

学位論文題名

筋電位による人工喉頭の制御に関する研究

学位論文内容の要旨

喉頭癌などにより喉頭を摘出した人には喉頭がないが、調音器官はほぼ正常な状態で残っているから、ここへ何らかの音を導入すれば、話ことは成立する。このような代用発声として、食道発声法、気管食道シャント発声法および笛式人工喉頭や電気人工喉頭などを用いる方法が大別される。食道発声は器具を使用しないので会話中に両手が自由であることが長所であるが、人によって本法で発声ができない場合があること、音声持続が短く音量は小さいことなどの短所がある。気管食道シャント発声は肺からの呼気流を利用できるのが長所であるが、唾液あるいは食物の気管内流入が少なくないという短所がある。笛式人工喉頭による発声は肺からの呼気を利用することから抑揚が比較的豊かであるが、口腔チューブが口の中にあるため調音操作が制約されること、発声時に、常に手を使用することなどの短所がある。電気人工喉頭による発声は電気エネルギーを利用するので音量や持続時間の面では有利であるが、明瞭度が悪く、無声子音の形成が難しいこと、音質が機械的であることなど解決すべき問題は多い。よって優秀な代用発声とは、意図した時に自由に声が出て、しかも声の強さ、音声持続とピッチを変えられることができ、良好な音質を持ち、しかも両手が使えるなど日常生活より支障が少ないものと考えられる。

本研究では筋電位によって制御でき、しかも上記の短所のない埋め込み型電気人工喉頭の開発を目指している。そのために、本論文では、電気人工喉頭の制御信号を得る筋を選定し、その制御指針を確立することおよび筋電位によって制御する電気人工喉頭を開発し、その人工喉頭を健常者および喉頭摘出者に適用し性能を確認することを目的とする。

本論文は、8章から構成されている。以下に本論文の概要を示す。

第1章では序論として本研究の背景と現在使用されている代用発声法を大別し、それらの長所および短所を検討し、従来の電気人工喉頭を改善した埋め込み型電気人工喉頭の必要性およびその第一段階として筋電位の制御による電気人工喉頭の開発の必要性について述べた。

第2章では、電気人工喉頭の制御源を選定するために、喉頭摘出の手術後に残される筋のうちで胸骨舌骨筋、下咽頭収縮筋、軟口蓋筋が人工喉頭制御源として適しているかを調べた。その結果、胸骨舌骨筋に関しては、発声の約250ms前に筋電位の発火が始まること、通常より低いピッチで発声を行う場合に筋活動が見られること、および喉頭摘出手術を行う際、場合によっては残すことが可能であることから、人工喉頭の音源の制御ができると考えられた。下咽頭収縮筋に関しては、健常者の発声では全く働かない筋であること、嚥下時にも働くので、発声を意図しない場合でも人工喉頭が動いてしまう可能性があることから人工喉頭の制御源としては問題がある。軟口蓋筋に関しては、発音を行う時に通常筋が活動するが、調音の種類によっては筋活動が見られない場合があり、軟口蓋筋のみを人工喉頭の制御信号源とすることは不完全であり、他の筋と併用することが望ましいと考えられる。

第3章では、電気人工喉頭の制御源としての胸骨舌骨筋を提案し、制御指針を確立するために胸骨舌骨筋の筋電位の時間および振幅に関する随意性を調べた。特に胸骨舌骨筋の筋電

位を入力として電気人工喉頭を制御する指針として3種類の制御を考えた。まず、人工喉頭の音源のON/OFF制御は、筋活動の始めで人工喉頭の音源の振動を開始し、筋活動の終わりで音源の振動を停止することを想定した。つぎに、有声音/無声音の出し分けは、筋活動が観測される区間を有声音とし、短時間筋活動が観測されない区間を無声音とすることを想定した。人工喉頭のピッチ制御は、筋電位の振幅の変化にしたがってピッチを変えることを想定した。本実験の結果、視覚および聴覚刺激に従って胸骨舌骨筋の筋電位の持続時間や振幅を随意的に制御できることを確認した。よって、胸骨舌骨筋を使用して電気人工喉頭の発話のON/OFF、有声音/無声音の出し分けおよびピッチ制御を行える可能性があることが分かった。

