

唇顎口蓋裂の有無による日本語話者の子音発声時
の舌と口蓋の接触パターン

やまもと いちろう
山本 一郎

本論文の要旨は第229回朝日大学大学院歯学研究科発表会(2019年12月18日, 瑞穂)において発表した。また, 本論文は以下の論文を日本語でまとめたものである。

Tongue palate contact patterns of Japanese speakers with and without cleft lip and palate. *International Journal of Speech-Language Pathology*, DOI:10.180/ 17549507. 2019. 1593505 Published online:23 Apr 2019, <http://doi.org/10.1080/17549507.2019.1593505>, Ichiro Yamamoto

緒 言

口蓋裂に伴う代償的構音障害¹⁾は、主に異なる構音場所で産生する誤学習の結果生じる構音異常である。これらの誤り音は、口蓋裂に伴う構音障害の中で目標音の代替として能動的に産生される^{2, 3)}。異常構音には口腔内で起こる誤り音（側音化構音，口蓋化構音，後方化構音，他）と口腔以外で起こる誤り音（咽頭における構音，声門における構音，能動的鼻腔摩擦音，他）がある。これら誤学習された音は、生理的に良好な鼻咽腔閉鎖機能を獲得したのちも存続する傾向がある⁴⁾。著者らは従来の構音訓練を長期間受けたにもかかわらず、構音障害が改善していない症例を多々経験した。このような症例に対応するために2004年にエレクトロパラトグラフィ（Electro palatography：以下 EPG と略す）を用いた視覚的フィードバック訓練を導入した⁵⁾。

EPG は発話時の舌と口蓋の接触について、その場所とタイミングの情報（以下 EPG パターンと略す）が得られる装置であり⁶⁾，臨床的には構音障害の診断や治療に用いられてきた^{7, 8)}。通常，EPG を用いた視覚的フィードバック訓練では目標として訛りの無い母国語を話す発声器官に異常のない者（以下健常者と略す）の EPG パターンが用いられている。しかし，健常者から作成した EPG パターンを模範として使用することが，歯列などの口腔形態が健常者と異なる口蓋裂術後患者に対して適

切かどうか疑問が残る． Hardcastle と Gibbon ら⁶⁾ は口唇口蓋裂術後症例にとって何が『正常な』EPG パターンなのか何が EPG パターンの歪みをもたらすのかを説明するのは簡単なことではないと述べている．

本研究では，健常者の EPG パターンが口蓋裂術後患者の EPG を用いた視覚的フィードバック訓練の模範となり得るかを確認するために，正常構音を獲得した口蓋裂術後患者と健常者の適正音発声時の EPG パターンの異同について検討した．

材料および方法

1. 研究対象

某歯科医院に通院中の片側性唇顎口蓋裂（以下 UCLP と略す）術後の患者のうち，経験ある 5 名の言語聴覚士のすべてが正常構音と判断した患者 15 名を UCLP 群とした．男性 9 名，女性 6 名，年齢は 14 歳から 34 歳で平均年齢 20.7 歳であった（表 1）．

対照群として 15 名の言語障害のない典型的日本語話者に協力を得た．男性 4 名，女性 11 名，年齢は 21 歳から 58 歳で平均年齢は 31.4 歳であった．

すべての被験者に研究について書面を用いて説明し，承諾を得た．

2. 口腔内の状態の記録

全ての被験者について上下歯列の印象を採取し，これらの印象から石膏模型を作製した．これらの石膏模型から口腔内の状態について，Hellman の歯牙発達段階⁹⁾，前歯咬合分類¹⁰⁾，上下顎骨格の関係¹¹⁾，上顎歯列弓形態および口蓋高径を記録した．

口蓋高径は各被験者の上顎石膏模型上で行い，左右上顎第一大臼歯の最も高い咬頭頂を結んだ線から垂直に口蓋中央部に至る距離とした．

3 .EPG人工口蓋床

各被験者の上顎石膏模型を用いて62個の電極を配置したReading大学型EPG人工口蓋床を作製した⁶⁾。電極の配列は、左右の上顎側切歯歯頸部を結んだ線を最前列とし、最後列を硬軟口蓋移行部として、前方3列の間隔は後方5列の1/2とし計8列を配列した。最前列のみ6個の電極を、2列目以降は各々8個の電極を左右に均等に配置した。

各被験者にEPG人工口蓋床を作製後、家に持ち帰らせて、記録の前に少なくとも1週間以上口腔内に装着させ順応させた。

4 . 発話サンプル

発話サンプルはFujiwaraら¹²⁾の方法を参考にして、EPG訓練で最も頻繁に練習される歯茎・後部歯茎音[t, d, n, s, t̠s, d̠z, ɛ, t̠ɛ, d̠z]を含む「母音・子音・母音」の無意味音節を使用した。先頭の母音はすべて[あ]を用い、後続母音については子音が[t, d, n, s]の場合には[あ]、[ɛ, t̠ɛ, d̠z],には[い]、[t̠s, d̠z]には[う]とした。

EPGの収録は被験者に各音のEPGパターンに関する特別な知識を与えないようにして行った。

5 . 記録システムと分析項目

WinSTARSTM for EPG(EPG 研究センター, 西宮)を使用し、サンプリング周波数は100Hzとして記録した。舌

と口蓋の接触の信号はマルチプレクサーに集められブルートウースを介してパーソナルコンピュータ（IdeaPad, Lenovo, 香港）に接続した。Articulate Assistant Software V.1.17（Articulate Instruments Ltd. Musselburgh, UK）を用い，EPGパターン，音声波形，サウンドスペクトログラムを同期して記録し解析した。本研究では最大接触フレームと積算フレームを分析項目とした。

