

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 10 日現在

機関番号：32619

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009年度～2012年度

課題番号：21300210

研究課題名（和文） 褥瘡予防のためのせん断応力負荷時血流計測装置の開発と解析

研究課題名（英文） Development of a blood flow observation system under loading the shear force and its analysis for pressure ulcers

研究代表者

米田 隆志（KOMEDA TAKASHI）

芝浦工業大学・システム理工学部・教授

研究者番号：90011030

研究成果の概要（和文）：

本研究では、生体に圧迫とせん断力が負荷された時の血流状態の解析を可視化または定量化するために、マクロ的な視点からの解析とミクロ的な視点からの計測システムを構築し、双方の視点からの解析を統合することで褥瘡予防に必要な基礎データを提供することを目的とした。

マクロ的な視点からは、人が仰臥位で寝た状態で、仙骨部に圧迫とせん断力を同時にかつ定量的に負荷することのできる装置を開発した。この時の生体に対する負荷の指標として経皮酸素分圧を測定し、圧迫力とせん断力の負荷に対する指標を求めた。さらに、この計測結果をベースに圧迫力とせん断力が同時に負荷された時の血流状況を判断する数学的モデルを構築し、シミュレーションを行った。その結果、生体への負荷を表現できるモデルがほぼ完成した。

ミクロ的な視点からは、圧迫とせん断力を同時に負荷した時の毛細血管中の赤血球の動きを可視化する装置の開発を行った。これは、毛細血管を撮影できる拡大スコープとレンズ系を構築し、生体に加える圧迫力とせん断力を制御可能な装置に組み込むことで生体に負荷を加えた時の赤血球の動きをモニタ上に表示させるものである。装置を完成させ、実験を行った結果、せん断力を制御しながら負荷を加えることができ、赤血球の動きを可視化することが可能となった。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we analyze the mechanism of pressure ulcers as primary study for establishing basis techniques and for developing effective devices for pressure ulcers prevention. We approach it from the view of macro and micro biomedical method. From the macro view, we developed a device that acts on a living body with quantified and controlled pressure and shear force that are considered to be the main factors for pressure ulcers and measured the transcutaneous oxygen tension when the force is applied to human body. And also, we established a simulation model which can simulate the load for human body. From the micro view, we developed a blood flow observation device which can apply the controlled pressure and shear force. It can watch the flow of red cell directly by a magnificent electric camera.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	6,400,000	1,920,000	8,320,000
2010年度	2,900,000	870,000	3,770,000
2011年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2012年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
総計	12,700,000	3,810,000	16,510,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：人間医工学・リハビリテーション科学・福祉工学

キーワード：生物・生体工学、リハビリテーション、褥瘡

### 1. 研究開始当初の背景

従来、褥瘡（床ずれ）発生の主要因は圧迫と圧迫による血流障害がとされていたが、近年は単純な圧迫だけでなくせん断力（ずれ力）が加わった場合にはさらに褥瘡発生が促進されるとされており、ベッド上での無理な姿勢での起居動作で生体に加わるせん断応力が褥瘡を誘発していると言われている。しかしながら、せん断力が加わったときに血流がどのような挙動を示し、その後どのように周辺組織にダメージを加えて褥瘡発生につながるかについては明らかにされていない

### 2. 研究の目的

圧迫力だけでなく、せん断応力が褥瘡発生に及ぼすメカニズムを明らかにするとともに、褥瘡予防手法や予防機器に応用可能な基礎データを提供することを目的とする。

### 3. 研究の方法

以下の4つの方法により研究を実施する。

#### 1) 生体負荷制御装置の開発

任意の圧迫力とせん断応力を同時に生体に加えることが可能な生体負荷制御装置を開発し、これに局所的な血流量計測が可能な2次元レーザードップラー血流計組み込むことで、圧迫力とせん断応力をコントロールしながら血流量分布のマクロ的な計測が可能なシステムを構築する。

#### 2) 負荷時血流可視化装置の開発

ミクロ的な視点からせん断応力と血流の関係を探るために毛細血管にせん断応力を加えた際に変形の大きい生体をトラッキングし、せん断力発生部位での血流を可視化できる装置の開発を行う。

#### 3) 開発した装置による計測実験

開発した二つの装置を用いて健常者に対して計測実験を行い、せん断応力が血流障害にどのような影響を及ぼすかについて定量的に解析する。また、褥瘡発生リスクの高い高齢者・脊髄損傷者に対しても計測実験を実施し、健常者群との相違について解析を行う。