第4章では、胸骨舌骨筋の筋電位制御による電気人工喉頭を試作し、試作人工喉頭を用いた発話を行いながら、試作人工喉頭の性能を調べた。その結果、試作電気人工喉頭の音源のON/OFF制御、ピッチ制御ができた。また、試作電気人工喉頭を用いて有声音/無声音を出し分けを行える可能性があることを確認した。試作電気人工喉頭のシステムでは、表面電極から導出した胸骨舌骨筋の筋電位を前置増幅器に通し、全波整流して包絡線を検出する。その包絡線をシュミットトリガ回路に通し、人工喉頭の音源をON/OFF制御させる。また、人工喉頭のピッチ周波数制御のため、その包絡線によりパルス位置変調回路で振動子の駆動周波数を決める。胸骨舌骨筋の筋電位が低くなるにしたがって振動子駆動周波数を高くなるようにした。

第5章では、市販電気人工喉頭の性能と試作電気人工喉頭の性能を一定な調音状態を保つように静的な面で比較検討した。その結果、人工喉頭の音源のON/OFF制御の性能および有声音/無声音を出し分け可能性においては両方の人工喉頭は同等であった。試作人工喉頭ではピッチ変化範囲が正常な喉頭での声の周波数範囲により近いこと、さらに手を使用しないという利点がある。本研究で用いた市販電気人工喉頭は指で制御するアンプリコード社55xであった。

第6章では、胸骨舌骨筋によって制御する人工喉頭のピッチ制御方式について検討する。電気人工喉頭を用いる場合、声帯の振動の代わりに人工喉頭の振動子で振動を与えるので、振動子の振動周波数がピッチ周波数となる。胸骨舌骨筋によって制御する電気人工喉頭のピッチ制御方式は2種類の方式が考えられる。ひとつは筋電位の振幅が小さくなるのにしたがってピッチを高くする反比例型V-F変換方式である。他は、筋電位の振幅が大きくなるのにしたがってピッチを高くする比例型V-F変換がある。この2種類のピッチ制御方式を生理的な側面で検討し、また、試作電気人工喉頭を用いてこの2種類の方式を試した。その結果、反比例型V-F変換方式を胸骨舌骨筋の筋電位によって制御する電気人工喉頭の制御方式として採用できることが判明した。比例型V-F変換方式も制御方式として採用できるが、調音操作などで下顎が不安定になる場合に対しては十分考慮が必要と考えられる。

第7章では、喉頭摘出際に胸骨舌骨筋を残された被験者の筋電位を調べた。また、喉頭摘出者が胸骨舌骨筋の制御による試作電気人工喉頭を用いた発話を行い、その動作を確認する実験を行った。その結果、喉頭摘出において胸骨舌骨筋を舌骨下で切断し、再建せずに保存した場合の胸骨舌骨筋の筋電位が手術後8カ月になっても活動することが分かった。また、喉頭摘出者が試作人工喉頭を用いて発話を行うことができた。

第8章では、本研究の成果を総括し、今後の課題や展望について探った。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 伊 福 部 達
副 査 教 授 山 本 克 之
副 査 教 授 永 井 信 夫
副 査 助 教 授 高 橋 誠

学 位 論 文 題 名

「筋電位による人工喉頭の制御に関する研究」

喉頭を摘出した人達の理想的な代用発声法とは、意図した時に声を出すことができ、声の強さや高さを自由に制御できるものである。

本論文では、上記の要求を満足する埋め込み型電気人工喉頭の開発を最終目標として、電気人工喉頭の制御信号を得るための発声に関係する最適な残存筋を選定している。次に、残存筋から発生する筋電位によって試作電気人工喉頭を制御できることを実験的に明らかにし、将来の埋め込み型人工喉頭のための設計指針を得ている。

学位論文の主な結果は以下に要約される。

第1章では、序論として本研究の背景と現在使用されている代用発声法を大別し、それらの長所および短所を検討し、従来の電気人工喉頭を改善した埋め込み型電気人工喉頭の必要性およびその第一段階として筋電位の制御による電気人工喉頭の開発の必要性について述べている。

