

乳児の吸啜時における舌-人工乳首接触圧の

リアルタイム計測システム

A Real-time Measurement System that Measures the Contact Stress of Sucking
an Artificial Nipple while Milk Feeding

○ 萩野知香（大電通大院） 新川拓也（大電通大） 西恵理（大電通大）

河内了輔（奈良先端大） 湊小太郎（奈良先端大） 高田慶応（大阪厚生年金病院）

Chika Hagino, Graduate School, Osaka Electro-Communication University

Takuya Niikawa, Osaka Electro-Communication University

Eri Nishi, Osaka Electro-Communication University

Ryosuke Kawachi, Nara Institute of Science and Technology

Kotaro Minato, Nara Institute of Science and Technology

Yoshinobu Takada, Osaka Koseinenkin Hospital

Key Words: Infant, Sucking, Tongue, Artificial Nipple, Contact Stress

1. はじめに

乳児は、吸啜反射によって、出生直後から哺乳行動を行うことが可能となる。乳児は、吸啜時において、舌を蠕動させて乳首を圧迫し、乳汁を摂取する。この舌運動の計測は、哺乳行動の発達の解明に極めて重要である。

従来、乳児の吸啜については、口腔内を撮影することで舌運動の観察を行った研究が多数なされている⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。具体的には、ビデオカメラを取り付けた特殊な哺乳瓶を用いて哺乳時の口腔内を観察した例⁽¹⁾や、超音波断層法を用いた口腔内の観察⁽²⁾⁽³⁾などが行われている。これらの研究成果により、吸啜時において舌の隆起部が舌尖から舌根部へと移動する蠕動様運動を行うことが示された。また、吸啜時における口腔内の陰圧を計測する定量的手法も提案されている⁽⁵⁾⁽⁷⁾。可児ら⁽⁶⁾は、人工乳首に細い導圧管を接続し、圧力変換器を介して圧力変動を捉えた。ただし、これらの研究は、乳首から乳汁を吸い出す圧力の計測を行っている。吸啜時における舌運動の詳細を解明するためには、舌運動の力学的計測が不可欠であり、そのためには、吸啜時における舌が乳首に与える圧力の分布を推定する必要がある。

本研究では、小型力センサを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圧力がかかっているか直接計測することを目的とする。本稿では、PCをベースとした舌-人工乳首の接触圧をリアルタイムで簡便に計測できるシステムを構築し、経口哺乳が確立した乳児における接触圧の計測を行って、本システムの有効性を示す。さらに、経口哺乳が確立していない乳児においても計測を行い、吸啜時における個人差を調べる。

2. 舌-人工乳首接触圧の計測システム

本研究では、力センサを人工乳首に内蔵したセンサユニットを開発した。力センサおよびセンサユニットの図面をFig.1に示す。力センサは、縦10mm、横3mm、厚さ0.3mmのステンレス薄板を梁とした片持ち梁構造で、汎用箔ひずみゲージ（共和電業製、KFG-1N-120-C1）を梁の表面に貼付している。3mm×3mmの接触面を有する圧力伝達ブロックに舌が接触することで生じる梁のひずみから力を計測する。センサユニットは、縦12mm、横70mm、厚さ3mmの

ステンレス板に力センサを7mm間隔で配置し、直径25mmの樹脂板および樹脂製の人工乳首を装着して構成されている。

Fig.2に計測システムの概略図を示す。計測時において、センサユニットの乳首の部分が乳児の口腔内に挿入される。図中のスイッチを押すことで、出力信号のオフセット成分が除去され、計測を開始する。力センサから得られた信号は、ブリッジ回路および増幅器を介して、サンプリング周波数100Hz、量子化分解能12bitでA/D変換され、USBを経由してPCに取り込まれる。出力結果は、各力センサから得られた出力信号の時系列波形およびx軸に力センサ S_2 （人工乳首の先端部）からの出力を、y軸に S_1 （人工乳首の中間部）からの出力をとってデータをプロットしたリサージュ図形としてリアルタイムでディスプレイ上に表示される（Fig.3）。人工乳首に接触する舌の隆起部が移動すると、2つの力センサから出力される単振動波形に位相差が生じるので、リサージュ図形により、舌の蠕動様運動を確認することができると考えられる。なお、本システムはセンサユニットと信号処理部が容易に着脱可能で、ポータブルな形態を有している。

