骨格性下顎前突症患者的咀嚼筋に関する 筋電図学的ならびに組織化学的研究

根 岸 正 志

Electromyographic and histochemical studies of the masticatory muscles in patients with mandibular prognathism

Tadashi NEGISHI

Abstract : This study was designed to identify differences in the masticatory muscles between patients with mandibular prognathism and normal subjects. Electromyograms during maximum centric occlusion and in the occlusion adjusted to 5 kg by the use of a jaw force meter (NIHON KOHDEN Co.) were recorded at the masticatory muscles (masseter, anterior and posterior temporal muscles) by means of surface electrodes. The occlusal force and total contact area during maximum occlusion were recorded and calculated using an Occlusal Prescale System (Fuji Film Co.). Thirteen patients with mandibular prognathism and 20 subjects without craniomandibular dysfunction were studied in terms of their electromyographic signals and occlusal force before and after orthognathic surgery. Histochemical analysis of the masseter muscles was carried out in 9 patients and 4 normal subjects.

The results were as follows :

1) The masseter muscles are the main muscles during masticatory movement in subjects without biting malfunction. The anterior temporal and posterior temporal muscles change their activity according to the working side and the balancing side.

2) It was found that patients had higher electromyographic activity than subjects without malfunction in a closed-jaw position before surgery.

The total-contact-area and occlusal force were significantly lower in patients compared with the normal group. There was no difference in average biting pressure.

3) After orthognathic surgery, total-contact-area of centric occlusion and occlusal force were increased. There were no significant differences between patients and subjects without malfunction. There were also no significant differences in average biting pressure between the two groups both before and after surgery.

4) There was a period of electric-overdischarge among the patients for 2 or 3 months after operation. Concurrently, a change in load ratio among the muscles was noted.

5) A so-called "type 1 fiber predominance" masseter in which type 1 fibers accounted for over 55% of muscle fibers was found frequently in the patients. In some cases, electric-myographic volume was still high even after operation. This was found particularly among patients with a high-Type 1 fiber-ratio.

Key words : mandibular prognathism (骨格性下顎前突症), electromyographic study (筋電図学的研究), histochemical analysis (組織化学的分析), occlusal force (咬合力), orthognathic surgery (外科的矯正手術)

緒 言

骨格性下顎前突症は、頻度の高い顎変形症の1つであり、患者の多くは咀嚼障害ならびに審美障害を訴える。近年、外科的矯正治療の進歩と普及により、咬合の改善と同時に顎顔面形態の改善を図ることが可能となっている。しかし、患者咀嚼筋の機能が、外科的矯正治療後にいかなる変化をきたすかについてはほとんど解明されていない。一方、骨組織および筋組織の成長発育は互いに密な関係を有しており、ある種のミオパチーに関連して、下顎骨の突出・前頭洞の巨大化・高口蓋など、顎顔面骨の形成に異常を生じることが古くから知られ¹⁻³⁾、骨格性下顎前突症患者の咀嚼筋組織に異常所見を認めたとの報告が少数ながら見うけられる⁴⁻⁶⁾。しかし、骨格性下顎前突症患者の咀嚼筋については、筋活動性と組織学的所見の両面から検討した研究はほとんど見当たらない。両者の関連性の有無をあきらかにすることは、骨格性下顎前突症患者の治療を行う上で、また本症の成り立ちを解明する上で、重要な指針を与えるものと考えられる。本研究は、骨格性下顎前突症患者の外科矯正術前ならびに術後における咀嚼筋筋活動を、筋電図を用いて経時的に観察・分析するとともに、咀嚼筋組織を組織化学的に検索し、正常者との差異ならびに本症における筋組織所見と筋活動との関係を追求しようとするものである。

実 験 対 象

実験対象を以下のとおり選択・分類した(表1)。

1. 骨格性下顎前突症の診断に基づき、当科にて下顎枝矢状分割法による下顎後退術を予定した患者で、実験に同意を得ることのできた13名(男性5名、女性8名、年齢16～29歳、平均19歳)を術前群とし、このうち術後も定期的に筋電図測定が可能であった7名を経過観察群とした。各症例の手術時下顎後退量は表2に示すとおりである。

2. 骨格性要因を認めない正常咬合者20名(男性10名、女性10名、年齢15～28歳、平均19歳)を筋電図および咬合力に関しての対照(以下正常群と略す)とした(表1)。

3. 骨格性要因を認めない正常咬合者4名(男性4名、年齢16～24歳、平均20歳)の咬筋生検標本を筋病理学的検索上の対照とした(表1)。これら正常咬合者の筋生検は、下顎骨折手術後(6～12か月)のプレート除去時に患者の同意を得て行った。

実験方法ならびに装置

1. 予備実験ならびに正常群における測定

正常咬合者の筋活動を分析するとともに、術前群・経過観察群における実験条件を決定するための指標を得る目的で、正常群を用い以下の実験を行った。

1) 測定項目とその方法

(1) 筋電図測定

シールド・ルーム内で被検者をフランクフルト平面が水平になるよう椅子に座らせ、以下の咬合時の筋電図を測定した。また、任意に中心咬合位で最大かみしめを行わせた(以下最大かみしめ)。ついで咬合力計(日本光電製)(写真1)を用い、バイトエレメントを上顎第1大臼歯に当て、検者が咬合の強さを指示、規制して5 kg 咬合、10 kg 咬合、15 kg 咬合を行わせた(以下それぞれ、5 kg 咬合、10 kg 咬合、15 kg 咬合とする)。この際、バイトエレメントを当てた側を作業側、反対側を平衡側とし左右両側で行った。筋電図の誘導部位は、両側の咬筋、側頭筋前腹、側頭筋後腹とした。直径 10.9 mm の表面電極にカルジオクリームを塗り電極間距離 15 mm で双極誘導とし、不関電極を耳垂に設置した(図1)。電極貼付時の皮膚抵抗は 20 kΩ 以下になるように留意した⁷⁾。計測記録装置は、多用途計測記録装置(日本光電製ポリグラフシステム RM-6000)を用いて、生体電気入力箱(JB-642G)を介して生体電気用アンプに導き、これを多用途積分ユニット(EI-600G)により時定数 30 msec で積分し、筋電図原波形、積分波形をペン書きオシログラフ(WI-681G)を用い、紙送り速度 10 mm/sec にて記録した。分析は三村⁸⁾、平原⁹⁾らの方法により EMG 積分値を測定し、筋の活動性を評価することとした(図2)。検定は t 検定を用いた。