最大接触フレームを決定するために各子音を音声，音声波形およびサウンドスペクトログラムで同定し，舌がEPG口蓋床の電極に接触し始めてから離れるまでの間で舌と接触する電極数が最も多いフレームを最大接触フレームとした（図1）。各被験者の各発声において最大接触フレームと同定したフレーム位置の信頼性は，それぞれを5名の言語聴覚士が確認し，95%以上の信頼性で一致したものをデータとして採用した。

積算フレームはすべての被験者の個々の子音発声時の最大接触フレームを積算したものとした。積算フレームは15名の被験者の最大接触フレームから求めた（図2）。フレームの色が濃くなるほど接触している被検者数が増えることを示し，枠内の数値は舌の接触する被験者の割合（%）を表している。

6．分析法

（1）重心中心位値（Centre of gravity：以下CoGと略す）

舌が口蓋に接触したときの重心位の中心を計測したものをCoGとし、舌の前後の位置を表している。値が高くなるほど構音時に舌は口蓋の前方部で接触していることを表している¹³⁾。CoGはWrenchら¹⁴⁾の方法により以下の計算式を用いた。

$$\text{CoG} = \frac{(7.5R_1 + 6.5R_2 + 5.5R_3 + 4.5R_4 + 3.5R_5 + 2.5R_6 + 1.5R_7 + 0.5R_8)}{\text{Total number of contacts}}$$

各歯茎音・後部歯茎音を発声させたときのCoGを求め、UCLP群と対照群間でt-検定を行い、 $p < 0.05$ で有意差があるとした。

(2) 変動指数 (Variability index : 以下VIと略す)

VIは、被験者間の構音動作時の舌位の安定性と変動性を表す指標として定義される。実際には各群の積算フレームの個々の電極において100%あるいは0%の場合VI値を0とし、50%に近づくに比例してVI値は増し、50%の場合VI値を50とした。各群内における各歯茎音・後部歯茎音のVI値はすべての電極におけるVI値を足して電極数の62で割ったものとした¹⁴⁾。

