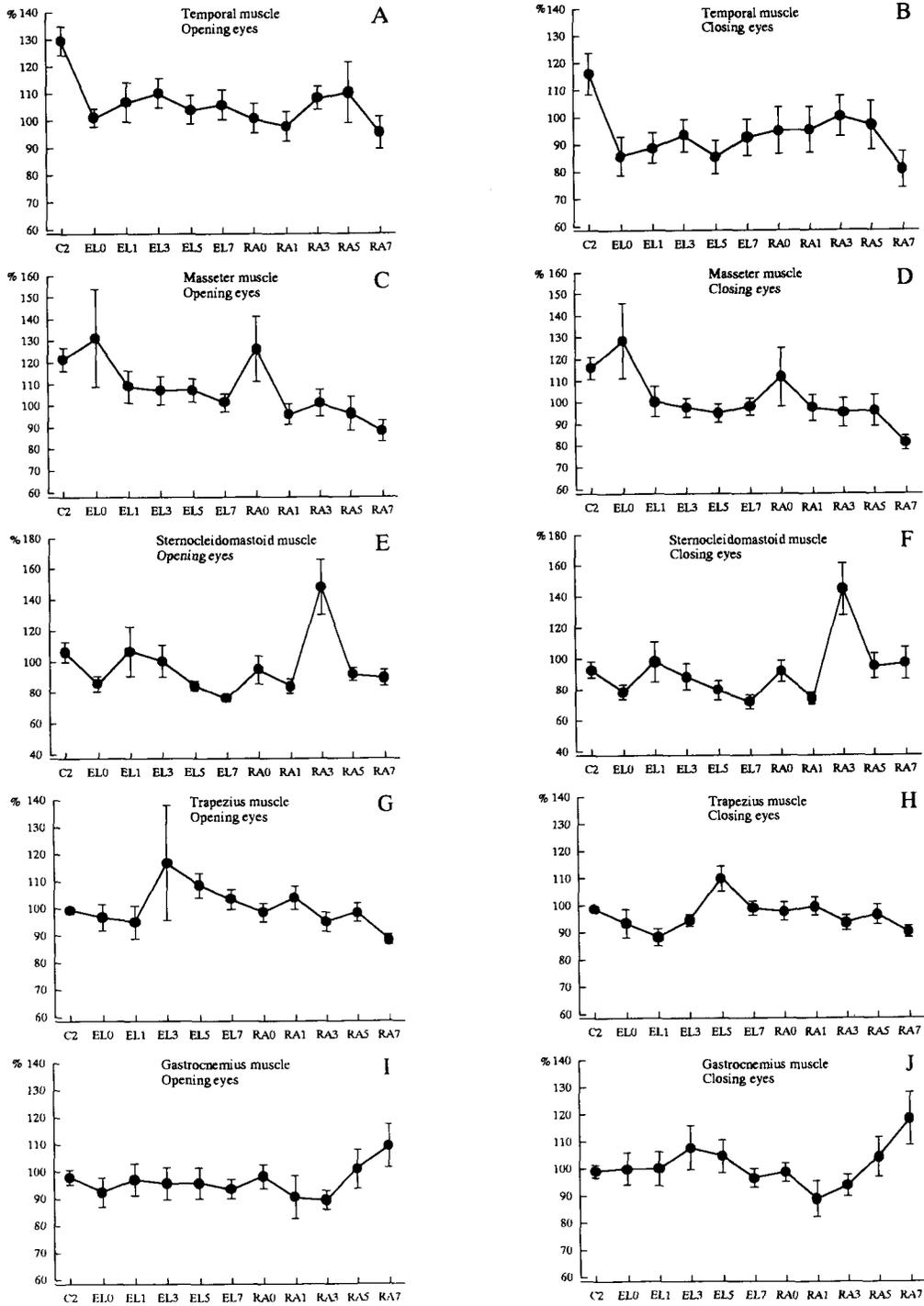


Fig. 6. The EMG change with passage of day that was convert to percentage data as C1 was 100%. Each point represents the average \pm S. E.