(2) 咬合力の測定

最大かみしめ時筋電図測定の際の咬合を、感圧フィルム(フジフィルム社製プレススケール中圧用)を用い

表 1 実験対象

1. 患者群(骨格性下顎前突症の診断で下顎枝矢状分割術を施行した患者)
術前群(骨格性下顎前突症患者) 13名(男性5名、女性8名、年齢16～29歳、平均19歳)
経過観察群(上記中術後経過観察できた者) 7名(男性3名、女性4名、年齢16～29歳、平均19歳)
2. 正常咬合者群(骨格性要因を認めない正常咬合者)
正常群(予備実験ならび筋電図、咬合力測定対象) 20名(男性10名、女性10名、年齢15～28歳、平均19歳)
口腔外科手術患者(咬筋浅部生検による組織化学的染色の対象) 4名(男性4名、年齢16～24歳、平均20歳)

写真 1 咬合力計とバイトエレメント

表 2 実験対象とした患者の内訳

	症例 No.	年齢・性別	下顎後退量 (mm)
術前群	1	18 ♀	(左) 14.0 (右) 19.0
	2	26 ♂	(左) 9.4 (右) 10.6
	3	20 ♂	(左) 8.5 (右) 9.0
	4	18 ♀	(左) 11.0 (右) 10.0
	5	26 ♀	(左) 12.0 (右) 10.0
	6	21 ♀	(左) 10.0 (右) 11.0
	7	16 ♀	(左) 13.0 (右) 11.5
	8	16 ♀	(左) 16.0 (右) 13.0
	9	29 ♀	(左) 13.0 (右) 12.0
	10	18 ♀	(左) 10.0 (右) 11.0
	11	16 ♂	(左) 10.5 (右) 11.5
	12	17 ♂	(左) 11.0 (右) 4.0
	13	18 ♂	(左) 8.5 (右) 4.5
平 均		19 歳	(左) 11.3 (右) 10.5

て記録し、咬合力測定装置(明電舎製、MEISCOPE L1)を用いて総接触面積、咬合力を測定し、平均咬合圧を算定した^{10)~12)}。

2) 実験結果

(1) 筋電図について

正常群の最大かみしめ時の EMG 積分値は、咬筋が大きく、側頭筋前腹が小さい傾向があったが各筋間に有意差は認めなかった(表 3)。咬合力計を用いた 5 kg 咬合、10 kg 咬合、15 kg 咬合時の EMG 積分値は、作業側では側頭筋前腹が最も大きく、次に咬筋の順で、側頭筋後腹はこの 2 筋に比し有意に低かった(表 4)。しかし、平衡側では咬筋が最も大きく、側頭筋前腹、側頭筋後腹の順となり、3 筋間に有意差を認めた。各筋の筋活動の EMG 積分値の順序は、5 kg、10 kg、15

kg のいずれの咬合においても変わらなかった(表 5)。また、側頭筋は前腹・後腹とも作業側が平衡側より有意に大きい値を示したが、咬筋では有意差を認めなかった(表 5)。

三村⁸⁾、Yemm¹³⁾、横山¹⁴⁾、平尾¹⁵⁾、北總¹⁶⁾によれば表面電極を用いた場合の筋電図の振幅ないし積分値と筋の張力との間には、直接的相関関係がある。本予備実験でも EMG 積分値は 5 kg、10 kg、15 kg と咬合力の増加に伴い、いずれの筋も直線的に増大する傾向が認められ(図 3、4)、EMG 積分値を筋活動の強さの指標として用いることが確認できた。

(2) 咬合力について

最大かみしめ時の咬合力は、正常群では平均 132.8 kg であり、全例が 100 kg 以上の値を示した(表 6)。

以上の結果にもとづき、主実験における下顎前突症患者の最大かみしめ時および咬合力計を用いて規制した咬合時の筋電図、ならびに咬合力測定は、予備実験と同一装置・方法で行うこととした。ただし、術直後の患者では咬合力が著しく低下することから、咬合力計を用いた測定については、術後 1 か月からでも測定可能な 5 kg 咬合を用いることとした。

2. 主実験

術前群 13 名を用いて、筋電図測定、咬合力測定、筋生検を行い、骨格性下顎前突症患者の外科矯正治療前の筋活動の様相を正常群と比較検討するとともに、筋活動と咬合力および、筋組織所見との関係について検討した。また、経過観察群 7 名については下顎枝矢状分割術施行後 1 か月から 18 か月まで定期的に筋電図・咬合力測定を行い、術前後の変化を追跡するとともに、正常群と比較検討した。なお、患者 13 名のすべてに術前矯正・術後矯正が行われ、術前矯正期間は平均 13 か月(最長 18 か月、最短 5 か月)、経過観察群の術後矯正期間は平均 7 か月(最長 12 か月、最短 5 か月)であった。いずれも術直後は咬合板を介した顎間固定を 2 週間行った。検定は t 検定を用いた。

1) 筋電図の測定

術前群の最大かみしめ時、5 kg 咬合時における筋電図を、予備実験と同一装置・条件で測定した。経過観察群では、さらに術後 1 か月、2 か月、3 か月、6 か月、12 か月、18 か月に測定した。術後の筋電図は、術前と同じ位置から誘導するように配慮した。すなわち、術前に筋電図を採得した電極貼付位置を、外側眼瞼交連と耳介上縁を結ぶ線および下顎角からのこの線に引いた線に基づいて記録し、術後も同一部位に電極を貼付し筋電図を記録した(図 1)。

2) 咬合力の測定

術前群および経過観察群の最大かみしめ時の咬合力を、筋電図測定と同時に予備実験と同じ装置・条件で測定した。

3) 筋生検ならびに筋病理学的検索

図 1 筋電図の誘導部位と経過観察時に同一部位で測定するための、電極（黒丸）貼付位置の測定・記録法

図 2 EMG 積分値の測定

表 3 正常群の最大かみしめ時の EMG 積分値

	平均 ($\mu\text{V} \cdot \text{sec}$)	標準偏差	信頼度 99%の範囲
咬筋	142.6	87.3	≥ 107.3 189.9 $\geq$
側頭筋前腹	116.2	40.4	≥ 92.3 140.1 $\geq$
側頭筋後腹	131.6	70.5	≥ 94.2 169.0 $\geq$
検定結果	咬筋↔側頭筋前腹		n. s
	側頭筋前腹↔側頭筋後腹		n. s
	側頭筋後腹↔咬筋		n. s

n = 40 信頼度 99%の範囲の推定は t 推定による.

