

令和 4 年 9 月 27 日現在

機関番号：37704

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2019～2021

課題番号：19K24274

研究課題名（和文）乳幼児の末梢静脈持続点滴時の留置針での血栓形成機構解明とその点滴事故防止への展開

研究課題名（英文）Development to a thrombogenesis mechanism elucidation with the intravenous catheter at the peripheral vein continuous infusions of infants and the intravenous feeding accident prevention

研究代表者

宮村 裕子（MIYAMURA, YUKO）

鹿児島純心女子大学・看護栄養学部・助教

研究者番号：50848489

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：血栓の可視化観察実験より、点滴時は血流に対し一定以上の流量が確保されていない場合、低せん断による淀み部が発生しやすく、血栓形成につながることを示唆された。また、乳児血管モデルを使用した留置針の穿刺力計測より、穿刺角度と穿刺力の関係が示唆された。さらに、CFDと応力解析により、点滴時の流れの剪断応力及び穿刺範囲内で血管内壁に対し、接触による高い剪断応力が作用し、これらが血栓形成の一因になることも示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

乳幼児はその年齢や発達段階から理解力が低く、末梢静脈点滴中も非点滴時と同様に体動が激しく、ベッド上においても両手を使い、自由に遊ぶなどして過ごしている。成人に比べて血管も細く、点滴トラブルも多い。乳幼児固有の体動は血栓形成に影響するため、乳幼児の特徴を踏まえて点滴管理を行わねば、血管外漏出や血栓形成による重篤な点滴トラブルにつながる。本研究は、血栓での閉塞原因究明の研究として、CFDなどシュミレーションを取り入れ、カテーテルと静脈の相対的位置変化の要因から、工学的手法を看護研究に取り入れることは、小児の点滴管理における今後の事故防止及び小児看護の発展に貢献できるという大きな社会的意義がある。

研究成果の概要（英文）： When flow above a certain level was not secured for blood flow at the intravenous feeding than a thrombotic visualization observation experiment, the settlement part by the low shear was easy to occur, and it was suggested to be connected for thrombogenesis.

Also, a puncture angle and the relations of the puncture power were suggested than puncture power measurement of the intravenous catheter using the infantile vascular model.

Furthermore, high shear stress by the contact acted for blood vessel medial wall in the shear stress of the flow at the intravenous feeding and a puncture range, and it was suggested by CFD. This shear stress analysis that these contributed to the thrombogenesis.

研究分野：小児看護学

キーワード：末梢静脈持続点滴 血栓形成機構 乳幼児 CFD 流体力学 せん断応力 体動 末梢静脈留置カテーテル

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

(1) 乳幼児疾患に対する末梢静脈点滴による輸液の投与は早期回復に繋がるが、乳幼児の血管径は細く(内径 1-1.5mm)、皮膚が薄く皮下脂肪が厚いため、カテーテル(点滴針)(最小針規格外径 0.7mm、内径 0.45mm)での血管確保が難しい。さらに、乳幼児の体動(体位変化)も大きいため、点滴中に血栓を原因とする点滴閉塞のトラブルが成人に比べて起こりやすい。その結果、血管外漏出、皮膚壊死等の重篤な後遺症などが大きな問題となる。そのため、乳幼児に対する安全かつ正確な点滴管理は重要であり、これによってはじめて正常な疾患治療を行うことができる¹⁾。

(2) 成人についてはこのような点滴での、血栓塞栓などのインシデント発生率は、日本や米国で 18%、トルコで 63%、ブラジルでは 77%程度など、地域差もあるが比較的高いことが報告されている。乳幼児では、データが公表されておらず、データがないが、病院施設等の看護師等からのヒアリングによれば、乳幼児については、成人に比べて発生率がかなり高いことが予測される。

(3) 小児看護管理の研究からは、血栓閉塞に繋がる主なものとして、(a)点滴側の手つきや上肢の屈曲など体位の変化、(b)点滴部位の圧迫や固定のズレ、(c)間欠的な啼泣、(d)睡眠があげられている²⁾。この(a)(b)に関するカテーテルと静脈の相対的位置変化の流れ場や血栓生成への影響はまだ未解明であり、本課題で解明されれば、血栓塞栓によるインシデントを低減できる。

(4) 本研究でも取り上げている CFD(数値流体力学)を点滴内外の流れ問題に適用する研究は近年見られ³⁾、カテーテルより流れ出る輸液によって発生するジェット流によって、静脈壁に高いせん断応力(流体での摩擦力)が計算上発生すると報告されているが、この計算では輸液の量が臨床で想定されるものの 10-100 倍の流量となっており、非現実的な条件となっている。一方、カテーテルの固定による接触については、上述のように臨床時の超音波撮影によってカテーテルと壁との接触部分が多いほうが、塞栓(血栓生成)の事例が多いことが示されている⁴⁾。

