

口唇周囲における複数筋同時収縮の力学と協調性*

小浦方 格^{*1}, 原 利 昭^{*2}Simultaneous Contraction Mechanics and Coordination
of Perioral MusclesItaru KOURAKATA^{*3} and Toshiaki HARA^{*3} Graduate School of Science and Technology, Niigata University,
8050 Ikarashi 2 nocho, Niigata-shi, Niigata, 950-2181 Japan

Orbicularis oris superior (OOS), orbicularis oris inferior (OOI), levator anguli oris (LAO), depressor anguli oris (DAO), and mentalis (Ment) are considered as typical perioral muscles that contribute to the force and pressure occurrence in and around lip aperture. This study presents the experimental and analytical results that show relationships between electrical muscle activities and mechanical parameters on bilabial closing force, puckering force, POM (perioral muscle) value and so forth. Besides, zero-lag correlation coefficients between rectified and smoothed SEMG signals of LAO and DAO was constantly higher than other muscle combinations including OOS-OOI combination considered to be most closely related with lip movement. Among lip tasks, prominently high correlation between LAO and DAO was shown when subjects tried to close their lip bilabially at principally distal part. Consequently authors succeeded to prove the great importance of the coordination between LAO and DAO for producing bilabial consonants, drinking and eating, pooling saliva in oral cavity, and others, while the applicability of POM meter to myofunctional therapy is obscured.

Key Words: Biomechanics, Muscle and Skeleton, Bio-Motion, Lip, Perioral Muscle, Motor Control, Surface EMG, Brass Instrument Performance, Myofunctional Therapy

1. 緒 言

ヒトにとって口腔の最も基本的で且つ重要な役割は、食物や水分を摂取することである。顔面の口裂は、口腔を通して食道から消化器へとつながる通路が外界と最初に接触する入り口であり、取り込まれた食物は口腔内において咀嚼、嚥下される。もう一つの重要で特徴的な機能的役割は、他者とのコミュニケーションに最も有効な手段である言葉話すこと、即ち発音・構音にともなう一連の動作生成である。生物にとって生命機能の維持を最優先と考えるならば、言語生成 (speech production) は付加的な機能とも言える。しかしながら、ヒトを除く多くの動物では、声帯などで発生した何らかの音を、そのまま個体あるいは群間の意志疎通の道具として利用しているのに対し、呼吸器系などの諸器官と併せて口腔周辺の各器官を複雑かつ精

巧に制御し、様々な発音 (pronunciation) を持った言語を自由に操ることができるのはヒトのみである。従って、このような洗練された生理的機能は、ヒトが生まれつき身につけている潜在的機能を、加齢と成長の環境下で訓練により習得するものであるという点で非常に興味深い⁽¹⁾。しかし、複雑且つ多くの口唇周囲筋の巧みな筋収縮制御により、初めて微妙な言葉の構音や豊かな表情の生成が可能となる反面、わずかな機能障害であっても、これらの動作に根本的かつ重大な影響を及ぼすことがある。従って医療の現場では、このような障害を持つ患者に対する簡便、迅速、且つ正確に診断を行うことが重要である。このような観点から、例えば Barlow^{(2),(3)}は、口唇周囲筋や舌の総合的な力を測定可能なトランスデューサを考案し、その評価方法などについて報告している。

一方、歯科矯正学の分野においても、口唇周囲の軟組織から歯列頬面・唇面に作用する接触圧力が歯列形成に大きな影響を及ぼすと言われており、口唇周囲筋力を総合的に測定し、歯列形成との関係を定量的に把握するために、Posen⁽⁴⁾は POM (Perioral Muscle) メー

* 原稿受付 2002年7月29日。

^{*1} 正員, 新潟大学大学院自然科学研究科博士課程(☎950-2181 新潟市五十嵐2の町8050)。^{*2} 正員, 新潟大学工学部。

E-mail: itaru@tmbio7.eng.niigata-u.ac.jp

タの利用を提案しており、その後 Fuhriemann ら⁽⁵⁾, Fogel ら⁽⁶⁾などにより、いくつかの関連した研究が発表されている。また近年では、歯列矯正の動的治療に口腔筋機能療法 (MFT) を併用することが推奨され⁽⁷⁾, POMメータによる測定に相当する口唇周囲筋の訓練として、口唇と歯列の間 (口腔前庭部) に糸を通したボタンをはさみ、糸を前方に引っ張ると同時に口唇の力でボタンを保持する、ボタン・プル訓練が利用されている。

ところで金管楽器演奏者は、口唇周囲筋を精密に収縮制御し、口唇を呼気流中における振動弁とするため、口唇の動作制御が演奏技法を大きく左右する。従来、金管楽器の音高の調整では、口唇の筋肉、即ち口輪筋と、「トランペット吹きの筋」とも呼ばれる頬筋が互いに引っ張り合い、口唇の張力が変化すると一般に考えられてきた。これに対し著者らは、実際にフレンチホルン演奏中における歯列頬面と口腔内壁間の接触圧力分布を測定し、口輪筋や頬筋よりも、口角挙筋と口角下制筋の協調収縮が音高調整に大きく寄与することを示した⁽⁸⁾。この結果では、接触圧力分布から個々の筋収縮を推定しており、最近のトランペット奏者に赤外線サーモグラフィを用いた実験結果⁽⁹⁾と同様に、口角下制筋活動の優位性と頬筋活動の小ささが示されるなど、金管楽器奏者のアンブシュア形成におけるパラダイムシフトが予見される。

