

氏名	にし えり 西 恵理
本籍	和歌山県
学位の種類	博士（工学）
学位の番号	甲第41号
学位授与年月日	平成26年 3月14日
学位授与の要件	本学学位規則第14条
学位論文題目	乳児の吸啜時における舌が乳首に与える力の計測と臨床応用に関する研究
論文審査委員	主査教授 新川 拓也 副査教授 兼 宗 進 副査教授 松村 雅史

## 論文内容の要旨

乳児が母乳や人工乳を哺乳している包括的な動きを哺乳行動という。ヒトの原始反射の1つである吸啜反射によって、乳児は出生直後から哺乳行動が可能となるが、早産児および低出生体重児は、吸啜準備期間としての胎内生活が早期に中断されるため、出生時に原始反射が確立していないことが多い。この際、出生後まもなくからカテーテルを用いた経管栄養が行われるが、使用が長期に渡ると吸啜・咀嚼機能の発達に影響を及ぼすことが考えられるため、成長に伴い経口哺乳に移行する必要がある。現在、この移行時期の決定において、乳児の口腔内に指を挿入し、吸啜反射の有無、舌の動き、および口腔内陰圧等を感覚的に推定する手法が用いられているため、定量的に評価する手法が求められている。

従来の哺乳時における口腔運動計測は、主として口腔内をカメラで観測する手法や超音波断層像を用いた視認によるものであり、その結果から、乳首を吸啜する際には舌中央部に隆起が発生し、舌尖部から舌根部へ波状にうねらせる蠕動様運動が起こり、口腔内に陰圧を発生させることが判明している。また、この陰圧を間接的に計測する研究も為されたが、乳汁を搾出するために必要な、舌が乳首に与える力学的作用は不明な点が多い。

このような背景のもと、本研究では吸啜時における舌の運動メカニズムを解明するために、乳児の舌が人工乳首に与える力の直接計測を行っている。さらに、臨床への適用を試みるために吸啜に問題をかかえる児に対して計測を試みている。

具体的には、まず、小型力センサを複数個内蔵した人工乳首を開発し、乳首のどの部位にどれだけの力がかかっているかを直接計測し、力の中心位置および舌隆起部の移動速度の算出、人工乳首表面における力の分布および主たる力がかかる方向を推定している。次に、臨床においても簡便に使用できるリアルタイム計測システムを構築し、吸啜に問題をかかえる児を対象に計測を行い、健常児と比較している。さらに、成長に伴う力の経時的変化を調べている。

本論文の構成は以下のとおりである。

第1章では、本研究の背景、意義および目的と内容について述べられている。

第2章では、乳児の哺乳行動に関する知見と計測手法の検討について述べられている。まず、乳児の成長と反射の発現に関する知見について示し、哺乳行動に関する従来の研究について言及している。さらに、従来の研究における問題点と課題を明らかにしている。

第3章では、乳児の舌が人工乳首に与える力を計測するために構築した舌-人工乳首接触力計測システムについて、その基本構成と計測に用いる力センサの構造について示されている。特に、力センサについては原理の詳細について述べられ、静特性、動特性およびセンサ間の干渉を評価し、本計測に必要な性能を有することを示している。

第4章では、第3章で示した計測システムを用いて、吸啜時における舌が乳首に与える力のリアルタイム計測を行い、舌が乳首のどの部位にどれだけの力を加えているか明らかにしている。さらに、計測結果を用いて、力の中心位置の推定、舌の隆起部の移動速度、力の方向および力分布を推定した結果を示し、舌の蠕動様運動を捉えることができること、吸啜周期は0.5s程度であること、舌の隆起部が移動する速度は等速ではないこと、通常の吸啜において主たる力は乳首下部から加えられることを明らかにしている。

第5章では、健常児と吸啜に問題をかかえる児における力を比較した結果について述べられ、2群にどのような特徴があるかを明らかにしている。さらに、健常児と吸啜に問題をかかえる児における成長に伴う力の経時的変化を確認している。