n. s : 有意差なし

術前群および経過観察群 13 症例のうち、同意が得られた 9 症例について筋生検を行った。生検の対象として、各種口腔外科手術中に最少限の侵襲で容易に採取でき、他の報告においても組織化学的分析の対象となっている。咬筋浅部前縁を選択して、下顎後退術中または術後のスクリュー除去手術の際に採取した（表 7）。検体は液体窒素（ -160°C ）中で冷却したイソペンタンを用いて急速凍結し、標本作成まで液体窒素中に凍結保存した。検体は -20°C でクリオスタットを用いて、 $8\mu\text{m}$ 厚の切片とし、埜中¹⁷⁾らの方法に準じて、H-E, Gomori トリクローム変法, actomyosin ATPase

表 4 正常群の各咬合力での EMG 積分値

		作業側			平衡側		
		平均 $\mu\text{V} \cdot \text{sec}$	標準偏差	信頼度 99%の範囲	平均 $\mu\text{V} \cdot \text{sec}$	標準偏差	信頼度 99%の範囲
咬筋	5 kg 咬合	18.9	9.3	≥ 13.4 24.5 $\geq$	19.9	10.5	≥ 13.4 26.4 $\geq$
	10 kg 咬合	30.7	13.9	≥ 22.4 39.0 $\geq$	34.2	20.5	≥ 23.5 45.0 $\geq$
	15 kg 咬合	43.5	18.7	≥ 33.1 54.0 $\geq$	49.3	26.5	≥ 33.1 65.5 $\geq$
側頭筋前腹	5 kg 咬合	24.3	12.1	≥ 17.7 30.9 $\geq$	12.5	7.2	≥ 8.2 16.8 $\geq$
	10 kg 咬合	38.3	16.5	≥ 29.7 46.9 $\geq$	20.3	12.6	≥ 13.2 27.3 $\geq$
	15 kg 咬合	57.1	22.7	≥ 44.8 69.3 $\geq$	28.9	15.5	≥ 20.1 37.8 $\geq$
側頭筋後腹	5 kg 咬合	13.6	8.6	≥ 8.3 19.0 $\geq$	8.6	5.4	≥ 5.2 12.0 $\geq$
	10 kg 咬合	19.2	10.5	≥ 13.3 25.1 $\geq$	11.3	6.3	≥ 7.1 15.4 $\geq$
	15 kg 咬合	29.9	17.1	≥ 20.3 39.5 $\geq$	16.1	8.5	≥ 10.4 21.8 $\geq$

n = 40 信頼度 99%の範囲の推定は t 推定による.

表 5 正常群の各筋 EMG 積分値の有意差検定

	作業側			平衡側		
	5 kg	10 kg	15 kg	5 kg	10 kg	15 kg
咬筋↔側頭筋前腹	n. s	n. s	n. s	*	**	**
側頭筋前腹↔側頭筋後腹	**	**	**	*	**	**
側頭筋後腹↔咬筋	**	**	**	**	**	**

	作業側↔平衡側		
	5 kg	10 kg	15 kg
咬筋	n. s	n.s	n. s
側頭筋前腹	**	**	**
側頭筋後腹	**	**	**

n = 40
** p < 0.01 * p < 0.05
n. s : 有意差なし

図 3 正常群作業側の EMG 積分値

図 4 正常群平衡側の EMG 積分値

表 6 正常群の咬合力

	平均	標準偏差	信頼度 99%の範囲
総接触面積 (mm ²)	117.3	51.5	≥ 84.4 150.2 ≥
咬合力 (kg)	132.8	42.4	≥ 105.6 159.6 ≥
平均咬合圧 (kg/mm ²)	1.21	0.21	≥ 1.07 1.34 ≥

n = 20 信頼度 99%の範囲の推定は t 推定による.

(以下 ATPase), NADH-tetrazolium reductase (以下 NADH-TR), コハク酸脱水素酵素 (以下 SDH) 染色を行い, 必要に応じてチトクローム c 酸化酵素, 酸フォスファターゼ染色を追加した(表 7). ATPase 染色については, アルカリ側の前処置を pH 10.4~pH 11.0 まで 0.1 きざみで, 酸性側の前処理を pH 4.9~pH 4.3 まで 0.1 きざみで行った. 各染色標本について北川ら^{4~5)}の分類法に従いタイプ 1 線維, タイプ 2 線維 (2A+2B, 2C) の割合を算出した. また, ミトコン

ドリア活性, その他について検索を行った.

結 果

1. 筋電図ならびに咬合力

1) 術前群について

(1) 筋電図測定結果

最大かみしめ時の EMG 積分値は, 正常群同様に咬筋が最大で, 以下, 側頭筋後腹, 側頭筋前腹の順であっ

表 7 筋生検を行った時期および用いた染色法

症例 No.	1	2	3	5	6	8	9	10	11
筋生検の時期	術中	術中	術中	術中	術中	術後12か月	術後6か月	術後10か月	術後18か月
染色法									
H-E	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Gomori トリクローム変法	○	○	○	○	○	○	○	○	○
actomyosin ATPase	○	○	○	○	○	○	○	○	○
NADH-tetrazolium reductase	○	○	○	○	○	○	○	○	○
コクハ酸脱水素酵素 (SDH)	○	○	○	○	○	○	○	○	○
チトクローム c 酸化酵素						○	○	○	
酸フォスファターゼ								○	

たが(表8), 正常群に比し側頭筋前腹が有意に低く, 咬筋, 側頭筋後腹は有意差がなかった. 各筋間では, 咬筋と側頭筋前腹の間にのみ有意差があった.

5 kg 咬合の EMG 積分値では, 作業側, 平衡側のいずれでも咬筋, 側頭筋後腹, 側頭筋前腹の順に大きな値を示し, 咬筋, 側頭筋前腹, 側頭筋後腹の作業側, 平衡側のいずれもが, 正常群に比し有意に大きい値を示した(表9). 各筋の間では, 作業側で咬筋と側頭筋前腹との間に有意差があり, 同じ筋の作業側と平衡側の間ではすべて有意差が認められた.

(2) 咬合力

総接触面積は 55.9 mm², 咬合力は 57.8 kg で, いずれも正常群に比し有意に小さい値であった(表10). 平均咬合圧は 1.23 kg/mm² で, 正常群と有意差を認めなかった.

