

研究論文

重症心不全患者に対する心臓サポートネット実用化のためのネット 物性評価法の確立と着圧シミュレーション

福田ゆか^{*1}、佐々木敏哉^{*2}、秋田利明^{*2*3}

Development of Cardiac Support Device for Congestive Heart Failure Evaluation of its Physical Properties and Simulation of Contact Pressure

Yuka FUKUTA^{*1}, Toshiya SASAKI^{*2} and Toshiaki AKITA^{*2*3}Owari Textile Research Center^{*1} iCorNet Co.,Ltd.^{*2} Nagoya University Hospital^{*3}

心臓サポートネットの安定した製造のため、原糸と編成後のネットの物性を複数の評価方法で比較し、製品製造時の品質チェックに適した評価方法を確立すると共に、その物性値を使用した着圧シミュレーションを行うことを目的に研究を行った。

まず、原糸の物性および編地テストピースの物性を測定し、編成の安定化をはかった。得られた物性を基に SDS-ONE システムで着圧シミュレーションを行うと共に、Kirk の式で着圧を算出するプログラムを作成し比較を行った。また、3D プリンターで作製した心臓模型に装着した時の着圧をエアバック方式で測定し比較を行った。実測値は、作成したプログラムの結果より低く、SDS-ONE システムの結果より高い着圧となった。心臓サポートネットの着圧値の予測として、SDS-ONE システムの着圧値を下限、開発したソフトウェアの着圧値を上限として、設計値の確認に用いることができると考えられる。

1. はじめに

重症心不全患者は全世界で急増しているが、安価で多くの患者に適応できる治療法がない。

これまでに、名古屋大学医学部秋田教授とともに、心不全悪化の最大の原因である進行性心拡大を防止する治療に用いるため無縫製横編機で編成した心臓サポートネットの設計・製造システムの開発を行ってきた。現行技術では患者の心臓画像撮影から患者毎の心臓サポートネットを出荷するまでに長い時間と高いコストがかかっている。そこで、設計・製造システムの改良によるリードタイム短縮と製品の規格化による製造コスト削減を検討中である。規格化された場合、心臓サポートネットの物性が一定であるか評価・確認する必要がある。また、心臓サポートネット装着時の着圧が個々の患者に対して適切な設計になっているか確認する必要がある。これまでにネットの物性に変動があり、原糸のロット違いによる物性が心臓サポートネットを編む工程に影響しているのではないかと推察されている。また、現在行っている UT-heart 研究所のシミュレーションは心機能への効果も評価できる詳細な結果が得られる一方、時間とコストがかかるため着圧のみの簡易なシミュレーションが必要となっている。

そこで本研究では、原糸と編成後のネットの物性を複数の評価方法で比較し、製品製造時の品質チェックに適した評価方法を確立すると共に、その物性値を使用した着圧シミュレーションを行うことを目的に研究を行った。

2. 実験方法

2.1 糸の物性評価と編成性

編成時の糸テンション安定のため、糸番手と杉原計器(株)製 編成性試験機(KS-2 型)を用いて糸の摩擦抵抗力の測定を行った。

2.2 心臓サポートネットの物性評価

心臓サポートネットの物性が安定していることを評価するため、円周 30cm×長さ 10cm の筒形状に編成し滅菌処理、熱処理を行った編地(以下テストピース)の引張特性と曲げ特性を、カトーテック(株)製 2 軸引張試験機(KT-BX100)、風合い試験機の引張・せん断試験機(KES-FB1-AUTO-A)および曲げ試験機(KES-FB2-AUTO-A)を用い評価を行った。

2.3 心臓サポートネットを装着した時の着圧

3D プリンターで心臓の形状にプリントした模型に、試作した心臓サポートネットを装着した時の着圧を、(株)エイエムアイ・テクノ製 接触圧測定器(AMI3037-

*1 尾張繊維技術センター 素材開発室 *2 株式会社 iCorNet 研究所 *3 名古屋大学医学部附属病院

SB-sp-SET)を用いエアパック方式で測定した。

2.4 着圧シミュレーション

(株)島精機製作所製デザインシステム(SDS-ONE APEX3)(以下 SDS-ONE システム)で着圧シミュレーションを行うため、編成データからパターンデータを作成するソフトウェアについて検討を行った。ソフトウェアは Visual basic2017 を用いて作成し、2D データの [.bmp]ファイルおよび 3D データの [.stl]ファイルとして出力することとした。