本研究では、言語の生成や金管楽器演奏を含め、ヒトの口唇周囲筋機能に関するより良い診断や訓練法の開発に寄与することを目的とし、口唇周囲の筋活動度を直接把握するために、表面筋電図 (SEMG) を用いた。更に、これと口裂部における力、及び歯頬面接触圧力分布との相関を求め、かつ複数の口唇周囲筋の協調性を定量的に明示した

2. 実験方法

一般的な解剖学書では、上下の口輪筋のみが口唇を閉鎖する筋であるとする例が多いようである⁽⁹⁾。また事実、[p], [b], [m]などの唇子音構音を対象とした筋電図解析では、顎運動に関わるものの他は、そのほとんどが上下の口輪筋 (OOS, OOI) のみを対象としている⁽¹⁰⁾。しかし口輪筋の走向からも、その収縮によって引き起こされる動作は、両口角を近心側に引寄せ、すぼめ動作のみであるとする例もあり、必ずしも見解が一致しているとは言えない。オトガイ筋 (Mentalis; 以下 Ment) は、下唇を挙上させて上下口唇間を相互に押付ける唯一の筋である。また、口角挙筋 (LAO) と口角下制筋 (DAO) は協調して上下口唇を閉鎖すると同時に、口唇をすぼめる働きをすることも言われている。

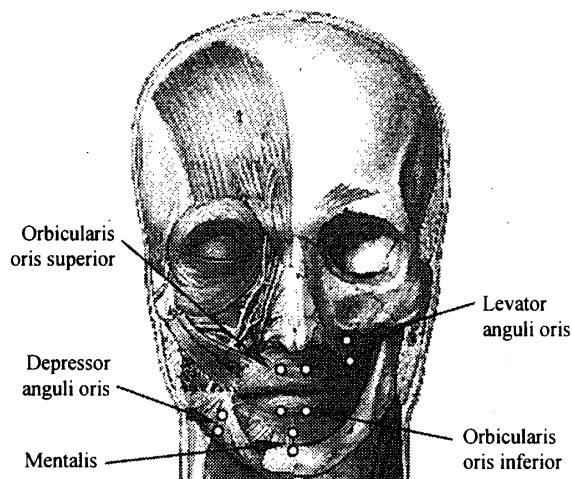


Fig. 1 Geometry of muscles and surface electrodes⁽¹¹⁾.

本研究ではこれら五つの筋を測定対象とし、図1の様に直径5mmのAg製皿状表面電極を貼付すると共に、耳朶または額中央部に不関電極を設置する双極誘導により筋電信号を導出した。その際の差動増幅アンプの設定では、それぞれTC=0.03, high cut filterの遮断周波数=1kHzとした。

口唇閉鎖力の測定装置として、前述した Barlow らによるトランスデューサが知られている。これは、上下口唇閉鎖力をそれぞれ独立して測定可能であるなど、優れた点がある一方で、装置自体がやや大きく、口裂を大きく開いた状態で測定する必要があること、測定箇所が口裂上の中央一ヶ所のみであることなどの、やや不便な点も見られる。唇子音の構音時では、口裂上での均等な口唇閉鎖状態やその瞬間的な開放動作を、また、金管楽器演奏時などでは、より精緻な筋収縮制御を見る必要があることから、口裂上での閉鎖力の分布状態を調べなければならない。そこで、著者らは新たに図2(a)に示す、五本の測定用アームを持った口唇閉鎖力トランスデューサを作成した。これを口唇で挟み込むと、口裂上五ヶ所の閉鎖力を独立して測定が可能である。個々のアームは、1mmの間隔で重ねた二枚のSUS304製薄板とその間に設けた支柱により、先端部を閉じる力を曲げ歪みに変換し、歪みゲージで検出する構造とした。従って、被験者の口唇が自然に閉じた状態の閉鎖力が測定可能である。なお、本研究では顔面の筋機能の左右非対称性を考慮せず、閉鎖力測定点として口唇中央部 (center), 左口角部 (corner), その中間部 (middle) の三ヶ所のみを考慮した。トランスデューサの較正では、小型ロードセル付き専用ジグを用い、アーム先端部より3mmの位置で、0~2.42Nの荷重を与えて行った。

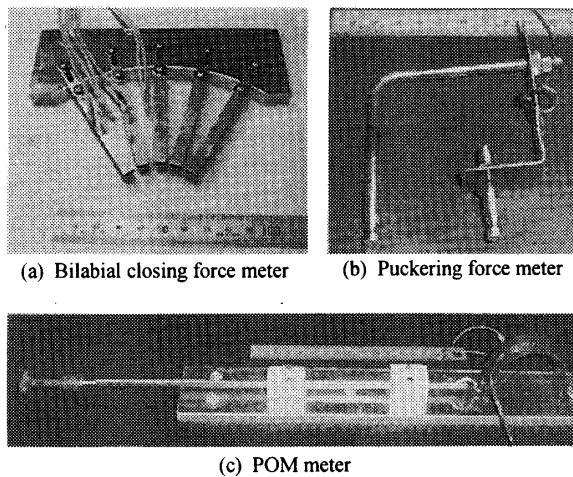


Fig. 2 Three kinds of force transducers.

