

学位論文内容の要旨

愛知学院大学

論文提出者名 高津淳 (心身科学研究科健康科学専攻後期課程)

論文題名

舌癌周術期における構音障害の経時的変化に対する音響学的検討

Phonologic and acoustic analysis of speech following glossectomy and the effect of rehabilitation on speech outcomes

(論文内容の要旨)

1. 諸言

舌癌の治療は主に外科的治療(舌切除), 放射線療法, 化学療法が施行される. 舌切除では構音・嚥下機能に大きな影響を及ぼし, 構音障害および嚥下障害が生じる(Logemann, 1984; Pauloski, Logemann, Rademaker et al., 1994). 舌切除の範囲は腫瘍の部位と腫瘍範囲に依存し, 障害の程度はこれに決定づけられる. 手術方法は一期縫縮と再建手術(ローカルフラップ(粘膜と舌), 植皮, 筋皮弁, 骨皮弁, マイクロサージェリーによる遊離組織移植)があり, マイクロサージェリーによる遊離組織移植による再建手術が主に施行される(Lovie, Duncan, Glasson, 1984; Ueda, Torii, Nagayama et al. 1985; Leonard, Kolhe, 1987).

発話に関して舌は母音と多くの子音を産出するのに最も重要な器官の一つである. 舌切除後の構音障害は切除範囲, 再建タイプ, 舌根の運動性により重症度が異なる. 一般的に, 舌癌術後患者に対して構音・嚥下リハビリテーションが実施され, 残存舌ならびにその他の構音器官(口唇, 頬部, 下顎, 口蓋, 口蓋垂, 咽頭, 喉頭)の代償によって発話明瞭度が改善すると報告されている(Pauloski, Rademaker, Logemann et al. 1998; Furia, Kowalski, Latorre et al. 2001; Nicoletti, Soutar, Jackson et al. 2004).

がんの周術期リハビリテーションは治療による機能障害の予防または治療後に残存する機能に対して最大限の機能回復を図り, 早期離床・入院期間短縮を目的とする(Dietz, 1981). 先行研究において, 舌癌術後の嚥下障害に対するリハビリテーションは, 嚥下機能の改善および経口摂取可能に至るまでの期間短縮を可能とすると報告されている(Denk, Kaider, 1997; Dejonckere, Hordijk, 1997). しかし, 国際誌において, 舌切除後の構音障害に対する周術期リハビリテーションの重要性を指摘した報告は少数である.

舌切除後の構音障害は音声言語の聴覚判定, 発話・会話明瞭度検査, 音響学的評価, エレ

クトロパトグラフィーなどで評価が行われる。音声言語の聴覚判定では評価者が患者の構音に対して国際音声記号（International Phonetic Alphabet : IPA）に基づいて正常・異常を判定する(Ward, van As-Brooks, 2014)。発話明瞭度検査では患者の発話内容の明瞭度を 5 段階で評価する。これらは簡便、短時間での実施が可能であるが、判定者の臨床経験により判定結果にばらつきが生じ、客観的・定量的な評価が難しい。フォルマント周波数およびサウンドスペクトログラムによる音響学的特性は、音声言語の聴覚判定を裏付ける客観的な指標としてきわめて有用となり、音響学的評価では構音を客観的・定量的に検討することが可能である。本研究において、我々は音響学的評価は舌切除後における構音障害のメカニズムと周術期リハビリテーション効果の検討が可能であると考えた。

2. 方法

1) 対象

舌癌と診断され、手術が施行された 62 例で構成した。舌部分切除後に一期縫縮を受けた 40 例（舌部分切除群；男性 29 例，女性 11 例；30~77 歳，平均 55.8 歳）と舌半側切除，舌亜全摘または舌全摘と遊離組織移植による再建術を受けた 22 例（再建群；舌半側切除 5 例，Subtotal 13 例，Total 4 例；男性 15 例，女性 7 例；21~69 歳，平均 55.8 歳）に分類した。再建材料として前外側大腿皮弁（ALT）を 16 例，腹直筋皮弁（TRAM）を 6 例に使用した。舌切除範囲群では切除範囲を基に以下の 3 グループに分類した：前舌部を主体に切除したグループ（anterior group）19 例，後舌部を主体に切除したグループ（posterior group）13 例，舌根部の切除を含むグループ（tongue base group）8 例。分類方法は Jian らの方法を参考として，前舌部・後舌部および舌根部が重複する症例は tongue base group に区分した(Sun, Weng, Li et al. 2007)。

再建群における舌亜全摘症例は前舌部保存または切除により 2 グループに分類した。TNM 分類を含む対象症例の詳細は Tables 1, 2 に示した。再建群に対しては，術後に構音・嚥下リハビリテーションを実施し，期間は入院中と設定し，リハビリテーションを毎日実施した。リハビリテーションは先行文献を参考にして，舌の可動域拡大訓練および筋力強化訓練，録音による聴覚的フィードバックを使用した音読訓練で構成した(Ward, van As-Brooks, 2014)。

2) 音声サンプル

各群の対象において，以下の時点を定めて音声サンプルを収録した。舌部分切除群では舌

切除術前，舌切除術後の 2 時点；再建群では舌切除術前，舌切除術後，リハビリテーション終了時の 3 時点．収録は遮音室を用いてデジタルオーディオレコーダ（Roland：R-05）にコンデンサーマイクrophon（SONY：ECM-G5M）を接続して行った．マイクrophonは口唇との間を 15cm に保って設置し，デジタルオーディオレコーダはサンプリング周波数 44.1kHz，16bit 量子化に設定した．

3) 音響学的評価

音響学的評価では音響解析ソフトウェア Multi-Speech 3700（Kay PENTAX 社）を使用した．各発話サンプルの音声波形をデジタル処理し，サウンドスペクトログラム上に示した．続いて母音の識別情報となるフォルマント周波数の抽出した．フォルマント周波数は舌位置との関連性が実証されており，第 1 フォルマント周波数（F1）は舌の高低，第 2 フォルマント周波数（F2）は舌の前方・後方位置の指標になる(Kent, Read, 1992).また，IPA において，日本語における母音/a/,/i/,/u/は下記に分類される(Kent, Read, 1992). /a/：非円唇前舌低母音，/i/：非円唇前舌高母音，/u/：非円唇後舌高母音．本研究では，音響解析によって母音/a/,/i/,/u/の第 1・第 2 フォルマント周波数（F1：舌の上下運動，F2：舌の前後運動）および Triangle vowel space area（tVSA：舌運動の総合的指標），連母音/a/,/i/,/u/間の F1,F2 の変化率（Formant slope）を分析した．