#### 4) 褥瘡予防や予防機器に応用可能な基礎データの提供

マクロ的な視点から得られたデータとミクロ的な視点から得られたデータをクロスチェックすることで、せん断応力と血流・血管変形に関する総合的な解析を実施する。さらに、せん断応力が加わったときの血流シミュレーションモデルを構築し、せん断応力が褥瘡発生にどのように相互に関連している

かを定量的に明確にし、褥瘡予防手法や予防機器に応用可能な基礎データを提供する。

### 4. 研究成果

#### 1) 生体負荷制御装置の開発

人が仰臥位でベッド上に寝た状態で、仙骨部に任意の圧迫力とせん断応力を同時に加えることが可能な生体負荷制御装置を開発した。これは、モータコントロールにより圧迫力及びせん断力を定量的に制御可能である。また、生体への負荷の指標として当初はドップラー血流計を使用予定であったが、生体への負荷を計測対象とするため、経皮酸素分圧を計測して負荷の指標とした。

開発した装置の外観を図1に示す。この装置は、モータにより座面を上下左右に動作することが可能で、座面に組み込まれたロードセルにより圧迫とせん断力の計測が可能である。また、座面内部には経皮酸素分圧計測用のセンサも埋め込まれている。このため、ロードセルからの情報により圧迫とせん断力の大きさのコントロールが可能であり、同時に経皮酸素分圧の計測が可能である。

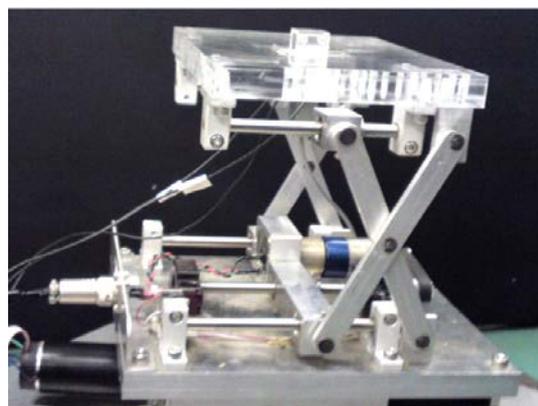


図1. 生体負荷制御装置

#### 2) 負荷時血流可視化装置の開発

毛細血管に圧迫力とせん断応力を加えた際に毛細血管血流を可視化できる装置の開発を行った。これは、圧迫力とせん断力を制御可能で、経皮的に毛細血管の血流を観察可能なカメラにより可視化を行うものである。対象部位としては、比較的毛細血管の観察が容易な爪の根本部分に負荷を加えることとした。

図2に開発した装置の外観を示す。中央部にカメラを格納した本体部があり、圧迫は本体部上面を手で押すことに発生させる。この時の圧力は内部に組み込まれたロードセル

で計測する。せん断力は平行リンク機構を用いてモータ駆動により水平方向に本体部を動作させることにより発生させる。本体部内部には、図3に示すカメラが組み込まれており、先端にあるレンズで直接観察部位に圧迫を加える方式である。

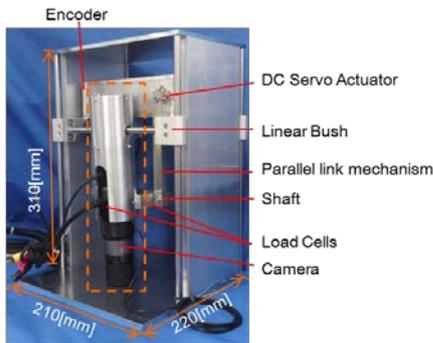


図2. 負荷時血流可視化装置



図3. 観察用電子カメラ

### 3) 開発した装置による計測実験

開発した二つの装置を用いて健常者に対して計測実験を行い、せん断応力が血流障害にどのような影響を及ぼすかについて定量的に解析を行った。図4に測定結果の一例を示す。横軸が時間、縦軸が経皮酸素分圧と圧迫寮を示している。大きく変化しているのが酸素分圧であり、圧迫を加えると大きく下がり、生体への負荷となっていることが確認される。また、圧迫解放後は元の状態に比較的早く復帰できていることが確認される。様々な測定条件での計測結果、生体負荷制御装置で加える圧迫力とせん断力の影響を経皮酸素分圧を指標に  $6 \text{ kPa} = 2 \text{ N}$  相当と考えられた。これは、これまでに報告されている指標に較べてやや高めの値となった。