口唇のすぼめ動作は、上下口輪筋の収縮により生ずると言われていることから、口輪筋収縮力はすぼめ力、即ち、口角を近心側に引寄せせる力を測定すれば把握可能と考え、図2 (b) に示すすぼめ力トランスデューサを考案した。左右両口角部に、前方より二本の棒を平行に挿入し、それぞれを近心側に引寄せせる力を測定した。棒は直径6 mmのSUS304製とし、先端部より5 mmの位置を基準測定箇所として凹R形状を設けた。二本の丸棒を歪みゲージを貼付したリン青銅板で連結し、その歪みゲージによってすぼめ力をたわみとして検出した。棒の間隔を、各被験者の安静状態における口角間距離に合わせ、ねじ機構により1 mm間隔で調整可能とした。この場合のトランスデューサの較正も、基準位置に錘を用いて0～5 Nの荷重を作用させて行った。

POMメータには、本研究では記録の利便性を考慮し、図2 (c) の様に、歪みゲージを用いたものを用いた。被験者が図左端のマウスピースを口唇で挟み、後方に引く力を測定した。以下、この力の大きさをPOM値(POM value)と称する。POMメータについても、図2の他のトランスデューサと同様にして、錘を用いて0～9 Nの荷重範囲内で較正を行った。なお、口中に含むマウスピース先端の寸法は、Posenの論文を参考にして、水平×上下×前後=20 mm×8 mm×5 mmとし、ナイロン樹脂製とした。

歯頬面接触圧力を測定するために、厚さ0.5 mmの感圧導電体センサを使用した^{(7), (12)}。センサは、約5 mmの等間隔で一列に並んだ8個の感圧部を持つ。感圧部が被験者の左側上顎歯列頬面上に位置するようにセンサを設置し、各感圧部を、遠心側よりP1, P2, …, P8で表わすこととした。このとき、P3ないしP4部が、安静状態において口角結節部に位置することを確認し、

電圧印加用リード線を口角部より引き出した。

以上述べた口唇閉鎖力、すぼめ力、POM値、歯頬面接触圧力を、ここでは力学的パラメータと総称する。

口唇周囲の筋機能は、性別及び年齢に左右されることも考えられる⁽⁶⁾。そこで、これらの影響を排除するため、本研究では20～34歳の健康男性のみ五名を被験者とした。また、正常な口唇周囲筋機能を調べるため、全被験者に異常咬合が認められないこと、歯牙の欠損がないこと、慢性の鼻疾患に伴う恒常的口呼吸の習慣がないことを確認した。なお、金管楽器演奏技術と口唇周囲筋機能との関係について考察することも考え、五名中の一名をアマチュアトランペット奏者、二名をアマチュアホルン奏者とした。

まず、被験者の口唇閉鎖時、口唇すぼめ時、POM値測定時における最大自発筋収縮力(Maximum Voluntary Contraction: MVC)を記録した。以降では、全てこれらの値に対する割合、即ち、%MVC値により筋収縮力を論じた。実験では、測定システムの特性に基づく若干の遅れを伴うが、%MVC値はほぼリアルタイムでモニター上に棒グラフ表示された。被験者には、モニターを見ながら指定%MVC値に到達すること、および定常状態を6～8秒間保持するよう指示した。口唇閉鎖(bilabial closure)、すぼめ(pucker)、遠心側閉鎖(distal lip closure)、の状態で%MVC値を測定した後、POM値を測定した。全ての試技では、%MVC値が20, 40, 60, 80となるよう順に繰り返す、それぞれ三回ずつ測定した。遠心側閉鎖とは、上下口唇閉鎖力を口裂の遠心側である口角部に集中させる試技であり、被験者は口角部における閉鎖力を指定%MVC値に調節する。これは、例えば、ロウソクの火を呼気によって吹き消す場合や熱い湯を冷ます場合に見られる、即ち、口裂中心部のみを小さく開き、逆に口角に近い部分では口腔内の呼気圧力を保つように強く閉じる場合に対応する。金管楽器演奏時には、遠心側閉鎖力のより精巧な制御が考えられるため、金管楽器奏者である被験者三名は、口唇閉鎖力トランスデューサを口唇に挟んだ状態で、模擬的に中・高・低音を演奏する場合(simulate)、およびトランスデューサを全く使用しないで、同様に中・高・低音を口唇だけで出すバズング動作(buzzing)を行う場合について、それぞれ三回ずつ測定した。口唇閉鎖力と遠心側閉鎖力の測定では、顎運動から受ける影響を出来るだけ排除する必要があり、上下切歯間で左右方向に置いた歯科用ロール綿(φ10 mm×L30 mm)を軽く噛んだ状態を保持することとした。他方、すぼめ力の測定では、口唇を突き出すような動作を避け、口唇が極力口輪筋のみによってすぼまるよう

留意した。なお、被験者には本研究の意図を十分理解し、安定した条件下で実験を遂行できるよう、実験の前日ないし数日前に予め測定項目や試技について説明した。また、その際、各トランスデューサの準備的な使用をも試みた。

3. データ解析

全ての測定値をFMデータレコーダによりVHSビデオテープに記録し、オフライン状態で解析した。記録したアナログ信号は、A/D変換器により2kHzのサンプリング周波数でパーソナルコンピュータに取り込んだ。解析データとして、各測定項目で6～8秒間保持した定常状態の中間部4秒間のデータを用い、大きく分けて二つの事項に関する解析を行った。