考 察

1. 研究方法

(1) 口腔内装置

矯正臨床において、AngleⅡ級1類不正咬合の治療で用いるⅡ級ゴム²¹⁻²⁴⁾の使用は、1940年代よりTweed¹⁸⁻²⁰⁾によって提唱されてきた。

Ⅱ級ゴムによる矯正力は、下顎大臼歯の挺出による咬合平面の傾斜、そして上顎前歯の後下方への傾斜移動を可能とし²¹⁾、この様なメカニクスの持続により、歯周組織や下顎頭のリモデリングを伴った下顎骨や下顎歯列の近心移動が可能になると考えられる。

対象者にⅡ級ゴムを使用させる場合、マルチブラケット装置の様な、通常矯正臨床で用いられる装置を用いると、実際に歯の移動が生じてしまう。そこで本研究では、極力不必要な個々の歯の移動防止を目的とするため、本来歯の動的治療後に用いられる、歯列全体を覆う可撤式保定装置である口腔内装置(クリアリテーナー²⁶⁾(Fig.1)を用いた。口腔内装置装着時は、上下顎共に咬合面を被うために、咬合が若干挙上されることになる。咬合挙上量は、中切歯部において約2.3mm、第1大臼歯部において約1.8mmであった(Fig.2)。

口腔内装置装着状態でⅡ級ゴムを使用したことから、上顎全歯を含む上顎歯槽部への後下方への牽引と、下顎全歯を含む下顎骨の前上方への牽引が生じたと考えられる。

さらに今回は、片側200gの強さでⅡ級ゴムを使用した。これ以上の強さを用いることは、矯正臨床上非現実的であるため、一般的に一番利用頻度が高いと思われる片側200g²⁰⁾の強度に設定し、研究を行った。

(2) 口腔内装置とⅡ級ゴムの使用

本研究での口腔内装置とⅡ級ゴムとの使用に際し、対象者に生じたと考えられる変化については、次のように推測できる。1)咬合挙上と下顎骨の前上方への牽引に伴う下顎位、下顎頭の顎関節窩内での位置的变化。2)咬合挙上と下顎骨の前上方への牽引に伴う下顎骨付着筋お

よび頸部筋の筋長の変化。3)口腔内装置装着による口腔粘膜、舌、歯からの物理的变化に対しての求心性の刺激伝達。4)Ⅱ級ゴムの使用による歯への矯正力。5)歯に加わる矯正力によって生じる歯根膜の圧迫、伸展。それに伴う歯根膜感覚の閾値変化。6)歯の移動に伴う局所の炎症症状と疼痛。7)咬合接触点の変化に伴う歯根膜感覚の変化。さらには、8)研究を通して対象者に精神・心理的ストレス等も加わっている可能性がある。

本研究におけるⅡ級ゴムの使用に際し、下顎骨の前方誘導が引き起こされるが、同時に生体反応として、後方への反作用も起こっているものと考えられる。このことから、本研究では、下顎の水平的等尺性運動中の頸部、肩部の筋活動が特に後方牽引運動時に増大したという吉松ら⁸⁾の報告と近似した結果が予想される。

顎関節の構造から見て、下顎の限界運動範囲では、咬頭嵌合位から下顎の最前方位への移動量は、最後方位への移動量よりも必然的に大きくなる。したがって、Ⅱ級ゴムの使用による下顎の前方への牽引は、Ⅲ級ゴムの使用による下顎の後方への牽引よりも下顎の移動範囲が大きくなるため、顎関節を通して人体に対するストレスはより大きくなるのではないかと考えられる。

(3) 重心図

ヒトの全身の重心は、地上で身長³⁸⁾の56%の高さという比較的高い位置にあり³⁹⁾、狭い支持面である足底部で支えられているという物理的に不安定な状態にあるため¹⁶⁾、ヒトの直立起立姿勢は静止しているものではなく絶えず僅かな動揺を繰り返しつつ動的平衡を保って維持されている³⁹⁾ことが知られている。1929年には既に秤を用いた重心図の記録方法⁴⁰⁾が考案され、ヒトの重心動揺をとらえている。

重心動揺とは重心そのものの動きを意味するが、今回用いたストレングージ方式の重心動揺計にて計測する場合、実際に記録されるのは真の重心動揺ではなく、重心動揺に伴う足圧中心の動き(床反力中心点の動き)である³⁴⁾。しかし