3. 力センサの特性

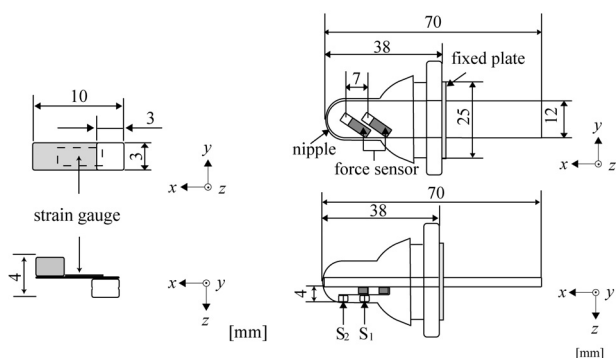
力センサの静特性および動特性の評価を行った。静特性評価においては、力センサに荷重を50gw間隔で50gwから400gwまで与え、次に同じだけ荷重を減じて、出力された電圧値を計測した。動特性評価においては、センサユニットの力センサ部に400gwの荷重を加えた状態から瞬時に荷重を取り除いた際の応答時間を計測した。Fig.4に静特性評価の結果を示す。400gwまでの荷重に対して線形性を有し、ヒステリシスは1.34%であった。Fig.5に動特性評価の結果を示す。出力の最大値の90%から10%に達するまでの時間は0.03sであった。乳児の吸啜回数は1秒間に2回程度といわれていることから、本センサは計測に十分な特性を有しているといえる。

また、センサ間における干渉出力を評価するために、センサユニットの一方の力センサ部に400gwの荷重を加えた際、他方の力センサから得られる出力信号を計測した。

Fig.6 に計測結果を示す. 図中, 破線で示された波形は力センサ S_1 からの出力, 実線は力センサ S_2 における出力である. 荷重を加えた力センサの出力を 100%とすると, 荷重を加えていない力センサの出力の割合は, 0.82 %以内であることが示された.

4. 経口哺乳が確立した乳児の舌-人工乳首接触圧の計測 4-1 計測方法

通常の授乳時と同様の姿勢で計測者が乳児を抱き, センサユニットを乳児の口腔内に挿入して, 各力センサから得られる出力信号によって舌が人工乳首に与える圧力を計算した. 被験者は, すでに経口哺乳が確立している乳児 2 名 (在胎週数 32 週, 出生体重 2330g, 生後 50 日の男児: 被験者 1 在胎週数 31 週, 出生体重 1460g, 生後 56 日の男児: 被験者 2) である.



(a) Cantilever-type force sensor

(b) Sensor unit

Fig.1 Schematic of an artificial nipple with built-in force sensors. All distances shown in mm.

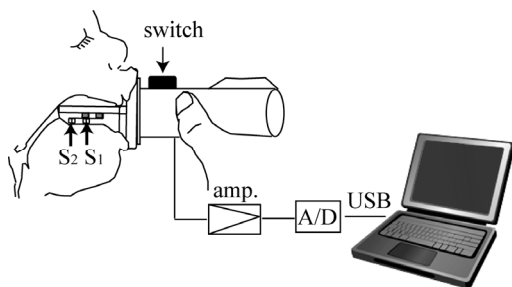


Fig.2 Schematic diagram of the measurement system.

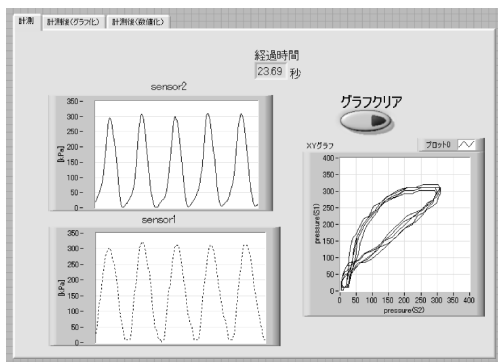


Fig.3 Screenshot of display. The display is tongue-artificial nipple contact pressure waveforms and lissajous figures.

4-2 計測結果

被験者 2 名における圧力の時系列波形を Fig. 7 に示す. 2 名ともに力センサ S_1 , S_2 の両方から信号の波形が観測された. Table1 に, 波形の周期および正の頂点の値のうち 10 点の平均値 (以下, 最大値という) を示す. 吸啜周期は, 1 秒間に 2 回程度であることが確認できた.

Fig. 8 に各力センサから得られた出力波形に対するリサージュ図形を示す. 楕円様の閉曲線の軌跡が描かれていることから, 2 つの力センサにおける波形について位相差が確認できた. また, Fig. 7 より力センサ S_1 , S_2 の順で時系列波形が出力されていることが分かった. この結果より, 被験者 2 名は舌の蠕動様運動を行っていると考えられる.

