

# 歯頬面接触圧力による金管楽器奏者の アンブシュア制御パラメータの同定\*

小浦方 格<sup>\*1</sup>, 守山光三<sup>\*2</sup>, 原 利昭<sup>\*3</sup>

## Identification of Control Parameters for Brass Player's Embouchure Involving Contact Pressure on the Teeth Buccal Surface

Itaru KOURAKATA<sup>\*4</sup>, Kozo MORIYAMA and Toshiaki HARA

<sup>\*\*</sup> Graduate School of Science and Technology, Niigata University,  
8050 Ikarashi 2 nocho, Niigata-shi, Niigata, 950-2181 Japan

It is important for senior brass instrument players to study the detailed control parameters for embouchure building. While many investigators have reported the preliminary data on the muscle behavior, the precise aspects are unrevealed so far. The purpose of the present paper is to study dynamic perioral muscle behavior of French horn players and to investigate their lip valve function by measuring the contact pressure on teeth buccal surface during playing. It was shown from the experimental results that the advanced players contracted depressor and levator angulioris especially for high tone playing. The combined contraction by these muscles may contribute to smaller lip aperture formation appropriate for higher tones. Inversely a strong contraction of m. buccinator was found insignificantly from the results for the advanced players while it is well known that m. buccinator contracts hard during playing.

**Key Words:** Biomechanics, Muscle and Skeleton, Bio-Motion, Perioral Muscle, Principal Component Analysis, Brass Instrument, Embouchure

### 1. 緒 言

アンブシュア(embouchure)とは元来フランス語で「～の通り道」を意味する言葉であるが、吹奏楽器演奏に関わる分野では「楽器を演奏するために整えられる口唇周辺の形態や筋活動状態」の意味で使用されている。更には、奏者と楽器との接点であるマウスピースとの関連をも含め、広義の意味で用いられることもある。特に、金管楽器奏者にとってこの「アンブシュア問題」は演奏技法上基本的ではあるが重要な問題であり、同時に物理学者、矯正歯科医、言語療法士らにとっても興味深いテーマとなっている。これまでも楽器管内空気柱、あるいは空気流中にある音源としての弁機構(pressure-controlled valve)の振動解析<sup>(1),(2)</sup>、上下顎間の歯列不正咬合や異常歯列形成<sup>(3),(4)</sup>、または言語障害に対する楽器演奏の影響<sup>(5)</sup>などを扱った報告

例は多数あるが、演奏技術について奏者の立場からの研究例は非常に少ない。そのため、マウスピースの口唇に対する押付け力(以下マウスピース力)を測定した Henderson<sup>(6)</sup>、Barbenel ら<sup>(7)</sup>、筋電図研究の先駆けである White ら<sup>(8)</sup>による研究がしばしば引用されているが、いずれも残念ながら演奏技術を解明し、特に楽器演奏初学者や教授者にとっての効果的な練習法や、教授法確立に寄与するまでには至っていないようである。即ち、金管楽器演奏においてマウスピース力が主たるアンブシュア制御パラメータとして使用されていないことに気付いている音楽関係者は少なからず存在するが、マウスピース力の測定が困難と考えられていた。Barbenel らによれば上級奏者ほど大きなマウスピース力に耐えることが可能で、それゆえ高難度の高い音の演奏も可能であることが示されているが、多くの奏者がノンプレスと呼ばれる製品を用いてマウスピース力を軽減させる傾向とは極めて対照的である。

従来から、金管楽器の演奏が可能な人工口唇モデルがいくつか提案されているが、多くはマウスピース力を変化させるとともに上下の口唇に見立てたゴム製チューブを両側方に引き、その張力を変化させることに

\* 原稿受付 2001年5月30日。

<sup>\*1</sup> 正員, 新潟大学大学院自然科学研究科(〒950-2181 新潟市五十嵐2の町8050)。

<sup>\*2</sup> 東京芸術大学音楽部(〒110-8714 東京都台東区上野公園12-8)。

<sup>\*3</sup> 正員, 新潟大学工学部。

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

よって音高を変化させる手法が採用されている<sup>(9)</sup>。しかしこの様な奏法が真実とすれば、ほとんどの奏者が長時間の練習や演奏の後、頬筋と口輪筋に強い疲労を覚えるはずであるが、少なくとも上級奏者に対する聞き取り調査等を見る限り、この種の事実は見られない。即ち、実際の奏者は口角をそれほど強く引いていないことも考えられる。また、White らの筋電図学的な手法は、今日動作学などの分野で広く利用されているが、それぞれの筋張力を直接把握できるわけではない。特に、口唇周辺では多数の筋が複雑に配置しており、個々の筋の力学的データを得るのはほぼ不可能である。更に、上述の全ての研究が金管楽器の中でも比較的演奏が容易といわれるトランペットを解析対象としており、直径の小さなマウスピースでより広い音域を持ち、難易度も非常に高いとされるフレンチホルン（以下ホルン）に同じ結果を適用できる可能性はないようである。