(5) これらの知見にもかかわらず点滴という一般病院でも非常に頻繁の高い治療において、点滴針(カテーテル)の血栓塞栓の原因が未解明のまま臨床で使用され続けられ、国内の成人対象でも 20%程度と高い塞栓現象の発生率となっている。乳幼児のような細い静脈については、成人に比べて細いという幾何的問題も加わり、臨床では塞栓率が高く大きな問題となっているが、国内外ともに現象解明についての研究がないのが現状である。本研究は、これまでの研究と対比して、固定位置によるカテーテルまわりの流れ、壁での接触応力という 2 つの要因から、血栓生成プロセスを調べるという工学的手法を看護研究に取り入れた点に新規性があり、細い静脈をもつ乳幼児での点滴事故の未然防止の基礎的研究となる。

2. 研究の目的

(1) 小児の末梢静脈での血管確保は難しく点滴中の血栓生成による閉塞などのトラブルが生じやすい。本研究の目的は、乳幼児点滴時のカテーテルと静脈の相対的位置変化の流れ場や血栓生成への影響を調べることにある。実際の点滴カテーテルの固定において、カテーテルの先端が小児の体動等の影響により静脈壁との間に過度な接触応力(摩擦応力)を生じることが想定される。このとき、壁面刺激による内皮細胞内の Weibel-Palade 小体からの血栓生成の生化学反応に関連する濃度物質 VWF(フォンヴィーブランド因子:血液凝固にかかわるタンパク質)の湧出が起るため、カテーテル先端による接触応力とこの濃度物質の流動を調べるのがカテーテル内血栓生成機構を調べる上において、大きなキーポイントとなる。

(2) 透明円管チューブおよび 2 次元セルを用いたカテーテル周りの血栓生成観察と流れ場計測、カテーテル先端の壁面への接触応力を実験や理論から算出し、カテーテルおよび静脈血管の固定状態のモデル内の流れを CFD(コンピュータを使った流体シミュレーション)を用いて、血栓の形成しやすい場所やその程度の予測を行う。また、血栓生成過程を in vitro で可視化し、血栓形成箇所を調べて点滴固定に伴うカテーテルと静脈壁面との接触応力を実験と理論から求め、流れ場を CFD から求めるアプローチにより、点滴時の血栓生成機構を解明することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 血栓生成観察と流れ計測: 円管チューブおよび 2 次元流路にカテーテルを挿入した状態での血栓形成の観察を行い、輸液量の影響や接触の程度の影響を調べる。

(2) CFD を用いた流れの解析: 静脈の血管モデルに留置針が固定されたときの流れを挿入角度や点滴固定位置、静脈速度や点滴流入の条件を変化させて、速度やせん断速度分布、滞留時間などを CFD(Ansys 等)で分析する。

(3) 接触応力の計測と理論計算: チューブ内または 2 次元流路の中心に圧電センサーを貼り、接

触力を計測する。また、カテーテルにかかるモーメントから接触力を計算から求める。

(4) 血栓生成観察と流れ場計測: 円管チューブおよび次元流路にカテーテルを挿入した状態で微粒子を用いた PIV (粒子画像流速計測法) による流速分布を算出する。

(5) 赤色血栓予測の流れの解析からの評価量算出: 実験で得られた接触応力と CFD の計算により得られた速度、せん断速度、滞留時間を組み合わせて血栓生成を予測する評価量を求め血栓生成の実験との対比により、評価量ならびにそのパラメータを決定する。

4. 研究成果

(1) 血栓生成観察と流れ計測において、円管チューブおよび 2 次元流路にカテーテルを挿入した状態での血栓形成の観察を行い、輸液量の影響や接触の程度の影響を調べ、輸液の量の増減による血栓形成の可視化を行った。その結果、流量の違いにより、血栓形成に影響を与えることが示唆され、点滴時は、血流に対して一定以上の流量が確保されていない場合、低せん断による淀み部が発生しやすく、血栓形成につながることを示唆された。

(2) CFD を用いた流れの解析において、静脈の血管モデルに留置針が固定された際の流れを挿入角度や、点滴固定位置、静脈速度や点滴流入の条件を変化させ、速度やせん断速度分布、滞留時間等について、CFD (Ansys 等) を用いた流れの解析において分析した。その結果、カテーテルの挿入位置や点滴流量の条件を変更することにより、せん断速度分布、滞留時間など血栓形成に影響を及ぼすことが示唆された。

(3) 乳児の血管静脈モデルを用いた実際の点滴のカテーテル固定では、カテーテル先端が静脈壁との間に過度な接触応力(摩擦応力)を生じることが想定される。そのため、穿刺時の穿刺角度と穿刺時の力の時間変化について検討した結果、血栓形成への影響が示唆された。また、接触応力の計測と理論計算として接触力を計測することに関しては、今後センサー等の器具を検討し、測定を行っていく予定である。