フォルマント周波数は/a/,/i/,/u/の持続発声より発話の起始と停止 25msec を除外し，中央約 30msec 区間の平均値を測定した(Kent, Vorperian, Kent, et al., 2003). 各母音のフォルマント周波数を測定した後，F1/F2 プロット図を作成した（F1:X 軸，F2：Y 軸）．プロットされた母音/a/,/i/,/u/ より 三角形 を 作成 ， 内部 の 面積 を 以下 の 公式： $0.5 \times ([F2/u+F2/i]/[F1/u-F1/i]-[F2/a+F2/u]/[F1/u-F1/a]-[F2/a+F2/i]/[F1/a-F1/i])$ で求めた．この計算より得た Hz 絶対値(Hertz)が舌運動の総合的指標である母音空間面積(Triangular vowel space area：tVSA)となる (Weismer, Kent, Hodge et al. 1988; Yunusova, Green, Greenwood et al. 2012). 単語復唱課題/taiko/,/ʧ isai/,/kaiko/,/suika/に含まれる母音/a/,/i/,/u/間で F1・F2 の Formant slope（F1 slope,F2 slope）を測定した．Formant slope は舌運動および運動速度の制限を示すフォルマントの変化率を示す指標であり，以下の 20×20 ルールを使用し算出した:Formant slope=変化量（Hz）/時間（msec），変化量（フォルマント最大値－フォルマント最小値），時間（終点－始点）．20×20 ルールに基づき，20msec で周波数が 20Hz 変化した点を遷移の開始点，終点に指定した(Weismer, Kent, Hodge et al. 1988; Yunusova, Green, Greenwood et al. 2012).

4) 統計学的解析

統計比較のため、術前・術後・リハ終了後の音響学的特性のデータをノンパラメトリック Mann-Whitney の U 検定で解析した。P 値 0.05 未満を有意差ありと判定した。統計学的解析には IBM SPSS version 23 を使用した。

3. 結果

1) 部分切除群

40 名の舌部分切除群における術前、術後の平均値(tVSA, F1, F2, F1slope, F2 slope)を Table 3 に示した。術前から術後にて tVSA は縮小したが、有意な差は認められなかった($p=0.001$)。各母音のフォルマント周波数において、母音/i/の平均 F2 に有意な低下が認められた($p<0.001$)。フォルマント周波数の変動を F1/F2 プロット図に表した (Figure 1)。単語復唱課題 /taiko/, /ʧ isai/, /kaiko/, /suika/ より測定した連母音間/a/, /i/, /u/の F1 slope・F2 slope の変移を Figure 2-A, 2-B に示した。F1 slope・F2 slope とともに術後に全ての連母音間で低下した。低下は /tai/, /kai/, /sai/, /sui/の順に大きい結果であった。/tai/, /kai/の連母音/a/, /i/間にて F1 slope は有意に変化率が低下した(/tai/: $p=0.007$, /kai/: $p=0.042$)。全ての連母音で F2 slope が術後に有意に変化率が低下した ($p<0.001$)。術前・術後間の変化量を用いて、切除部位(anterior, posterior, tongue base)による差異を比較した(Table 4, Figure 3)。術後で母音/i/の F2 は tongue base group, posterior group, anterior group の順に低下が大きい結果となった。anterior group・tongue base group 間では有意差, posterior group・tongue base group 間では有意傾向を認めた(anterior and tongue base groups: $p=0.003$, posterior group and tongue base group: $p=0.06$)。切除部位間で/tai/と/kai/における F2 slope 低下の傾向が異なった。/tai/の F2 slope は tongue base group, anterior group, posterior group の順に術後の変化率低下が大きく, tongue base group・anterior group と posterior group の間に有意傾向を認めた(anterior and posterior groups: $p=0.068$, tongue base and posterior groups: $p=0.070$)。/kai/では tongue base group, posterior group, anterior group の順に変化率低下が大きく, tongue base group と anterior group の間に有意差, posterior group と anterior group の間に有意傾向を認めた (anterior group and tongue base group: $p=0.019$, anterior group and posterior group: $p=0.081$)。前舌・後舌の切除部位と/tai/, /kai/の関連性について、F2 slope の変化率低下の程度は逆であった(/tai/ and /kai/ in the anterior group: $p=0.013$)。

2) 再建群

22名の再建群における術前、術後、リハ終了時の平均値(tVSA, F1, F2, F1slope, F2 slope)をTable 5に示した。データ比較は以下の2時点間で行った：術前・術後、術後・リハ終了時。術後にtVSAは縮小を示し、有意な差が認められた($p<0.001$)。F1では母音/i/,/u/は上昇し、逆に母音/a/は有意な低下を認めた(/i/: $p=0.064$, /a/: $p=0.021$)。F2では全ての母音が低下を示し、母音/i/,/u/で有意差を認めた(/i/: $p<0.001$, /u/: $p=0.002$)。術後・リハ終了時ではtVSAは拡大し、有意傾向にあった($p=0.082$)。全ての母音でF1が上昇したが、有意差は認めなかった。F2も同様に全て上昇し、母音/u/で有意傾向を認めた($p=0.057$)。各時点でのF1/F2プロット図におけるフォルマント周波数の変動をFigure 4に表した。測定した再建群におけるF1 slope・F2 slopeの変移をFigure 5に示した。術後のF1 slopeにて、連母音/a/,/i/で有意に変化率が低下した(/tai/, /kai/: $p<0.001$, /sai/: $p=0.001$)。F2 slopeでは術後に全ての母音間で有意に変化率が低下した(/tai/, /sai/, /kai/: $p<0.001$, /sui/: $p=0.002$)。リハ終了時ではF1 slopeは上昇したが変動は少なかった。F2 slopeでは/sui/の連母音/u/,/i/間、/kai/の連母音/a/,/i/間にて変化率が上昇した。しかし、結果に有意な差は認められなかった。

