

補助事業番号 28-137
補助事業名 平成28年度 透析患者を対象とした生体音計測によるVAトラブル診断装置の研究開発 補助事業
補助事業者名 横浜国立大学大学院 工学研究院 百武徹

1 研究の概要

透析患者は血液を体外循環させるための処置としてバスキュラーアクセス（VA）を行っている。これにより、血流は非生理的な流れをするため、血管狭窄が生じるなどのトラブルが起こる。本研究では、このようなトラブルの原因究明と、その事前診断のための生体音計測に必要な血管内流動特性の調査を実験的および数値解析的に行った。

2 研究の目的と背景

血液透析患者は、血液量を安定化させ、安全・確実に体外循環を行い体内に戻す方法（バスキュラーアクセス：VA）として、手術によって体内の血液循環を操作することになり、健常者とは異なった血液動態となる。これにより、血管狭窄といったVAトラブルなどが起こるため、日々の適切なVA管理が必要不可欠となる。そこで本研究では、VA回路のin vitro実験装置を構築し、合わせて、同様の条件下における流体解析を行うことで、静脈に生じる狭窄の形成メカニズムを流体力学的観点から調査することを目的とする。これにより、血管内の特異な流動特性と生体音との関係が明らかとなり、VAトラブル診断装置の設計指針を示すことが可能となる。

3 研究内容

(1) 血液透析におけるVA流れに関する研究

① In vitro実験

透析患者のうちAVGに関する臨床学的条件を調査し、条件に合った実験装置の設計を行った。図1に装置の概略を示す。圧力測定を行った結果、AVG作成時の静脈圧は、非作成時の4~5倍に上昇し、通常よりもかなり高い負荷が静脈血管にかかっていることが確認された（図2）。さらに、吻合部付近の流れの可視化を行った結果、吻合角度に応じて静脈流れの吻合側に渦を巻くように流れる粒子が見られ、また、人工血管から流れ出た一部の粒子は反対側の静脈壁に勢いよく衝突しており、流体力学的に非常に複雑な流れになっていることが明らかとなった（図3）。

② 流体解析

In vitro 実験を合わせて流体解析を行った。実験解析モデルを図4に示す。流体解析にはオープンソースのCFDツールボックスであるOpenFOAMを用いた。解析の結果、いずれ

の吻合角度においても、静脈下流の内壁付近にはく離が発生し(図 5)、再循環領域は吻合角 90 度を境に半径方向に拡大した。また、静脈内では外壁から内壁に向かって圧力勾配が生じ、y 軸を対称に 2 次流れが形成された。さらに、吻合角および拍動による流量増加で外内壁の圧力差が拡大した。これらの結果は、血管壁の薄い吻合静脈側において一時的に血管狭窄が発生する可能性を示唆している。

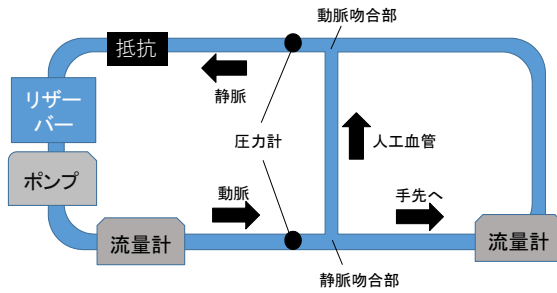


図 1 装置の概略図

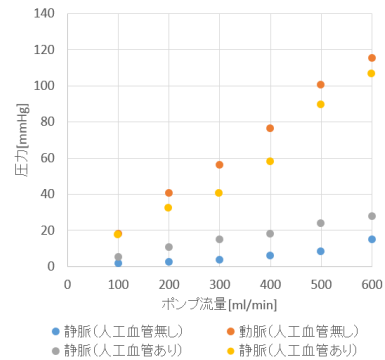
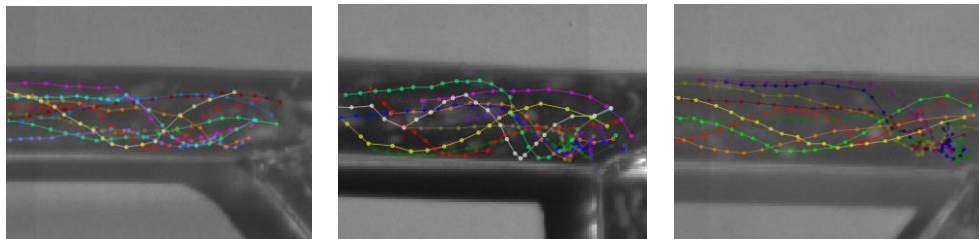


図 2 流量と動静脈圧の関係



(a)45 度

(b)90 度

(c)135 度

図 3 吻合部付近の流れの様子

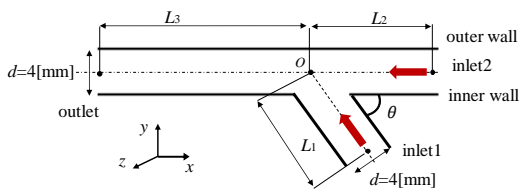


図 4 解析条件

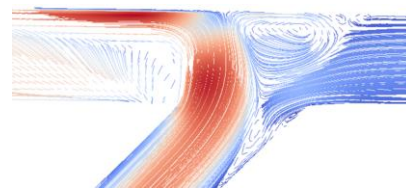


図 5 解析結果 (吻合角 135 度)