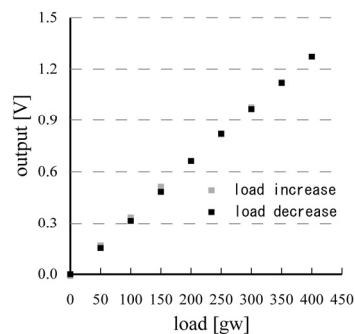


Fig.4 Static characteristics of the force sensor.

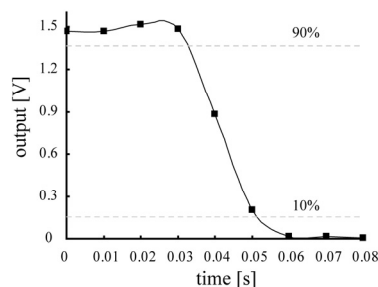
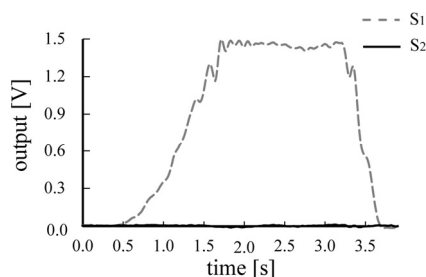
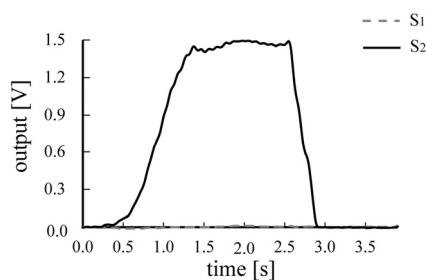


Fig.5 Dynamic characteristics of the force sensor.



(a) Output when S_1 was loaded.



(b) Output when S_2 was loaded.

Fig. 6 Output when either force sensor was loaded (400 gw).

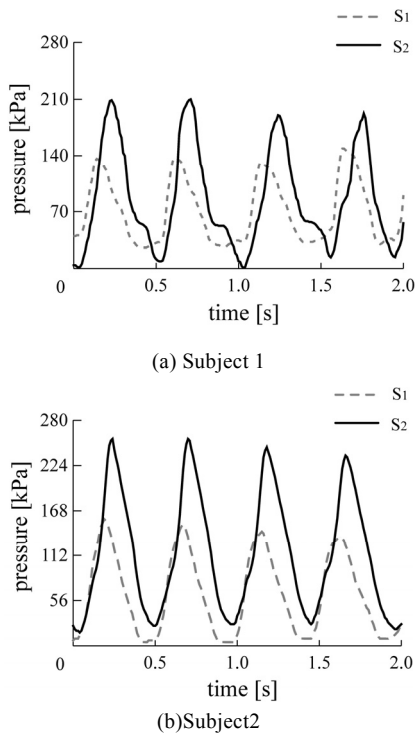


Fig. 7 Tongue-artificial nipple contact pressure waveforms in infants with established oral feeding.

Table 1. Period and maximum of tongue-artificial nipple contact pressure waveforms in infants with established oral feeding.

	Maximum [kPa]		Period [s]	
	S ₁	S ₂	S ₁	S ₂
Subject 1	136±6.29	222±38.5	0.44±0.09	0.43±0.08
Subject 2	141±20.5	225±32.6	0.50±0.03	0.49±0.03

(mean ± S.D.)

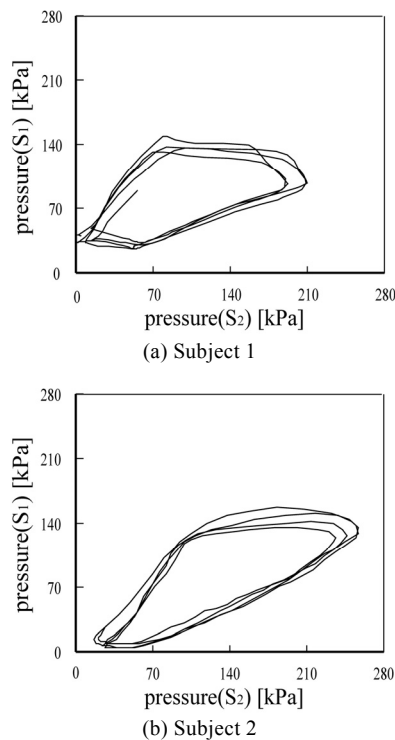


Fig. 8 Lissajous figures for the output of the force sensors S₁, S₂ in infants with established oral feeding.