各歯茎音・後部歯茎音から両群の平均VI値と標準偏差を求めt-検定を行い、 $p < 0.05$ で有意差があるとした。

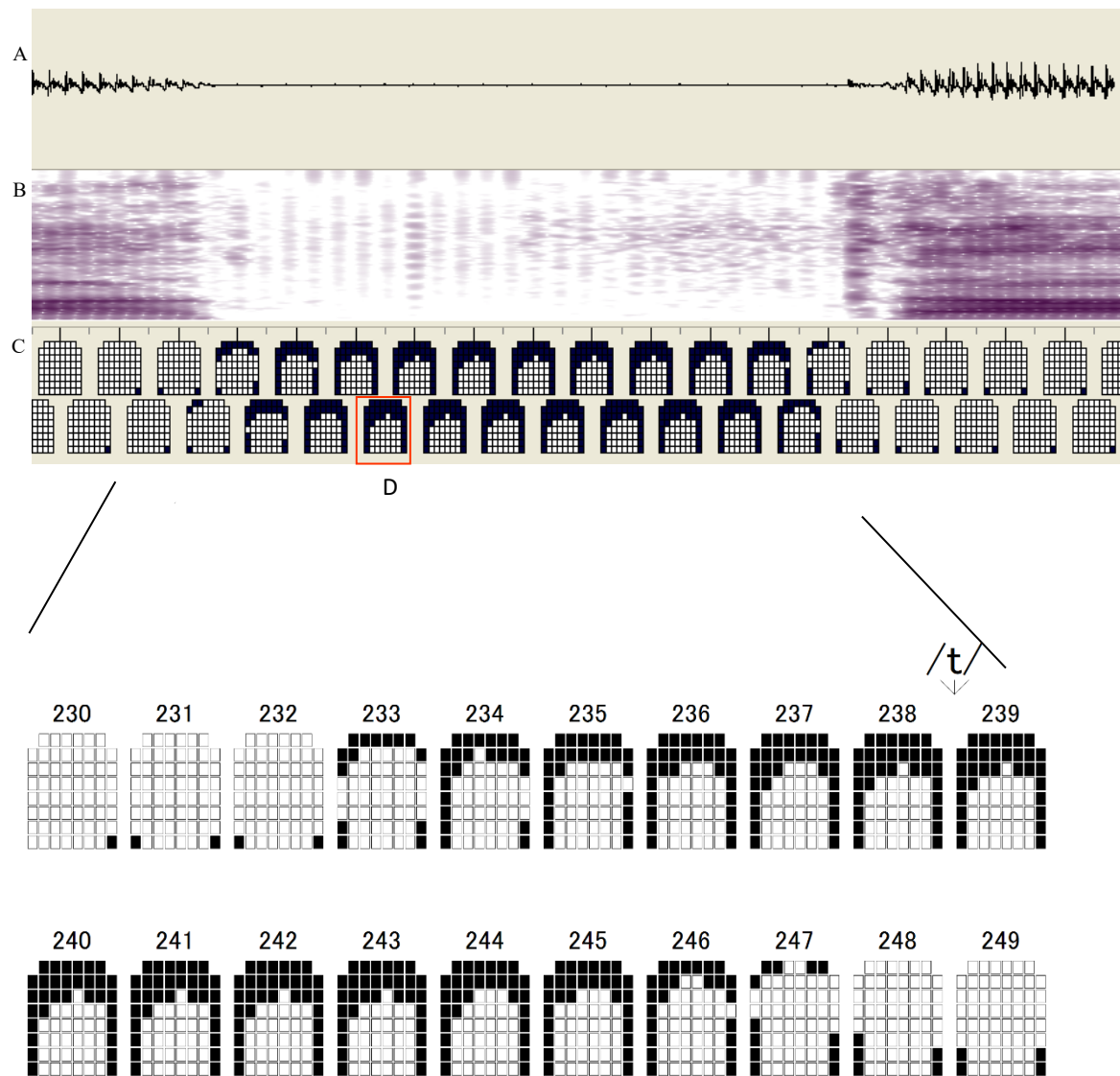


図 1 . 正常構音時の /t/分析画面と EPG パターン

A: 音声波形 B: サウンドスペクトログラム

C: EPG 連続フレーム D: 最大接触フレーム

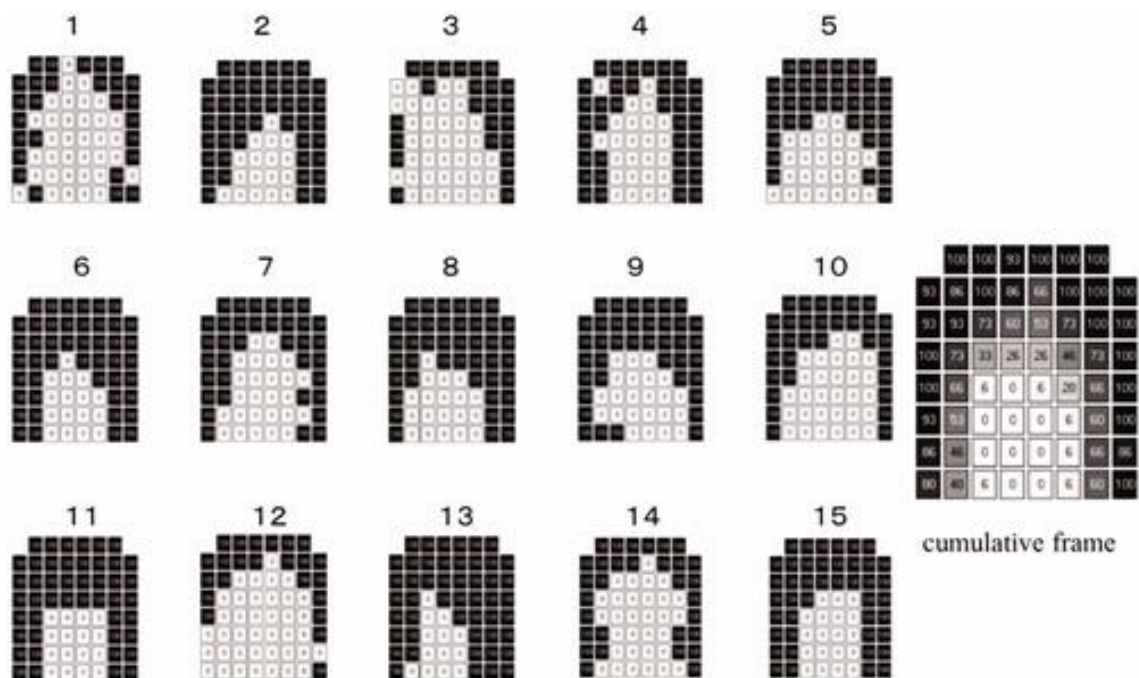


図 2 . /t/構音時の EPG フレーム

1-15 : 最大接触フレーム cumulative frame : 積算フレーム

結 果

1 . 研 究 対 象

UCLP 群と対照群では性別，年齢における差があるが，適正な日本語音は 7 歳前後で獲得され，性差はないことから，コントロール群として問題ないと判断した．

2 . 口 腔 内 の 状 態

UCPL 群の口腔内の状態を表 1 に示した．Hellman の分類⁹⁾による歯牙萌出段階は，Ⅲ C が 1 例，Ⅳ A が 6 例，5 例はⅣ C，Ⅴ A が 3 例であった．前歯部分類¹⁰⁾は Class I が 13 例，Class III が 2 例認められた．Class III を呈した例においても著しいマイナスのオーバージェットを示すものはなかった．上下顎骨格関係¹¹⁾は，Skeletal Class 1 が 7 例，Skeletal Class 2 が 2 例，Skeletal Class 3 が 6 例であった．上顎歯列弓の形態は U-型が 13 例，V-型が 1 例，鞍状-型が 1 例であった．口蓋の高さは 9.3mm から 21.4mm の幅があり平均 15.8mm であった．症例 3 と症例 14 では，上顎左側中切歯，側切歯，犬歯が欠損しておりこれらのスペースは可撤式義歯にて補綴処置されていた．