平均tVSA、平均Formant slope(/taiko/, /tʃ isai/, /kaiko/, /suika/の平均化)を術式と舌垂全摘における前舌保存・切除で分類した(Tables 6, 7)。舌全摘では術後のtVSA、Formant slopeの低下は他の術式に比べて著明であった。リハ終了時のtVSA・Formant slopeを舌全摘・舌垂全摘・舌半側切除間で比較した。tVSA・母音/i/F2は舌半側切除が最も高い結果となった。tVSA、母音/i/F2にて、舌半側切除・舌全摘(tVSA: $p=0.023$, /i/: $p=0.013$)、垂全摘・舌全摘で有意差が生じた(tVSA: $p=0.014$, /i/: $p=0.014$)。平均F2 slopeは舌半側切除が最も高かった(hemi and total glossectomy: $p=0.014$)。前舌部が保存された舌垂全摘グループは前舌部が切除されたグループと比較して、リハ終了時の母音/i/F2, 平均F2 slopeが高い結果であり、有意差が認められた (F2 in vowel /i/: $p=0.022$, mean F2 slope: $p=0.003$)。

4. 考察

本研究において、我々は客観的かつ定量的測定が可能な音響学的評価 (Multi-speech) を使用して、舌癌術後の構音障害のメカニズムおよび周術期リハビリテーション効果を検証した。

1) フォルマント周波数(F1, F2)

先行研究において、健常者と舌切除患者の間には音響学的特性に差異が存在していることが明らかとなっている。舌切除、放射線療法および化学療法の施行により、母音の識別情報

となるフォルマント周波数に変容することが報告されている(De Bruijn, Ten Bosch, Kuik et al. 2009; Jacobi, van Rossum, van der Molen et al. 2013). さらに舌切除後において、母音/i/の F2 低下が特徴であり、個々の母音 (F1・F2) の中心化が観察されている(Whitehill, Ciocca, Chan et al., 2006). この現象は tVSA の縮小として表現され、ディサースリア (運動障害性構音障害) および舌切除後の構音障害における発話明瞭度と tVSA の有意な相関が認められた(De Bruijn, Ten Bosch, Kuik et al. 2009; Whitehill, Ciocca, Chan et al. 2006). 日本語母音において、母音/i/は他の母音よりも前方への舌運動が必要であり、舌切除者では障害されやすく、舌位置の前後運動の指標である F2 低下に反映され、tVSA 縮小の主要因となる(Whitehill, Ciocca, Chan et al. 2006).

本研究の結果において、術前・術後間にて部分切除群・再建群ともに tVSA の縮小が生じ、舌運動範囲の縮小が推測される。広範な舌切除が伴う再建群での tVSA 縮小には有意差が認められ、舌切除範囲が広大なもの程、術後の舌運動範囲制限がより強く生じたと考えられる。tVSA を構成する要素であるフォルマント周波数において、F2 は舌位置の前後 (高値：前方、低値：後方) に関連し、部分切除群・再建群ともに母音/i/の有意な F2 低下が観察された。これにより、舌切除者における構音時の前方への舌運動制限が推測される。一方、舌位置の高低 (高値：低位置、低値：高位置) を表す F1 では再建群に有意な変動が認められた。母音/a/の F1 が低下したことにより、母音/a/構音時の舌位置が上昇し、逆に母音/i/,/u/の F1 が上昇した点より母音/i/,/u/構音時の舌位置の低下が示唆された。さらに、再建群では母音/i/の F2 が顕著に低下し、舌位置の後退が推測される。F1/F2 の術後変化より、舌位置が口腔内で後退かつ舌の上下運動に中央化が生じていると言える。この要因として、舌尖および舌前方部の切除、再建方法が挙げられる。再建を要する舌切除者の発話明瞭度、フォルマント周波数は舌前方部の運動機能、舌の形態によって大きな影響を受ける。全摘・亜全摘症例に対する再建方法では、前舌の運動機能を向上する方法が望まれている(Matsui, Ohno, Shirota et al. 2014). しかし、広範な切除範囲後の再建では、術後の嚥下機能維持に重点が置かれ、舌根・咽頭後壁の接触を図るために口腔後方にボリュームがある舌が再建される(Matsui, Ohno, Shirota et al., 2014). 結果として、再建舌は口腔の後方へと位置する形態に変化し、舌の前方への運動機能が障害され、構音時の共鳴腔に機能的・器質的異常を引き起こす可能性が高い。

2) Formant (F1,F2) slope

Formant slope は筋萎縮性側索硬化症 (Amyotrophic lateral sclerosis : ALS) およびパーキン

ソン病 (Parkinson disease : PD) における構音障害の研究において、構音障害の重症度および発話明瞭度との相関が実証されている(Weismer, Kent, Hodge et al. 1988; Walsh, Smith, 2012). 連母音間におけるフォルマント周波数の変化量と時間軸および速度を加えることにより、構音状態のより詳細な変化を捉える指標となる。しかし、このアプローチは舌癌話者へ適用されていない。

本研究では、単語復唱課題/taiko/, /tʃ isai/, /kaiko/, /suika/より F1 slope・F2 slope を算出し、舌運動範囲・速度の制限を検討した。術後では、部分切除群・再建群ともに F1 slope・F2 slope ともに変化率の低下を示し、前後および上下運動の制限が推測される。特に F2 slope 低下が顕著であり、連母音/a/, /i/間で舌切除群・再建群ともに有意差が認められた。F2 slope の変化率低下が後舌高母音/u/, 前舌高母音/i/間に比べ、前舌低母音/a/, 前舌高母音/i/間で大きく、構音時に広範囲な舌運動を要する連母音間で強い制限が生じていると考えられる。また、Formant slope は舌運動速度を示す指標ともなり、再建舌のボリュームや残存舌の運動機能低下により舌運動に緩慢さが生じている可能性も示唆される。