2) 経過観察群について

(1) 筋電図測定結果

最大かみしめ時の EMG 積分値は, 正常群に対し, 術前は術前群 13 名と同じく, 側頭筋前腹のみが有意に小さな値を示し, 術後は側頭筋後腹が術後 1 か月と 6 か月に有意に小, 側頭筋前腹が術後 12 か月に有意に小, 術後 18 か月に有意に大となった以外に有意差はなかった(表11, 図5). 術前との比較では, 術後 6 か月に咬筋に有意に小, 術後 18 か月に側頭筋前腹と側頭筋後腹が有意に大であった. また, 咬筋, 側頭筋前腹, 側頭筋後腹 3 筋の EMG 積分値の検定では, 術前の咬筋と側頭筋前腹間にのみ有意差を認め, 他の時期には認めなかった(表11, 図5).

5 kg 咬合では, 術前の EMG 積分値は 3 筋の作業側, 平衡側いずれも正常群に比し有意に大であった. 作業側では, 咬筋の術後 3, 6, 12 か月, 側頭筋前腹と側頭筋後腹の 12 か月以降において正常群と有意差を認めなかった. 術前に対しては, 咬筋と側頭筋後腹

の値が術後 2 か月以降有意に小さいのに対し, 側頭筋前腹は術後 1, 2 か月のみ有意に大きく, 術後 3 か月以降は差を認めなかった(表12, 図6). 平衡側では, 咬筋は術後 2 か月以降, 側頭筋後腹は術後 6, 18 か月で正常群との間に有意差を認めなかったが, 側頭筋前腹は術後 18 か月まで有意に大きい値が続いた. 術前との比較では, 咬筋は術後 1 か月では有意に大であったが, 術後 2 か月以降は有意に小となり, 側頭筋後腹も術後 3 か月以降は有意に小さい値となった(表12, 図7). 側頭筋前腹では, 術後 1, 2 か月に有意に大きく, 術後 3 か月以降, 差はなかった.

術後の咬筋, 側頭筋前腹, 側頭筋後腹の活動性の検定結果は, 作業側では術後 2 ~ 6 か月に, 側頭筋前腹と咬筋, 側頭筋後腹の間に有意差を認め, 平衡側では術後 2 ~ 3 か月の時期に, 側頭筋前腹と咬筋の間に, 術後 2 ~ 6 か月と 18 か月の時期に, 側頭筋前腹と側頭筋後腹の間に有意差を認めた. 同じ筋を, 作業側と平衡側の間で比べると, 咬筋は術後 2 か月に有意差を認め, 側頭筋前腹では術前と術後 2, 3, 6, 18 か月に, 側頭筋後腹では, 術前と術後 1, 2, 6 か月に有意差を認めた(表12).

(2) 咬合力

総接触面積と咬合力は, 正常群に対して術前から術後 6 か月まで有意に小さいが, 術後 12 か月以降に増加して有意差を認めなくなった(表13, 図5). また術前に対しては, 術後のどの時期も有意差を認めなかった. 平均咬合圧は, 術後 1, 2 か月で術前に対して有意に小さい以外有意差は認めず, 正常群に対してはすべての時期で有意差が認められなかった.

2. 筋生検

正常咬合者 4 名の咬筋の生検結果は, タイプ 1 線維が 43.1%, タイプ 2A+2B 線維が 52.3%, タイプ 2C 線維は 4.6%であった(表14, 写真2).

表 8 術前群の最大かみしめ時の EMG 積分値

	平均値 ($\mu\text{V} \cdot \text{sec}$)	標準偏差	正常群との検定
咬筋	108.4	61.5	n. s
側頭筋前腹	69.1	29.9	> * *
側頭筋後腹	92.6	44.2	n. s

咬筋↔側頭筋前腹	* *	正常群 n = 40, 術前群 n = 26 > : 有意に小 ** p < 0.01 * p < 0.05 n. s : 有意差なし
側頭筋前腹↔側頭筋後腹	n. s	
側頭筋後腹↔咬筋	n. s	

表 9 術前群の 5 kg 咬合時 EMG 積分値および正常群との検定結果

		咬筋	側頭筋前腹	側頭筋後腹
作業側	平均 ($\mu\text{V} \cdot \text{sec}$)	57.5	35.3	42.8
	標準偏差	37.2	12.7	18.9
	正常群との検定	< * *	< *	< * *
平衡側	平均 ($\mu\text{V} \cdot \text{sec}$)	36.2	23.1	26.5
	標準偏差	23.6	9.4	12.0
	正常群との検定	< * *	< * *	< * *

各筋間での検定結果

	作業側	平衡側
咬筋↔側頭筋前腹	* *	n. s
側頭筋前腹↔側頭筋前腹	n. s	n. s
側頭筋後腹↔咬筋	n. s	n. s

作業側・平衡側間での検定

咬筋↔咬筋	*
側頭筋前腹↔側頭筋前腹	* *
側頭筋後腹↔側頭筋後腹	* *

正常群 n = 40, 術前群 n = 26 < 有意に大 ** p < 0.01 * p < 0.05 n. s : 有意差なし

表 10 術前群の咬合力および正常群との検定結果

	総接触面積 (mm ²)	咬合力 (kg)	平均咬合圧 (kg/mm ²)
平均 (標準偏差)	55.9 (53.2)	57.8 (47.4)	1.23 (0.20)
正常群との検定	> *	> * *	n. s

正常群 n = 20, 術前群 n = 13 > : 有意に小
** p < 0.01 * p < 0.05 n. s : 有意差なし

ヒト成人の正常な骨格筋はほとんどの部位で、タイプ 1 線維、タイプ 2A 線維、タイプ 2B 線維がほぼ同じ太さで 1/3 ずつモザイク状に分布し、未分化なタイプ 2C 線維は認めないとされる¹⁷⁾。しかし、咬筋（咬筋浅部）では線維の太さが不揃いで、タイプ 2 線維の直径がタイプ 1 線維の約 1/2 程度と細く、比率はタイプ 1 線維が 41~45%、タイプ 2A+2B 線維が 54~55%で少数のタイプ 2C を認め、特異な所見を呈することが報告されている^{5,6,18,19)}。今回の正常咬合者の咬筋所見は、これまでの報告とおおむね一致していた。