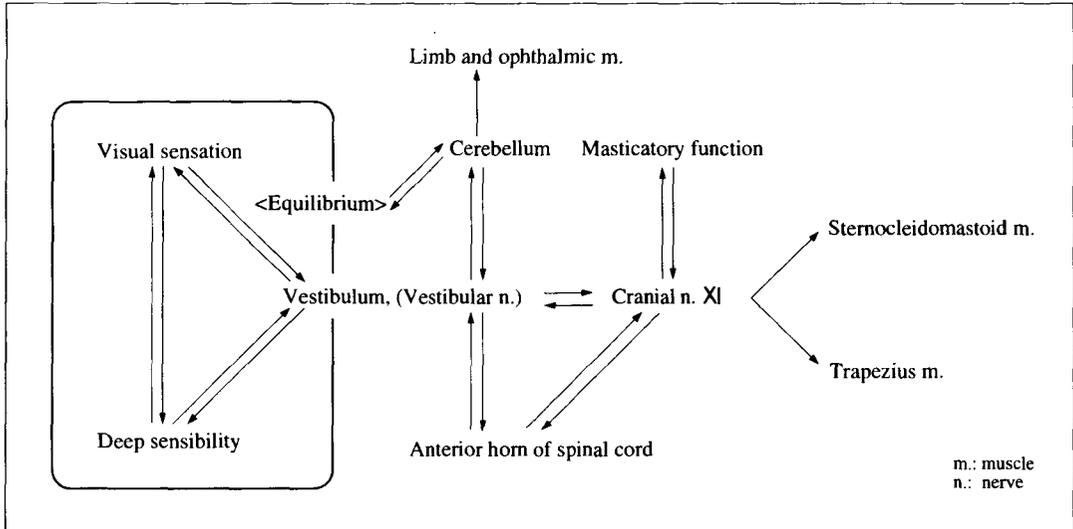


Fig. 7. The relation between the stomatognathic muscle function system and the equilibrium sense.

通常の静止起立時には両者の差異はほとんどないとされているため⁴¹⁾、今回はこの足圧中心を重心動揺としてとらえた。

一般的には、重心図は接地面に投影する重心の動揺を示すもので、直立位重心図は、一定時間における対象者の直立能力を端的に表現しており、機能障害を有する患者の評価および治療効果の判定を定量的に行うことが可能である⁴²⁾。

田口ら⁴³⁾は閉眼の場合の重心動揺の変化を次のように述べている。前庭動眼反射への視覚情報の遮断および眼瞼閉鎖とともに眼球が上転し、外眼筋深部受容器が刺激され、閉眼の当初には重心動揺が増す初期閉眼効果が、閉眼後約10秒の間に現れる。この初期閉眼効果の終了後、やがて前庭反射、深部知覚反射さらに体表反射（主として足底のトルク増加）によって比較的安定した経過を示す。開眼、閉眼の動揺軌跡距離の差はその後ほぼ一定で、これを閉眼効果と呼んでいる。

したがって、本研究での閉眼時測定では、データサンプリング開始時期は安定期に入ってから閉眼開始約20秒後^{15,33)}とした。なお、計測は、60秒間行った。

(4) 筋電図

筋電図記録時には、側頭筋前部 (TM)、咬筋中央部 (MM)、胸鎖乳突筋中央部 (SM)、僧帽筋後頸部 (下行部) (TR)、腓腹筋外側頭中央部 (GM) の計5筋を選択した。これらの筋からの筋電図記録を行うときには、物理的、精神的要因において、なるべく重心動揺に悪影響を与えないようにするため、導出コードは、できるだけぶつつかない様に対象者の体に密着させ、かつ体の一部が引っ張られる様なテンションが掛からないように注意した。

Fig.7は、平衡感覚が前庭系、視覚系、深部知覚系との有機的な働きにより保たれていることを示す。前庭系は、第XI脳神経（副神経）にて咀嚼とインタラクションがあり、第XI脳神経は、胸鎖乳突筋と僧帽筋を支配している⁴⁴⁾。ゆえに、咀嚼機能の障害は、第XI脳神経と前庭系を介し、平衡機能への悪影響が考えられる。また、胸鎖乳突筋と僧帽筋の状態把握により、第XI脳神経レベルにおける機能障害の程度がうかがわれ、ひいては咀嚼機能や平衡機能を評価する上で、重要なデータとなり得ることが考えられる。このことから、筋電図記録部位は、咀嚼筋の他に胸鎖乳突筋と僧帽筋とを加え、データの評価を行うこととした。

地上1G下におけるヒトの直立姿勢の保持に

は下肢などの抗重力筋の反射性収縮が重要な役割を演じている。特に下腿後面の腓腹筋とヒラメ筋（下腿三頭筋）そして前脛骨筋が抗重力筋活動として重要視されており⁴⁵⁻⁴⁷、これらの筋電図検査は、平衡障害の程度やその推移判定に役立つ⁴⁸と考えられている。以上のことから本研究の被験筋の一つとして、抗重力筋である腓腹筋も選択した。