最初に、各力学的パラメータとEMG振幅の相関を求めた。口唇動作は、ただ一つの筋収縮に由来するのではなく、複数の筋の協調収縮によって生ずることは明らかである。ゆえに、各力学的パラメータに対する個別の筋活動からの寄与は、EMG振幅の大きさと力学的パラメータ間の相関係数の大きさにより判断できると考えられる。骨格筋では、筋収縮力がSEMGE振幅に比例関係することが知られており⁽¹⁴⁾、振幅を表わす値としては一般的に、全波整流したEMG波形を適当な時間窓で積分した積分筋電図(Integrated EMG: IEMG)、または波形の実効値を表わすRMS値がよく用いられる⁽¹⁵⁾。本研究では、EMG振幅として時間窓0.1秒のRMS値を、力学的パラメータについては同時間窓における時間平均値をそれぞれ用い、試技及び個々の測定項目毎に相互の相関係数を求めた。

続いて、二筋の間の協調性の強さを定量化することを試みた。筋の収縮は中枢神経系(central nervous system: CNS)からの指令によって制御される。全波整流した後、適当な性質のローパスフィルタをかけることで平滑化したSEMGE信号は、CNSからの指令の大きさとタイミングを反映していると言われる。この平滑化SEMGE波形は、筋の総体的な電気的活動度、即ち、EA(Electrical Activity)を表す。EA、IEMG、RMSは、本質的にはいずれも同じ情報を与えると考えて良いが、EAはハードウェアへの組込みが比較的容易なため、近年ではEMGを出力制御信号に用いる各種専用アクチュエータなどに応用されることもある。二つのEA間の時間差ゼロ時の相関をとることは、異なる筋を制御するそれぞれの運動神経系の相関を求めることに相当すると考えられる。このとき、相関係数が正に大きいほど協調性が強く、負に大きければ相互の相補性が強く、0に近ければいずれの関係も小さいことを表す。

この理論に基づき、Mooreら⁽¹⁶⁾やWohlertら^{(17), (18)}は、それぞれ顎運動、口唇動作に関わる筋のうち、異なる二筋の協調性を調べるため、単純繰り返し動作時の複数筋のSEMGEを同時に測定し、二筋のEA間の相関係数を求めた。著者らは、この理論を等尺性筋収縮時の収縮力調整の場合にも適用できると考えた。EAを求めるにあたり、全波整流後のSEMGE信号をFFTにより一旦周波数領域に変換し、カットオフ周波数40Hzの8次バターワースフィルタにより高周波成分を除去した後、逆FFTにより再度時間領域に変換した。その後、二筋の組合せ毎に相関係数を計算したが、本研究では、Mentのみが他の筋と異なり、直接口唇閉鎖に寄与する筋であることから、Mentを除く四筋について、協調性の検討を行った。なお本方法を適用するには、二つのEA信号間の相互相関関数が、時間差ゼロ、またはそのごく近傍でピークを持つ、即ち、相互の位相差が無いことが前提条件として必要である。そこで、それぞれの被験者からランダムに試技項目を選定し、相互相関関数を計算した結果、いずれもこの条件を満たしていることを確認した。

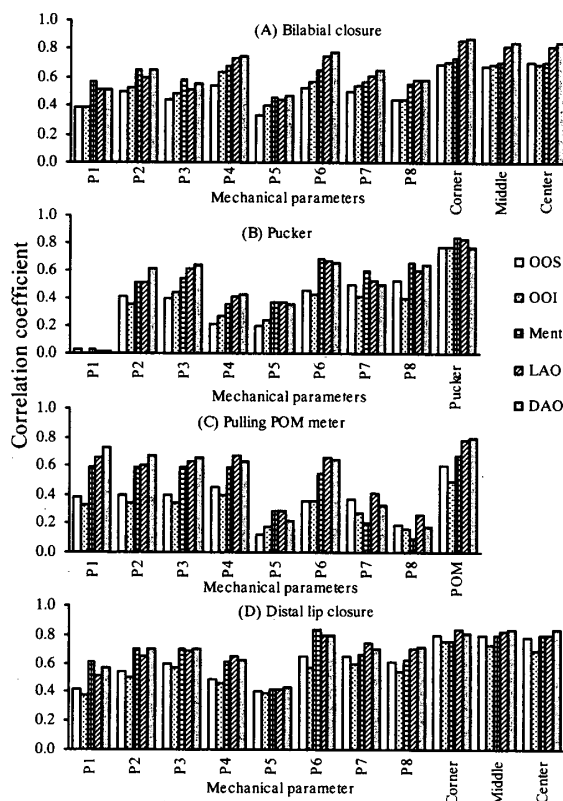


Fig. 3 Correlation coefficients of mechanical parameters on closing and pulling motions.