3) 舌部分切除部位による音響学的特性

本研究では、舌部分切除群を切除部位に応じて、anterior group, posterior group, tongue base group の3群に分類し、音響学的特性の差異を検討した。先行研究において舌尖切除例は発話明瞭度の低下と vowel space area の縮小を呈すると報告されており、舌癌術後の構音障害に影響する因子に舌尖の保存状態が挙げられている(Whitehill, Ciocca, Chan et al. 2006; Sun, Weng, Li et al. 2007). 各グループ間の術前から術後への変化量を比較した。tVSA に有意な差が認められなかったが、母音/i/の F2 の術後低下は tongue base group, posterior group が anterior group に比べて大きい結果となった。これより、切除部位の差異にて舌運動前進の阻害程度が異なることが示唆された。後舌・舌根部の切除によって、前方への舌運動の制限を生じた可能性がある。Formant slope でも同様に切除部位間で術後低下に差異が生じた。/tai/の F2 slope は anterior group が posterior group より術後の変化率低下が大きく、逆に/kai/の F2 slope では posterior group が、anterior group より術後の変化率低下が大きい結果となった。Tongue base group は両者ともに術後の変化率低下が最大であった。これらの要因として、連母音前に位置する子音間・切除部位間の関連性が考えられる。従来報告では、舌尖や舌背部の運動制限により声道閉鎖と口腔内圧の上昇が得にくく、破裂音/t/, /k/が障害されやすい(Kumakura, 1985). これらは声道の閉鎖位置が異なり、/t/は舌尖および前舌部と上歯茎部、/k/が舌背部と

軟口蓋である．anterior group は舌尖・前舌部を主体とした切除より，舌尖および前舌部の挙上が障害され，対して posterior group では奥舌部の切除より奥舌の挙上が障害された．その結果，子音・母音間での構音運動が障害され，運動範囲の制限，緩慢な運動が F2 slope 低下に反映したと思われる．

4) リハビリテーション終了後における音響学的特性

再建群における術後・リハ終了時のデータと比較し，リハビリテーション効果を検討した．リハ終了時において，全ての母音の F1・F2 が上昇し，tVSA が拡大を示した．舌切除者に特徴的な/i/の F2 が上昇した点より，術後に縮小した前方への舌運動範囲が拡大し，tVSA の増加をもたらしたと推測される．Formant slope において，F1 slope は連母音/a/,/i/,/u/の母音間全てで変化率が向上したが，F2 slope では母音間による向上を示した/sui/の連母音/u/,/i/間で変化率の上昇が最大となった．連母音/a/,/i/間では前舌低母音から前舌高母音への上下運動が総合的な舌運動の中心であり，対照的に連母音/u/,/i/間では後舌高母音から前舌高母音への前後運動が主体となる．前述した母音/i/の F2 上昇と連母音/u/,/i/間での F2 slope の変化率上昇は，ともに前方への舌運動範囲の拡大を示している．一方，軟口蓋音/k/を含む連母音/a/,/i/では，上歯茎音/t/,/s/を含む/tai/,/sai/に比べて F2 slope がより上昇した．本研究では舌垂全摘例が多くを占めており，全ての症例で部分的に舌根部が保存されていた．リハ終了後，舌根部の運動機能が向上し，前舌高母音/i/および軟口蓋音/k/の構音が特徴的に改善したと考えることができる．

リハ終了後の tVSA および Formant slope の音響学的特性の変化には残存舌およびその他の構音器官による代償が重要である．先行研究より，舌切除者の言語療法で焦点となるのが残存機能の賦活化にあるとしている(Furukawa, Furukawa, Itoh, 1996; Furia, Kowalski, Latorre et al. 2001)．今回，術後とリハ終了後の音響学的特性を比較すると周術期リハビリテーションの実施は構音器官の代償を賦活化させ，舌運動を客観的に示す tVSA の拡大および Formant slope の向上をもたらしたと言える．舌半側切除例，舌垂全摘における前舌が保存された症例の音響学的特性はリハ終了時に顕著な改善が認められ，残存舌の容積および部位が周術期リハビリテーション効果に影響を及ぼす一因と思われる．舌癌患者に対して術後の機能維持に加えて，リハビリテーションによる機能回復の有効性を高めるためにも外科的手術についてさらなる検討が望まれる．今回検討していない嚥下機能と構音機能における回復の関連性も今後の重要な研究課題である(Tanaka, Banno, Katsuno et al. 2014; Mano, Katsuno, Banno et al. 2014)．

Table 1. Profiles of patients with partial glossectomy.

Patient No.	Age at operation (years)	Gender	TNM				Excision extent of tongue		
			Tumor category	Node category	Metastasis category	Stage	Anterior	Posterior	Tongue base
1	54	F	2	2c	0	IVA			+
2	32	M	2	2c	0	IVA	+	+	+
3	72	M	2	2b	0	IVA		+	
4	67	M	2	2b	0	IVA	+		
5	35	M	2	1	0	III		+	
6	77	F	2	0	0	II	+	+	+
7	64	M	2	0	0	II		+	+
8	46	F	2	0	0	II	+		
9	65	M	2	0	0	II		+	+
10	42	M	2	0	0	II		+	+
11	51	M	2	0	0	II		+	
12	62	M	2	0	0	II	+		
13	55	F	2	0	0	II	+		
14	34	F	2	0	0	II		+	
15	46	M	2	0	0	II	+		
16	66	M	2	0	0	II	+		
17	64	M	2	0	0	II	+		
18	52	F	2	0	0	II	+		
19	57	M	2	0	0	II		+	+
20	66	F	2	0	0	II		+	
21	69	F	2	0	0	II		+	
22	69	M	2	0	0	II	+		
23	67	M	2	0	0	II	+		
24	71	M	2	0	0	II		+	
25	56	M	2	0	0	II	+		
26	50	M	2	0	0	II	+		
27	60	M	2	0	0	II	+		
28	42	M	2	0	0	II	+		
29	45	F	2	0	0	II	+		
30	39	F	2	0	0	II		+	+
31	65	M	2	0	0	II		+	
32	47	M	2	0	0	II		+	
33	55	M	2	0	0	II		+	
34	55	M	2	0	0	II		+	
35	68	M	1	0	0	I	+		
36	66	M	1	0	0	I		+	
37	77	M	1	0	0	I	+		
38	62	M	1	0	0	I		+	
39	30	M	1	0	0	I	+		
40	33	F	1	0	0	I	+		

Excision extent of tongue is defined as the main site of resection (anterior or posterior tongue), including resection of the tongue base.