第2章では、筋電位制御による電気人工喉頭の制御源の選択のために、喉頭摘出手術後に残される筋のうちで、胸骨舌骨筋、下咽頭収縮筋および軟口蓋筋を人工喉頭の制御源として適するかどうかを調べている。その結果、胸骨舌骨筋が、喉頭摘出手術を行う際、場合によっては残存させることが可能であること、通常より低いピッチで発声を行う場合に筋活動が見られること、および発声の約250ms前に筋電位の発火が始まるので、人工喉頭の「ON」信号として使用が可能であることを示している。

第3章では、電気人工喉頭の制御源としての胸骨舌骨筋を提案し、制御指針を確立するために胸骨舌骨筋の筋電位の時間および振幅に関する随意性を調べている。特に胸骨舌骨筋の筋電位を入力として電気人工喉頭を制御する指針として3種類の制御を考えている。まず、人工喉頭の音源のON/OFF制御は、筋活動の始めて人工喉頭の音源の振動を開始し、筋活動の終わりで音源の振動を停止することを想定している。つぎに、有声/無声音の出し分けは、筋活動が観測される区間を有声音とし、短時間筋活動が観測されない区間を無声音とすることを想定している。人工喉頭のピッチ周波数制御は、筋電位の振幅の変化が小さくなるのにしたがってピッチ周波数を変えることを想定している。本実験の結果、視覚および聴覚刺激に従って胸骨舌骨筋の筋電位の持続時間や振幅を随意的に制御できることを確認している。以上から、胸骨舌骨筋を使用して電気人工喉頭の発話のON/OFF、有声/無声音の出し分けおよびピッチ周波数制御を行える可能性があることを明らかにしている。

第4章では、胸骨舌骨筋の筋電位制御による電気人工喉頭を試作し、試作人工喉頭を用いた発話を行いながら、試作人工喉頭の性能を調べている。その結

果、試作電気人工喉頭の音源のON/OFF制御、ピッチ周波数制御ができ、また、試作電気人工喉頭を用いて有声/無声音を出し分けを行える可能性があることを確認している。試作電気人工喉頭のシステムでは、表面電極から導出した胸骨舌骨筋の筋電位から包絡線を検出し、その包絡線をシュミットトリガ回路に通し、人工喉頭の音源をON/OFF制御させている。また、人工喉頭のピッチ周波数制御のため、その包絡線によりパルス位置変調回路で振動子の駆動周波数を決めている。

第5章では、市販電気人工喉頭の性能と試作電気人工喉頭の性能を一定な調音状態を保つように静的な面で比較検討している。その結果、人工喉頭の音源のON/OFF制御の性能および有声/無声音を出し分けの可能性においては両方の人工喉頭は同等であることを確かめている。試作人工喉頭ではピッチ周波数変化範囲が正常な喉頭での声の周波数範囲により近いこと、さらに手を使用しないという利点があることを確認している。

第6章では、胸骨舌骨筋によって制御する人工喉頭のピッチ周波数制御において2種類の方式について検討している。ひとつは筋電位の振幅が小さくなるのにしたがってピッチ周波数を高くする反比例型V-F変換方式である。他は、筋電位の振幅が大きくなるにしたがってピッチ周波数を高くする比例型V-F変換である。この2種類のピッチ周波数制御方式を生理的な側面で検討し、また、試作電気人工喉頭を用いてこの2種類の方式を試している。その結果、反比例型V-F変換方式が、胸骨舌骨筋の筋電位によって制御する電気人工喉頭の制御方式として有効であることを明らかにしている。

第7章では、喉頭摘出の際に胸骨舌骨筋を残された被験者の筋電位を調べている。また、喉頭摘出者が胸骨舌骨筋の筋電位によって制御する試作電気人工喉頭を用いた発声を行い、その動作を確認している。その結果、喉頭摘出において胸骨舌骨筋を舌骨下で切断し、再建せずに保存した場合の胸骨舌骨筋の筋電位が手術後8カ月になっても活動することを見いだしている。また、喉頭摘出者が試作人工喉頭を用いて発声を行うことができることを確かめている。

第8章では、本研究の成果を総括し、今後の課題や展望について探っている。

以上のように著者は、筋電位制御による人工喉頭の新方式を提案し、将来の埋め込み型電気人工喉頭的设计指針を見いだしたことから、生体工学とくに福祉工学に寄与するところ大である。

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。