このような観点から本研究では、ホルン奏者を対象にアンブシュアの力学的挙動を把握し、その生体制御パラメータの同定を試みた。即ち、マウスピース力および上顎歯頰面と口腔内壁との接触圧力を測定し、標記の力学的挙動を解析することで、効果的かつ論理的な演奏技術の習得法および教授法の確立に必要な、客観的な力学的所見を得ることを目的とした。

本研究では音高を全てアメリカ式で表現し、A4 = 440Hz、数字の大・小がオクターブの高・低を表わすものとした。

## 2. 口腔周辺の解剖と生理

主な顔面筋の解剖学的、生理学的概要を説明するために、図 1 に典型的な口唇周辺の表情筋を模式的に示す。従来の関連研究によれば、アンブシュアを制御し

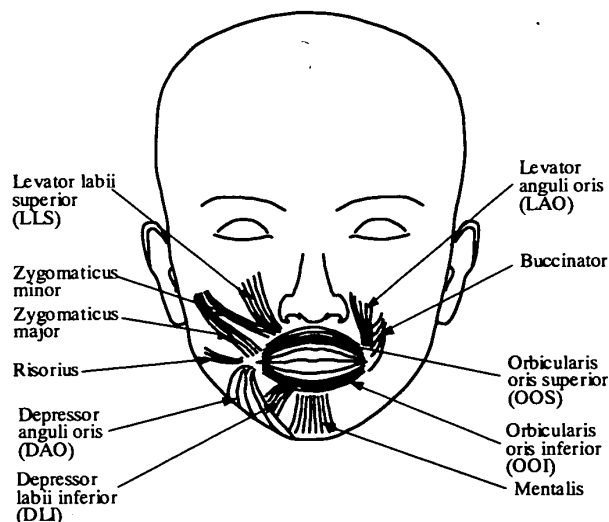


Fig. 1 Muscles of facial expression at perioral area.

ている筋は主に上下口輪筋（以下、OOS, OOI）、口角下制筋（以下、DAO）、口角挙筋（以下、LAO）、頬筋であると考えられている。口裂のいずれの部分もごく少数の例外を除き、筋繊維に対して、平行かつ筋収縮の方向に一致して動作、収縮することがないため、これらの筋張力を直接計測することはほぼ不可能である。しかし、LAO と DAO が協調動作を行うと上下口唇が相互に閉鎖すると同時に、口角結節部が上顎犬歯、または第一小臼歯に押付けられることは良く知られている。同様に口唇を歯唇面に強く引きつけたり、頬をピンと緊張させつつ息を吹き出したりする際に生ずる頬筋の緊張によって、第一、第二大臼歯頰面上で大きな接触圧力を生ずることも知られている<sup>(10)</sup>。更には、この頬筋と OOI, OOS が同時に緊張すると、上顎歯列弓全体において歯頰面と口腔内壁間にほぼ一様な接触圧力を生ずることも周知の事実として知られている。

## 3. 実験方法

**3-1 マウスピース力の測定** 本研究ではマウスピース力を測定するに当り、Barbenel らが用いたものと類似したトランスデューサを製作した。トランスデューサは黄銅製で、歪みゲージをロゼット接続し、それを二組貼付して作成した。一組のロゼットゲージはトランスデューサの軸方向引張りと圧縮力を測定するために 4 枚の歪みゲージで構成され、他は矢状面内における曲げモーメントを測定する 2 枚の歪みゲージから構成される。二組のロゼットをそれぞれブリッジボックスを介して動歪計に接続した。トランスデューサに対して予め軸方向圧縮力 0~100N、上向き及び下向きの曲げモーメント 0~1.37Nm を作用させた状態でキャリブレーションを行った。演奏者の唇が演奏中にマウスピースを引張ることは考えられないので、軸方向引張り力を考慮しなかった。

**3-2 歯頰面接触圧力の測定** 接触圧力を測定するために厚さ 0.5 mm の感圧センサを用いた。このセンサは著者らが従来から生体内、特に関節内<sup>(11)</sup>に使用してきたものであり、1 枚の小さなゴムシートとこれを両面から挟み込む 2 枚の銅製フィルム電極から構成される。顔面筋の活動状態を把握するためにはできるだけ多くの点で圧力を測定する方が有利である。そこで本研究では、図 2 に示すように、8 個の感圧部を約 5 mm の等間隔で上顎歯列頰面上に一直列に配置したセンサを用い、遠心側より No.1, 2, ..., 8 とナンバリングした。なお一つのセンサセットは 0.1 mm 厚の SUS304 製ベースプレートに貼付され、このベースプレートとともに歯科用仮着材を用いて上顎歯列に固定した。センサセ