Table 2. Profiles of patients with reconstruction following glossectomy.

Patient No.	Age at operation (years)	Gender	TNM				Glossectomy	Reconstruction	Anterior tongue
			Tumor category	Node category	Metastasis category	Stage			
1	21	M	4a	2c	0	IVA	Total	TRAM	—
2	37	M	4a	2c	0	IVA	Total	TRAM	—
3	42	M	4a	2c	0	IVA	Total	TRAM	—
4	25	M	4a	1	0	IVA	Total	TRAM	—
5	49	M	4a	2c	0	IVA	Subtotal	TRAM	Excised
6	67	F	4a	0	0	IVA	Subtotal	TRAM	Excised
7	41	M	4a	2c	0	IVA	Subtotal	ALT	Preserved
8	67	F	4a	2c	0	IVA	Subtotal	ALT	Excised
9	60	M	4a	2b	0	IVA	Subtotal	ALT	Excised
10	46	F	4a	2b	0	IVA	Subtotal	ALT	Excised
11	41	F	4a	1	0	IVA	Subtotal	ALT	Preserved
12	69	F	4a	0	0	IVA	Subtotal	ALT	Preserved
13	33	M	4a	0	0	IVA	Subtotal	ALT	Excised
14	46	M	3	2b	0	IVA	Subtotal	ALT	Preserved
15	32	F	3	1	0	III	Subtotal	ALT	Preserved
16	61	M	2	0	0	II	Subtotal	ALT	Preserved
17	41	M	1	1	0	III	Subtotal	ALT	Preserved
18	67	M	4a	0	0	IVA	Hemi	ALT	—
19	45	M	3	0	0	III	Hemi	ALT	—
20	51	F	2	2b	0	IVA	Hemi	ALT	—
21	38	M	2	2b	0	IVA	Hemi	ALT	—
22	66	M	2	0	0	II	Hemi	ALT	—

TRAM : Transverse Rectus Abdominis Myocutaneous Flap, ALT : Anterolateral Thigh Flap.

In the patients with subtotal glossectomy, but not total and hemi glossectomy, excised or preserved anterior portion of tongue is indicated.

Table 3. tVSA, F1, F2, F1 slope, and F2 slope in the partial glossectomy group during preoperative and postoperative periods.

Variables		Preoperative (N=40)	Postoperative (N=40)
		Mean±SD	Mean±SD
tVSA (Hertz ²)		253856.2±119068.9	119068.9±91664.4**
F1(Hz)	/a/	744.2±126.0	717.5±106.7
	/i/	331.7±58.7	342.5±62.6
	/u/	359.0±56.5	365.7±55.9
F2(Hz)	/a/	1239.9±171.9	1241.3±156.8
	/i/	2428.2±302.3	2132.0±304.7***
	/u/	1161.6±203.4	1180.0±185.3
F1 slope (Hz/msec)	/tai/	3.9±1.1	3.2±1.1**
	/sai/	3.3±1.2	2.9±1.0
	/kai/	3.7±1.2	3.1±1.1*
	/sui/	1.4±1.0	1.2±1.0
F2 slope (Hz/msec)	/tai/	7.4±2.4	5.2±1.7***
	/sai/	6.3±1.8	4.7±1.5***
	/kai/	7.7±2.1	5.9±1.9***
	/sui/	6.0±1.9	4.8±2.0***

Each value of the selected variables is compared between the preoperative and postoperative periods.

* $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

Table 4. tVSA, F2 for /i/, and F2 slope for /tai/, /kai/ in the anterior, posterior, and tongue base groupsof the partial glossectomy groupduring the preoperative and postoperative periods.

Variables		Anterior (N=19)	Posterior (N=13)	Tongue base (N=8)
		Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
tVSA (Hertz ²)	Preoperative	264594.8±135514.8	250100.3±101038.8	234455.4±100047.0
	Postoperative	198565.6±111316.0	173647.9±50876.6	112039.8±55743.8
F2 (Hz) /i/	Preoperative	2446.1±327.5	2357.7±272.8	2500.2±259.3
	Postoperative	2252.4±344.6	2044.7±161.2	1987.7±268.7
F2 slope (Hz/msec)/tai/	Preoperative	7.8±2.7	6.7±1.4	7.6±2.4
	Postoperative	5.4±1.7	5.2±1.8	4.4±1.2
	/kai/	7.3±1.6	8.4±2.5	7.6±2.3
		6.2±1.8	6.0±1.9	4.7±1.4

Excised site: anterior, posterior, and tongue base. The patients in which anterior, posterior, and tongue base excisions overlapped were classified as the tongue base group.

Table 5. tVSA, F1, F2, F1 slope, and F2 slope in the reconstruction group during the preoperative and postoperative periods, and the period after rehabilitation.

Variables		Preoperative (N=22)	Postoperative (N=22)	After rehabilitation (N=22)
		Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
tVSA (Hertz ²)		205990.2±132821.2	74194.1±57599.1***	107627.8±106539.5
F1(Hz)	/a/	727.0±121.4	646.7±107.3*	694.4±132.1
	/i/	366.0±66.0	410.6±78.7	417.7±100.8
	/u/	370.3±56.8	386.9±72.0	387.8±57.7
F2(Hz)	/a/	1225.4±167.9	1161.3±107.1	1189.0±134.2
	/i/	2323.5±349.9	1613.4±339.5***	1772.1±448.7
	/u/	1238.0±206.6	1047.4±140.5**	1139.9±131.9
F1 slope (Hz/msec)	/tai/	3.2±0.8	2.2±0.7***	2.4±0.8
	/sai/	3.4±1.3	2.2±1.2**	2.5±1.0
	/kai/	3.5±0.8	2.0±1.0***	2.5±0.8
	/sui/	1.1±0.9	1.0±1.1	1.2±0.9
F2 slope (Hz/msec)	/tai/	6.9±2.8	3.6±2.3***	3.9±1.7
	/sai/	5.5±1.8	3.2±1.9***	3.4±1.5
	/kai/	7.4±2.5	3.5±1.4***	4.2±2.1
	/sui/	4.3±2.0	2.5±1.4**	3.5±2.3

Each value of the selected variables is compared between the preoperative and postoperative periods. There were no significant differences in the variables between the postoperative period and the period after rehabilitation. * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$

Table 6. tVSA, F2 for /i/, and mean F2 slope between total, subtotal, and hemi glossectomy.