下顎前突症患者 9 名の咬筋では、タイプ 1 線維が約 62%を占め、タイプ 1 線維の割合が高かった (表 14)。

また 9 症例中 5 例 (症例 No. 1, 2, 3, 5, 11) に、神経原性筋疾患と無関係にタイプ 1 線維が 55%以上を占める、いわゆるタイプ 1 線維優位¹⁷⁾が、認められた (写真 3)。術後生検の 2 例 (症例 No. 8, 10) において、SDH 染色でタイプ 1 線維のミトコンドリア活性が高い所見が認められた。正常群および術前に生検を行った症例 (症例 No. 1, 2, 3, 5, 6) にはそのような所見は認められなかった (写真 4)。術後 10 か月の症例 No. 9 では、ATPase 染色でタイプ 2 線維の大小不同がひときわ顕著な所見を認めた (写真 5)。

表 11 経過観察群の最大かみしめ時 EMG 積分値の測定時期ごとの正常群, 術前, 各筋間の検定結果

		術前	術後 1 か月	術後 2 か月	術後 3 か月	術後 6 か月	術後 12 か月	術後 18 か月
咬筋	正常群との検定	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s
	術前との検定		n. s	n. s	n. s	> * *	n. s	n. s
側頭筋前腹	正常群との検定	> * *	n. s	n. s	n. s	n. s	> * *	< * *
	術前との検定		n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	< * *
側頭筋後腹	正常群との検定	n. s	> *	n. s	n. s	> * *	n. s	n. s
	術前との検定		n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	< * *
咬筋↔側頭筋前腹		*	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s
側頭筋前腹↔側頭筋後腹		n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s
側頭筋後腹↔咬筋		n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s

正常群 n = 40, 経過観察群 n = 14 < : 有意に大, > 有意に小 ** p < 0.01 * p < 0.05 n. s : 有意差なし

図 5 経過観察群の最大かみしめ時 EMG 積分値と咬合力の推移

考 察

下顎前突症に対する治療法として, 下顎枝矢状分割法による下顎後退術が本邦に導入されてから約 20 年が経過している。しかし本手術を行った患者の術前・術後の筋活動を, 筋電図学的に分析した研究は小坂²⁰⁾, 高橋²¹⁾の報告をみるのみである。さらに術後経過については, 津留ら²²⁾が 1 症例について術後 6 か月まで観察したにとどまり, 咀嚼筋活動の手術後の経時的変化ないし最終的な活動性については不明な点が多い。一方, 筋の組織化学的染色が, この領域にも導入されるに伴い, 下顎前突症患者の咬筋に, 正常人と異なる所見が高頻度に認められるとの報告がされるようになった⁴⁻⁶⁾。本研究で, 下顎前突症患者の術前の筋活動の特徴を筋電図学的にあきらかにするとともに, 術後変化を経時的に追求し, さらに筋の組織化学的染色によって, 筋電図学的特徴と筋組織所見の関連性の有無を追

求しようと試みた。

正常咬合者の最大かみしめ時の咬筋, 側頭筋後腹, 側頭筋前腹の EMG 積分値の間に有意差は認めなかった(表 3)。咬合力計を用いての 5 kg, 10 kg, 15 kg 咬合時の EMG 積分値は, 作業側で咬筋と側頭筋前腹に対し側頭筋後腹が有意に低かったが, 平衡側では咬筋, 側頭筋前腹, 側頭筋後腹の順で 3 筋の間に有意差を認めた。また, 作業側と平衡側との比較では咬筋のみ有意差を認めなかった(表 4, 5)。北總¹⁶⁾は正常咬合者の咀嚼筋について, 咬筋の活動性が最も高く, 主働筋であり, 側頭筋前腹と側頭筋後腹は協調的に働くとし, Christensen ら²³⁾は, 最大かみしめ時に咬筋が側頭筋前腹より活動性が高いと報告している。本研究の結果では最大かみしめにおける主働筋は不明であったが, 咬合力計を用いた測定結果からは, 咬筋が咬合時において主要な役割を果たし, 側頭筋前腹, 側頭筋後腹が作業側・平衡側で活動性を変化させることで両側のバランスを保っている可能性が示唆された。

下顎前突症患者の術前においては, 最大かみしめ時の EMG 積分値は, 咬筋, 側頭筋後腹では正常群との間に差を認めず, 側頭筋前腹では有意に低かった。しかし 5 kg 咬合時にはいずれの筋の EMG 積分値も正常群に比し有意に高かった(表 9)。このことから, 同じ 5 kg の咬合力を発生させるために, 下顎前突症患者では正常咬合者より大きな筋電図学的活動が必要であることがあきらかになった。

咬合力測定の結果, 術前群では最大かみしめ時の平均咬合圧は正常群と有意差を認めなかったものの, 総接触面積は有意に小さく, 咬合力も有意に低値となっていた(表 6, 10)。小太刀¹⁰⁾が指摘するように, 平均咬合圧は歯周組織の負担の限界により規制され, 患者群と正常群では大きな差を生じないが, 患者群では総接触面積が少ないため, 咬合力としては低値になった

表 13 経過観察群の咬合力および正常群ならびに術前との検定結果

			術前		術後 1 か月		術後 2 か月		術後 3 か月		術後 6 か月		術後12か月		術後18か月	
総接触面積	平均 (mm ²)	標準偏差	35.1	19.7	30.3	18.2	32.9	17.3	34.6	7.6	31.4	8.2	86.4	47.3	77.6	25.9
	正常群との検定		n. s		> *		> *		n. s		> *		n. s		n. s	
	術前との検定				n. s		n. s.		n. s		n. s		n. s		n. s	
咬合力	平均 (kg)	標準偏差	67.1	48.1	28.8	16.1	39.6	23.0	42.3	13.3	42.5	13.5	99.5	27.4	95.0	18.5
	正常群との検定		> *		> *		> *		> *		> *		n. s		n. s	
	術前との検定				n. s		n. s		n. s		n. s		n. s		n. s	
平均咬合圧	平均(kg/mm ²)	標準偏差	1.35	0.27	1.02	0.11	1.07	0.11	1.24	0.31	1.60	0.64	1.28	0.37	1.32	0.30
	正常群との検定		n. s		n. s		n. s		n. s		n. s		n. s		n. s	
	術前との検定				> *		> *		n. s		n. s		n. s		n. s	