2. 成績

(1) 重心図における開眼時と閉眼時との比較
経日的変化をみた場合、日によって重心動揺の各計測項目で有意差が認められたのは、開眼時では、X軸方向動揺平均中心偏位、Y軸方向動揺平均中心偏位の2つの計測項目であった。一方、閉眼時では、単位面積軌跡長を除く他の計測項目全てに、有意な経日的変化が認められた（Fig. 5, 6）。身体の平衡は、主として、視覚、前庭覚、深部知覚の3つの入力に脳幹、小脳等の中枢で統合制御され、最終効果器である筋肉に出力されることによって保つといわれている⁴⁹。開眼時と閉眼時との差については、視覚からの情報が前庭動眼反射に及ぼす影響が大きく、そのフィードバック機構により重心動揺を補償し、姿勢を安定化するといわれている視性代償効果⁵⁰によって説明できる。すなわち、開眼時と閉眼時とは、視覚系の情報入力の遮断のみが条件として異なり、体性感覚系の情報入力では両者に差はない。よって、閉眼時での計測では、より前庭迷路由来の平衡調節機能の効果に絞られた結果が得られたと考えることができる。

Brookhartら⁵¹やMoriら⁵²は、体性感覚系からの信号はフィードバック的に、視覚と前庭系からの信号はフィードフォワード的に働くと推定している。そして直立姿勢の維持を予測するという極めて高度な判断が、姿勢制御機構において重要な役割をしているため、なるべくこのようなフィードフォワード的予測が不可能な状況下で重心動揺の測定を行うほうがより再現性における精度が高いと報告している。

上記の理由から、今回は開眼時と閉眼時との

違いで結果に差が生じたと考えられるが、有意差の結果以外、経日的変化のパターンは類似していた。

(2) 経日的変化

重心図の結果から、C1の各項目における対象者の数値は、一般母集団から得られた健常者の値⁵³に近似しており、C1と口腔内装置のみ装着時のC2とを比較した場合、重心図各計測項目で両者に有意な差は認められなかった。しかし、僅かにC2の時点での重心動揺が減少している傾向が認められた（Fig. 4, 5）。

現に、マウスガード¹²やテンプレートの装着による咬合の挙上と安定が、不良姿勢の改善や重心動揺の減少につながったとの報告などから、若干の咬合の挙上により、重心動揺が安定する可能性が推測できる。

単位面積軌跡長を除く各計測項目でのEL1における変化量の増加について、II級ゴムの使用により平衡調節機構へ何らかの刺激が持続的に加わり、1日後にその反応がピークに達した事が推測される。またこれ以降、徐々にC1の値に収束するような順応反応が認められた。よって、持続的に働かせたII級ゴムによる水平的な顎関係の変化を期待する矯正力は、その使用1日後に平衡調節機構に対し、不安定な状態をもたらしたが、これは一過性のものであり、その後速やかに生体に順応し、自覚症状などの結果からも臨床上当に大きな障害をもたらす可能性はないと考えられる。

一方、筋電図の結果から、C2の時点で咀嚼筋であるTM、MMの筋電図積分値は大きく増加しており、咬合挙上に伴う下顎骨付着筋筋長の変化が直接筋電図に反映されたものと考えられる。TMはEL、RAを通じて筋電図積分値の著明な増加は認められなかった。他方MMは、II級ゴムを使用直後のEL0の時点でC2以上に筋電図積分値が増加した。しかし、1日後のEL1にはC1に近似した値へ戻っていた。MMの筋電図積分値の増加は口腔内から全ての装置を撤去した直後のRA0の時点でも再度認められ、また、SMにおいてはRA3でのみ筋電図

れ、また、SMにおいてはRA3でのみ筋電図積分値の増加が認められた。この変化は、overjet, overbiteの計測結果の変化から考察可能であると考えられる。つまり、筋電図積分値の値が、1. 研究方法についての(2)口腔内装置およびII級ゴムの使用について述べた、1)咬合挙上と下顎骨の前上方への牽引に伴う下顎位、下顎頭の顎関節窩内での位置的变化に依存する割合が大きければ、一度減少したoverjet, overbiteの計測結果が再び増加する際、筋電図積分値に変化が表れることも充分考えられる。

各筋における筋電図積分値の変動の違いは、筋の解剖学的・機能的な違いに起因すると考えられるが、MMがより咬合の挙上や下顎位の変化に対して即時に反応する傾向があったと考えられる。しかし、MMにおける筋電図積分値の増加、すなわち筋緊張は口腔内環境に変化を与えた翌日には消失しており、変化に対する順応が速やかに行われていることが推測できる。

さらにその他のSM, TRで、時期は異なるが、筋電図積分値が増加した場合であっても、それは短期間であり、MMと同様、次回計測時にはほぼ消失していた。

このことは、三浦ら⁵⁴⁾が報告しているように、顎間距離増加後の筋電図学的咀嚼筋機能の評価において、短期間の内に処置前の状態に回復し、神経筋系の順応も比較的短期間の内に獲得されることと一致する結果と考えられる。