5. 経口哺乳が確立していない乳児の舌-人工乳首接触圧の計測

5-1 計測方法

経鼻哺乳と経口哺乳の併用によって栄養の摂取を行っている経口哺乳が確立していない乳児2名（在胎週数34週，出生体重1590g，生後37日の男児：被験者3 在胎週数31週，出生体重1368g，生後62日の女児：被験者4）を被験者として，舌-人工乳首の接触圧の計測を行った。

5-2 計測結果

圧力の時系列波形を Fig.9 に，それぞれの波形に対するリサージュ図形を Fig.10 に示す．さらに，波形の周期および最大値を Table2 に示す．力センサ S₁ の接触圧の最大値は，被験者3 では，S₂ の最大値の 31.6%，被験者4 は 46.3% であり，被験者2 名ともに S₂ と比較して半分以下の小さい値を示した．被験者3 の吸啜周期は，1秒間に2回程度であった．また，リサージュ図形が直線を描いていることから2つの力センサから得られた波形に位相差が見られないことが確認できた．被験者4 の吸啜周期は，1秒間に2.5回程度であった．また，Fig.10(b)から力センサ S₂ が約100kPa に達した際に楕円様の軌跡が確認できる．Fig.9 より力センサ S₂ に圧力を与え始めた後，S₁ に圧力を与えていることが分かる．さらに，波形の負の頂点には力センサ S₁，S₂ の順で達していることが示され，S₁ に圧力が加わっている時間は S₂ と比較して短いことが分かった．これらの結果から，被験者2 名ともに吸啜時における舌の運動は異なる動きであると考えられる．

6. 考察

Fig.8 より，経口哺乳が確立した乳児2 名ともに2つの力センサから得られた波形に位相差が確認できた．また Fig.7 において力センサ S₁ から S₂ の順で波形が出力されていることから，人工乳首に接触する舌の隆起部は舌尖部から舌根部へ移動していることが考えられる．

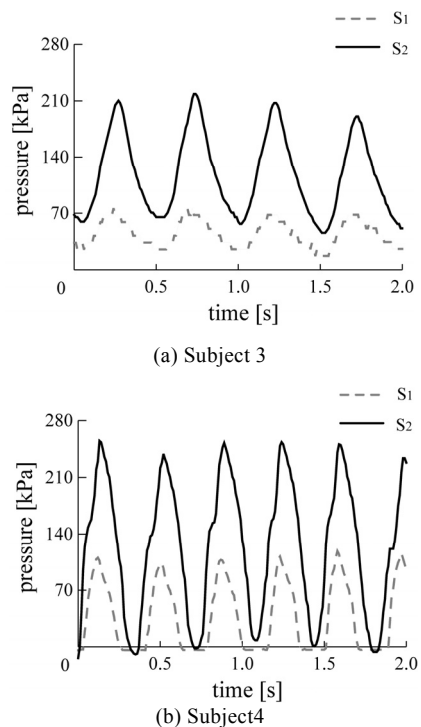


Fig. 9 Tongue-artificial nipple contact pressure waveforms in infants with unestablished oral feeding.

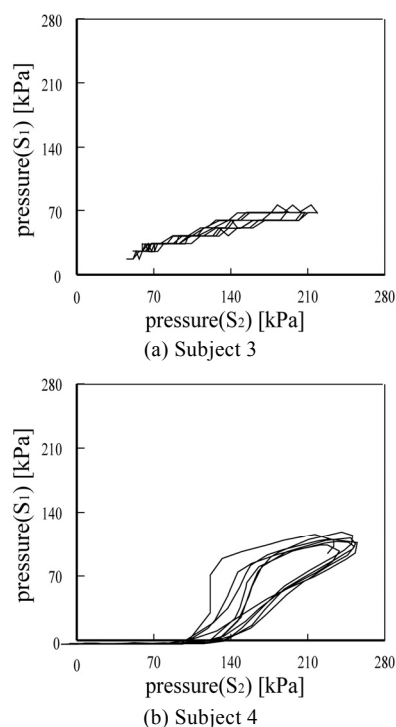


Fig. 10 Lissajous figures for the output of the force sensors S_1 , S_2 in infants with unestablished oral feeding.

Table 2 Period and maximum of tongue-artificial nipple contact pressure waveforms in infants with unestablished oral feeding.

	Maximum [kPa]		Period [s]	
	S_1	S_2	S_1	S_2
Subject 3	67.0±8.38	212±28.7	0.50±0.04	0.50±0.05
Subject 4	101±4.32	218±16.5	0.38±0.02	0.38±0.02

(mean ± S.D.)