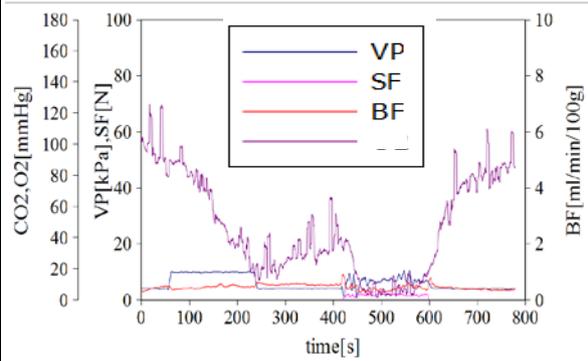


図4. 実験結果の一例

一方、血流可視化装置により負荷を加えた状態での毛細血管内の赤血球の動きを可視化することに成功した。実験風景を図5に結果の一例を図6に示す。負荷を大きくするにつれて動きが遅くなり、解放後に再び早くなることも確認された。しかしながら、光量の関係で鮮明な画像が得られず、可視化画像から定量的に速度を抽出することはできなかった。

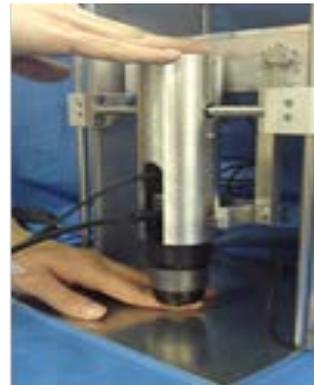


図5. 実験風景



図6. 可視化された毛細血管の例

#### 4) 褥瘡予防や予防機器に応用可能な基礎データの提供

生体負荷制御装置で計測された経皮酸素分圧をベースに、生体の血流と負荷をモデル化し、シミュレーションを行った。これは、負荷の大きさの違いによる実験結果と同等のシミュレーション結果が得られることにより褥瘡発生に影響を及ぼす因子を検討することを目的としている。シミュレーションの結果の一例を図7に示す。負荷に対応する経皮酸素分圧の低下及び解放後の上昇を模擬することが可能となった。今後一次遅れ要素をさらに系に組み込むことで、より有用なシミュレーションが期待できるものとなった。

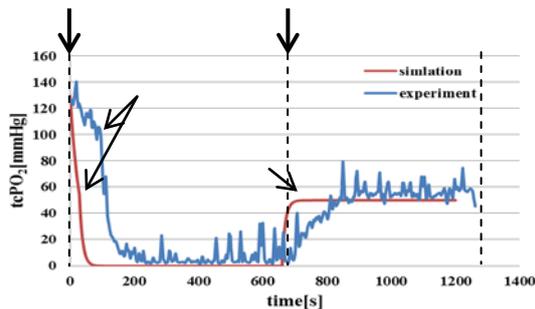


図7. シミュレーション結果の一例

本研究での研究成果として、全体で以下のことが得られた。

- ①人仰臥位での仙骨部への圧迫およびせん断力を定量的に負荷可能であるとともに、負荷時の血流及び経皮酸素分圧を同時に計測可能な生体負荷制御装置を開発した。
- ②圧迫およびせん断力を定量的に負荷した際に、毛細血管血流を赤血球単位で観察可能な血流可視化装置を開発した。
- ③生体負荷制御装置を用いて健常者対象の測定実験を実施し、せん断力が圧迫以上に経皮酸素分圧に影響を与えることを確認した。
- ④血流可視化装置を用いて健常者の毛細血管血流を観察した結果、せん断力の影響により明らかに血流が低下が観察された。
- ⑤生体負荷制御装置の計測結果をベースに血管への圧迫とせん断力を模擬した数式モデルを構築し、シミュレーションを実施した。その結果、圧迫とせん断力を同時負荷することで、血管断面積の閉塞により圧迫部滞留血液量が減少し、酸素分圧の急激な低下が起こることが示され、垂直圧力と同時にせん断力が作用した場合、酸素分圧に与える影響は大きく、褥瘡発症の過程に大きな影響を及ぼすことが示唆された。

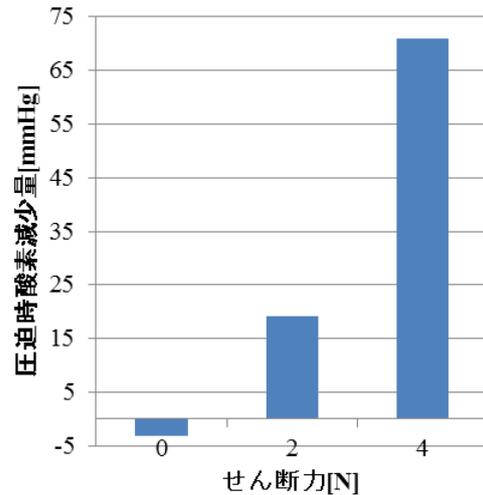


図8. 7 kPa 負荷時のせん断力の影響

⑥図8に示すようにシミュレーションの結果では、せん断力の大きさが経皮酸素分圧の低下に大きな影響を与えており、せん断力を除去することが褥瘡対策には有効であると示唆された。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 14 件)

