

学位論文題名

「呼気圧によるピッチ周波数制御機能の  
付いた人工喉頭の研究」

学位論文内容の要旨

話し言葉は人と人とのコミュニケーションをはかる上で文字言語と並んで重要な役割を果たしており、円滑な社会を作り上げる上でも欠かせない手段である。言葉を交わすという行為は人間社会で暮らすには欠くことのできないものであり、発声機能を失ったことによる失意は容易に想像できるであろう。

ヒトの音声器官は、呼気を喉頭に送り出す肺と、その呼気を音源に変換する喉頭、および喉頭から口唇までの構音器官の3つに大別できる。喉頭癌などにより喉頭摘出手術を行った者は、直接生命にかかわる呼吸や下気道の保護を行う重要な器官を失うと同時に、振動体である声帯を失うため、そのままでは音声を生成することが困難になる。このような人たちの数は日本だけで12,000人、世界では600,000人存在すると言われている。喉頭摘出者には高齢者が多いことから、これから到来する高齢化社会ではこのような人々が急増することは必至である。

現在まで、喉頭摘出者のための音声回復の手段として、幾つかの代用発声法が考案されている。それらの代用発声法では、喉頭摘出者にも比較的残されている声道や舌などの音声器官に、喉頭音源の代わりになる音を声道に送り込むことにより、音声を作り出す方法をとっている。これらの内、食道発声と呼ばれる方法が最も普及しているが、訓練のために長期間を必要とし、また、体力消耗などにより高齢者には不向きであるなどの問題がある。その一方、電気式人工喉頭と呼ばれ、前頸部に振動子をあてて音を声道に送り込む方法がある。電気式人工喉頭は代用発声法の中では声の修得が最も容易であることから高齢者にも適している。また、工学的技術を基礎として作られているため改良がしやすいという利点もある。ただし、現在の電気式人工喉頭の音声は極めて不自然であるという致命的な欠陥があった。

本研究は、電気式人工喉頭で自然な音声を生成できるようにするための基礎的研究を行ない、実用装置を試作して喉頭摘出者に適用し、その有効性を確認したものである。具体的には、人工喉頭音声の自然性を向上させるために音声の自然性を決定づけるイントネーションを人工喉頭の音源に付加する方法を提案した。さらに、音源のピッチ周波数を無喉頭者自身が発する呼気で制御させる最適な方法を見いだしている。その上で実用器を作り喉頭摘出者に適用して有効性を確認している。

本論文は全6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景として研究対象となる喉頭摘出者の現状と、その人達のための代用発声器具の長所と問題点について簡単に触れ、研究の目的について述べた。

第2章では、健常者の発声機構について簡単に説明し、喉頭摘出者が発声機能を失う理由を示した。つぎに、従来の代用発声法や過去に研究されてきたものについて言及し、それぞれの方式の利点と問題点、またその音声学的特徴について述べた。

第3章では、まず、電気式人工喉頭音声にイントネーションを付与する方法として、

以下の3つを提案した。第1は指で圧力を加えることによるピッチ周波数の制御、第2はポテンシオメータを回すことによるピッチ周波数制御、第3は発声に関する機能のうち喉頭摘出者にも残されている肺からの呼気で制御する方法である。これらのうちどの制御方法が人工喉頭音声に自然なイントネーションが付けられるかということについて検討した結果、音声の自然性の観点からは呼気制御方式が最も優れていることが分かった。そのため呼気を積極的に利用する呼気圧制御型電気式人工喉頭を提案し、喉頭摘出者の協力により簡単な予備実験を行い、その有効性を示した。

次に、呼気圧による制御音の音程を提示音の音程に追従させ、健常者と16名の喉頭摘出者と比較した。その結果、訓練無しの健常者と比較して、同じく訓練なしの喉頭摘出者は音程変化に対する追従能力が低いことが分かった。これは、喉頭摘出者の多くは普段発声に呼気を利用していないためと想像された。喉頭摘出者で呼気を使う代用発声法を使用している人の制御能力は他の被験者に比べ高かったことから、訓練によって制御能力が大きく向上することが示唆された。実際、喉頭摘出者で1週間の訓練を行ったところ、制御能力の向上が見られた。

また、健常者が発声したピッチパターンに人工喉頭音声のピッチパターン合わせる制御実験を訓練なしで行ったところ、ある程度の精度でピッチ周波数の高低に追従させることができた。このようなことから筆者が提案したピッチ周波数制御方式は有効であると判断した。喉頭摘出直後ではまだ呼気による発声制御機能を活かせる可能性があることから、術後直後に本方式が効力を発揮する可能性が高いことが示された。

第4章では、呼気圧制御型の電気式人工喉頭を設計する上で問題となる点、すなわち呼気圧を検出するために用いる気流抵抗の値と、呼気圧からピッチ周波数への変換関数の設定についてその最適なパラメータを探る実験を行った。まず、訓練された健常者を被験者として、提示した音の音程の変化に呼気圧制御音の音程を追従させるという実験を行った。ここでは、変換関数は線形にし、その傾きを変化させて提示音にどの程度の精度で追従できるかという観点からおおよその最適パラメータの推定を行った。その結果、今回実験を行った提示音の周波数が100Hzから180Hzの範囲では、呼気圧による制御の精度は気流抵抗値にはあまり依存しないことが分かった。また、呼気圧からピッチ周波数への変換関数の傾きは25.0Hz/cmH<sub>2</sub>O程度が妥当であると推察された。つぎに、この結果を参考にしながら、喉頭摘出者自身が呼気圧でピッチ周波数を制御したときの人工喉頭音声の自然さと、使用者の主観的な制御のしやすさの観点から最適パラメータを導き出した。その結果、呼気圧をX(cmH<sub>2</sub>O)、ピッチ周波数をf(Hz)とすると、 $f=A(X-1)+60$ の傾きAの値が12.5から50または $f=B \log_e X+60$ の傾きBの値が50から75の間が妥当であることが分かった。また、訓練の有無あるいは被験者の違いによって音声の自然性が大きく変わることが分かった。