ットの構造と歯列に固定された状態を図 2 (a), (b)にそれぞれ示す。被験者の歯列にセンサセットが固定された後、これにつながる電圧印加用リード線は口角部より引き出し、またセンサ No. 3 ないし No. 4 を口角結節部が覆っていることを確認した。なお、センサを口腔内に設置することによる違和感を出来るだけ無くするため、被験者らに実験前の使用を依頼し、可能な限り感覚的な慣れを誘導した。

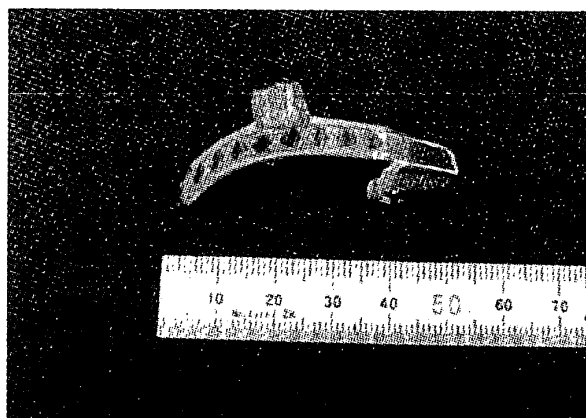
**3-3 被験者および試技** 全被験者の詳細を表 1 に示す。表中の「situation」欄末尾に M とあるのは、ホルン演奏を専攻している学生であることを示す。本研究では総数 33 名の被験者を考慮し、そのうち歯頰面接触圧力の測定には表中の「contact pressure」欄に×印を付けた 15 名の協力を得た。被験者には B1 ♭ から E5 ♭ までの 3 オクターブ半の E ♭ 調スケール演奏を、音量 83dB (*p*), 93dB (*mf*), 103dB (*f*) のそれぞれでテンポは約 60 ビート、各音 2 拍ずつの長さで行うことを指示した。この時指示された全ての音を演奏できたグループを「上級者」(No. 1~18), それ以外を「初・中級者」(No. 19~33) とした。なお全音域を通じて上述の音量レベルを維持することは事実上不可能であるので、そ

の場合は演奏者自身が音量を判断し、演奏することとした。音圧レベルは奏者の前面に置いた騒音計により測定し、常に奏者自身が測定値を確認できるようにした。スケール演奏は E3 ♭ から E5 ♭ まで上昇、そのまま B1 ♭ まで下降、最後に開始音である E3 ♭ まで戻るパターンであり、続いて各被験者が演奏可能な最高音までの上昇と最低音までの下降を半音階で行ったが、より詳細な順序などについては特に指示しなかった。また各音全てを個々に、かつランダムに演奏させることにより、即ち「連続効果」を排除しなかった。これは実験で、被験者を長時間拘束することによる影響を出来るだけ除去することを優先させたためであり、更には、上昇音形と下降音形のデータを後の解析において平均することによって連続効果を無視できると考えたためでもある。

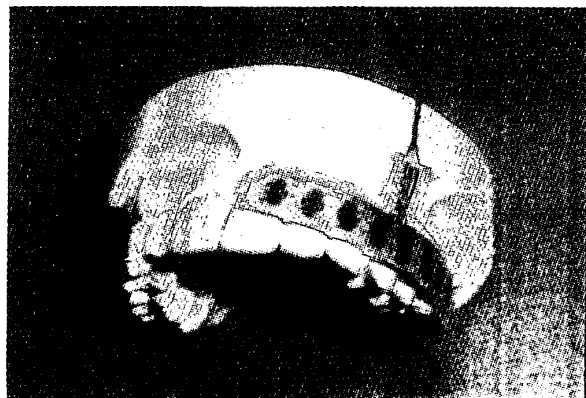
一方、最初の 10 名の被験者に対して、主として上下のどちらの口唇に圧力が加わっているかを予め確認するため、感圧紙 (富士写真フイルム社製プレスケール)

Table 1 Subjects data.