正常群 n = 20, 経過観察群 n = 7 > : 有意に小 ** p < 0.01 * p < 0.05 n. s : 有意差なし

表 14 骨格性下顎前突症患者および正常咬合者の筋線維の割合

各筋線維の占める割合 (%)			
症例 No.	タイプ 1	タイプ 2A+2B	タイプ 2C
1	84.0	11.6	4.4
2	57.3	38.4	4.3
3	68.6	26.1	5.3
5	94.8	2.9	2.3
6	54.1	43.7	2.2
8	22.7	71.5	5.8
9	41.0	53.3	5.7
10	40.3	57.8	1.9
11	95.0	2.6	2.4
平均 (S. D)	62.0 (21.0)	34.2 (20.8)	3.8 (1.4)
正常咬合者の平均 (S. D)	43.1 (1.9)	52.3 (1.0)	4.6 (2.3)

と思われる。

今回、咬合力測定に用いたシステムは、マイクロカプセル化した発色剤を均一に塗布した横 60 mm×縦 68 mm の感圧フィルムに記録された咬合圧痕をテレビカメラにより入力し、1 ドット 0.2791 mm² の解像度で演算処理し、総接触面積、咬合力を算出し、咬合力/総接触面積により平均圧力を算出するものである。ポリエチレンテレフタレートによるラッピングを含めた感圧フィルムの厚さは、115 μ と薄く、中心咬合位最大かみしめ時にも、実際の咬合接触状態に近い測定が

可能とされる¹¹⁻¹²⁾。下顎枝矢状分割術時の侵襲、あるいは術後 2 週ないし 3 週間の顎間固定の影響により、術後 1 か月目では軽度の開口障害を呈する症例が多いが、感圧フィルムを用いる本測定方法は、大開口を必要としないため、術直後患者の咬合力測定に最適の方法と考えられる。

経過観察群の最大かみしめ時の総接触面積と咬合力は術前に比べ、術後はどの時期も有意差を認めないものの、平均値では術直後は一時的に低下し、術後 12 か月以降には術前の約 1.5～2 倍になった。EMG 積分値は、術前から術後 6 か月までは少ない変動幅で推移したが、術後 18 か月には、各筋とも術前の約 2 倍に増加し、咬筋には有意差がなかった(図 5)。一方、総接触面積、咬合力は術後 12 か月、EMG 積分値は 18 か月以降は平均値が上昇したが、個人差が大きくなる傾向が顕著で、有意差を認めるには至らなかった。特に術後 12 か月頃は術後矯正が終わり保定に入る患者、術後矯正中の患者など口腔内の状況がそれぞれ違うことなど、患者の個人差が大きいためと考えられ、今後症例数を増やして検討することが必要と思われた。平均咬合圧は術直後一過性に低下するものの、その後は術前と変わらないにもかかわらず(表 13)、最大かみしめ時 EMG 積分値が術後 18 か月時に増大した理由として、咬合に参加する歯数の増加ならびに術後矯正による咬合接触面積の増加の結果、咬合力の総和としては大きい力を生じることが可能となり、筋活動が高まったと考えられる。広瀬ら^{28,29)}はチューインガム法により、術前は正常者に比し有意に低かった咀嚼能力が術後矯正、保定の終了の時に増大し、正常咬合者と同程度となると報告している。今回、経過観察群で術後 18 か月時に筋活動、咬合力が急激に増加した結果(図 5)と一致するとも考えられる。

津留ら²²⁾は、1 例の測定結果に基づき、術後は各筋の

咬合時における負担の割合が変わるとしている。今回の実験では、5 kg 咬合で、側頭筋前腹の活動性が作業側、平衡側ともに、術後1、2 か月前に対し有意に増加し、また作業側では咬筋と側頭筋後腹に対し術後2～6 か月、平衡側では咬筋に対し術後2～3 か月、側頭筋後腹に対しては術後2～6、18 か月に有意に大であった(表12)。このことから少なくとも術後2 か月時には、各筋の負担の割合が変化したことが考えられる。ある運動に熟達しようと練習を始めた場合、筋活動は練習開始直後より1～2 か月後の方が高まり(放電過剰期)、その後習熟に伴い筋活動は低下し、熟達者と同様な筋活動を示すことが知られている^{7,33)}。5 kg 咬合時の、術後1～3 か月の筋活動の高まりは、術前の筋活動から術後の新しい顎位での筋活動への移行期における筋放電の異常とも考えることができる。

下顎前突症患者的咀嚼筋組織が、正常人のそれと異なる場合があることは、すでに少数ながら報告がある⁴⁻⁶⁾。しかしそのような患者の筋活動がどのような特徴を有するかについては不明である。今回の患者の中に EMG 積分値が異常に高い症例が散見された(図8)。そこで、筋組織の組織化学的染色を行った。本研究で行った7種類の組織化学的染色(表7)のうち、ATPase 染色は、最も線維タイプの分別がよく、生理的特性とよく合致するとされている¹⁷⁾。この ATPase 染色の結果、9 症例中症例 No. 1, 2, 3, 5, 11 の5 症例で、北川ら^{5,6)}が報告しているあきらかなミオパチーと考えられるタイプ1線維優位の所見を認めた(表14)。そこで、各症例の ATPase 染色所見と筋電図とを対比した結果、これら5 症例のうちでも、タイプ1線維の占める割合が特に高い3 症例(症例 No. 1, 5, 11)は、筋電図学的に他の6 症例と異なる結果を得た。すなわち、この3 症例は、術前群の5 kg 咬合において、咬筋の作業側で高い EMG 積分値を示した集団と一致していた(図8)。このうち筋電図による経過観察を行うことのできた症例 No. 11 では、術後18 か月時の最大かみしめの際、咬合力は正常群と同程度にとどまっているのに、EMG 積分値は、咬筋 1050 $\mu\text{V} \cdot \text{sec}$ 、側頭筋前腹 529.5 $\mu\text{V} \cdot \text{sec}$ 、側頭筋後腹 353.7 $\mu\text{V} \cdot \text{sec}$ といずれも正常群の2～5 倍の高値を示した(図9)。また5 kg 咬合でも、術後3、6 か月の時期には正常群と同じ EMG 積分値の分布範囲に入ったが、術後18 か月では術前とほぼ同じ値に戻り、正常群より大きな筋活動を示した(図10)。すなわち症例 No. 11 では、正常人と同じ咬合力を発生するためには、より大きな筋活動を必要としていたといえる。術中の筋生検でタイプ1線維が特に高い割合を占めた症例 No. 1 にも、同様の傾向が認められた。このことから、タイプ1線維優位の症例のなかでもその割合が特に高い症例(以下高率症例)の筋活動は、正常群とも、経過観察群の他の6 名とも異なることが判明した。