4. 結果

楽器演奏に関わる simulate, buzzing の二試技を除く四試技において、測定した力学的パラメータと各筋の SEMG の RMS 値との相関係数を求め、被験者間で平均した値を図 3 に示す。また、それぞれの試技毎に、力学的パラメータと個々の筋を因子とした繰り返しのある二元配置分散分析 (two-way ANOVA) を適用し、さらに Fisher の最小有意差法 (least significant difference test; LSD test) により、水準間の相関係数の差の検定を

行ったところ、表 1 と表 2 の結果を得た。これらより、次のことが明らかになった。

- 力学的パラメータを因子とした場合、EMG 振幅との相関係数を比較すると、P4, P6 部の接触圧力との値が他の部位より概して大きい。
- 同時に、EMG 振幅との相関係数の大きさは、P4, P6 部の接触圧力との値が、三ヶ所の口唇閉鎖力との値と統計的に等しい。 ($p < 0.05$)
- 同様な口唇閉鎖時でも、閉鎖力を口角部に集中させた場合では、上記のような傾向は P4 部で消失し、P6

Table 1 Comparative results of averaged correlation coefficients between EMG amplitudes and mechanical parameters. (Two-way ANOVA with Fisher's LSD test by mechanical parameter; * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)

| (A) Bilabial closure | | | | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|-------|---------|---------|---------|
| Level / Average | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | Corner | Middle | Center |
| | 0.477 | 0.584 | 0.515 | 0.669 | 0.422 | 0.654 | 0.574 | 0.522 | 0.773 | 0.754 | 0.758 |
| Difference | P1 | -0.11 | -0.04 | -0.19* | 0.06 | -0.18* | -0.10 | -0.04 | -0.30** | -0.28** | -0.28** |
| | P2 | | 0.07 | -0.08 | 0.16* | -0.07 | 0.01 | 0.06 | -0.19* | -0.17* | -0.17* |
| | P3 | | | -0.15* | 0.09 | -0.14 | -0.06 | -0.01 | -0.26** | -0.24** | 0.25** |
| | P4 | | | | 0.25** | 0.01 | 0.09 | 0.15 | -0.10 | -0.09 | -0.09 |
| | P5 | | | | | -0.23** | -0.15* | -0.10 | -0.35** | -0.33** | -0.34** |
| | P6 | | | | | | 0.08 | 0.13 | -0.12 | -0.10 | -0.10 |
| | P7 | | | | | | | 0.05 | -0.20** | -0.18* | -0.18* |
| | P8 | | | | | | | | -0.25** | -0.23** | -0.24** |
| Cor. Mid. | | | | | | | | | 0.02 | 0.02 | 0.00 |

| (B) Pucker | | | | | | | | | | |
|-----------------|-------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| Level / Average | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | Pucker | |
| | 0.016 | 0.483 | 0.530 | 0.339 | 0.311 | 0.580 | 0.508 | 0.566 | 0.797 | |
| Difference | P1 | -0.47** | -0.51** | -0.32** | -0.30** | -0.56** | -0.49** | -0.55** | -0.78** | |
| | P2 | | -0.05 | 0.14* | 0.17* | -0.10 | -0.03 | -0.08 | -0.31** | |
| | P3 | | | 0.19** | 0.22** | -0.05 | 0.02 | -0.04 | -0.27** | |
| | P4 | | | | 0.03 | -0.24** | -0.17* | -0.23** | -0.46** | |
| | P5 | | | | | -0.27** | -0.20** | -0.26** | -0.49** | |
| | P6 | | | | | | 0.07 | 0.01 | -0.22** | |
| | P7 | | | | | | | -0.06 | -0.29** | |
| | P8 | | | | | | | | -0.23** | |

| (C) Pulling POM meter | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|-------|--------|---------|--------|--------|---------|
| Level / Average | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | POM |
| | 0.540 | 0.523 | 0.522 | 0.548 | 0.220 | 0.514 | 0.319 | 0.181 | 0.670 |
| Difference | P1 | 0.02 | 0.02 | -0.01 | 0.32** | 0.03 | 0.22** | 0.36** | -0.13 |
| | P2 | | 0.00 | -0.03 | 0.30** | 0.01 | 0.20** | 0.34** | -0.15 |
| | P3 | | | -0.03 | 0.30** | 0.01 | 0.20** | 0.34** | -0.15* |
| | P4 | | | | 0.33** | 0.03 | 0.23** | 0.37** | -0.12 |
| | P5 | | | | | -0.29** | -0.10 | 0.04 | -0.45** |
| | P6 | | | | | | 0.19* | 0.33** | -0.16* |
| | P7 | | | | | | | 0.14 | -0.35** |
| | P8 | | | | | | | | -0.49** |

| (D) Distal lip closure | | | | | | | | | | | |
|------------------------|-------|--------|---------|-------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Level / Average | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | P7 | P8 | Corner | Middle | Center |
| | 0.499 | 0.617 | 0.650 | 0.563 | 0.415 | 0.730 | 0.673 | 0.640 | 0.790 | 0.800 | 0.779 |
| Difference | P1 | -0.12* | -0.15** | -0.06 | 0.08 | -0.23** | -0.17** | -0.14** | -0.29** | -0.30** | -0.28** |
| | P2 | | -0.03 | 0.05 | 0.20** | -0.11* | -0.06 | -0.02 | -0.17** | -0.18** | -0.16** |
| | P3 | | | 0.09 | 0.23** | -0.08 | -0.02 | 0.01 | -0.14** | -0.15** | -0.13* |
| | P4 | | | | 0.15** | -0.17** | -0.11* | -0.08 | -0.23** | -0.24** | -0.22** |
| | P5 | | | | | -0.32** | -0.26** | -0.22** | -0.37** | -0.38** | -0.36** |
| | P6 | | | | | | 0.06 | 0.09 | -0.06 | -0.07 | -0.05 |
| | P7 | | | | | | | 0.03 | -0.12* | -0.13* | -0.11* |
| | P8 | | | | | | | | -0.15** | -0.16** | -0.14** |
| Cor. Mid. | | | | | | | | | -0.01 | 0.01 | 0.02 |

