

# 蚊の口針の穿刺における振動付与の効果の検討

(戦略基盤)3次元ナノ・マイクロユニット

○山本峻己(学部生)、漆畑雄也(元院生)、高橋智一(システム理工学部 機械工学科 准教授)、鈴木昌人(准教授) 青柳誠司(教授)、山口哲(大阪大学)、今里聡(大阪大学)、功刀厚志(株式会社JSOL)、猿渡智治(株式会社JSOL)

## 研究概要・成果

### 研究背景・実施項目

注射針の苦痛を軽減したい  
蚊の口針の形状と穿刺方法を模倣  
→低侵襲性の微細針の開発

穿刺抵抗力が低い  
→痛みが少ないと考えられる

実施項目

- 蚊の口針モデルを用いた穿刺抵抗力の非線形有限要素法解析
- 格子付き人工皮膚に針を穿刺した際のひずみの可視化

蚊は3本の口針(上唇と一対の小顎)を交互に振動させながら皮膚に穿刺  
振動が穿刺抵抗性に与える影響を検討

上唇(Labrum)と小顎(Maxilla)の協調動作

Head  
Maxilla  
Labrum  
Skin  
Moving direction

### 格子付き人工皮膚の作製

針を穿刺した際の皮膚の応力・ひずみ分布を評価したい

シリコンゴム(PDMS)を使用  
(ヤング率:0.5 MPa)

格子状の模様(黒いシリコンゴムで作製)を付与し、その変形をズームマイクروسコープで観察

(a) Put photosensitive films  
(b) Photolithography  
(c) Pouring and heat curing of PDMS  
(d) Grid pattern on the PDMS sheet  
(e) Pouring and heat curing of Black silicone rubber  
(f) Pouring and heat curing of PDMS

### 蚊の口針の3Dモデル化

上唇(Labrum)と小顎(Maxilla)をSEM観察

CADモデルを作成

SEM画像(上唇と小顎)

Maxilla  
Labrum  
5 μm

上唇: 外径: 30 μm, 内径: 20 μm, 先端: 高さ100 μmの円錐  
小顎: 高さ2-5 μmの鋸歯状突起

3Dモデル

Maxilla  
Labrum

上面図  
Contacting surface with puncture target  
Air layer  
Puncture target  
225 μm  
225 μm

### 穿刺実験・画像処理によるひずみの検出

使用する針: 先鋭化したタングステンワイヤー(直径100 μm)  
穿刺速度: 0.1 mm/s  
針の振動(周波数: 20 Hz, 振幅: 70 μm)の有無による格子の変形を比較

穿刺実験のイメージ図

(a) Before puncture  
(b) After puncture

穿刺の時間推移

Before puncture  
At the maximum puncture

### 陽解法有限要素法解析

シミュレーション条件

有限要素法解析にはLS-DYNAを使用

蚊は3本針を協調振動させながら穿刺  
→今回は上唇のみを解析対象  
上唇を振動させた場合と振動させない場合の針先端に加わる荷重を比較

ALE法(Arbitrary Lagrangian and Eulerian Method)

穿刺対象を流体的に扱える  
穿刺対象を粘弾性体として定義  
→人工皮膚(シリコンゴム)の物性を使用

計算時間短縮のため現象加速を行う  
→穿刺速度と周波数も1000倍の値となる

穿刺速度: 250 mm/s  
周波数: 12.5 kHz

結果

Von Mises 応力の分布

At puncturing  
At pulling

Mises stress [MPa]

シミュレーション結果(穿刺距離・穿刺抵抗)

Puncture resistance [mN]

No vibration  
12.5 × 10<sup>3</sup> Hz

Displacement [μm]

振動の付与により  
穿刺抵抗力が最大6.5%減少

画像処理によるひずみの検出

針の穿刺前と最大まで穿刺した状態(約3 mm穿刺時)の画像より穿刺前後での格子の状態を比較

格子の変形量を算出

画像解析結果(針の穿刺時の変形量)

	振動なし	振動あり
最大変形量	408 μm	368 μm
平均変形量	186 μm	165 μm

振動の付与により  
最大変形量: 約10%減少  
平均変形量: 約11%減少

画像解析対象

画像処理結果(振動ありの場合)

赤: 変形前の格子 緑: 変形後の格子  
白矢印: 各格子の変形ベクトル

### まとめ

- 蚊の針(上唇)を模倣した3Dモデルを用いて非線形陽解法有限要素法(LS-DYNA)シミュレーションを実施。
- 振動を付与することにより穿刺抵抗力が6.5%程度減少することを確認。
- 格子付き人工皮膚を作製し、針穿刺時のひずみを観察可能とした。
- 穿刺実験においても、振動付与によりひずみが10%程度減少することを確認。  
→シミュレーションの妥当性を検証。

## 応用分野、実用化可能分野

医療分野・特に糖尿病患者のための採血針を含む低侵襲性医療分野

問合せ先: 関西大学 システム理工学部 青柳誠司 E-mail: aoyagi@kansai-u.ac.jp

関大ORDIST

先端科学技術推進機構

社会連携部 産学官連携センター、知財センター