

## 褥瘡メカニズム解析のための圧迫・せん断力発生装置開発と解析

Development of a pressure and shear force generating system and its analysis  
for discuss of mechanism of pressure ulcers

○加山桃子(芝浦工大), 小山浩幸(芝浦工大), 山本紳一郎(芝浦工大)

煙山健二(防衛医科大), 米田隆志(芝浦工大)

Momoko Kayama, Shibaura Institute of Technology Hiroyuki Koyama, Shibaura Institute of Technology  
Shinichiro Yamamoto, Shibaura Institute of Technology Kenji Kemuriyama, National Defense Medical College  
Takashi Komeda, Shibaura Institute of Technology

Key Words: Pressure Ulcer, Stress, Reactive Hyperemia

## 1. はじめに

我が国では年々高齢者の割合が増加し続けており、寝たきり者の割合も増加すると予想される。これら寝たきりの高齢者や肢体不自由者に多く発症する疾患の一つに褥瘡がある。褥瘡とは、身体に加わった外力が骨と皮膚表面の間の軟部組織の血流を低下及び停止させ、皮膚や皮下組織が壊死や潰瘍をきたした状態である<sup>(1)</sup>。褥瘡の好発部は、仙骨部、腸骨部、大転子部などの皮下脂肪組織が発達しておらず、突出した骨による圧迫を皮膚や筋肉が直接受けやすい部位である。近年褥瘡の問題の重要性が認識されつつあり、科学的な褥瘡予防法の確立が求められる。

これまで褥瘡の主な発生要因は「圧力×時間」であると考えられてきたが、近年では「応力(圧縮応力, 引張応力, せん断応力)×時間×頻度」だとされている<sup>(2)</sup>。そして、皮膚にこれらの力が長時間過剰に加わると、皮下の血管は部分的または完全に閉塞し、組織の新陳代謝に必要な酸素と栄養を十分に供給できなくなる虚血状態に陥る<sup>(3)</sup>。これにより、皮膚や皮下組織が壊死してしまう。皮膚の局所的な虚血が解除されると、その部分の血流量は急激に上昇する。この現象を反応性充血と呼ぶ。反応性充血の程度は虚血時間に影響されるため、これが大きいほど生体に加わる負荷が大きい。したがって、反応性充血の大きさが褥瘡発症の一つの目安と考えられる。

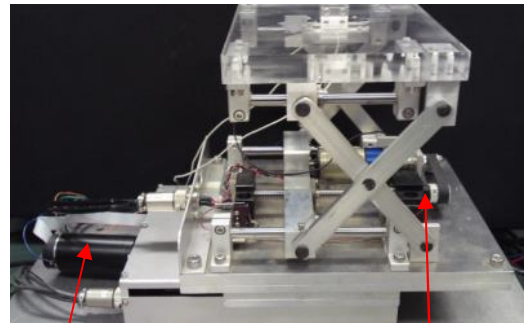
本研究では褥瘡予防の基礎技術確立と有効な機器の開発の基礎研究として、褥瘡発生メカニズムの解析を行っている。本稿では、褥瘡発症の因子とされる垂直圧力とせん断力を定量的に制御しながら生体に作用させる装置の開発と、その時の反応性充血を観測するため、血流量の測定を行ったので報告する。

## 2. 圧迫・せん断力発生装置

開発した圧迫・せん断力発生装置の外観を Fig.1, 圧迫部におけるロードセルの配置を Fig.2 に示す。

本装置は被験者が仰臥位で寝たときに、仙骨部に任意の垂直圧力とせん断力を発生させるものである。垂直圧力は DC モーターからの回転をボールねじへ伝達し、パンタグラフ機構により圧迫作用面を上下に動かすことで発生させる。また、せん断力は DC モーターからの回転をボールねじへ伝達し、スライド機構により装置を水平に移動させることで発生させる。発生させる垂直圧力とせん断力は、圧迫部に内蔵されたロードセルの力情報を DC モーターへフィードバックすることで一定となるよう制御している。血流量の測定には、非接触式のレーザードップラー式血流計を使用し、