subj. No.	age	sex	situation	contact pressure
1	57	m	professional	
2	59	f	professional	×
3	55	m	professional	×
4	46	m	professional	
5	43	m	professional	×
6	41	m	professional	
7	38	m	professional	×
8	32	m	professional	
9	25	m	post graduate 1M	
10	20	m	under graduate 2M	
11	23	m	under graduate 3M	
12	22	m	under graduate 4M	
13	38	f	amateur	
14	17	m	high school 2M	
15	20	f	under graduate 2M	
16	18	f	under graduate 1M	
17	19	f	under graduate 2M	×
18	33	m	amateur	×
19	19	f	under graduate 1M	×
20	20	f	under graduate 3M	×
21	25	f	amateur	×
22	19	m	under graduate 2	×
23	18	f	under graduate 1	×
24	31	m	professional	×
25	14	f	junior high 3	
26	14	f	junior high 3	
27	14	f	junior high 3	×
28	13	f	junior high 2	
29	13	f	junior high 2	
30	13	f	junior high 1	
31	13	f	junior high 1	
32	13	f	junior high 2	×
33	12	f	junior high 1	×



(a) Pressure sensor.



(b) Sensor fixed to the upper dental arch.

Fig. 2 The pressure sensor and its location.

を使用して直接マウスピースと口唇との接触圧力を測定した。二枚一組の感圧紙に直径約 14 mm の穴をあけ、穴中心とリム中心がおおよそ一致するように両面テープでマウスピースのリムに貼付した。その後被験者には C5 音を *mf* ないし *f* の音量でやや長い時間吹奏するよう指示した。

更に、ホルンとトランペットの間で演奏技術に違いがあるかどうかを調べるために、日常的に大学の学生オーケストラもしくは市民オーケストラで演奏活動を行っている 3 名のアマチュアトランペット奏者のマウスピース力を測定した。この時、トランペット用マウスピースをホルンに接続できるような特別設計のトランスデューサを製作した。次いで、被験者自身のマウスピースを使用し、ホルン演奏者である他の被験者らが行ったと同様に、演奏することを指示した。ただし、音量は *mf* レベルのみにとどめた。

#### 4. 結 果

**4-1 マウスピース力の変化** 図 3 に音量 *mf* でスケール演奏を行った場合の E $\flat$  調倍音列についての結果を示す。上級者と初・中級者との間に統計的有意差はほとんど見られなかった。また、図 4 に、各被験者の演奏可能な最低、最高音と、その時のマウスピース力の関係を示す。いずれの音域の場合も上級者のマウスピース力が統計的に大きいと言える ( $p < 0.05$ )。しかし音量とマウスピース力との間の明瞭な相関性は見られなかった。また、感圧紙を用いた測定によれば、全ての被験者がマウスピース力のほとんど全てを下唇で受けていたが、矢状面内における曲げモーメントと音高、音量との間には、いずれも規則性は認められなかった。

**4-2 歯頰面接触圧力の解析** 歯頰面接触圧力を図 5 に示す。音高と各部位における接触圧力の大きさとの関係を、上級者と初・中級者の両群間で比較するために、多変量解析法の一つである主成分分析法を適用した<sup>(12)</sup>。このとき、マウスピース力の値も同時に考慮することとし、演奏された全ての音高、音量について、各センサによる測定値を変量として計算を行った。ただし、圧力センサ No. 7, No. 8 の測定値はマウスピース力にほぼ等しいことから解析対象外とした。表 2 に、各測定値の平均、標準偏差、および相関行列によって計算された第 1～第 4 主成分の各係数、個有値、寄与率、累積寄与率を示した。主成分分析ではそれぞれの主成分係数の絶対値、正・負等を考慮し、各主成分の意味を解釈する必要がある。よってここでは各主成分が、以下のように生体力学的指標を表わすものと解

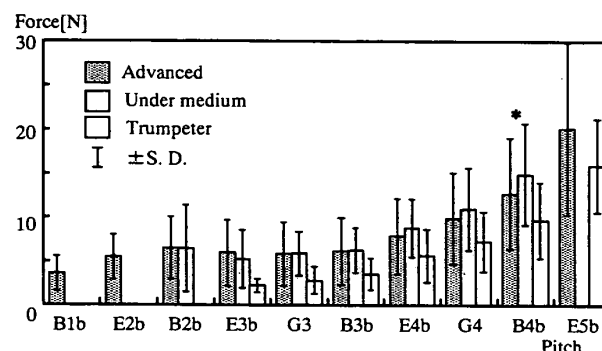


Fig. 3 Mouthpiece forces. (\*:  $p < 0.05$ )

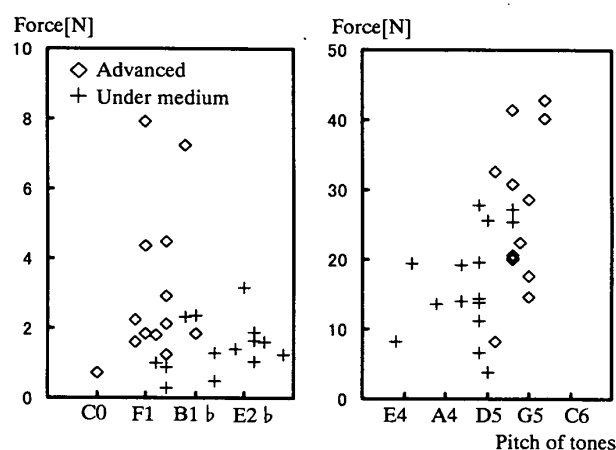


Fig. 4 Mouthpiece forces for the lowest and highest tones.