4 本研究が実社会にどう活かされるか一展望

本研究によりVA作成による血管内の流動変化を正確に把握することで、血流による生体音を非襲来的に計測することが可能となり、医療機関での大掛かりな検査の前に、VAの状態を簡便にかつ早期診断できると考えられる。その結果、患者の日々の生活でのVA管理意

識の向上,そして数値化することで不安の軽減が期待でき,透析患者の生命予後向上に大きな貢献をもたらすと考えられる.特に仕事や育児を持つ透析患者にとって,日々の通意を軽減できることは,検査時の医療機関での滞在時間の短縮になり,医療機関,患者ともに非常に有益な社会を築くことができる.

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

補助事業者はこれまで,主に流体力学に関する研究を手掛けてきた.本事業は,これらの流体力学的知見を,血液透析患者のVAトラブル診断という医療分野へと役立てるといった位置づけとなる.

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

【学会発表】

- (1) 中村祐土,百武徹, ”血液透析におけるVA流れに関する実験的研究”, 日本機械学会 関東学生会第56回学生員卒業研究発表講演会, 2017.3.16, 東京理科大学葛飾キャンパス
- (2) 百武徹,佐野吉彦,鶴川豊世武,中澤嵩,上西雅信,柳瀬眞一郎, ”AVF: arteriovenous fistulaシャント静脈狭窄発生のメカニズムを流体シミュレーションから探る”, 第62回日本透析医学会学術集会・総会, 2017.6.16, パシフィコ横浜, 横浜市
- (3) 中村祐土,小椋長征,百武徹, ”血液透析におけるVA流れに関する実験的研究”, 日本機械学会第30回バイオエンジニアリング講演会, 2017.12.14, 京都大学百周年時計台記念館, 京都市
- (4) 小椋長征,中村祐土,百武徹, ”血液透析におけるシャント内の動静脈吻合部流れに関する数値解析”, 日本機械学会関東学生会第57回学生員卒業研究発表講演会, 2018.3.16, 電気通信大学, 東京都調布市

7 補助事業に係る成果物

(1) 補助事業により作成したもの

- ・平成28年度 横浜国立大学 理工学部 機械工学・材料系学科 卒業論文 中村祐土「血液透析におけるVA流れに関する実験的研究」
- ・平成29年度 横浜国立大学 理工学部 機械工学・材料系学科 卒業論文 小椋長征「血液透析におけるシャント内の動静脈吻合部流れの数値解析」



目次

第1章 緒言	1
1.1 研究意義	1
1.2 研究目的	2
第2章 実験装置	3
2.1 実験装置概略	3
2.2 in vitro 実験回路	4
2.3 in vivo 実験回路	7
2.4 流量計選定	8
2.5 圧力計選定	9
2.7 流れの可視化撮影装置	11
2.7.1 撮影カメラ	11
2.7.2 マウントシステム	12
2.7.3 トレーサー粒子	12
2.7.4 ハロゲン光源	13
第3章 実験方法	14
3.1 圧力測定	14
3.2 流れの可視化	14
第4章 解析方法	15
4.1 FIV 解析	15
4.2 粒子追跡	15
4.3 流れ質量流量計算	16
第5章 実験結果	18
5.1 圧力測定結果	18
5.2 流量計選定結果	19
5.3 流れの可視化	26
第6章 考察	26
6.1 静脈圧力について	26
6.2 VA 部の流れの影響	26
第7章 総論	28
謝辞	29
参考文献	40



目次

第1章 緒言	1
1.1 研究意義	1
1.2 研究目的	2
1.3 先行研究 (in vitro 実験)	3
第2章 解析方法	4
2.1 解析モデル	4
2.2 OpenFOAM	5
2.2.1 OpenFOAM の概要	5
2.2.2 空間の離散化	6
2.2.3 時間式の離散化	7
2.2.4 圧力-速度連成手法	9
2.2.5 CFL 条件	10
2.2.6 圧力振動の抑制	11
2.3 乱流モデル	12
2.4 境界条件	16
第3章 解析条件	17
3.1 解析モデルとメッシュ作成	17
3.2 乱流条件の初期値	18
3.3 流出条件	19
3.4 流出条件	21
第4章 結果と考察	22
4.1 定常流における場合角速度の影響	22
4.1.1 渦と二次流れ	22
4.1.2 圧力損失	30
4.2 動脈流と静脈流の比較	31
4.2.1 動脈が流れ場にも与える影響	31
4.2.2 動脈の圧力損失への影響	39
第5章 総論	43
謝辞	44
参考文献	45

(2) (1) 以外で当事業において作成したもの
該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 横浜国立大学工学研究院百武研究室（ヨコハマコクリツダイガクコウ
ガクケンキュウインヒャクタクケンキュウシツ）

住 所： 〒240-8501

横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5

申請者： 准教授 百武徹（ジュンキョウジュ ヒャクタクテオル）

担当部署： システムの創生部門 機械工学システムコース（システムノウセイブ
モン キカイコウガクシステムコース）

E-mail: hyaku@ynu.ac.jp

U R L: <http://www.hyakulab.ynu.ac.jp/>