2.3 で安定して得られた 2 軸引張試験と風合い試験の結果に基づき、SDS-ONE システムを用い、拡張時の心臓の 3D データ(STL)に作成した 2D および 3D のパターンデータを着せ付けた時の着圧シミュレーションを行った。

2.5 着圧算出ソフトウェアの開発

拡張末期の心臓の 3D データに心臓ネットを着せ付けた時の、3D データの曲率、編目の伸長率、2 軸引張試験の結果から、Kirk の式^{1) 2)}を用いて簡易な着圧を算出できるソフトウェアの開発を検討した。

ソフトウェアは Visual Basic2017 を用いて作成し、着圧をカラーマッピングして確認するため [.obj]ファイルとして出力することとした。

3. 実験結果及び考察

3.1 糸の物性評価と編成性

編成した編地のループ長に番手と摩擦抵抗力が大きく影響しており、安定した物性のネットを編成するためには、原糸である縫合糸の番手と摩擦抵抗力が安定することが必要であるとわかった。

縫合糸は組紐となっているため、組紐のピック数のバラつきが減少すると、番手および摩擦抵抗力も安定すると考えられる。縫合糸として定められた基準値内でピック数を変えて比較検討を行ったところ、ピック数が最も小さい縫合糸で安定してテストピースの編成ができるようになった。

3.2 心臓サポートネットの物性評価

テストピースの張力を、風合い試験機の引張試験機で測定した結果と 2 軸引張試験機を用い 1 軸固定 1 軸引張で測定した結果を図 1、図 2 に示す。風合い試験機での測定の場合、1 軸は固定せず測定するため、2 軸引張試験機での測定結果より全方向で傾きが小さくなった。実際の心臓の動きとしては、装着した心臓ネットの位置は固定された状態での拡張・収縮となるため、2 軸引張試験機で測定したデータが装着時に近い状態の測定であることが考えられる。