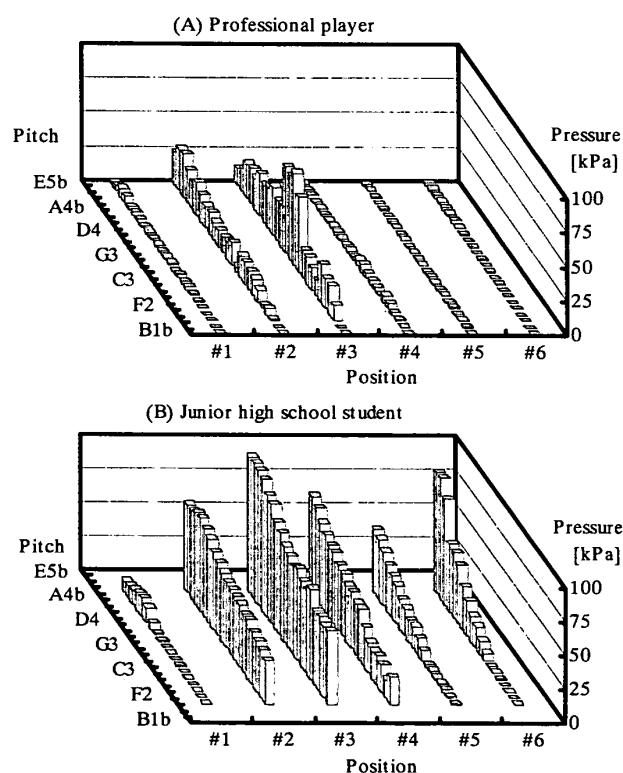


Fig. 5 Typical contact pressure on the teeth buccal surface. (loudness: *mf*)

Table 2 Particular statistical values and principal component coefficients.

	Ave.	S.D.	I	II	III	IV
#1	3.13 kPa	7.38 kPa	0.194	-0.425	0.628	-0.334
#2	10.71 kPa	19.73 kPa	0.437	-0.449	0.136	-0.051
#3	13.56 kPa	19.96 kPa	0.459	-0.295	-0.382	0.195
#4	13.85 kPa	16.19 kPa	0.483	0.060	-0.386	0.107
#5	7.99 kPa	12.92 kPa	0.438	0.384	0.007	-0.374
#6	16.72 kPa	28.34 kPa	0.272	0.558	0.187	-0.309
Mpf	6.37 N	5.09 N	0.250	0.261	0.507	0.775
Eigenvalue	----	----	2.668	1.901	1.052	0.718
Proportion	----	----	0.381	0.273	0.150	0.103
Cumulative proportion	----	----	0.381	0.654	0.804	0.907

釈した。

#### [I] 第1主成分

全ての主成分係数は正であり、第2～第5係数はほぼ同じ値である。第1係数と第6係数、およびマウスピース力係数（以下 Mpf 係数）は比較的小さいが、この第1主成分は測定された全ての圧力または力の大きさ全体、即ち「総圧力」を表わす。

#### [II] 第2主成分

第1～第6係数までの6個の主成分係数が、ほぼ順に負の極小値から増加してゆくことが特徴的である。従って Mpf 係数とあわせ、第2主成分は「総圧力の中心位置」を示しており、主成分得点が負に大きければ遠心側に、逆に正に大きければ近心側に位置している。

#### [III] 第3主成分

この主成分係数を横軸が係数番号、縦軸を係数の値としてグラフにプロットすると、第3、第4係数を極小とするV字形を描く。また第3、第4係数に対応する測定部位は口角結節部と歯頰面の接触部であり、即ち、第3主成分は「口角結節部への圧力集中度」を意味する。主成分得点が負に大きいほど圧力集中度が大きい。

#### [IV] 第4主成分

Mpf 係数が他の係数に比べて極端に大きく、従って第4主成分が演奏技術の「マウスピース力依存度」を表していると考えられる。正に大きな主成分得点は、大きなマウスピース力を利用して演奏していることを示す。