最後に、第6章では、本研究で得られた成果を総括している。

以上のように本論文は、乳児の哺乳機能の定量評価を目指した舌運動計測システムの構築と臨床への適用に関する研究をまとめたものである。

## 論文審査結果の要旨

本研究の意義について審査を行った。乳児の成長過程において栄養管理は重要である。とりわけ低出生体重児は、母乳や人工乳を摂取する哺乳行動に課題を抱えている割合が多く、健やかな成長の妨げとなり、ときには生命の維持にも関る。このような背景から哺乳行動の詳細な理解が必要不可欠であるが、未だ不明な点が多い。本研究では哺乳時の口腔運動機能に着目し、主たる運動部位である舌が乳首に与える力を直接計測して、吸啜時における舌運動メカニズムを解明しようとしている。さらにその結果から臨床応用を目指し、吸啜が不良と診断された乳児に対して計測して、力学的な特徴を抽出しようとして試みている。わが国においても低出生体重児の増加が問題となっており、社会的要請のある本研究の意義は高いと判断した。

次に、本研究で提案している乳児の舌が人工乳首に与える力を計測するために構築した舌－人工乳首接触力計測システムについて審査を行った。従来の吸啜時における舌運動の計測には、X線撮像法、超音波断層法などを用いた正中面画像を解析する手法、透明人工乳首の内部に小型ビデオカメラを内蔵し、乳児の口腔内に挿入する手法などがあり、観察的研究が主であった。力学的作用に関する研究では、カテーテルを装着した人工乳首を用いて、口腔内陰圧および硬口蓋と舌により乳首を圧迫する力の計測を行った例がある。ただし、舌運動を推定するためには乳首のどの部位にどれだけの力を与えているかを知る必要があり、その計測システムの構築が不可欠である。本研究では、人工乳首の内部に片持ち梁型小型力センサを内蔵した、舌－人工乳首接触力を直接計測できるシステムを構築している。本システムの特徴は、乳首表面における任意かつ複数の箇所に力センサを配置することができ、目的に応じて多様なセンサシステムとして機能する点にある。本システムの特性評価において、力センサの計測限界は理論値にして11.6Nであること、静特性の評価ではヒステリシスが1.0%～4.4%、動特性の評価ではレスポンスタイムが0.5 ms～1.8 msであること、センサマトリックスにおいてセンサ間の干渉は実計測において支障をきたさないことを示している。健常児に対して計測を行った結果、舌の蠕動様運動のためと考えられる位相の異なる力波形が得られたとともに、1sに約2回の吸啜回数があること、主たる力は乳首下部から加えられることを明らかにしている。さらに、同一の被験児を対象に力の中心位置を推定し、成長に伴う変化を捉えることに成功している。以上のように、本研究で提案した舌－人工乳首接触力計測システムは、乳児に対する計測に十分対応し、乳首表面における力分布を時系列的に推定可能であることなど、吸啜時における舌運動の力学的作用を解明する手法として有効であるととともに、従来手法と比較して新規性を有すると判断した。

最後に、吸啜に問題を抱える児に対する計測とその力学的特徴の抽出結果について審査を行った。まず、小児科医から吸啜に問題があると診断された児は健常児より乳首根元部に与える力が小さく、蠕動様運動のためと考えられる位相の異なる信号波形がみられないことを示している。これより、健常児の舌の動きと明らかに異なる要素の抽出に成功している。さらに、力の時系列信号から舌運動の効率を評価し、健常児との差を明らかにしている。また、低出生体重児について吸啜の経時的変化を示し、その発達状況を考察している。

本論文が示した結果は、乳児の吸啜運動を模擬した母体にやさしい搾乳器の開発、より実物に近い人工乳首の開発において有用なデータとなる可能性を持ち、臨床応用の観点からも、先天性疾患の早期発見、経管栄養から経口哺乳への移行時期を確定するための新たな指標を設定できることを示唆している。

以上のように、哺乳の際における乳児の舌が人工乳首に与える力を計測するシステムの構築と、実際の計測を健常児と吸啜に問題を抱える児に対して行い、臨床応用を目指した研究をまとめた本論文は、新規性を有しており、社会的意義が認められ、博士学位論文として価値あるものと認める。

論文審査委員

主	查	教授	新	川	拓	也
副	查	教授	兼	宗		進
副	查	教授	松	村	雅	史

## 論文審査結果の要旨

最終試験の結果、合格と認める。

論文審査委員	主査	教授	新川	拓也
	副査	教授	兼宗	進
	副査	教授	松村	雅史