Variables		Total (N=4)	Subtotal (N=13)	Hemi (N=5)
tVSA (Hertz ²)	Preoperative	102564.0	196335.2	313834.3
	Postoperative	8208.4	73261.4	129407.9
	After rehabilitation	19488.8	98096.9*	202919.4*
F2 (Hz) /i/	Preoperative	2179.6	2305.2	2486.2
	Postoperative	1144.4	1618.5	1974.8
	After rehabilitation	1244.4	1789.0*	2150.1*
F2 slope (Hz/msec)	Preoperative	7.1	5.8	6.4
	Postoperative	1.9	3.3	4.0
	After rehabilitation	2.2	3.7	5.4*

F2 slope : Mean values of the F2 slope for the vowels /a/, /i/, and /u/, including /taiko/, /tʃ isai/, /kaiko/, and /suika/. Each value of the selected variables is compared between total and hemi glossectomy groups, and between total and subtotal glossectomy groups. There was no significant difference in the variables between subtotal and hemi glossectomy groups. * $p<0.05$

Table 7. tVSA, F2 for /i/, and F2 slope between excised and preserved anterior tongue in subtotal glossectomy group.

Variables		Anterior tongue	
		Excised (N=6)	Preserved (N=7)
tVSA (Hertz ²)	Preoperative	186765.5	204537.8
	Postoperative	58447.5	85958.9
	After rehabilitation	58880.3	131711.1
F2 (Hz) /i/	Preoperative	2145.8	2441.8
	Postoperative	1529.0	1695.1
	After rehabilitation	1504.4	2033.0*
F2 slope (Hz/msec)	Preoperative	4.2	6.9
	Postoperative	2.3	4.2
	After rehabilitation	2.3	4.8**

F2 slope : Mean values of the F2 slope for the vowels /a/, /i/, and /u/, including /taiko/, /tʃ isai/, /kaiko/, and /suika/. Each value of the selected variables is compared between excised and preserved anterior tongue groups. * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

Figure 1

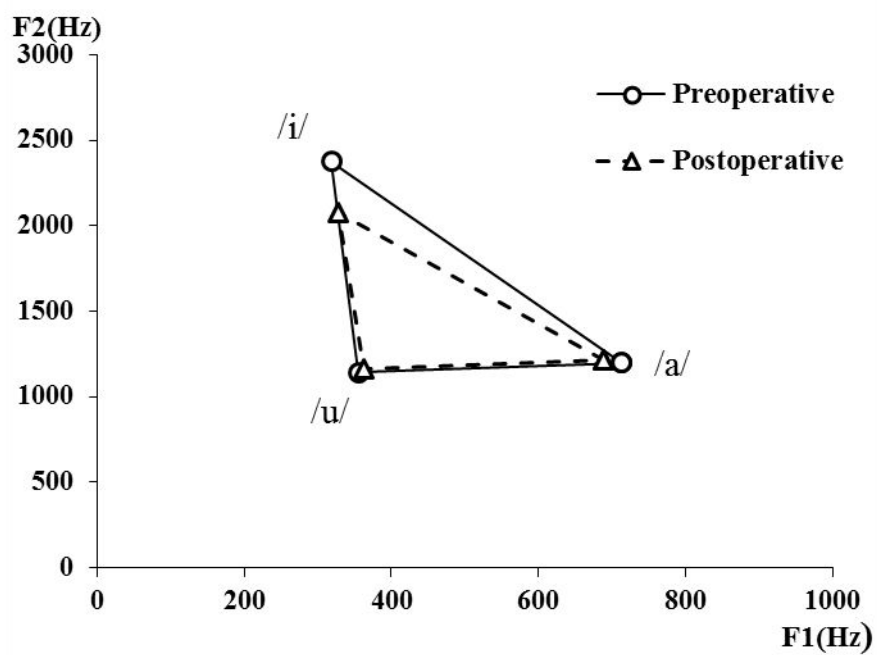


Figure 1. tVSA in the partial glossectomy group during the preoperative and postoperative periods.

X-axis: the first formant (F1), Y-axis: the second formant (F2).