対照群の口腔内の状態は正常範囲内で歯の欠損等も認めず，口蓋の高さも全例ほぼ 20mm 程度であった．

表 1 被験者の手術歴と矯正治療歴および口腔内環境

Subject	Sex	Age(y.m)	裂型	口唇形成	口蓋形成	顎裂形成	矯正治療	歯牙発達段階	前歯咬合分類	骨格系	歯列弓	口蓋高径
1	M	14y10m	L-UCLP	3m	1y6m	8y5m	expansion plate	IVA	I	1	U	20.1
2	M	17y7m	L-UCLP	3m	1y3m	8y9m	Retainer	IVA	I	1	U	14.5
3	M	20y3m	L-UCLP	3m	1y6m	9y5m	Retainer	IVC	III	3	U	12.4
4	M	21y1m	L-UCLP	3m	1y2m	8y6m	Retainer	IVC	I	1	U	19.7
5	M	16y7m	R-UCLP	3m	1y5m	7y9m	Multi bracket	IVA	I	2	U	18.1
6	M	18y4m	R-UCLP	3m	1y5m	9y1m	Retainer	IVC	I	3	U	14.0
7	M	19y2m	R-UCLP	4m	1y7m	8y11m	Retainer	IVA	I	1	U	10.5
8	M	21y11m	R-UCLP	4m	1y1m	10y4m	Retainer	IVC	I	3	U	14.7
9	M	23y11m	R-UCLP	3m	1y6m	8y6m	Retainer	IVC	I	3	U	18.9
10	F	14y3m	L-UCLP	3m	1y11m	10y2m	Multi bracket	VA	I	3	U	17.3
11	F	14y8m	L-UCLP	3m	1y4m	7y3m	Retainer	IIIc	I	1	V	12.4
12	F	19y8m	L-UCLP	4m	1y6m	11y	Retainer	IVA	I	2	U	21.4
13	F	20y6m	L-UCLP	4m	1y5m	12y	Retainer	IVA	I	1	U	13.7
14	F	23y7m	L-UCLP	3m	1y9m	9y3m	Retainer	VA	III	3	U	20.8
15	F	34y5m	L-UCLP	3m	1y6m	28y2m	Retainer	VA	I	1	Saddle	9.3

UCLP:片側性唇顎口蓋裂, R:右, L:左
III C:永久大臼歯萌出完了期, IV A:永久第二大臼歯萌出完了期, IV C:第三大臼歯萌出期, V:第三大臼歯萌出完了期⁸⁾
Class I:下顎前歯の切端が上顎前歯の基底隆起に咬合する. Class III:下顎前歯の切端が上顎前歯の切端もしくは前方で咬合する⁹⁾
Skeletal I:正常な上下歯槽の前後関係, 2:下顎の歯槽が上顎歯槽に対して後方に位置する, 3:下顎の歯槽が上顎の歯槽に対して前方に位置する¹⁰⁾
U:U-字型, V:V-字型, Saddle:鞍状型

3. 歯茎・後部歯茎発声時の積算フレーム

図 3 に UCLP 群と対照群の歯茎・後部歯茎音 [t, d, n, s, t̠s, d̠z, ɛ, t̠ɛ, d̠z] の積算フレームを示した。左は対照群，右は UCLP 群で，すべての歯茎・後部歯茎音発声時の両群の舌と電極との接触パターンはよく似た形を示しており，基本的に前歯部から臼歯部全域の歯頸部に沿った馬蹄形を呈しており，2～8 列の歯頸部側最外方の電極はすべて高率に接触しており，最前列において，歯茎摩擦音 [s]，後部歯茎摩擦音 [ɛ] では接触率の低い領域が認められたが，他はすべてが高率に接触していた。

歯茎破裂音である [t] や [d]，歯茎鼻音 [n] および後部歯茎摩擦音 [ɛ] においては，UCLP 群で前方 2～4 列では対照群と比べて高頻度に接触し，接触部位が後方に移動（後方化）した。

UCLP 群は対照群に比較して，歯茎摩擦音 [s] 発声時には最前列の接触率が高く，後部歯茎摩擦音 [ɛ] 発声時には前方中央部 3 列の接触率が高く，歯茎破裂音 [dz] と後部歯茎破裂音 [d̠z] の発声時には UCLP 群で最前列と第 2 列の接触率が低下しており，UCLP 群のほうが発声時の個人差が大きい傾向が認められた。