(4) 穿刺時の静脈に対するカテーテルの挿入角度が深いほど、血管壁に対するせん断応力が高くなるため、穿刺時におけるカテーテルの挿入深さおよび挿入角度の評価より、乳幼児の動きによるカテーテルの留置位置の変化は、赤色血栓の生成に影響を及ぼすことが示唆された。

(5) 乳児の血管モデルを使用した留置針の穿刺力計測より、穿刺角度と穿刺力の関係が示唆された。さらに、CFD と応力解析により、点滴時の流れのせん断応力および穿刺範囲内で血管内壁に対し、接触による高いせん断応力が作用し、これらが血栓形成の一因になることも示唆された。そのため、カテーテルを挿入・留置する際には、カテーテルの挿入角度を可能な限り小さく・浅く挿入し、カテーテルの壁を静脈壁から遠ざけるよう、水平にしてカテーテルを固定する必要についても示唆された。

<引用文献>

- 1) 加藤真理、小児病棟における輸液管理に対する看護師の意識、国立病院機構四国こどもととなの医療センター医学雑誌、2 巻、3 号、2015、86-90
- 2) 宮村裕子、前田ひとみ、0~3 歳児の末梢持続点滴トラブルに関連する動作の探索、日本看護研究学会雑誌、Vol. 39、No.3、2016、158
- 3) Russell Piper, Peter J. Carr, Lachlan J. Kelsey, Andrew C. Bulmer, Samantha Keogh and Barry J. Doyle, The mechanistic causes of peripheral intravenous catheter failure based on a parametric computational study, Sci Rep, Vol.8, No.3441, 2018, 1-12
- 4) Ryoko Murayama, Toshiaki Takahashi, Hidenori Tanabe, Koichi Yabunaka, Makoto Oe, Chieko Komiyama, Hiromi Sanada, Exploring the causes of peripheral intravenous catheter failure based on shape of catheters removed from various insertion sites, Drug Discoveries & Therapeutics, Vol.12, No.3, 2018, 170-177