主成分分析においては、一般的に累積寄与率が0.8を超えるまで、あるいは相関行列を用いる場合には個有値が1以上の主成分を取り上げるのが適当だと言われており、ここでは第3主成分までがこの条件を満たしている。一方、本研究における主成分分析では、奏者がアンブシュアの形成を口唇周辺の筋張力、又はマ

ウスピース力のどちらにより依存しているかを知る上で、第4主成分を利用するのが最も有効であると思われるため、全体として4つの主成分を考慮することが適当と考えた。最終的に得られた主成分得点を、第1～第3主成分平面、第2～第4主成分平面にプロットしたのが図6である。解釈を容易にするために、全音域を最低音域（B1b～A2b）、中低音域（B2b～A3b）、中高音域（B3b～A4b）、および最高音域（B4b～E5b）の4音域に分割表示した。

## 5. 考 察

本研究で得られた音高とマウスピース力との相関関係は、過去の報告とは異なり単純ではなく、低音域で1つの極大値を持つと共に、より複雑な変動を示した。また、上級奏者の最高音演奏時のマウスピース力が初・中級者のそれより大きいという結果は Barbenel らの結果に一致するが、最低音演奏時には逆の結果が得られた。Barbenel らは、より低い音を演奏するためにはよりマウスピース力は小さくすると明示しているが、本研究結果では、上級者は初・中級者より低い音の演奏が可能であるにもかかわらず、その時のマウスピース力は初・中級者より大きい結果が得られた。これは、ホルンの持つ広い音域が結果に大きく影響しているためと思われる。即ち、ホルン演奏では中低音以下と中高音以上の音域とでは、明らかに適用する技術が異なることを示しており、奏者らの間で、「高音用と低音用のそれぞれのアンブシュアが存在する」と言われている事実を裏付けている。更には、口唇の振動形態解析に重要な手がかりがあることをも示していると思われる。口唇の振動により生じたマウスピースカップ内の音響エネルギーは、マウスピースと口唇の接触面において通常密封されると思われる。Fletcher らによれば、