図8 術前群 5 kg 咬合 EMG 積分値の分布
○：タイプ1線維の占める割合の特に高い症例
×：上記以外の症例

このように、高率症例の筋の活動性が高い理由として、タイプ1線維とタイプ2線維との生理学的特性の差による影響が考えられる。タイプ1線維すなわち赤筋は、主として好氣的代謝を営み、疲労し難く、ゆっくりとした持続的運動に向き、遅筋線維といわれる。タイプ2線維すなわち白筋は、主として嫌氣的代謝を営み、収縮持続時間が短く、瞬発的に大きな筋力を出すことができるが、疲労しやすく、速筋線維といわれる。タイプ2線維は、収縮速度と代謝形式の違いによりタイプ2A、タイプ2Bに区別される^{7,24)}。この他に、ATPase 染色により、酸性側、アルカリ側のいずれの処理を行っても、濃染されるタイプ2C線維があるが、これは未分化線維とされ、4～5歳以降は、ほとんど認められない^{17,24)}。筋線維のタイプ別特性から、咀嚼運動のように一定の弱い力で、長時間反芻するような運動には、タイプ1線維が向いており、一方、最大かみしめのように、短時間に強い咬合力を発生させるような運動には、タイプ2線維が向いているとされている。Ringqvist²⁵⁾は、下顎前突症患者的の最大咬合力とタイプ2線維の直径に正の相関関係を認めている。したがって、高率症例では、タイプ2線維がほとんど存在しないために、最大咬合力を発生させる際に、これには不向きなタイプ1線維が主体となるために、筋電位が高くなったと考えられる。

Kyriakides²⁶⁾らは、体幹の骨格筋にタイプ1線維優

図 9 症例 No. 11 の最大かみしめ時の EMG 積分値と咬合力の推移

位の所見を認める患者のうちで、先天性と考えられる患者では、筋そのものよりも、筋線維を支配する末梢神経の欠損や異常の可能性を示唆している。Mancall²⁷⁾は咬筋、側頭筋、翼突筋に局限した、肥大型ミオパチーの症例を報告し第1鰓弓性ミオパチーとの概念を提唱した。これらを併せ考えると、高率症例は、他の下顎前突症の患者群とは異なった咀嚼筋を持っている集団である可能性が考えられた。

術後の生検でタイプ1、タイプ2線維の割合が正常人と同様な2症例(症例 No. 8, 10)では、SDH染色でタイプ1線維のミトコンドリア活性が高まっている所見が、認められた(写真4)。咬合の変化がミトコンドリア活性に変化を起こすことは、井関³⁰⁾、笠井³¹⁾、Maxwell³²⁾らも報告している。本研究でミトコンドリア活性がタイプ1線維で術後高まった原因は、術後の咬合の変化により咀嚼運動に関与の強いタイプ1線維の動員が増したためと考えられる。

以上本研究の結果、骨格性下顎前突症患者的術前・術後における咀嚼筋活動の正常咬合者との異同ならびに術後の変化の様相について、若干の知見を加え得たものとする。また、同患者の一部に咀嚼筋の活動性が下顎前突症患者とも正常咬合者とも異なる集団が存在していることが示唆された。

結 語

骨格性要因を認めない正常咬合者20名と骨格性下顎前突症患者13名を対象に、外科矯正治療前後の筋電図および咬合力の測定を行い、同意を得ることのできた患者については咬筋浅部の組織化学的分析をあわせて行い、以下の結果を得た。

1. 正常咬合者では、咀嚼運動において咬筋が主働で、側頭筋前腹および側頭筋後腹は、作業側・平衡側

図 10 症例 No. 11 の 5 kg 咬合時の EMG 積分値の推移

のために活動量を変化させバランスを保っている様相が認められたが、下顎前突症患者の術前には、この様相を認めなかった。

2. 骨格性下顎前突症患者における術前の中心咬合位最大かみしめ時の筋電図学的活動性は、咬筋・側頭筋後腹が正常咬合者とは有意差なく、側頭筋前腹は有意に低かった。また、総接触面積、咬合力は正常咬合者に比し有意に低値を示すが、平均咬合圧に差を認めなかった。5 kg 咬合時には正常咬合者より大きな筋電図学的活動を必要としていることが判明した。

3. 骨格性下顎前突症患者の術後には、中心咬合位最大かみしめ時の総接触面積、咬合力は増加し、正常咬合者とは有意差を認めなかった。平均咬合圧は術前・術後の全期間を通じ、正常咬合者との間に差を認めなかった。

4. 骨格性下顎前突症患者の術後2～3か月に放電過剰期を認めるとともに、この時期に各筋の負担割合の変化を認めた。

5. 骨格性下顎前突症患者の咬筋には、タイプ1線維の割合が55%以上を占める、いわゆるタイプ1線維優位の症例が認められ、このうち特にタイプ1線維の割合が高い症例では、筋電図学的にほかの患者とは異なり、術後も筋電図値は高く、正常咬合者と同じにならないことが判明した。

稿を終えるに臨み、本研究課題を与えられるとともに終始ご懇篤なご指導、ご校閲を賜った鹿児島大学歯学部口腔外科学第2講座三村 保教授に深甚なる感謝の意を捧げます。また、本研究の遂行にあたり、筋組織化学的染色に関するご指導、ご助言を賜った鹿児島大学医学部第3内科樋口逸郎博士、咬合力測定に関するご助言を賜った鹿児島大学歯学部口腔生理学講座原田秀逸助教授、ならびに実験遂行に協力を頂いた口腔外科学第2講座医局員に深謝します。