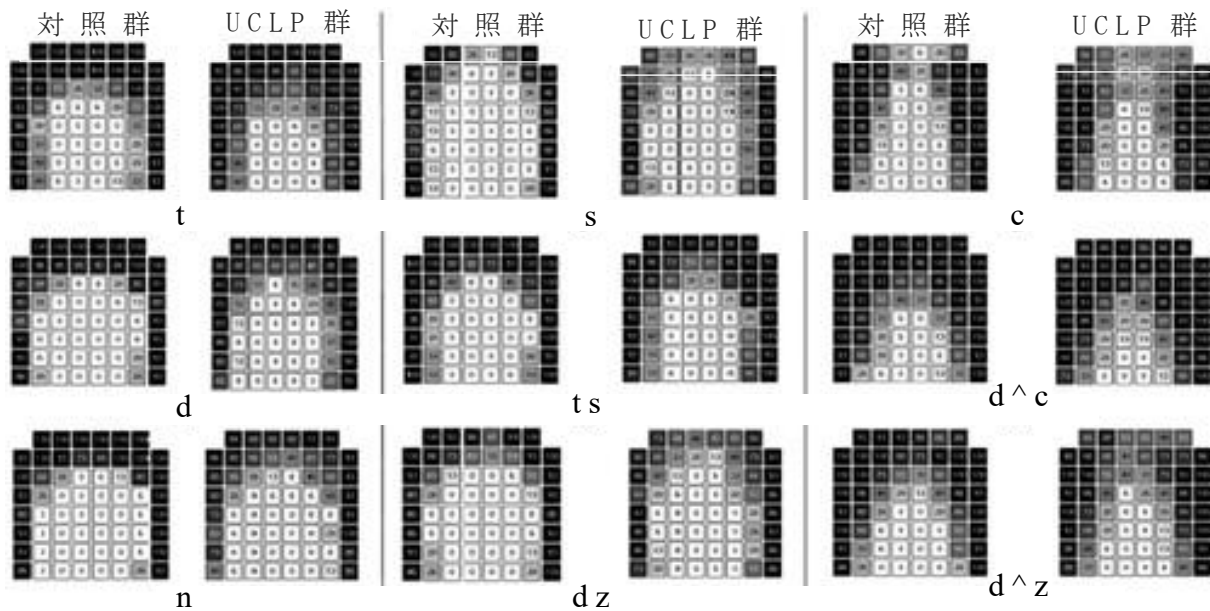


図 3 . 歯茎・後部歯茎音発声時の EPG 積算フレーム

4 . CoG の 分 析 結 果

図 4 に歯茎・後部歯茎音発声時の CoG を示す．各音ともに平均 CoG は UCLP 群において対照群よりもわずかに低い傾向を示したが，有意差を認めるのは /s/ の CoG のみであった．

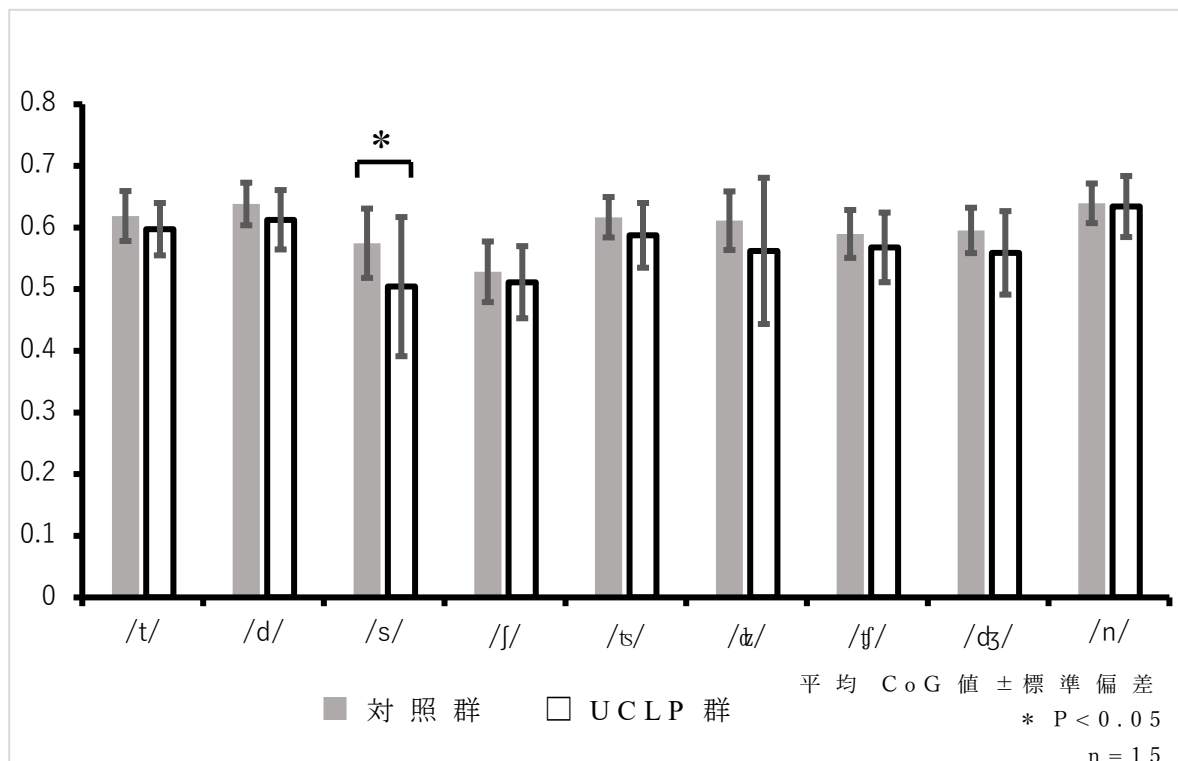


図 4 . 歯茎音・後部歯茎音発声時の平均 CoG 値

5 . VI の分析結果

図 5 A に歯茎・後部歯茎音発声時の VI 値を示す．各音ともに VI は UCLP 群において高い傾向を示した．また，9 種類の歯茎・後部歯茎音の平均 VI 値は，UCLP 群で 15.19，対照群で 9.63 であり有意差を認めた (図 5 B)．