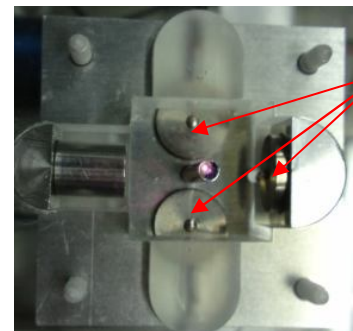
血流計プローブ先端を圧迫面に取り付けて測定する。圧迫面の大きさは 20[mm]四方であり、環境温度による血流量低下を防ぐために圧迫面をアクリルとしている。



Motor for SF

Motor for VP

Fig.1 Vertical Pressure and Shear Force generating System



Load cell

Fig.2 Vertical Pressure and Shear Force sensors

## 3. 血流量測定実験

## 3-1 目的および方法

実験の概略を Fig.3 に示す。圧迫・せん断力発生装置を用いて褥瘡の好発部である仙骨部に垂直圧力(以下 VP)とせん断力(以下 SF)を加え、血流量(以下 BF)の測定を行う。その際、VP と SF の大きさを変えて実験を行うことで VP と SF の大きさが BF に及ぼす影響について評価する。被験者は 20 代の男性とし、ベッドに仰臥位となった状態で実験を行う。VP と SF は、以下の順で作用させる。

- ① 予備の圧力として VP=4[kPa]を 60 秒間
- ② 正規化のための圧力として VP=10[kPa]を 300 秒間
- ③ 圧力解除のため VP=4[kPa]を 300 秒間
- ④ VP(7,10,13[kPa])と SF(2,4,6[N])を 300 秒間
- ⑤ 圧力解除のため VP=4[kPa]を 300 秒間

実験の度に測定する個所を正確に一致させることが困難で、血流量に差が生じてしまうことを考慮し、②の圧力を加えることで、基準を設けて正規化した。垂直圧力が13[kPa]までであるのは、6.7~13.3[kPa]までの圧迫では、組織は明らかな損傷を受けることなく4~6分間耐えられることが示唆されており<sup>(4)</sup>、反応性充血を十分に確認できると考えたためである。予備圧迫が垂直圧力4[kPa]であるのは、一般に毛細血管圧は4.3[kPa]といわれており<sup>(5)</sup>、この値よりも低く設定することで血流量に影響しない程度の小さい圧迫であると考えたためである。せん断力の大きさは生体組織に損傷を与えない程度の小さな値とした。

### 3-2 結果と考察

実験結果の1例をFig.4に示す。②の基準圧迫で血流量が下がり、その後③で反応性充血が見られる。また、④の本圧迫と⑤の反応性充血も同様となっている。生体の負荷を示す指標として、Fig.5に示すように、基準とする②のVP[kPa]を開放したあとに現れる反応性充血の面積をa、④のVP[kPa]とSF[N]を開放したあとに現れる反応性充血の面積をbとし、面積比b/aを求めることで、反応性充血を定量化し、VPとSFの大きさがBFに与える影響について評価した。

垂直圧力のみを加えた場合と垂直圧力10[kPa]にせん断力を加えた場合のb/aの値をFig.6に示す。これより、垂直圧力が大きくなるほどb/aの値が大きくなっており、さらに同じ10[kPa]でもせん断力を加えるとb/aが大きくなっている。しかし、Fig.7に示すように、垂直圧力の大きさを7[kPa]に設定し、仙骨部に作用させた状態では垂直圧力を単独で作用させた場合と、せん断力を同時に作用させた場合の差はなく、血流量に与える影響に有意差を確認することはできなかった。これは、Bennett(1979)の「せん断力が血流の遮断に大きな役割を果たすにもかかわらず、大きな圧縮が存在する状態ではじめて血流遮断を起こすせん断状態が発生し、せん断力だけでは組織を破壊できない」という見解と類似する<sup>(6)</sup>。

したがって垂直圧力の大きさによってせん断力が血流へおよぼす影響力は変化しており、大きな垂直圧力と同時にせん断力が作用した場合、血流量に与える影響は大きく虚血状態に陥りやすくなり、褥瘡発症の過程に大きな影響をおよぼすことが示唆された。