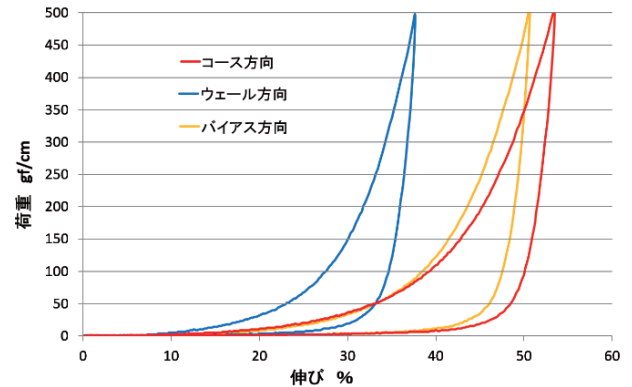


図 1 KES 引張特性

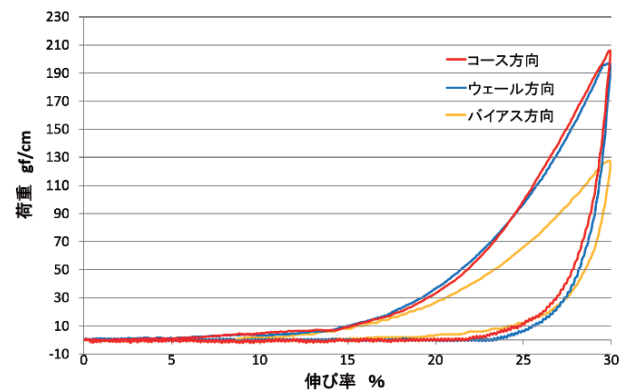


図 2 2 軸引張特性

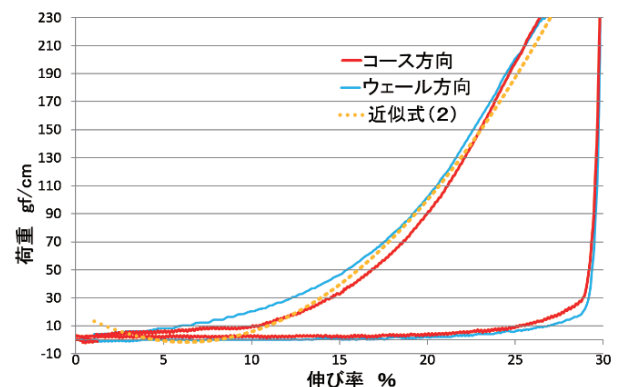


図 3 2 軸引張特性

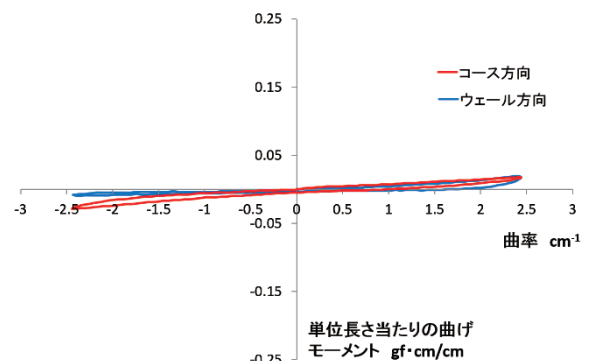


図 4 KES 曲げ特性

また、実際の心臓の動きでウェール方向に約 5% 拡張することは共通しているとのことであるため、ウェール

方向に 5% 伸長し固定した状態で、コース方向への引張特性を測定した結果を図 3 に示す。編地の特性として、コース方向への伸長にともない、ウェール方向は固定しているが、荷重は増大することがわかった。

SDS-ONE システムのシミュレーションで使用する KES 曲げ試験結果を図 4 に示す。

3.3 心臓サポートネットを装着した時の着圧

3D プリンターで心臓の形状にプリントした模型に、試作した心臓サポートネットを装着した時の着圧分布を図 5 に示す。着圧は部位形状により異なり、8-19mmHg であることを確認した。

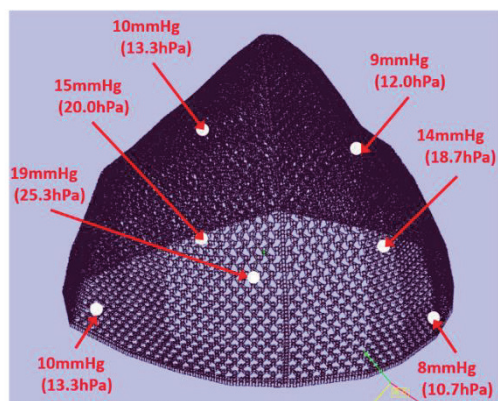


図 5 実測値

3.4 着圧シミュレーション

まず編成データとなる圧縮柄(図 6)の 1 目の編目サイズを幅 : 1.388mm、高さ : 1.086mm とし、編成する編目である緑色部分の輪郭を描くように、2D のパターンの作成を行った(図 7)。しかし、2D のパターンを心臓の 3D データに SDS-ONE システムで着せ付けを行うと縫い合わせの長さが合わず、皺がよるなど実際のネットの形状に対してのひずみが大きいことが考えられた。

そこで、圧縮柄から 3D のパターンデータの作成を行った。圧縮柄のハギ部分を基準として、編目の幅 1.388mm と 1 コースごとの編目数から円周を算出し、高さ 1.086mm ずつ円筒状に積み上げるよう 3D データを作成したところ、図 8 の左のように減らし目数の多くなる圧縮柄の右室側の長さがハギ部分より 26mm 長くなった。ハギ部分と右室側でコース数は同じであるため、長さは同じになるはずであるため、減らし目数に応じて編目の高さが 1.086mm になるように修正を行ったところ、図 8 の右に示すように右室側で 1mm 誤差に修正することができた。