- 1) 山寺達也, 小山浩幸, 柴田政廣, 米田隆志他「圧迫-せん断力発生時の毛細血管挙動観察装置の開発」第 13 回日本褥瘡学会学術集会抄録, p. 451, 2011 年 8 月 26 日、福岡
- 2) 水谷友祐, 小山浩幸, 米田隆志他「褥瘡発生メカニズムの解析に関する基礎研究」第 13 回日本褥瘡学会学術集会抄録, p. 451, 2011 年 8 月 26 日、福岡
- 3) 山寺達也, 小山浩幸, 柴田政廣, 米田隆志他「圧迫-せん断力発生時の毛細血管挙動観察装置の開発」、第 24 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 8E44, 2012 年 1 月 7 日、大阪
- 4) 水谷友祐, 小山浩幸, 米田隆志他「褥瘡発生メカニズムの解析に関する基礎研究」、第 24 回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 8E44, 2012 年 1 月 7 日、大阪
- 5) Tatsuya Y., Takashi K., Hiroyuki K., Masahiro S., et. al. “DEVELOPMENT OF AN OBSERVATION DEVICE FOR A CAPILLARY BEHAVIOR UNDER PRESSURE AND SHEARING FORCE GENERATED”, 6th South East Asian Technical University Consortium Symposium, 2012 年 2 月 26 日、バンコック(タイ)

- 6) Yusuke M., Hiroyuki K., Tkashi K., et. al. “Research on Mechanism Analysis for Pressure Ulcers”, 6th South East Asian Technical University Consortium Symposium, 2012年2月26日、バンコック(タイ)
- 7) 山寺達也, 小山浩幸, 柴田政廣, 米田隆志 他「圧迫-せん断力発生時の毛細血管挙動観察装置の開発, 第14回日本褥瘡学会学術集会抄録, p.444, 2012年9月1日、横浜
- 8) 水谷友祐, 小山浩幸, 米田隆志 他「褥瘡発生メカニズムの解析に関する基礎研究」, 第14回日本褥瘡学会学術集会抄録, p.444, 2012年9月1日、横浜
- 9) Tatsuya Y., Takashi K., Masahiro S., et. al “DEVELOPMENT OF AN OBSERVATION DEVICE FOR ACAPILLARY BEHAVIOR UNDER PRESSURE AND SHEARING FORCE GENERATED” 4th Congress of the World Union of Wound Healing Societies, p255, 2012年9月4日、横浜
- 10) Yusuke Mizutani, Takashi Komeda., et. al “DEVELOPMENT OF AN OBSERVATION DEVICE FOR ACAPILLARY BEHAVIOR UNDER PRESSURE AND SHEARING FORCE GENERATED” 4th Congress of the World Union of Wound Healing Societies, p255, 2012年9月4日、横浜
- 11) 山寺達也, 柴田政廣, 小山浩幸, 米田隆志 他「圧迫-せん断力発生時の毛細血管挙動観察装置の開発」第24回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 3F01, 2013年1月9日、つくば
- 12) 水谷友祐, 小山浩幸, 米田隆志 他「褥瘡発生メカニズムの解析に関する基礎研究」第24回バイオエンジニアリング講演会講演論文集, 3F02, 2013年1月9日、つくば
- 13) Tatsuya Y., Hiroyuki K., Takashi K., Masahiro S., et. al. “DEVELOPMENT OF AN OBSERVATION DEVICE FOR A CAPILLARY BEHAVIOR UNDER PRESSURE AND SHEARING FORCE GENERATED”, 7th South East Asian Technical University Consortium Symposium, 2013年3月4日、バンドン(インドネシア)
- 14) Yusuke M., Hiroyuki K., Tkashi K., et. al. “Research on Mechanism Analysis for Pressure Ulcers”, 7th South East Asian Technical University Consortium Symposium, 2013年3月4日、バンドン(インドネシア)

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

米田 隆志 (KOMEDA TAKASHI)  
芝浦工業大学・システム理工学部・教授  
研究者番号：90011030

### (2) 研究分担者

なし

### (3) 連携研究者

小山 浩幸 (KOYAMA HIROYUKI)  
芝浦工業大学・システム理工学部・教授  
研究者番号：40052881

柴田 政廣 (SHIBATA MASAHIRO)  
芝浦工業大学・システム理工学部・教授  
研究者番号：60158954