### 4. まとめ

圧迫・せん断力発生装置を開発し、褥瘡の好発部位である仙骨部に垂直圧力およびせん断力を加え、その際の血流量を計測した。すべての応力解放後に反応性充血を確認した。また、垂直圧力と同時に加えるせん断力を大きくすることで反応性充血が大きくなることを確認し、せん断力の大きさが褥瘡発生過程に影響を及ぼすことが示唆された。

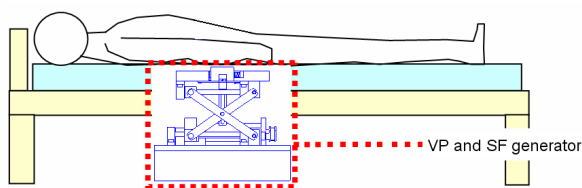


Fig.3 Overview of experiment

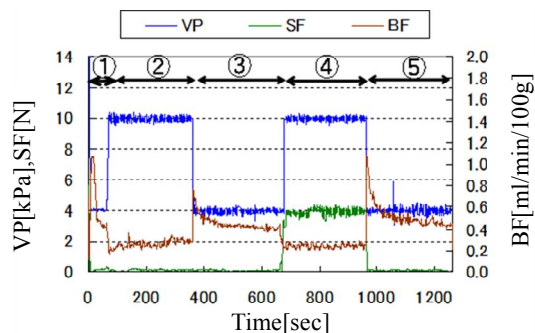


Fig.4 Experimental Result

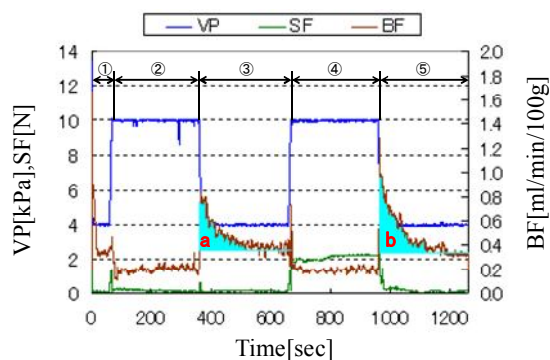


Fig.5 Quantification method of BF

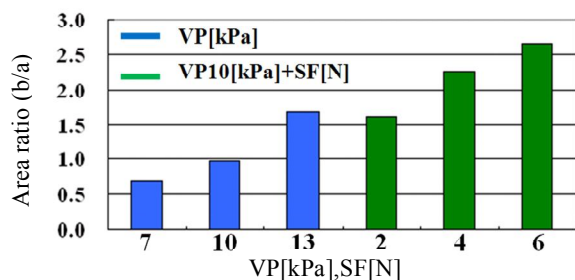


Fig.6 Area ratio of reactive hyperemia

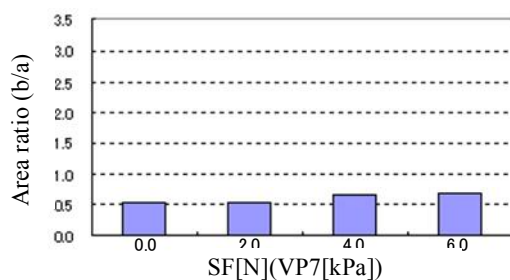


Fig.7 Area ratio of BF

### 参考文献

- (1) 高齢社会白書, 2008
- (2) 大浦武彦, 本邦における褥瘡の現状と問題点, 褥瘡会誌(Jpn J PU), vol. 1, mo. 2, pp. 201-214, 1999
- (3) 大浦武彦, 褥瘡に対する新しい考え方と治療, 褥瘡発生の要因
- (4) 清水直生, 褥瘡発生メカニズムの解析に関する基礎研究, 2009
- (5) 及川忠人, 伊崎誠一, 高齢者の介護とスキンケア, 丸善株式会社, 2000
- (6) Bennett L, Kauver D, Lee BY, and Trainor FA, Shear vs pressure as causative factors in skin blood flow occlusion. Arch. Phys. Med. Rehabil., pp.60, 309-314, 1979