Table 2 Comparative results of averaged correlation coefficients between EMG amplitudes and mechanical parameters. (Two-way ANOVA with Fisher's LSD test by muscle; * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)

| (A) Bilabial closure, by muscle | | | | | | (B) Pucker, by muscle | | | | | |
|---------------------------------|-------|-------|--------|---------|---------|-----------------------|-------|-------|---------|---------|---------|
| Level / Average | OOS | OOI | Ment | LAO | DAO | Level / Average | OOS | OOI | Ment | LAO | DAO |
| Average | 0.524 | 0.554 | 0.625 | 0.660 | 0.685 | Average | 0.393 | 0.370 | 0.513 | 0.505 | 0.514 |
| Difference | OOS | -0.03 | -0.10* | -0.14** | -0.16** | Difference | OOS | 0.02 | -0.12* | -0.11* | -0.12* |
| | OOI | | -0.07 | -0.11** | -0.13** | | OOI | | -0.14** | -0.13** | -0.14** |
| | Ment | | | -0.03 | -0.06 | | Ment | | | 0.01 | 0.00 |
| | LAO | | | | -0.03 | | LAO | | | | -0.01 |

| (C) Pulling POM meter, by muscle | | | | | | (D) Distal lip closure, by muscle | | | | | |
|----------------------------------|-------|-------|--------|---------|---------|-----------------------------------|-------|-------|---------|---------|---------|
| Level / Average | OOS | OOI | Ment | LAO | DAO | Level / Average | OOS | OOI | Ment | LAO | DAO |
| Average | 0.366 | 0.321 | 0.463 | 0.553 | 0.539 | Average | 0.610 | 0.563 | 0.683 | 0.695 | 0.702 |
| Difference | OOS | 0.04 | 0.10 | -0.19** | -0.17** | Difference | OOS | 0.05 | -0.07* | -0.08* | -0.09** |
| | OOI | | -0.14* | -0.23** | -0.22** | | OOI | | -0.12** | -0.13** | -0.14** |
| | Ment | | | -0.09 | -0.08 | | Ment | | | -0.01 | -0.02 |
| | LAO | | | | 0.01 | | LAO | | | | -0.01 |

Table 3 Comparative results of averaged correlation coefficients between two of four smoothed SEMGs. (Two-way ANOVA with Fisher's LSD test ; * : $p < 0.05$, ** : $p < 0.01$)

| (i) By muscle combination | | | | | | | (ii) By task | | | | |
|---------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-----------------|----------|--------|-------|--------|
| Level / Average | OO-OOI | OOS-LAO | OOS-DAO | OOI-LAO | OOI-DAO | LAO-DAO | Level / Average | Bilabial | Pucker | POM | Distal |
| Average | 0.195 | 0.117 | 0.081 | 0.102 | 0.078 | 0.200 | Average | 0.140 | 0.133 | 0.109 | 0.134 |
| Difference | OOS-OOI | -0.08** | -0.11** | -0.09** | 0.12** | -0.01 | Difference | Bilabial | 0.01 | 0.03* | 0.01 |
| | OOS-LAO | | -0.04* | 0.02 | 0.02 | -0.04** | | Pucker | | 0.02* | 0.00 |
| | OOS-DAO | | | -0.02 | 0.00 | -0.12** | | POM | | | -0.03* |
| | OOI-LAO | | | | 0.02 | -0.10** | | Distal | | | |
| | OOI-DAO | | | | | -0.12** | | | | | |

部では EMG 振幅との相関係数がより大きくなる。

- 口唇のすぼめ時は、EMG 振幅とすぼめ力との間の相関係数が、いずれの接触圧力との値よりも有意に小さい。
- 筋の違いを因子とし、力学的パラメータと各筋の EMG 振幅との間の相関係数を比較すると、全試技で LAO, DAO との値が OOS, OOI との値に対して有意に大きく、Ment では試技により異なる傾向を示した。

以上、力学的パラメータと五筋の EMG 振幅との相関係数から、OOI と OOS, LAO と DAO には、いずれも強い協調性があると推察される。

続いて、Ment を除いた四筋のうち、二筋の組合せ全てについて計算した、平滑化 EMG 波形の時間差ゼロ時の相関係数を図 4 に示す。表 3 は、これらの相関係数の大きさを比較するため、前述と同様に、筋の組合せと試技をそれぞれ因子とした二元配置分散分析を適用し、Fisher の LSD 法により多重比較を行った結果を示す。その結果、LAO と DAO, OOS と OOI の組合せの相関係数が等しく、かつ他の組合せの場合と比較して、有意に大きい値であった。また、試技別に見ると、POM メータによる測定時のみ、二筋間の EMG の相関係数は他の試技の場合に比べて有意に小さい値であった。

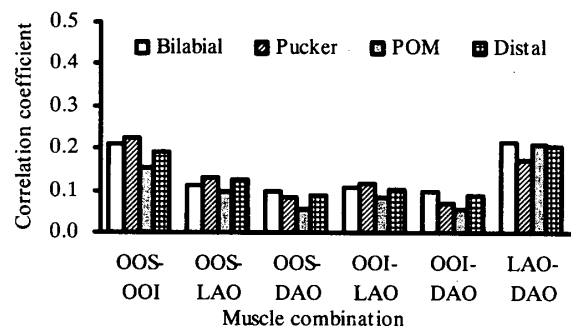


Fig. 4 Averaged Correlation coefficients between two of four smoothed SEMGs.