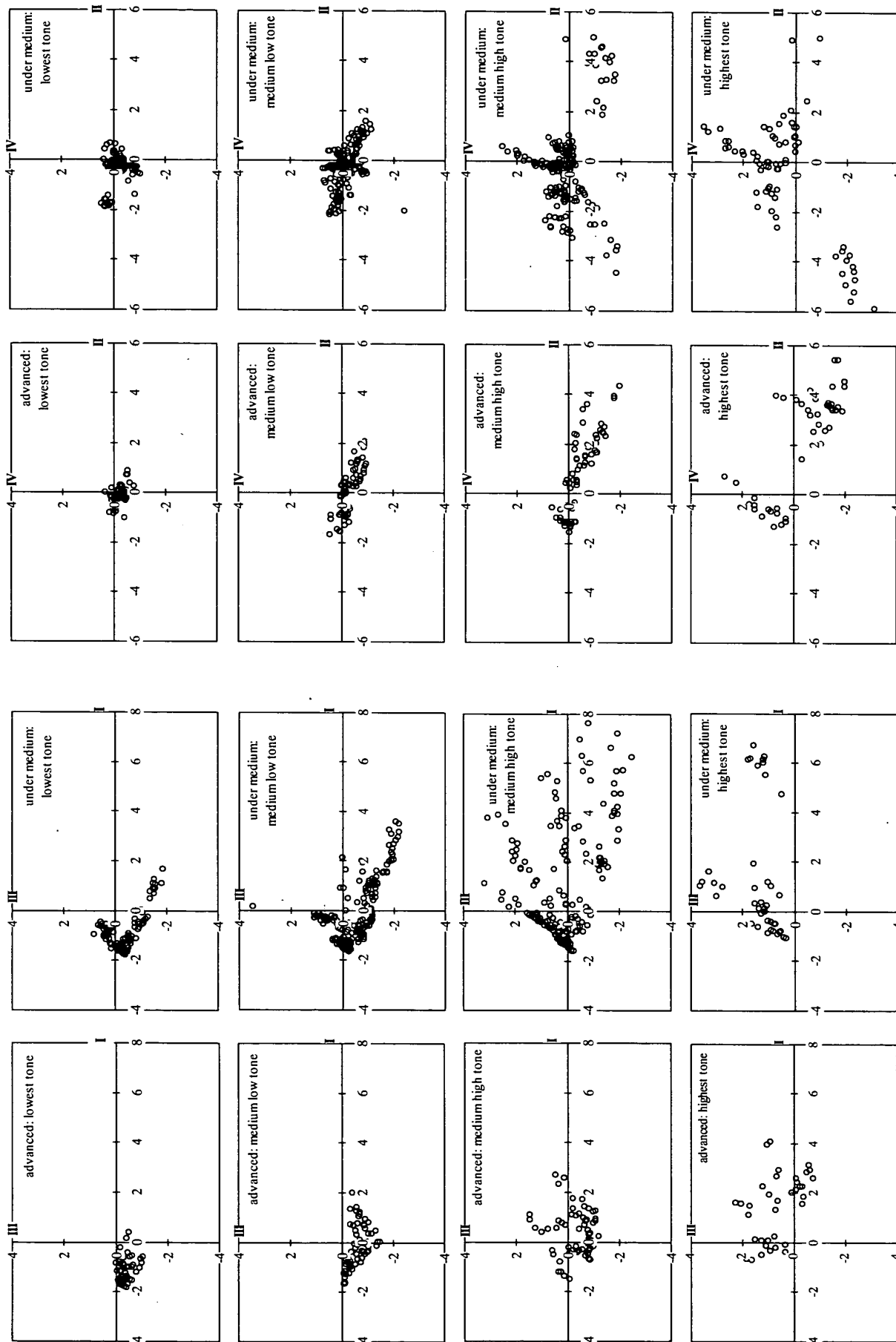


Fig. 6 Calculated principal component scores on I – III and II – IV planes respectively.

トランペット演奏時のこの音響エネルギーは吹奏圧力の関数で表わされ、吹奏圧の増加と共にエネルギーも増加し、また、最小吹奏圧力（スレッシュホールド圧）は演奏音の周波数に比例するとされている<sup>(13)</sup>。このことと、E3 $\flat$ 付近を境界として音高とマウスピース力がほぼ比例する中音域以上とそれ以下の音域に分けられるという本研究結果とを比較すると、口唇の振動形態が高音域と低音域で“upward-striking”，または“outward-striking”のいずれかの異なる形態をそれぞれとることを示唆していると考えられる。

主成分分析における主成分係数を見ると、寄与率の大きい第1、第2主成分中のMpf係数の絶対値は他の係数に比べて小さい。第3、第4主成分中ではMpf係数は大きく、それぞれの主成分得点に及ぼすMpf係数の影響は大きい、主成分自体の寄与率ではそれぞれ15、10%と小さい。これらを合わせると、マウスピース力は音高決定に対して大きく寄与しないと言える。

続いて、主成分得点分布を検証すると以下のように考察される。

- ・全音域を通して、上級者の口角結節部への圧力集中度が初・中級者に比して極端に変化することはない。総圧力の変化も小さく、筋張力とマウスピース力のバランスは一定の範囲内に保たれている。

- ・特に中高音～最高音域演奏時のII-IV平面上での主成分得点分布が2群間で対照的であり、両群の演奏技術の違いを明瞭に表す。上級者群の得点分布は、強い頬筋の緊張よりも上下の口唇を閉鎖する力、即ち、口唇閉鎖力が優位に生じていることを示す。これはFarkasによる「tug-of-war」理論<sup>(14)</sup>や、前述の人工口唇モデルの制御方法とも異なる。もし、tug-of-war理論によって口輪筋とその他の口唇周囲筋が引張り合うなら、歯頰面全体でほぼ等しい接触圧力を生じ、技術の高い上級者の第1主成分得点が大きくなるはずである。しかし、個々の音高の第1主成分得点を両群間で比較すると、D4 $\flat$ 音を除き統計的有意差は無いものの、むしろ初・中級者群の方が大きい傾向が見える。なお、口唇閉鎖力はアパチュア閉鎖力とほぼ同義であり、アパチュアとは、奏者の息が通過する小さな口唇開口部で、空気流中で振動する圧力駆動弁部分を意味している。

- ・初・中級者群の第2主成分得点と第4主成分得点との関係は、効果的かつバランスのとれた筋の緊張を得られない奏者が、音高を変化させる技術をマウスピース力の変化に依存していることを表わしている。大きなマウスピース力はアパチュアの縮小につながることから、初・中級者ではマウスピース力が筋張力によるアパチュア閉鎖力の代替として利用されているとする、

Hendersonの研究結果<sup>(6)</sup>とよく一致している。

- ・高音を効率よく演奏するためには頬筋の訓練が重要であるという意見も聞かれる。しかし本研究結果では頬筋に強い緊張が見られないことから、頬筋がアンブシュア形成に与える寄与は大きくないと考えられる。頬筋がアンブシュア形成に与える影響は、LAOとDAOの協調動作によって口唇閉鎖と同時に近心側に引き寄せられた口角を、それに抗して側方に引き戻し、口唇に振動に適した張力を与えることのみにとどまると考えられる。