Figure 2

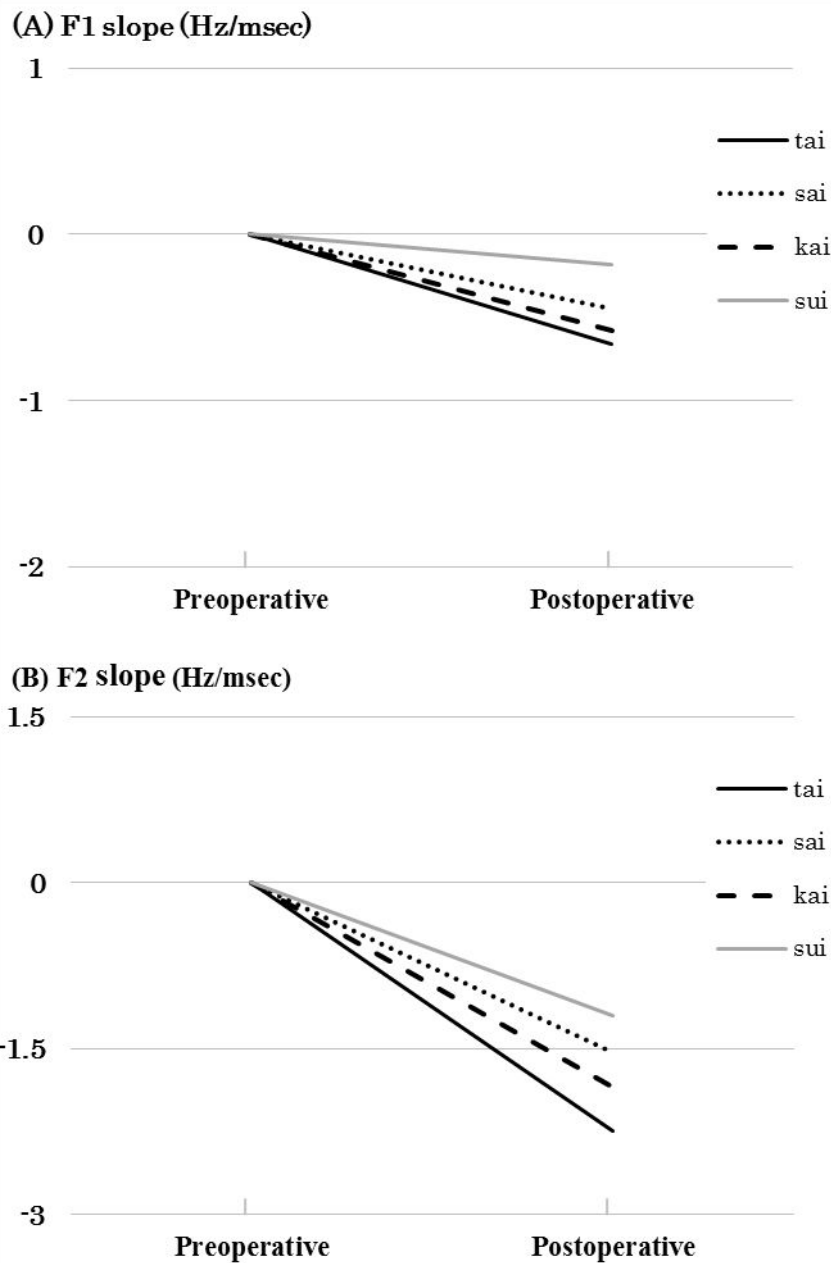


Figure 2. Mean decline values of the F1 slope and the F2 slope in the partial glossectomy group between the preoperative and postoperative periods.

F1 slope (A) and F2 slope (B): the decline values during the postoperative period were calculated based upon values from the preoperative period for /tai/, /sai/, /kai/, and

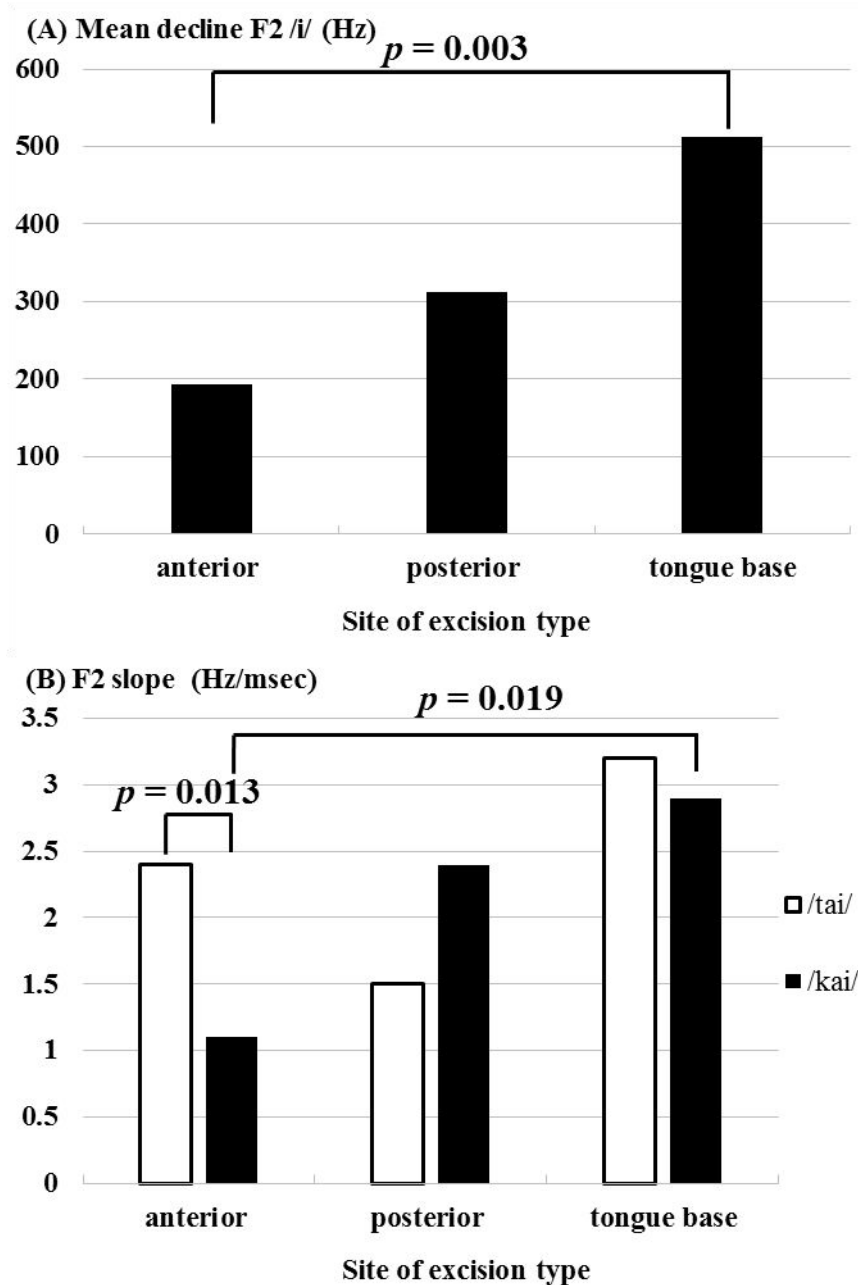


Figure 3. Mean decline values of F2 for /i/, and the F2 slope for /tai/ and /kai/ in anterior, posterior, and tongue base groups of the partial glossectomy group.