第5章では、実際に呼気圧制御型人工喉頭を試作し、その発声音の自然性の評価から本方式の有用性を裏付けた。さらに、喉頭摘出者団体からの要請と企業の協力のもとで、センサ部、変換部、振動子が一体となった呼気圧制御型人工喉頭を開発し、その有効性を確かめた。本装置は、食道発声法が困難な人達や、喉頭摘出直後の人達には十分利用する価値があるといえる。

第6章では、本研究の結論と今後の課題および展望について述べた。とくに将来実用化する上での課題として個人差の問題と長期間の使用時に生じる問題について考察した。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 福 部 達  
副 査 教 授 勇 田 敏 夫  
副 査 教 授 栃 内 香 次  
副 査 講 師 松 島 純 一 (医学研究科)

## 学位論文題名

### 「呼気圧によるピッチ周波数制御機能の 付いた人工喉頭の研究」

話し言葉は人と人とのコミュニケーションをはかる上で文字言語と並んで重要な役割を果たしている。

喉頭癌などにより喉頭摘出手術を行った者は、呼吸や下気道の保護を行う重要な器官を失うと同時に、振動体である声帯を失うため、そのままでは音声を生成することが困難になる。このような人たちの数は日本だけで12,000人存在すると言われ、これから到来する高齢化社会では急増することは必至である。

喉頭摘出者のための音声回復の手段の一つとして、電気式人工喉頭と呼ばれ、前頸部に振動子をあてて音を声道に送り込み発声を行うものがある。これは代用発声法の中では声の修得が最も容易であることから高齢者にも適している。ただし、現在のこの音声は極めて不自然であるという致命的な欠陥があった。

本研究は、電気式人工喉頭で自然な音声を生成できるようにするための基礎的研究を行ない、実用装置を試作して喉頭摘出者に適用し、その有効性を確認したものである。具体的には、人工喉頭音声の自然性を向上させるために音声の自然性を決定づけるイントネーションを喉頭摘出者自身が発する呼気圧で制御させる最適な方法を見いだしている。その上で実用器を作り喉頭摘出者に適用して有効性を確認している。

本論文は全6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景として研究対象となる喉頭摘出者の現状と研究の目的について述べている。

第2章では、まず、喉頭摘出者が発声機能を失う理由を示し、その人達のための代用発声器具の長所と問題点、またその音声学的特徴について述べている。

第3章では、まず電気式人工喉頭音声にイントネーションを付与する方法として、指で圧力を加える方法、ポテンショメータを回す方法、呼気圧による方法の3つのピッチ周波数制御方法を提案し、音声の自然性の観点からは呼気圧による方法が最も優れていることを示している。

次に、16名の喉頭摘出者で呼気圧による制御音の音程を提示音の音程に追従させ、喉頭摘出者で呼気を使う代用発声法を使用している人の制御能力は他の被検者に比べ高いことを明らかにした。このことから、訓練によって制御能力が向上することが示唆され、実際、喉頭摘出者で1週間の訓練を行ったところ、制御能力の向上が見られたことを述べている。

また、健常者が発声したピッチパターンに人工喉頭音声のピッチパターン合わせる制御を訓練なしで行ったところ、ある程度の精度でピッチ周波数の高低に従わせることができたことから本呼気圧制御方式は有効であると判断している。喉頭摘出直後ではまだ呼気による発声制御機能を活かせる可能性があることから、術後直後に本方式が効力を発揮する可能性が高いことを推察している。

第4章では、呼気圧制御型の電気式人工喉頭を設計する上で問題となる点、すなわち呼気圧を検出するために用いる気流抵抗の値と、呼気圧からピッチ周波数への変換関数の設定についてその最適なパラメータを探る検査を行っている。まず、訓練された健常者の予備検査から、今回検査を行った範囲では、呼気圧による制御の精度は気流抵抗値にはあまり依存しないこと、呼気圧からピッチ周波数への変換関数を線形に設定した場合にその傾きは25.0Hz/cmH<sub>2</sub>O程度が妥当であることが示されている。

つぎに、この結果を参考にしながら、喉頭摘出者自身が呼気圧でピッチ周波数を制御したときの人工喉頭音声の自然さと、使用者の主観的な制御のしやすさの観点から最適パラメータを導き出した。その結果、呼気圧をP(cmH<sub>2</sub>O)、ピッチ周波数をf(Hz)とすると、 $f = A(P-1) + 60$ の傾きAの値が12.5から50または $f = B \log_e P + 60$ の傾きBの値が50から75の間が妥当であることを示している。また、訓練の有無あるいは被検者の違いによって音声の自然性が大きく変わることを明らかにしている。

第5章では、実際に呼気圧制御型人工喉頭を試作し、その発声音の自然性の評価から本方式の有用性を裏付けている。さらに、企業の協力のもとで、センサ部、変換部、振動子が一体となった呼気圧制御型人工喉頭を開発し、その有効性を確かめている。本装置は、食道発声法が困難な人達や、喉頭摘出直後の人達には十分利用する価値があるといえる。

第6章では、本研究の結論と今後の課題および展望について述べた。とくに将来実用化する上での課題として個人差の問題と長期間の使用時に生じる問題について考察している。

以上のように、著者は、喉頭摘出者のために自然な音声を生成できるような電気式人工喉頭を基礎研究に基づいて開発したことから、生体工学とくに福祉工学に寄与するところが多い。

よって、著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。