測定した 2 軸引張試験と KES 曲げ試験の結果、作成した 3D パターンデータに基づき、SDS-ONE システムで着圧シミュレーションを行った(図 9)。

各部位と実測値の値を比較すると、実測値が少し高い

値の傾向であるが、それぞれ近似した値であることを確認した。



図 6 圧縮柄

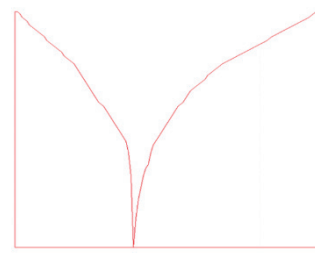
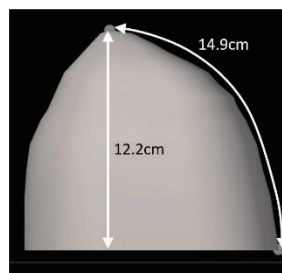
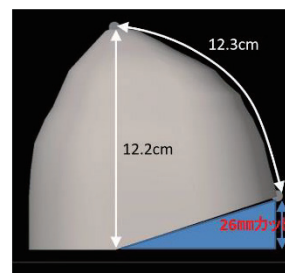


図 7 2D パターンデータ



3D パターンデータ



修正3Dパターンデータ

図 8 3D パターンデータ

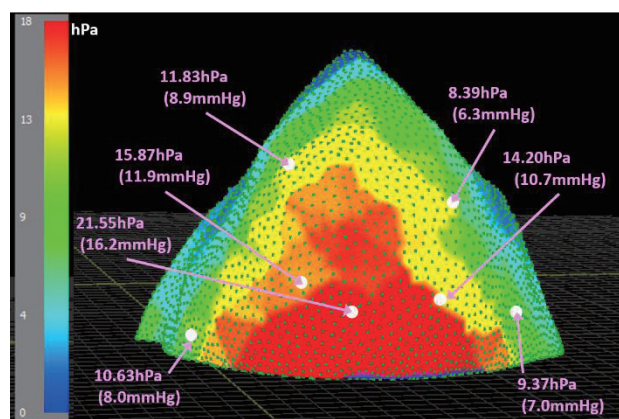


図 9 SDS-ONE システムでのシミュレーション結果

3.5 着圧算出ソフトウェアの開発

拡張時の心臓の 3D データに心臓ネットを着せ付けた時の、3D データの曲率、編目の伸長率、2 軸引張試験の結果から、Kirk の式を用いて簡易な着圧を算出できるソフトウェアの開発について検討した。

3D データの曲率、編目の伸長率、2 軸引張試験の結果から、以下のとおり Kirk の式(1)を用いて着圧を算出した。

$$P = Tc \div rc + Tw \div rw \dots\dots\dots (1)$$

$$H = P \times 0.73551$$

P : 被服圧(gf/cm²)

Tc : コース方向の張力(gf/cm)

Tw : ウェール方向の張力(gf/cm)

rc : コース方向の受圧面の曲率半径(cm)

rw : ウェール方向の受圧面の曲率半径(cm)

H : 着圧(mmHg)

ここで、図 3 のウェール方向に 5% 伸長し固定した状態で、コース方向に引張り試験を行った時の、コース方向の張力とウェール方向の張力はほぼ同じ曲線を描いているため、コース方向、ウェール方向ともに以下の近似式(2)より張力の算出を行った。

$$T = 0.54 \times X^2 - 6.8 \times X + 20.0 \quad \dots \dots \dots (2)$$

T: コース方向・ウェール方向の張力(gf/cm)

X: 伸び率(%)

各受圧面の 3D データの曲率は図 10 のイメージで、下記の式(3)で算出した。

曲率を算出するための近似式

$$r^2 = (r-N)^2 + (M/2)^2 \quad \dots \dots \dots (3)$$

矢高 N: 座標 b-座標 b' の長さ(mm)

b' = 座標 a-座標 c の中間座標

弦長 M: 座標 a-座標 c の長さ(mm)

r: 受圧面の曲率半径(cm)