GMについては、RAの後半に筋電図積分値の増加傾向が認められたが、これは対象者中、1名の極端な計測値の影響によるものであり、他の4名についてはこのような変化は認められなかった。

筋電図の変化と重心図の変化を対比してみると、咀嚼筋の反応と重心動揺の変化とが必ずしも一致していないことより、僅かな咀嚼筋緊張によって引き起こされる筋紡錘からの中枢性の刺激は、直接的に重心動揺に影響を及ぼすほどのものではないとも考えられる。

しかしながら、著者ら¹⁵⁾が行った過去の研究

では、噛みしめ強度により重心動揺が変化することが判明しており、このことから、咀嚼筋からの求心性の刺激の大きさにより、重心動揺に変化を及ぼす閾値が存在する可能性があると考えられることもできる。

本研究で得られた結果より、咀嚼筋の順応は既に行われているにも関わらず、その後、重心動揺が大きく乱れていることは、1. 研究方法についての(2)口腔内装置およびII級ゴムの使用について述べたように、1)下顎位、下顎頭の顎関節窩内での位置的变化。2)下顎骨付着筋および頸部筋の筋長の変化。3)口腔粘膜、舌、歯からの求心性の刺激伝達。5)歯に加わる矯正力によって生じる歯根膜の圧迫、伸展。それに伴う歯根膜感覚の閾値変化。6)歯の移動に伴う局所の炎症症状と疼痛。7)咬合接触点の変化に伴う歯根膜感覚の変化。8)対象者に加わる精神・心理的ストレス等の7項目のいずれかが影響を及ぼしている可能性が残る。

高田ら⁵⁵⁾は、歯根膜に持続性の器械的刺激を与えたときの平衡調節機構についての変化に関して報告しているが、歯根膜からの持続性の器械的不快刺激は平衡調節機構に影響を及ぼさないとしている。このことから、歯根膜からの求心性の刺激伝達が重心動揺と関連性が稀薄であると考えた場合、1. 研究方法についての(2)口腔内装置およびII級ゴムの使用について述べた、1)下顎位、下顎頭の顎関節窩内での位置的变化。6)歯の移動に伴う局所の炎症症状と疼痛による刺激。8)対象者に加わる精神・心理的ストレス等が主に重心動揺と密接な関連性があると推測される。

島田⁵⁶⁾は水平的な下顎位の変化が、また佐藤⁵⁷⁾は、垂直的な下顎位の変化が重心動揺に影響すると報告している。このことは本研究で強制的に下顎位を変化させた場合と条件が異なるが、下顎頭の顎関節窩内での位置的变化が生じていることでは共通している。また、千田ら⁵⁸⁾は矯正治療を行った患者を対象とした調査から、矯正治療に伴う疼痛は、術後2時間から6時間の間に出現し、最大疼痛は6時間から10

日であると報告している。このことも本研究と照らし合わせると、Table 3で示したように、装置使用初期のEL1, EL3にて歯の痛みを訴えており、歯の移動に伴う局所の炎症症状と疼痛による刺激が生じていたことがうかがわれる。さらにこのような器械的刺激が精神・心理的ストレスサーへと変化した可能性も棄却できない。

以上に述べたような他の研究報告による要因を考慮し、本研究での結果を分析すると、1. 研究方法についての(2)口腔内装置およびⅡ級ゴムの使用について述べた、1)下顎位、下顎頭の顎関節窩内での位置的变化。2)下顎骨付着筋および頸部筋の筋長の変化。6)歯の移動に伴う局所の炎症症状と疼痛による刺激。8)対象者に加わる精神・心理的ストレス等が主に重心動揺と密接な関連性があると推測される。

3. 顎口腔系機能と全身状態との関わり

下顎位の変化が、頭蓋骨⁵⁹⁾や、全身^{56,57)}の重心変化の原因となりうるという様な顎口腔系の状態と全身状態との密接な関連を示す多くの報告がある。

さらに咀嚼筋は、頸部および肩部筋群とともに頭部の位置づけ安定化に寄与しており^{1,60)}、咬合を中心とした顎口腔系のバランスの乱れは、全身状態の1つの変化として平衡調節機構に影響を及ぼす可能性があると考えられている³³⁾。

したがって、咀嚼筋や頸部の筋に過緊張が生じ、身体他部の筋群とのバランスが崩れると、頭位の安定化がはかれなくなり、結果として平衡調節機構に悪影響が及び、姿勢の調節が適正に行われなくなるという可能性が推測される。