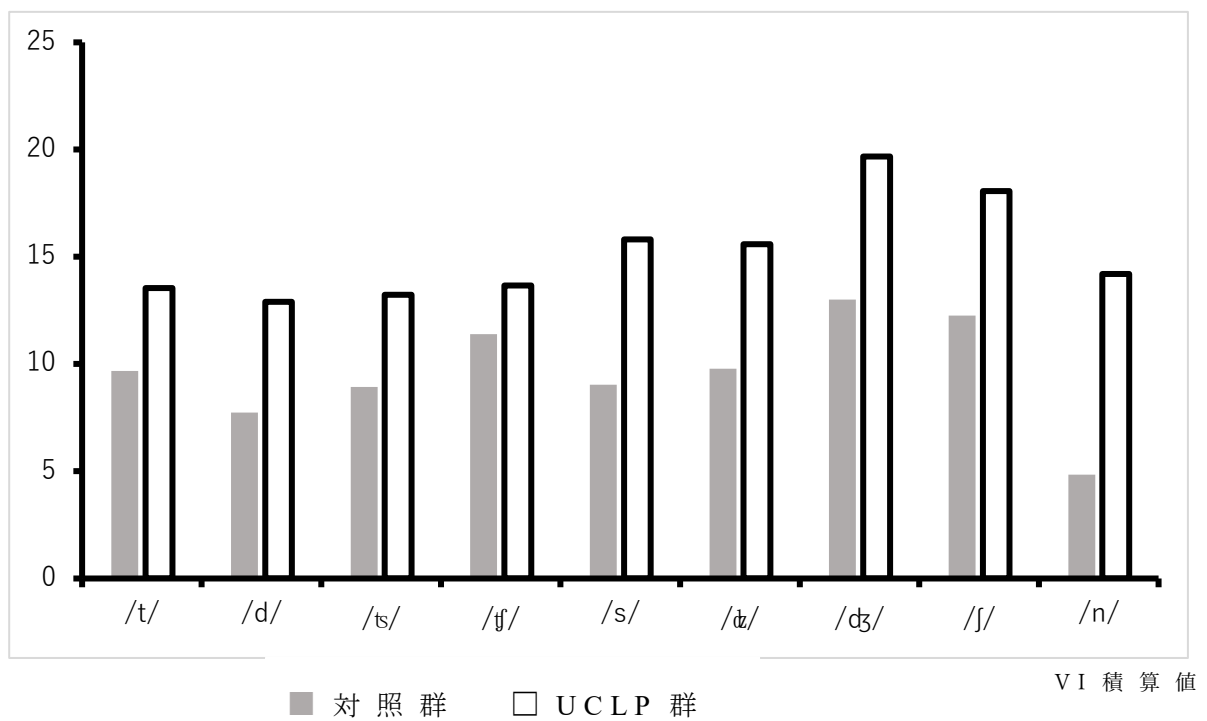


図 5 A. 歯頸・後部歯茎音発声時の VI 値

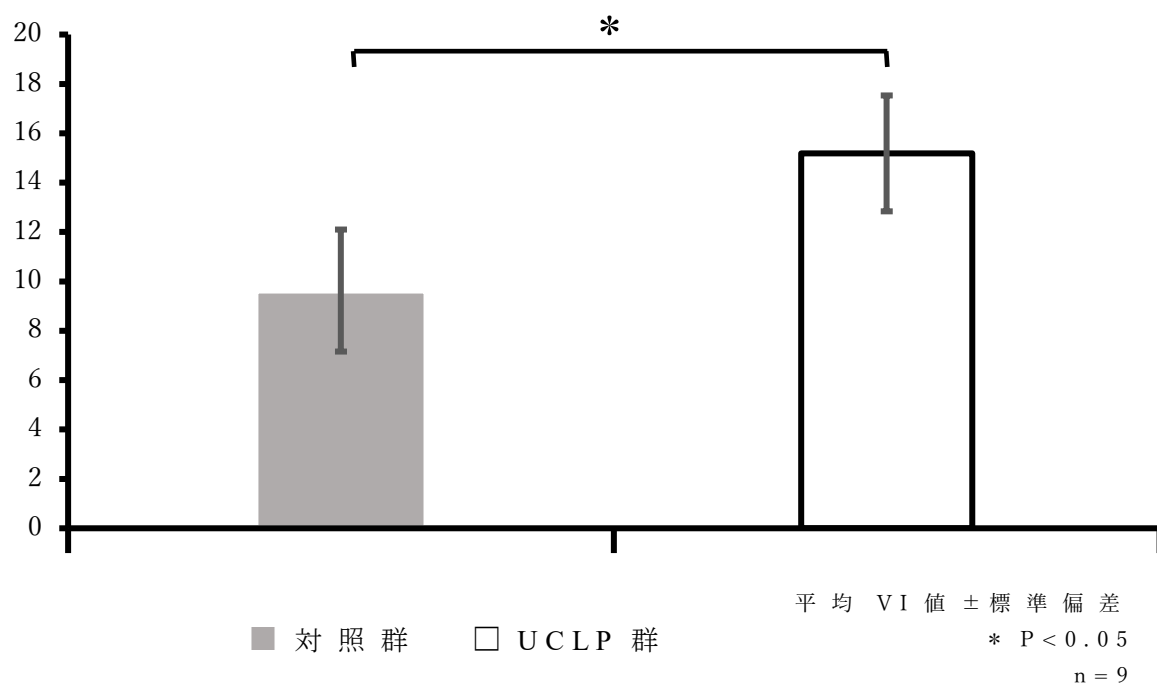


図 5 B. すべての歯頸・後部歯茎音の平均 VI 値

考 察

口唇口蓋裂術後の歯列・口蓋の形態は健常人の口蓋形態と異なることから，発話時の舌の接触も異なるのではないかと推察される．唇裂口蓋裂術後症例の歯科的所見では，さまざまなタイプの咬合，歯列弓，口蓋の高さ，上顎前歯の間隔，先天的欠損歯および異所萌出歯が認められる¹⁵⁾．Thilander¹⁶⁾は16歳のスウェーデン人の口蓋の高さは男性で平均20.5mm，女性で平均19.7mmと報告している．小池¹⁷⁾は18歳から30歳の日本人の口蓋の高さを計測し，男性で平均14.0mm，女性で平均13.1mmと報告している．この研究では口蓋の高さは上顎第一大臼歯歯頸部から硬口蓋の最深部までの距離を測定している．今回の計測と比較するために，上顎第一大臼歯の歯冠高径の平均6mmを加えると，男性で20.0mm，女性で19.1mmになる．人種に関わらず，平均的な口蓋の高さは男女とも20mm前後である．これらの先行研究と比べると本研究のUCLP群の口蓋の高さは低く，正常なドーム型の口蓋に比べUCLP群の口蓋は平坦であると考えられる．Šmahelら¹⁸⁾は永久歯列期のUCLP症例を対象として3次元の口蓋形態を計測し，UCLPでは口蓋の幅と高さが正常より少なかったと報告しており，今回の結果と一致している．初回口蓋形成術は平均して1.5歳前後に行われることが多く¹⁵⁾，術後の口蓋瘢痕が平坦な口蓋形態をもたらしていると考えら

れる．

EPG を用いた研究で使用された人工口蓋床は，当初，電極数が 23 個から 38 個と一定ではなく，歯列弓に沿って U 字型に配置されていた¹⁹⁾．Reading 型人工口蓋床を使用した解析では，McLeod ら²⁰⁾などの英語音での研究は報告されていたが，我々が研究を開始した 2004 年当時，日本語音を分析した研究はなかった．そこで，我々は McLeod ら²¹⁾の手法を用いて，典型的日本語話者の EPG 積算パターンを作成し²²⁾．本研究では健常者のデータを 15 例に増やして，UCPL 群との比較検討に用いた．

健常者で口蓋形態と構音操作の関連を EPG と音響分析を用いて検討されている²³⁻²⁷⁾．そのなかでも Brunner ら²³⁾はドーム型で高い口蓋よりも平坦で低い口蓋の方が舌の接触範囲が広いが，CoG 値や音響学的結果に違いは認められず，「話者は聴覚的に正常範囲の音を産生するために口蓋形態に合わせて舌位置を調整している」と結論している．