さらに、金管楽器奏者である三名の被験者から得られた simulate, buzzing の二つの試技に、遠心側閉鎖を加えた計 3 試技について、平滑化 SEMG 間の相関係数を比較した。表 4 に、筋の組合せと試技を因子とした二元配置分散分析を適用した結果を示す。ここでは、試技項目の違いによる相関係数の値に有意差は認められず、一方、筋の組合せによってのみ統計的有意差が認められた。また、Fisher の LSD 法による多重比較から、LAO と DAO 間の相関係数の値が、他の組合せの場合より大きい値であった ($p < 0.01$)。

Table 4 Result of two-way ANOVA for effect of muscle combination and task in brass players. (**: $p < 0.01$)

| Source | Sum of squares | Degree of freedom | Mean squares | F ratio | Probability |
|---------------------------|----------------|-------------------|--------------|---------|-------------|
| Muscle combination | 0.178 | 5 | 0.036 | 12.537 | 0.000** |
| Task | 0.001 | 2 | 0.000 | 0.118 | 0.889 |
| Muscle combination × Task | 0.012 | 10 | 0.001 | 0.919 | 0.919 |
| Error | 0.102 | 36 | 0.003 | | |
| Total | 0.294 | 53 | | | |

5. 考 察

口唇閉鎖力は、EMG 振幅、即ち口唇周囲の筋活動度に比例し、これらに高い相関性があることは容易に想像できる。もし、歯頬面接触圧力と EMG 振幅との間にこれと同程度の相関性が認められるなら、接触圧力分布に基づいて口唇閉鎖力の分布を推定することが妥当となり、さらには、各筋活動度を求める可能性も考えられる。P4, P6 部の接触圧力と EMG 振幅との相関性が口唇閉鎖時に高かったが、口角部に閉鎖力を偏在させると P6 部でのみ高い相関性を示した。このことは、口唇全体を閉鎖する力と歯頬面接触圧力が、口角結節部、及びそのやや近心側において比例関係にあり、遠心側閉鎖力と接触圧力の間には、口角結節部よりやや近心側においてのみ比例関係にあることを表わす。これは、著者が金管楽器演奏時に測定した歯頬面接触圧力分布の解析から、上級者演奏者は口唇を遠心側より効果的に閉鎖してゆくとした考察結果によく一致する。

二筋の平滑化 EMG 間の相関係数は、OOS と OOI, LAO と DAO の間でそれぞれ大きく、従って、口唇閉鎖時におけるこれらの筋収縮には、強い協調性があると考えられる。加えて、口角部に閉鎖力を偏在させた場合、LAO と DAO の間で、他のいずれの二筋間よりも統計的に有意に大きな相関係数が観測された。これまで「口を閉じる」動作を解析する際、LAO と DAO の筋収縮制御に注目した例は、著者らの知る限り見当たらない。本研究の結果は、口唇動作の解析において、この二筋の働きにより注目する必要性を示唆している。

口唇のすぼめ動作時では、EMG 振幅と接触圧力との相関は最大で 0.58 と小さく、従ってすぼめ力を歯頬面接触圧力から推定することは適当ではない。すぼめ力と OOS, OOI の EMG 振幅との相関は当初予想していたよりも小さく、むしろ LAO, DAO との相関の方が大きい値であった。すぼめは口輪筋の収縮による動作であると考えられているが、口唇閉鎖時と同様、LAO と DAO の協調収縮が果たす役割も大きいことがわかる。

試技間で比較した二つの平滑化 EMG 間の相関係数

が、一般的な動作である口唇閉鎖、すぼめ、遠心側閉鎖に対して POM 値測定時のみが小さい値であったことは、POM メータの使用時、あるいはボタン・プル訓練において、口唇周囲の各筋同士が協調収縮状態にないことを示唆している。即ち、POM 値は口唇周囲の総体的な筋力を表わす数値として適当ではなく、ボタン・プル訓練には、一般的に考えられているような口輪筋の発達への直接的寄与は無いのではないかと推察される。従って、さらに、POM 値と歯列形成に影響を与える歯頬面接触圧力の大きさとの間の関係も、直接的には大きくないとも推察される。

なお、本研究で求めた二つの EA 間の相関係数が、大きくても約 0.2 と、Wohler らが単純繰り返し動作を対象として行った研究と比較しても、非常に小さな値であった。このことは、本研究における解析対象が、力を一定に保つ等尺性筋収縮であり、従って、一試技中の EA に大きな変動のないことに起因する。しかし、小さな値にも拘わらず、数値間の統計的比較において明確な有意差が現れたことは、解析手法の有効性を表わしていると思われる。