本研究で用いたⅡ級ゴムでは、下顎位の近遠心方向のみの変化が主であり、左右偏位もしくはアシンメトリックな刺激ではないため、上記の報告とは必ずしも結果は一致していない。

また本研究では、全身的にも顎口腔系機能にも異常のない健常者を対象としているため、下顎位の変化という刺激に反応する閾値が高く、恒常性を保つ許容度も広いことが考えられる。一方で、全身のあるいは顎口腔系機能に何らか

の異常を持つ者は、刺激に反応する閾値が低く、かつ恒常性を保つ許容度も狭く障害を来しやすい可能性がある。このような観点から考えると、下顎位を変化させるような治療において、治療経過中に重心動揺の測定を行うことは、円滑に治療を進めて行くうえで、また身体との調和のとれた下顎位を求めるうえで、重要な情報を提供してくれるものと考えられる。

今後、本研究での知見をもとに、咬合と平衡調節機構との関連性についてさらに検討を重ねて行くつもりである。

結 論

1. Ⅱ級ゴムによる矯正力は、その使用1日後に平衡調節機構に対し、不安定な状態をもたらしたが、これは一過性のものであり、その後速やかに生体はその状態に順応する傾向が認められた。

2. 顎口腔系機能等に異常のない健常成人では、Ⅱ級ゴムによる矯正力の影響は、自覚症状などの結果からも、生体に対し、臨床特に大きな障害をもたらす可能性はないものと考えられた。

3. 下顎位を変化させるような場合、経時的に重心動揺の測定を行うことは、円滑に治療を進めて行くうえで、また身体との調和のとれた下顎位を得るうえで、重要な情報となりうる可能性が示唆された。

謝 辞

稿を終えるにあたり、ご指導、ご校閲を賜りました岩手医科大学歯学部歯科矯正学講座三浦廣行教授、同歯科補綴学第二講座石橋寛二教授、同口腔生理学講座北田泰之教授に謹んで感謝の意を表します。また、本研究を進めるにあたり終始ご指導、ご鞭撻頂きました同歯科矯正学講座佐藤和朗助手に深謝申し上げます。さらに、本研究のお手伝いを頂いた同歯科矯正学専攻大学院生の益田勉先生と、終始多大なるご協