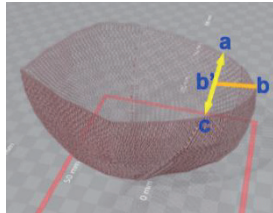


図 10 曲率を算出するイメージ

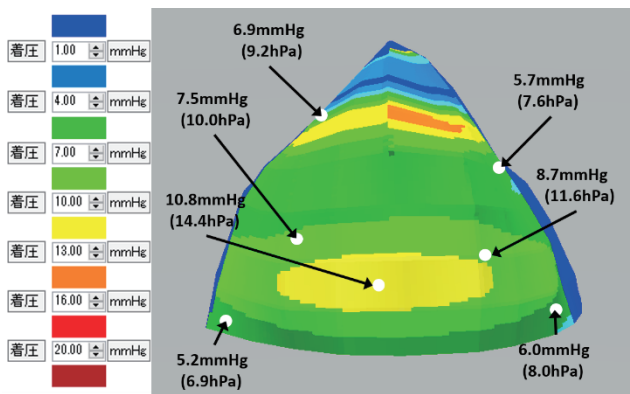


図 11 開発したソフトウェアでの算出結果
(ウェール方向の張力 0 gf/cm)

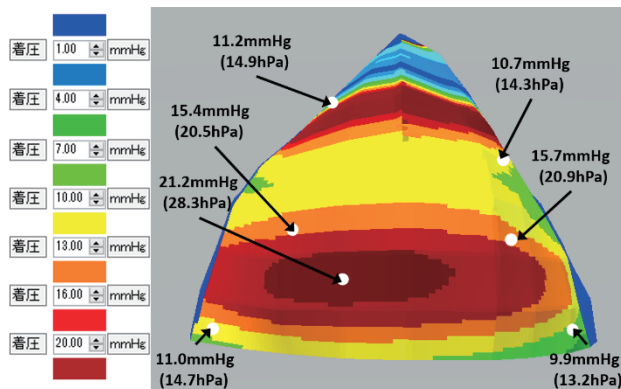


図 12 開発したソフトウェアでの算出結果
(ウェール方向の張力=コース方向の張力)

算出結果は、指定した部位の算出値をウィンドウに表示するとともに、心臓の 3D データに着圧分布を色分けして表示した[.obj]ファイルとして出力することとした(図 11、図 12)。

SDS-ONE システムのシミュレーションでは、ウェール方向に 5% 伸長した値で算出されている。図 2 からウェール方向に 5% 伸長した時のウェール方向の張力は 0 gf/cm であることが考えられる。図 11 はウェール方向の張力を 0 gf/cm として算出した結果である。図 9 と比較すると簡易に算出した着圧値は SDS-ONE システムの結果より全体的に小さいが近似した値であることが確認できた。

図 12 はウェール方向の張力=コース方向の張力として算出した結果である。図 9、11 と比較すると全体的にかなり大きな数値となり、実測値と比較しても全体的に大きな着圧値となることが確認できた。計算結果は伸長時の曲線の近似式から算出しており、収縮時の曲線は伸長時と比較して荷重が急に下がるため、静的に測定した実測値と比較して大きくなることが考えられる。

4. 結び

糸の物性を測定することで、安定した編成を行うことが可能となった。

SDS-ONE システムでのシミュレーション結果と実測値を比較すると、実測値の方が高い傾向にあるが、各部位で近似していることを確認した。しかし、システムでパターンデータを着せ付けする作業にも時間がかかることからより簡易に着圧を算出できるソフトウェアを開発した。開発したソフトウェアで算出した着圧値と実測値を比較すると、算出した着圧値の方が高い傾向にあるが、各部位の傾向としては近似していることを確認した。

心臓サポートネットの着圧値の予測値として、SDS-ONE システムの着圧値を下限、開発したソフトウェアの着圧値を上限として、設計値の確認に用いることができると考えられる。

付記

本研究は、公益財団法人内藤科学技術振興財団 H29 年度研究助成を受けて実施した。

文献

- 1) W. Kirk, S.M. Ibrahim: *Text. Res. J.*, **37**, 37(1966)
- 2) 丹羽雅子 他: アパレル科学, 美しく快適な被服を科学する, P22-28, P85-97(1997), 朝倉書店