Eishima⁽¹⁾, 田村ら⁽⁴⁾は、ビデオカメラを内蔵した哺乳瓶を用いて口腔内を観察し、舌の蠕動様運動を観測している。この結果は、今回の経口哺乳が確立した乳児の結果と一致する。

小林ら⁽⁸⁾は、X線を用いて哺乳時の口腔内を観察しており、吸啜周期は0.49sであったと報告し、Mizunoら⁽⁷⁾は、口腔内の陰圧を計測した結果、哺乳瓶を用い嚙下を伴わない吸啜の場合0.47sの周期で行われていることを示した。本研究においても、これらの研究と同様の結果が得られた。

Fig.9, 10より、経口哺乳が確立していない乳児の結果は、経口哺乳が確立した乳児とは異なる信号波形を捉えた。

従来の報告では、舌の運動様態の観測が多く、舌の力学的作用を解明するに至っていない。なお、口腔内の観察には超音波断層法など規模の大きな装置が必要となる。また、定量的計測手法の場合であっても乳汁を吸いだす際の口腔内陰圧の計測や乳首全体に加わる力の計測であった。本研究で提案する計測手法は、小型力センサを複数内蔵した人工乳首を用いて、PCをベースとしたリアルタイム計測システムであり、簡便に舌が乳首のどの部位にどの程度の圧力を与えたか計測することが可能である。また、力センサの個数を増やすことで圧力分布の分解能を容易に向上できる。

7. まとめ

本研究では、乳児の吸啜時における舌が乳首に与える圧力の計測が簡便に行えるシステムの構築を目指して、小型

力センサ内蔵型人工乳首を開発した。本システムは、センサ部がPCにUSB接続されるポータブルな形態を有している。なお、リアルタイムで出力波形が表示および記録されるため、計測状況が把握でき、乳児に吸啜させることで容易に圧力計測が可能となる。

実際に乳児に対して計測実験を行った結果、すべての力センサから出力信号の波形が観測され、経口哺乳が確立した乳児において舌の蠕動様運動を示す信号波形が観測された。また、吸啜回数は1秒間に2回程度であることが示された。以上の結果は、吸啜時における口腔内視認観測など従来の報告と同様であり、より簡便に計測可能な本手法の有効性が示された。

経口哺乳が確立していない乳児に対して計測実験を行った結果、異なる信号波形が観測され、2名の被験者のうち1名の吸啜回数は1秒間に2.5回程度であった。吸啜周期や圧力の個人差が抽出可能となり、吸啜時の舌運動の特徴を力学的観点から捉えることに成功した。

本研究における実験は、大阪厚生年金病院医学倫理委員会の承認を得て行われた。

参考文献

- (1) K.Eishima, The analysis of sucking behavior in newborn infants, Early Human Development, vol.27, pp.163-173, 1991.
- (2) J.Nowak, WL.Smith, A.Erenberg, Imaging Evaluation of Artificial Nipples During Bottle Feeding, Arch pediatr adolesc med, vol.148, pp.40-42, 1994.
- (3) Y.Hayashi, Kanno, .Seo, .Kawasaki,S.Teramoto,R.Uehara, Y.Eto, Ultrasound Analysis of Sucking Behavior of Newborn Infants ; Sucking Pressure of Newborn Infants with Cleft Palate during Nutritive Sucking, Jikeikai Med J, vol.49, pp.47-49, 2001.
- (4) 田村康夫,堀川容子,林努,吉田定宏, 口腔内ビデオカメラを通して見た乳児の吸啜時の舌運動と口腔周囲筋活動の協調, 日本顎口腔機能学会, vol.2, pp.19-26, 1995.
- (5) 可児桂子,水野克己,河村洋, 新生児の哺乳における舌運動と口腔内圧力変動, 日本未熟児新生児学会雑誌, 20, 2, pp.261-267, 2008.
- (6) Y. Hayashi, K. Kanno, M.Seo, S. Teramoto, S. Kawasaki, R. Uehara, Y. Eto, The Relationship between Sucking Pressure and Respiration during Nutritive Sucking of Normal Newborn Infants, Jikeikai medical journal, Vol.49, No.1, pp.43-45, 2002.
- (7) K. Mizuno, A. Ueda, Changes in sucking Performance from Nonnutritive Sucking to Nutritive Sucking during Breast- and Bottle-Feeding, Pediatric Research, Vol.59, pp.728-731, 2006.
- (8) 小林宏,辻俊明,栗野之也,水野克己,河村洋,大貫善一,石丸あき, 乳児と同じ舌の蠕動様運動を有する搾乳器の研究開発, 日本機械学会論文集, 73, 730, pp.211-220, 2007.