力を頂きました同歯科矯正学講座医局員各位、同歯科矯正学専攻大学院生各位に感謝の意を表します。

本論文の要旨の一部は、第 57 回日本矯正歯科学会（1998 年 10 月、仙台）において発表した。

文 献

- 1) Graber, T. M., ed.; 中後忠男, T.J. 青葉, 松本光生ほか訳, 歯科矯正学 理論と実際, 医歯薬出版, 東京, 161, 1976; Orthodontics principle and practice; 3rd ed., W. B. Saunders Co., Philadelphia, 1972.
- 2) Kelly, T. H. and Goodfriend, J. D.: Vertigo attributable to dental and temporomandibular joint causes, *J. Prosthet. Dent.*, 14: 159-173, 1964.
- 3) 武田悦孝: ヒトの睡眠中の Bruxism に関する臨床的研究 - 実験的咬合干渉付与前, 付与後, 除去後における筋電図, 脳電図, 眼球運動図, 心電図, 呼吸曲線, 精神内分泌の反応, ならびに臨床所見の経日的比較検討一, 歯学, 71: 276-337, 1983.
- 4) 萩原 彰, 小林義典: ヒトの睡眠中の Bruxism に関する臨床的研究 - 水平的実験的咬合干渉付与前, 付与後, 除去後における筋電図, 脳電図, 眼球電図, 心電図, 呼吸曲線, 臨床所見, ならびに精神内分泌反応の経日的分析一, 歯学, 73: 946-1019, 1985.
- 5) 植野公雄: 咬合の改善とめまい症状の消退に関する症例から, *Quintessence*, 5: 84-93, 1986.
- 6) 二木 隆: 咬合の改善によりメニエール病が治癒した症例について, *Quintessence*, 5: 94-101, 1986.
- 7) 尾澤文貞, 尾澤徳子, 尾澤暢彦, 三澤 裕: 咬合の再構成によって多くの不定愁訴が消失した臨床例, *日顎頭蓋会誌*, 1: 50-51, 1988.
- 8) 吉松 正, 浪越建男, 小山善哉, 菅 浩二, 藤井弘之: 顎筋の等尺性収縮持続に伴う顎・肩部の筋活動の変化, *補綴誌*, 33: 1044-1049, 1989.
- 9) Kaufman, R. S.: Case reports of TMJ repositioning to improve scoliosis and the performance by athletes, *N. Y. State Dent. J.*, 46: 206-209, 1980.
- 10) 窪田金次郎: 咀嚼システムと生体機能システム, *Jpn. J. Sports Sci.*, 11: 349-352, 1992.
- 11) 谷口 尚, 大山喬史: 咬合とスポーツパフォーマンスに関する研究の現状と問題点について, *Jpn. J. Sports Sci.*, 11: 365-370, 1992.
- 12) 山田健久, 梶賢一郎, 澤木桂弘, 藤内 祝, 上田実: スポーツ選手における重心動揺に関する研究 - カスタムメイドマウスガードの有用性について -, *口科誌*, 47: 380-384, 1998.
- 13) 河村洋二郎, 藤本順三, 船越正也, 三木敬一: “かみしめ”により生じる身体機能変化に就て, *大阪大歯誌*, 1: 47-58, 1956.
- 14) 宮原隆雄: 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.
- 15) 石亀 勝, 三浦廣行, 佐藤和朗, 古町瑞郎, 益田勉, 石川富士郎: 噛みしめが重心動揺に及ぼす影響に関する研究, *顎機能誌*, 4: 133-143, 1998.
- 16) 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.
- 17) 島田 淳, 榎津徳弘, 高山和比古, 青野 晃, 月村直樹, 宮田正則, 佐藤武司, 武田友孝, 石上恵一, 大木一三: 顎関節症患者の治療前後において重心動揺軌跡に変化の認められた一症例, *日大歯学*, 65: 1-9, 1991.
- 18) Tweed, C. H.: The Application of the principles of the edgewise arch in the treatment of malocclusions: I., *Angle Orthod.*, 11: 5-11, 1941.
- 19) Fischer, B.: Treatment of class II, Division 1 (Angle) Occipital ancholedge, *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.*, 33: 705-737, 1947.
- 20) Merrifield, L. L.: Edgewise sequential directional force technology, *J. Chas. H. Tweed Int. Found.*, 14: 22-37, 1986.
- 21) Fidler, B. C., Årtun, J., Joondepth, D. R. and Little, R. M.: Long-term stability of Angle Class II, division 1 malocclusions with successful occlusal results at end of active treatment, *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.*, 107: 276-285, 1995.
- 22) Philippe, J.: Mechanical analysis of Class II Elastics, *J. Clin. Orthod.*, 29: 367-372, 1995.
- 23) Park, C. O. and Cho, K. W.: Nonextraction treatment of Class II, Division 1 malocclusion, *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.*, 109: 227-233, 1996.
- 24) Keim, R. G., Collins, B., Morgando, C., Smart, F., Zeigler, R. and Wasson, J.: Two phase treatment of a severe Class II, Division 1 malocclusion, *Am. J. Orthod. Dentofacial Orthop.*, 109: 461-465, 1996.
- 25) 田近由美子: 重心動揺移動距離と重心動揺図 (X 軸長, Y 軸長) についての研究, *金沢大十全医会誌*, 88: 122-137, 1979.
- 26) 大川 覚: クリアリテーナーの臨床的評価, *日臨矯歯医会誌*, 8: 3-8, 1996.
- 27) 日本平衡神経科学会 “平衡機能検査の標準化検討委員会”: 重心動揺検査の基準, *Equilibrium Res.*, 42: 367-369, 1983.
- 28) 五島桂子: 重心動揺検査の検討 - 検査条件について -, *Equilibrium Res.*, 47: 174-186, 1988.
- 29) 徳増厚二, 大久保仁, 加藤 功, 高橋正紘, 竹本節子, 水野正浩, 八木聡明, 吉本 裕, 藤野明人: 平衡機能検査法基準化のための資料 1987 年平衡機能検査法基準化委員会答申書, *Equilibrium Res.*, 47: 221-244, 1988.
- 30) Guyton, A. C. ed.; 内齒耕二 監訳: 神経系の構造と機能, 医歯薬出版, 東京, 193-208, 1976:

Structure and function of the nervous system, W. B. Saunders Co., Philadelphia, 1972.