6. 結 言

口裂におけるいくつかの力、即ち口唇閉鎖力、すぼめ力、POM 値、及び口腔内壁と歯頬面・唇面との接触圧力分布を力学的パラメータとし、代表的な口唇周囲筋である OOS, OOI, Ment, LAO, DAO の五筋それぞれの活動度との相関を調べた。またこれらの筋同士の協調性を定量的に示し、以下のような知見を得た。

- (1) 上下口唇を相互に押付け合い、閉鎖するという動作は、これまで OOS, OOI の活動によると考えられてきたが、これにもまして、LAO, DAO の協調収縮が果たす役割が大きい。特に、口唇閉鎖力を口角部に偏在させるような場合には、この傾向が顕著に現れる。
- (2) 口角結節部及びそのやや近心側における歯頬面接触圧力が、口唇閉鎖力とその口裂上の分布状態を予測することの可能性が示された。
- (3) 本研究で行った基本的な四種類の動作では、当初の予想以上に LAO, DAO の役割が大きく、明らか

に他のいずれの組合せよりも強く協調収縮する。

- (4) MFT や歯科矯正学分野の研究でしばしば用いられる、POM メータによる口唇周囲筋力の評価やボタン・プル訓練は、考えられているほどの有効性、及び効果は期待できない可能性がある。

口唇周囲筋の収縮によって発生する、言語、特に唇子音の生成や飲食に欠かせない口唇閉鎖力などの口裂部の力と、歯牙の移動に強い影響を与えと言われる歯頬面接触圧力の相関について、生体力学的観点から定量的に評価した。また、二つの異なる筋同士の協調性について、SEMG から得られた情報を用いて定量的に比較した。注目した筋の活動とその力学について詳細が明らかになったが、本研究では、OOS, OOI とともに、特に LAO, DAO の働きに注目し、本来口唇閉鎖に大きな影響を持つはずの Ment は考察より除外した。また、簡易的に構成したバイオフィードバックループを用いており、これらについては将来、より詳細な検討が必要かもしれない。しかしながら、本報告で述べた結果、特に LAO, DAO の筋収縮制御に関する知見は、例えば、MFT に供する訓練器具・評価手法の考案、非言語コミュニケーションツールの開発、あるいは口唇動作の人工的な再現技術などに、重要な手がかりを与えるものと思われる。

参考文献

- (1) 例えば, Bradley, R. M., "Essentials of Oral Physiology," (1995), 1-4, Mosby-Year Book, Inc.
- (2) Barlow, S. M. and Abbs, J. H., "Force Transducers for the Evaluation of Labial, Lingual, and Mandibular Motor Impairments," *J. Speech Hear. Res.* **26** (1983), 616-621.
- (3) Barlow, S. M. and Rath, E. M., "Maximum Voluntary Closing Forces in the Upper and Lower Lips of Humans," *J. Speech Hear. Res.* **28** (1985), 373-376.
- (4) Posen, A. L., "The Application of Quantitative Perioral Assessment to Orthodontic Case Analysis and Treatment Planning," *Angle Orthodontist* **46** (1976), 118-143.
- (5) Fuhrmann, S., Schüpbach, A., Thüer, U., and Ingervall, B., "Natural Lip Function in Wind Instrument Players," *Euro. J. Orthodontics* **9** (1987), 216-223.
- (6) Fogel, M. L. and Stranc, M. F., "Lip Function: a Study of Normal Lip Parameters," *Br. J. Plast. Surg.* **37** (1984), 542-549.
- (7) 山口秀晴ほか, "口腔筋機能療法 (MFT) の臨床", わかば出版 (1998).
- (8) Kourakata, I., Moriyama, K., and Hara, T., "Identification of Control Parameters for Brass Player's Embouchure by Measuring Contact Pressure on the Teeth Buccal Surface," *JSME Int. J. Ser. C* **44** (2001), 1142-1151.
- (9) Bertsch, M., "Studien zur Tonerzeugung auf der Trompete," (in German), Dissertation at the University of Vienna (1998).
- (10) 例えば, 高橋和人・ほか 2 名, "小口腔解剖学", (1989), 179-184, 学建書院.
- (11) Thüer, U. Grunder, J., and Ingervall, B., "Pressure from the Lips on the Teeth during Speech," *Angle Orthodontist* **69** (1999), 133-140.
- (12) A. D. A. M., A. D. A. M. Software Inc. (1993).
- (13) 原利昭・ほか 4 名, "感圧導電ゴムを用いた関節内接触圧力分布測定システム", *機論* **58-551 A** (1992), 152-157.
- (14) 例えば, 永田晟, "筋と筋力の科学", (1984), 122-125, 不昧堂.
- (15) Hägg, G. M., Luttmann, A., and Jäger, M., "Methodologies for Evaluating Electromyographic Field Data in Ergonomics," *J. Electromyogr. Kinesiol.* **10** (2000), 301-312.
- (16) Moore, C. A., Smith, A., and Ringel, R., "Task-Specific Organization of Activity in Human Jaw Muscles," *J. Speech Hear. Res.* **31** (1988), 670-680.
- (17) Wohlert, A. B. and Goffman, L., "Human Perioral Muscle Activation Patterns," *J. Speech Hear. Res.* **37** (1994), 1032-1040.
- (18) Wohlert, A. B., "Perioral Muscle Activity in Young and Older Adults during Speech and Nonspeech Tasks," *J. Speech Hear. Res.* **39** (1996), 761-770.