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 宮村 裕子, 駒谷 海里, 玉川 雅章	4. 巻 33
2. 論文標題 乳幼児点滴時の血栓形成機構解明のための静脈採血手技モデルを用いた穿刺時の力計測による点滴針の血管壁刺激推定とその応力解析	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 113-116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24466/pacbfsa.33.0_113	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 駒谷 海里, 宮村 裕子, 玉川 雅章	4. 巻 J02306
2. 論文標題 Thrombus Formation around a Peripheral Vein Catheter and CFD Analysis of the Flow with contact to the Vein Wall	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本機械学会2020年度年次大会講演会講演論文集	6. 最初と最後の頁 02306J
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmemecj.2020.02306J	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 宮村 裕子, 駒谷 海里, 玉川 雅章	4. 巻 Vol.8
2. 論文標題 乳幼児点滴時の血栓形成機構解明のための静脈採血手技モデルを用いた点滴針の穿刺力計測と接触応力の数値シミュレーションによる血管壁刺激の評価	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 第8回看護理工学会講演抄録集	6. 最初と最後の頁 P5-01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hirayama C., Miyamura Y., Tamagawa M	4. 巻 vol.9,no.7
2. 論文標題 Effects of flow asymmetry on thrombus formation and hemolysis properties in the pipe orifice flow by CFD analysis	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ICIC Express Letters, Part B: Applications	6. 最初と最後の頁 673-680
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24507/icicelb.09.07.673	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shohei Nakata., Yuko Miyamura, Masaaki Tamagawa	4. 巻 vol.10,no.8
2. 論文標題 Effects of impinging jet flow on platelets adhesion by computational fluid dynamics (CFD) analysis with consideration of particle motion for predicting thrombus formation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ICIC Express Letters, Part B: Applications	6. 最初と最後の頁 755-762
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24507/icicelb.10.08.755	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 宮村 裕子、山口 泰信、小波石 峻介、玉川 雅章	4. 巻 32
2. 論文標題 乳幼児点滴時のカテーテル周辺の血栓形成の流路モデルによる可視化観察と流動解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 B2-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24466/pacbfsa.32.0_B2-3	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 宮村 裕子、Shet Pramod、吉牟田 純一郎、Pai Raghuvir、玉川 雅章	4. 巻 30
2. 論文標題 乳幼児啼泣時の点滴留置針まわりの血栓形成とそのモデルのCFD による流動解析	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 161-164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24466/pacbfsa.30.0_161	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 宮村 裕子、吉牟田 純一郎、山口 泰伸、玉川 雅章	4. 巻 31
2. 論文標題 乳幼児点滴時のカテーテル周辺の血栓形成とその因子群の流動場への影響について	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会大会講演論文集	6. 最初と最後の頁 122 123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.24466/pacbfsa.31.0_122	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計15件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 YukoMiyamura,Kairi Komatani, MasaakiTamagawa
2. 発表標題 Prediction of Thrombus Formation Around a Peripheral Intravenous Catheter for Infants
3. 学会等名 IMECE2021, International Mechanical Engineering Congress&Exposition (国際学会) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 宮村 裕子, 駒谷 海里, 玉川 雅章
2. 発表標題 乳幼児点滴時の血栓形成機構解明のための静脈採血手技モデルを用いた点滴針の穿刺力計測と接触応力の数値シミュレーションによる血管壁刺激の評価
3. 学会等名 第8回看護理工学会学術集会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮村 裕子, 駒谷 海里, 玉川 雅章
2. 発表標題 乳幼児点滴時の血栓形成機構解明のための静脈採血手技モデルを用いた穿刺時の力計測による点滴針の血管壁刺激推定とその応力解析
3. 学会等名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 YukoMiyamura,Kairi Komatani, MasaakiTamagawa
2. 発表標題 Prediction of Thrombus Formation Around a Peripheral Intravenous Catheter for Infants
3. 学会等名 IMECE2021, International Mechanical Engineering Congress&Exposition (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 駒谷 海里, 宮村 裕子, 玉川 雅章
2. 発表標題 末梢静脈血管内カテーテルまわりの血栓形成と接触を伴う流れのCFD解析
3. 学会等名 2020年度日本機械学会年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Shohei Nakata, Yuko Miyamura, Masaaki Tamagawa
2. 発表標題 Effects of Impinging Jet Flow on Platelets Adhesion by Computational Fluid Dynamics (CFD) Analysis with Consideration of Particle Motion for Predicting Thrombus Formation
3. 学会等名 13th International Conference on Innovative Computing, Information and Control (ICICIC2018)(Lianyungang, China), International Conference on Innovative Computing, Information and Control (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮村裕子, 山口泰申, 玉川雅章
2. 発表標題 乳幼児の体動および点滴固定による留置針周囲の血栓形成について
3. 学会等名 6回看護理工学会学術集会(東京都)、看護理工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮村裕子, 吉牟田純一郎, 山口泰伸, 玉川雅章
2. 発表標題 乳幼児点滴時のカテーテル周辺の血栓形成とその因子群の流動場への影響について
3. 学会等名 バイオメディカル・ファジィ・システム学会第31回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口泰申, 宮村裕子, 玉川雅章
2. 発表標題 末梢静脈血管内カテーテルまわりの流れの数値解析と血栓形成
3. 学会等名 本機 械学会第96 期流体工学部門講演会(室蘭市, 北海道)、日本機械学会流体工学部門
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉川雅章, Yi Yingming, 宮村裕子, 山口翔史, 山口泰申
2. 発表標題 せん断流れにおける人工壁面での白色および赤色血栓形成の観察とCFD による予測法について
3. 学会等名 第58 回日本生体医工学会大会(沖縄)、日本生体医 工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮村裕子, 玉川雅章, 山口泰申
2. 発表標題 乳幼児の末梢静脈血管内留置針の周囲流れおよび接触力による血栓形成 への影響
3. 学会等名 第7 回看護理工学会学術集会(沖縄)、看護理工学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taishin Yamaguchi, Yuko Miyamura, Masaaki Tamagawa
2. 発表標題 Effects of Impinging Jet Flow on Platelets Adhesion by CFD Analysis for Developing Predicting Method of Thrombus Formation
3. 学会等名 ,5 the International Conference on Computational Methods in Engineering and Health Sciences 2019 (ICCMEH2019)(KL, Malaysia), (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山口泰申, 宮村裕子, MAZLAN Ali Ahmad, 玉川雅章
2. 発表標題 末梢静脈血管内カテーテルまわりの血栓形成 と流れのCFD 解析
3. 学会等名 日本機械学会2019 年度年次大会(秋田市)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 玉川雅章, イ インミン, 山口泰申, 宮村裕子, 山口翔史
2. 発表標題 血小板の壁面での吸着と凝集を考慮した散逸 粒子法を用いたCFDについて
3. 学会等名 LIFE2019(東京都)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 宮村裕子, 山口泰申, 小波石峻介, 玉川雅章
2. 発表標題 乳幼児点滴時のカテーテル周辺の血栓形成の流路モデルによる 可視化観察と流動解析
3. 学会等名 第32 回バイオメディカル・ ファジィ・ システム学会年次大会(山梨大学)、バイオ メディカル・ ファジィ・ システム学会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>テルモ財団2021年度 研究助成金「乳幼児末梢静脈点滴針周囲の血栓生成機構解明と手技改善への応用」における共同研究者.</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	玉川 雅章 (Tamagawa Masaaki)	九州工業大学・大学院生命体工学研究科・教授 (17104)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関