F2 for /i/ (A), and the F2 slope for /tai/ and /kai/ (B): the decline values at the postoperative period were calculated based upon values from the preoperative period.

Figure 4

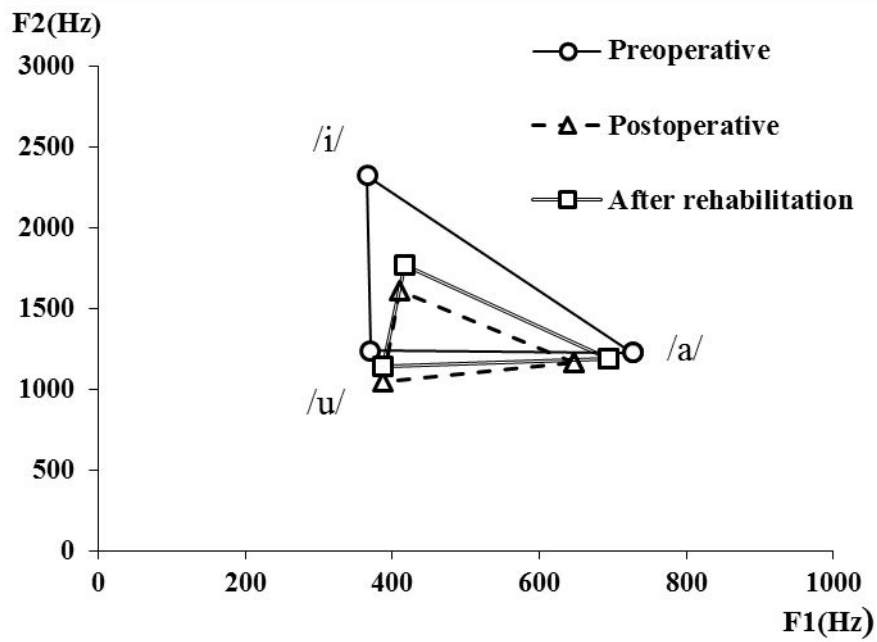


Figure 4. tVSA in the reconstruction group during the preoperative and postoperative periods, and the period after rehabilitation.

X-axis: the first formant (F1), Y-axis: the second formant (F2).

Figure 5

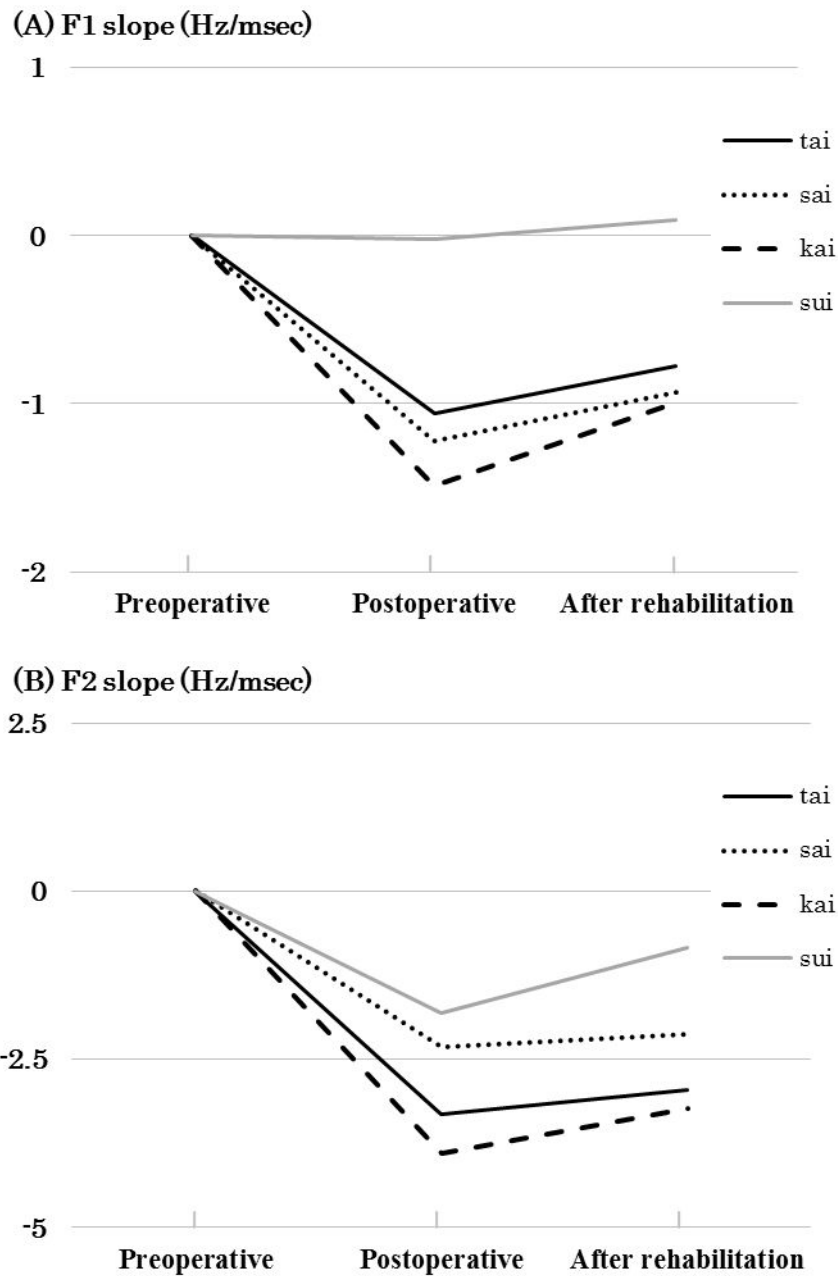


Figure 5. Mean decline values of the F1 slope and the F2 slope in the reconstruction group between the preoperative and postoperative periods, and the period after rehabilitation.

F1 slope (A) and F2 slope (B): the decline values at the postoperative period and the period after rehabilitation were calculated based upon values from the preoperative period for /tai/, /sai/, /kai/, and /sui/.