本研究では，UCLP 群の口蓋形態は健常者と比較して低い傾向が認められたが，各音での基本的な舌と口蓋の接触パターンは対照群とほぼ一致していた．すなわち，聴覚的に典型的な発声である限り，口蓋形態が異なっても舌の口蓋への接触部位は各音に特有のパターンを示すと考えられる．CoG 分析は口蓋の前後方向の接触の偏りを表している．すなわち，より口蓋の前方に舌が接触すると CoG 値が高くなり，後

方に接触すると CoG 値が低くなる． UCLP 群での CoG 値は /s/音のみが有意に低く，他の歯茎・後部歯茎音でも低い傾向がみられた．このことから歯茎・後部歯茎発声時 UCLP 術後患者の舌は健常者よりもやや後方で口蓋に接触していると考えられる． UCLP 術後患者の口蓋前方部の形態は患側でより狭く最も高いことが知られている¹⁸⁾．本研究では口蓋前方の幅や高さの計測はしていないが，口蓋前方部は UCLP 群と対照群の EPG 積算フレームで差異を認める部位であり， UCLP 術後患者において口蓋前方部に舌を接触させる動作は健常者に比べて難しいと推測される．

UCLP 群の積算フレームでは，歯茎・後部歯茎音発声時において口蓋前方部への舌の接触率は対照群とは若干異なり， VI 値が高く，発声時，特に口蓋前方部で舌の接触が不安定になりやすいことが UCLP 術後患者の特徴と考えられた．

本研究では正常な構音を獲得した UCPL 術後患者の日本語子音発生時の EPG パターンを調査し，正常日本語話者の EPG パターンと類似していることが確認できた．このことから，正常日本語話者の EPG パターンを UCLP 術後患者の構音訓練の手本とすることが可能であると考えられる．しかしながら，重度の歯列・咬合の異常がある症例では発話時の EPG パターンが健常者とは大きく異なる可能性があり，今後，歯列や咬合の異常が顕著な症例においても検討する必要がある．

結 論

UCLP 術後症例において，歯茎音・後部歯茎音発声時の舌と口蓋の接触パターンについて EPG を用いて検討した結果，以下の結論を得た．

- 1．UCLP 群の EPG 積算パターンは対照群に近似していたが，口蓋前方部では舌の接触が不安定になりやすい傾向を認めた．
- 2．CoG 値は UCLP 群で低い傾向にあり，/s/音のみに対照群との有意差を認め，舌は健常者よりもやや後方で口蓋に接触していた．
- 3．VI 値は UCLP 群で高い傾向にあり，すべての子音の平均値で対照群との有意差を認め，健常者よりも舌と口蓋の接触は不安定であった．
- 4．唇顎口蓋裂術後症例を対象とした構音障害の視覚的フィードバック訓練の手本として，健常者の EPG パターンを用いることは，矯正歯科治療によって歯列咬合の形態が改善している限り問題ないことが示唆された．