本論文の要旨は、第60回日本口腔外科学会九州地方部

会 (1993 年 2 月, 福岡), 第 3 回日本顎変形症学会総会 (1993 年 6 月, 大阪) において発表した。

引用文献

- 1) Caughey, J. E. : Bone changes in the skull indystrophia mytonica. J Bone Joint Surg 34 : 343-361 1952.
- 2) Walton, J. N. and Warrick, C. K. : Osseous changes in myopathy. Brit J Radiol 27 : 1-15 1954.
- 3) Pruzanski, W. : Myotonic dystrophy—a multisystem disease ; report of 67 cases and a review of the literature. Psychiat Neurol Basel 149 : 302-322 1965.
- 4) Ringqvist, M. : Size and distribution of histochemical fibre types in masseter muscle of adults with different states of occlusion. J Neurol Sci 22 : 429-438 1974.
- 5) 北川善政, 橋本賢二, 他 : 顎顔面変形症における咬筋の組織化学的研究—第 1 報 : 女性例について—, 日顎変形誌 1 : 72-79 1991.
- 6) 北川善政, 橋本賢二, 他 : 顎顔面変形症における咬筋の組織化学的研究—第 2 報 : 男性例について—, 日顎変形誌 3 : 31-41 1993.
- 7) 堀 浩 : 筋電図の手引き, 第 1 版, 南山堂, 東京, 1981.
- 8) 三村 保 : 鼻咽腔閉鎖運動時の軟口蓋筋活動に関する筋電図学的研究, 阪大歯学誌 22 : 1-16 1972.
- 9) 平原成浩 : 鼻咽腔閉鎖運動制限が正常人の軟口蓋運動に及ぼす影響, 日口蓋誌 14 : 44-70 1989.
- 10) 小太刀健二 : 反対咬合を伴う片側性唇顎口蓋裂患者の咀嚼機能障害に関する筋電図学的研究, 歯科学報 89 : 1801-1817 1989.
- 11) 木下四郎, 福田光男, 他 : プレスケールを用いた咬合接触面積および咬合圧の新しい測定法について, 日歯周誌 21 : 475-484 1979.
- 12) 野口俊英, 福田光男, 他 : 咬合診査用オックル—ザルプレスケールのラッピングについて, 日歯周誌 25 : 575-581 1983.
- 13) Yemm, R. : The orderly recruitment of motor units of the masseter and temporal muscles during voluntary isometric contraction in man. J Physiol 265 : 163-174 1977.
- 14) 横山松生 : 咬筋表面導出筋電図に関する研究—咬合力との関係について—, 日大歯学 54 : 882-891 1980.
- 15) 平尾文昭 : 下顎の位置変化が咀嚼筋活動に及ぼす影響に関する研究, 歯科学報 77 : 1167-1204 1977.
- 16) 北總征男 : 筋電図棘波計測・電位累積装置による咀嚼筋の機能判定に関する研究, 歯科学報 72 : 189-206 1972.
- 17) 埜中征哉 : 臨床のための筋病理入門, 第 1 版, 日本医事新報社, 東京, 1987.
- 18) Vignon, C. and Serratrice, G. : Further histochemical studies on masticatory muscles. J Neurol Sci 45 : 157-176 1980.
- 19) Serratrice, G. Pellissier, J. F., et al. : The histochemical profile of the human masseter, An autopsy and biopsy study. J Nurol Sci 30 : 189-200 1976.
- 20) 小坂 肇 : 下顎前突症患者における手術前後の筋電図学的研究, 歯科学報 73 : 715-748 1973.
- 21) 高橋善男 : 下顎枝矢状分割法を適用した骨格型下顎前突症の筋電図学的研究, 日口外誌 31 : 2101-2112 1985.
- 22) 津留宏道, 長澤 亨, 他 : 顎変形症患者の咀嚼機能評価, 日顎変形誌 1 : 139-141 1991.
- 23) Christensen, L. V. Carr, A. B., et al. : Observations on the motor control of brief teeth clenching in man. J Oral Rehabi 18 : 15-29 1991.
- 24) 織田敏次, 阿部 裕, 他 : ミオパチー・ニューロパチー, 第 1 版, 永井書店, 大阪 1983.
- 25) Ringqvist, M. : Fibre size of human masseter muscle in relation to bite force. J Neurol Sci 19 : 297-305 1973.
- 26) Kyriakides, T. Silberstein, J. M. et al. : The clinical significance of type 1 fiber predominance. Muscle Nerve 16 : 418-423 1993.
- 27) Mancall, E. L., Patel, A. N., et al. : Hypertrophic branchial myopathy Idiopathic enlargement of the masticatory muscles as a neglected myopathic disorder. Neurology 24 : 1166-1170 1974.
- 28) 広瀬寿秀, 中山二博, 他 : 不正咬合者の咀嚼能力と矯正治療による変化, 日矯歯誌 51 : 302-307 1992.
- 29) 広瀬寿秀, 伊藤学而 : チューイングガム法で測定した咀嚼能力と咬合および顎顔面形態との関連, 日矯歯誌 47 : 746-756 1988.
- 30) 井関富雄 : 咬合変化が咬筋に及ぼす影響に関する電顕的細胞化学的研究, 日口外誌 32 : 363-379 1986.
- 31) 笠井唯克 : 咬合挙上ラット咀嚼筋の崩壊, 再生過程における組織学的, 組織化学的研究, 日口外誌 38 : 1084-1103 1992.
- 32) Maxwell, L. C., Carlson, D. S., et al. : Histochemical characteristics of the masseter and temporalis muscles of the rhesus monkey (Macaca mullatta)¹⁾. Anat Rec 193 : 389-402 1979.
- 33) 梁瀬度子 : 手作業の習熟過程における中枢機能の研究, 奈良医誌 19 : 240-262 1968.

写真 2 正常咬合者咬筋の ATPase 染色像 (×200)

上は pH 4.6, 下は pH 4.4 の前処理を行ったもの。

1 : タイプ 1 線維, 2A : タイプ 2A 線維
2B : タイプ 2B 線維, 2C : タイプ 2C 線維, N : 神経線維

写真 3 症例 No. 1 の ATPase 染色像 (×200)

上は pH 10.8, 下は pH 4.3 の前処理を行ったもので, ほとんどタイプ 1 線維であり, タイプ 2 線維はわずかであることがわかる。

1 : タイプ 1 線維, 2A : タイプ 2A 線維
2B : タイプ 2B 線維, 2C : タイプ 2C 線維

写真 4 正常咬合者と下顎前突症患者の SDH 染色像 (×200)

上は正常咬合者, 中は下顎前突症患者の術前 (症例 No. 3) のものでタイプ 1 線維とタイプ 2 線維の分別が悪い, 下は下顎前突症患者の術後 (症例 No. 10) でタイプ 1 線維のミトコンドリア活性が高まって, タイプ 1 線維とタイプ 2 線維の分別がよい。

1 : タイプ 1 線維, 2 : タイプ 2 線維

写真 5 症例 No. 9 の pH 10.8 で前処理を行った, ATPase 染色像 (×200)

タイプ 2 線維の大小不同が目立つ。

1 : タイプ 1 線維, 2 : タイプ 2 線維