- 31) Wilkins, R. H. and Brody, I. A. : Romberg's sign, *Arch. Neurol.*, 19 : 123-126, 1968.
- 32) 石坂美恵子, 横山義昭 : 指標と重心動揺-重心と接地足趾からみた姿勢保持の評価のために-, 静岡大学教養部研究報告, 自然科学編, 15 : 101-110, 1979.
- 33) 宮田敏則, 佐藤武司, 島田 淳, 榎津徳弘, 武田友孝, 石上恵一, 大木一三 : 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.
- 34) 時田 喬 : 重心動揺検査の実際, アニマ株式会社, 東京, 1-15, 1994.
- 35) 時田 喬 : 重心動揺面積・軌跡長検査の総合的評価-レーダーチャート(グラビチャート)を用いた検査-, アニマ株式会社, 東京, 2-3, 1995.
- 36) 大川 剛, 時田 喬, 柴田康成, 小川徹也, 宮田英雄 : 重心動揺検査-単位面積軌跡長の意義-健康者における検討, *Equilibrium Res.*, 54 : 296-306, 1995.
- 37) 三好豊二, 白戸 勝, 樋渡章二 : 身体動揺方向間の相関, *Equilibrium Res.*, 37 : 107-112, 1978.
- 38) Dempster, W. T. : Space requirements of the seated operator; geometrical, kinematic, and mechanical aspects of the body with special reference to the limbs, *W. A. D. C. Technical Report*, 55-159 : 1-254, 1955.
- 39) 時田 喬, 鈴木淳一, 曾田豊二 : 神経耳科学II検査, 金原出版, 東京, 14-34, 1985.
- 40) Basler, A. : Zur Physiologie des Hockens, *Zeitschrift für Biologie*, 88 : 523-530, 1929.
- 41) 田口喜一郎 : 身体動揺測定の進歩と臨床的意義, 耳鼻臨床, 76 : 133-147, 1983.
- 42) 月村泰治 : 重心図, 整形外科, 28 : 722-731, 1977.
- 43) 田口喜一郎, 依田美千穂 : 重心動揺軌跡距離測定法, 日耳鼻会報, 79 : 835-843, 1976.
- 44) 北野英基 : 歯科医院でできるめまいの診断と治療-神経内科学からの考案-, *Quintessence*, 5 : 102-112, 1986.
- 45) 間野忠明, 御手洗玄洋 : 低重量状態におけるヒトの直立姿勢の制御, 姿勢-第2回姿勢シンポジウム論文集, 243-247, 1977.
- 46) 間野忠明 : ヒト直立姿勢の反射性制御, 臨脳波, 19 : 223-229, 1977.
- 47) 日比野隆一, 小野田嶺雄, 古池保雄, 橋爪真言, 祖父江逸郎 : 立位姿勢における下腿三頭筋伸張反射活動に関する一考察, 脳波と筋電図, 8 : 181-187, 1980.
- 48) 山崎万里子, 檜 学, 中西和仁 : 起立姿勢における下肢拮抗筋活動性の種々相-めまい・平衡失調例における検討-, 耳鼻臨床, 76 : 557-575, 1983.
- 49) 八木聰明 : めまいの診療に必要な生理学的知識, *Mod. Physician*, 9 : 409-413, 1989.
- 50) 田口喜一郎 : 重心動揺の正常範囲について, 耳鼻咽喉, 46 : 415-420, 1974.
- 51) Brookhart, J. M., Mori, S. and Reynolds, P. J. : Postural reactions to two directions of displacement in dogs, *Am. J. Physiol.*, 218 : 719-725, 1970.
- 52) Mori, S., Reynolds, P. J. and Brookhart, J. M. : Contribution of pedal afferents to postural control in the dog, *Am. J. Physiol.*, 218 : 726-734, 1970.
- 53) 時田 喬 : 重心動揺検査-その実際と解釈-, アニマ株式会社, 東京, 2-37, 1996.
- 54) 三浦廣行, 村田賢司, 大沢俊明, 金野吉晃, 亀谷哲也, 石川富士郎 : 咀嚼筋機能の順応に関する実験的研究, 岩医大歯誌, 12 : 233-240, 1987.
- 55) 高田健治, 北井則行, 澤田玲子, 宮脇正一, 山崎多恵, 作田 守 : 歯根膜感覚の変化が体平衡調節機能に与える影響について, 第53回日本矯正歯科学会大会抄録集 : 179, 1994.
- 56) 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.
- 57) 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.
- 58) 千田まどか, 三浦廣行, 佐藤和朗, 間山寿代, 石川富士郎 : 歯の移動時の疼痛に対するバイトウェハースの臨床効果について, 日歯心身医学会誌, 13, 1998 (投稿中).
- 59) Kraus, H. : Muscle function of the temporomandibular joint, *Dent. Clin. North Am.*, 10 : 553-558, 1966.
- 60) Mints, V. W. : The orthopedic influence, edited by Morgan, D.H. et al. : Disease of the temporomandibular apparatus, 197-201, The C.V. Mosby Co., St. Louis, 1977.