## 6. 結 言

以上述べたとおり、金管楽器演奏中のマウスピース力と口唇周囲筋の挙動について明瞭に把握することができた。特に、一定水準以上の技術を持つ上級者は、個人差があるにも拘わらず、演奏技術では共通の傾向が見られた。以下、次のような結論を得た。

- (1) マウスピースの口唇に対する押付け力は、金管楽器演奏のための主たるアンブシュア制御パラメータとはなり得ない。特にホルンの中・低音域演奏ではマウスピース力と音高および音量との間に単純な相関関係は認められず、振動するアパチュアの復元力（閉鎖力）がマウスピース力ではなく、筋力あるいはアパチュアを通過する空気の流体力等により与えられていることが明らかである。

- (2) 従って、アパチュア閉鎖力としてのLAOとDAOの協調動作が非常に重要である。この動作により、口角結節部は歯列頰面に押付けられるため、奏者の筋活動の程度が接触圧力の大きさによって把握できる。

- (3) 頬筋のアンブシュア形成に対する寄与は、LAOとDAOが口唇に与える過度の影響を補正するのみであり、頬筋によって口唇に強い張力を与えることは、金管楽器演奏には適さない。

本研究結果は全ての演奏技術に関わるものではなく、高音域と同様に難しいとされる最低音域の演奏技術についての関連性も直接は有していない。しかしながらここで得た結果は、金管楽器演奏者、教授者や他の研究者らに数値的に知見を示したことは確かであり、これまで経験的ないしは感覚的にとらえられていた金管楽器演奏技術、およびその習得や教授法確立に関して、有意義な情報となると思われる。また本研究で行った実験、解析手法は、口腔周辺の運動生理を把握する目的として、例えば口唇周囲筋の運動療法、そのための器具やセンサの開発、咀嚼や捕食、あるいは構音を再現するための生理学的シミュレータの開発等において幅広い応用が期待できる。しかしながら口腔周辺の運

動生理については未だ不明な点が多く、現在、詳細な研究を展開中である。

最後に、本研究にご協力をいただいた全ての演奏者および実験場所の確保等に尽力頂いた'99, '00 両年度日本ホルン協会サマーキャンプ事務局の方々に、深い謝意を表する。

### 参考文献

- (1) Fletcher, N. H., "Autonomous vibration of simple pressure-controlled valves in gas flows," J. Acoust. Soc. Am. **93** (1993), pp. 2172-2180.
- (2) Adachi, S. et al., "Trumpet sound simulation using a two-dimensional lip vibration model," J. Acoust. Soc. Am. **99** (1996), pp. 1200-1209.
- (3) Engelman, J. A. "Measurement of perioral pressures during playing of musical wind instruments," Am. J. Orthodontics **51** (1965), pp. 856-864.
- (4) Herman, E., "Influence of musical instruments on tooth positions," Am. J. Orthodontics **80** (1981), pp. 145-155.
- (5) Fuhrmann, S. et al., "Natural lip function in wind instrument players," Euro. J. Orthodontics **9** (1987), pp. 216-223.
- (6) Henderson, H. W., "An Experimental Study of Trumpet Embouchure," J. Acoust. Soc. Am. **13** (1942), pp. 58-64.
- (7) Barbenel, J. C. et al., "Mouthpiece Forces Produced while Playing the Trumpet," J. Biomechanics **21** (1988), pp. 417-424.
- (8) White, E. R. et al., "Electromyography of lip muscles and their role in trumpet playing," J. Appl. Physiol. **35** (1973), pp. 892-897.
- (9) Gilbert, J. et al., "Artificial buzzing lips and brass instruments: Experimental results," J. Acoust. Soc. Am. **104** (1998), pp. 1627-1632.
- (10) 例えば、高橋和人・ほか2名, "小口腔解剖学", 学建書院 (1989).
- (11) 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), pp. 152-157.
- (12) 田中豊, 脇本和昌, "多変量統計解析法", 現代数学社 (1983), pp. 53-99.
- (13) Fletcher, N. H. and Tarnopolsky, A., "Blowing pressure, power, and spectrum in trumpet playing," J. Acoust. Soc. Am. **105** (1999), pp. 874-881.
- (14) Farkas, P., "金管楽器を吹く人のために" 全音楽譜出版社(1990), pp. 208
- (15) 小浦方格・ほか3名, "フレンチホルン奏者におけるマウスピース力と顔面筋力の測定", 機構論 No. 00-1, vol. II (2000), pp. 211-222.
- (16) Kourakata, I. et al., "Measurement of Contact Pressure on Teeth Buccal Surface During French Horn Playing," Proceedings of the 10th ICBME (2000), pp. 327-328.