引用文献

- 1) Peterson-Falzzone SJ, Trost-Cardamone J, Karnell MP and Hardin-Jones MA. The clinician's guide to treating cleft palate speech. Philadelphia: Mosby Elsevier; 2006: 27-34.
- 2) Sell D, Harding A and Grunwell P. GOS.SP.ASS.'98: Assessment for speech disorders associated with cleft palate and/or velopharyngeal dysfunction. *Int J Lang Commun Disord*. 1999; 34: 17-33.
- 3) Willadsen E, Lohmander A, Persson C, Lundeborg I, Alaluusua S, Aukner R, Bau A, Boers M, Bowden M, Davies j, Emborg B, Havstam C, Hayden C, Henningsson G, Holmefjord A, Hölttä E, Kisling-Møller M, Kjöll L, Lundberg M, McAleer E, Nyberg J, Paaso M, Pederson NH, Rasmussen T, Reisæther S, Anderson HS, Schöpe A, Tørdel IB and Semb G. Scandcleft randomized trials of primary surgery for unilateral cleft lip and palate: 5. Speech outcomes in 5-year-olds- consonant proficiency and errors. *J Plastic Surg Hand Surg*. 2017; 51: 38-51.
- 4) Peterson-Falzzone, Hardin-Jones, Karnell, CLEFT PALATE SPEECH, 4th Edition. Mosby; ;2010:224-

230.

- 5) Fujiwara Y. Electropalatography home training using portable training unit for Japanese children with cleft palate. *Adv Speech-Langu Pathol.*2007; 9: 65–72.
- 6) Hardcastle WJ and Gibbon F; MJ Ball and C Code, ed. Electropalatography and its clinical applications. Instrumental Clinical Phonetics. London: Whurr Publishers; 1997: 173.
- 7) Yamashita Y and Michi K. Misarticulation caused by abnormal lingual-palatal contact in patients with cleft palate with adequate velopharyngeal function. *Cleft Palate Craniofac J.*1991; 28: 360–366.
- 8) Michi K, Yamashita Y, Imai S, Suzuki N and Yoshida H. Role of visual feedback treatment for defective /s/ sounds in patients with cleft palate. *J Speech Hear Res.*1993; 36: 277–286.
- 9) Hellman M. An introduction to growth of the human face from infancy to adulthood. *Int J Orthodont Oral Surg Radiograp.*1932; 18:777–798.
- 10) Angle EH. Classification of malocclusion. *Dent Cosmos.*1889; 41: 248.
- 11) Ballard CF. Recent work in North America as it

- affects orthodontic diagnosis and treatment. *Dent Rec*, 1951; 171: 85-97.
- 12) Fujiwara Y, Yamamoto I and Ishimaru M. Clinical features of the clients with cleft palate who underwent EPG visual feedback training: Abnormal EPG patterns and their perceptual impressions. Abstract of the 5th International EPG Symposium. 2008: 12.
- 13) Hardcastle W and Gibbon F; Ball MJ and Code C ed. Electro-palatography and its Clinical application. Instrumental Clinical Phonetics. London: Whurr Publishings; 1997;149-193,.
- 14) Wrench AA, Gibbon FE, McNeill AM and Wood SE. In Hansen JHL and Pellom B eds. An EPG therapy protocol for the remediation and assessment of articulation disorders., Proceeding of ICSLP. Denver: 2002: 965-968.
- 15) 栗田賢一 ; 栗田賢一 , 覚道健治編 . 口唇裂・口蓋裂 . SIMPLE TEXT 口腔外科の疾患と治療 . 第5版 . 東京 : 永末書店 ; 2019 : 10-12.
- 16) Thilander B. Dentoalveolar development in subjects with normal occlusion. A longitudinal study between the age of 5 and 31 years. *Euro J Orthodont*.2009; 31: 109-120
- 17) 小池敏夫 . 口蓋の形態学的研究－顎顔面頭蓋との

- 関係について.日矯歯誌.1985; 44: 201-221.
- 18) Šmahel Z, Trefný P, Formánek P, Mullerova Z and Peterka M. Three-dimensional morphology of the palate in subjects with unilateral complete cleft lip and palate at the stage of permanent dentition. *Cleft Palate-Craniofac J.* 2004; 41: 416-423.
- 19) Yamada Y, Murata N and Oka T. A new speech training system for profoundly deaf children. *J Acoustical Soc Am.* 1988; 84: S43.
- 20) McLeod S, and Singh S. Speech sounds. A Pictorial Guide to Typical and Atypical Speech. San Diego: Plural Publishing; 2009.
- 21) McLeod S and Roberts A. Templates of tongue/palate contact for speech sound intervention. Proceedings of the 2005 Speech Pathology Australia National Conference. Sydney; 2005: 104-112.
- 22) 藤原百合,山本一郎,前川圭子. エレクトロパラストグラフィ (EPG) 臨床活用に向けた日本語音声韻目標パターンの作成と構音点の定量的評価指標の算定.音声言語医.2008; 49: 101-106.
- 23) Brunner J, Fuchs S and Perrier P. On the relationship between palate shape and articulatory behavior. *J Acoustical Soc Am.* 2009;

125: 3936–3949.

- 24) Cheng HY, Murdoch BE, Goozee JV and Scot D. Electropalatographic assessment of tongue-to-palate contact patterns and variability in children, adolescents, and adults. *J Speech Lang Hear Res.* 2007; 50: 375–392.
- 25) Weirich M and Fuchs S. Palatal morphology can influence speaker-specific realization of phoneme contrasts. *J Speech Lang Hear Res.* 2013; 56: 1894–S1903.
- 26) McLeod S and Searl J. Adaptation to an electropalatograph palate: Acoustic, impressionistic, and perceptual data. *Am J Speech Lang Pathol.* 2006; 15: 192–206.
- 27) McLeod S, Roberts A and Sita J. Tongue/palate contact for the production of /s/ and /z/. *Clin Linguist Phon.* 2006; 20: 51–66.