

# 加圧によるラット皮下組織内酸素濃度および血液透過性の測定

三木将仁\*<sup>1</sup>, 山崎祐司\*<sup>2</sup>, 森田真史\*<sup>2</sup>, 諸星康雄\*<sup>3</sup>

\*<sup>1</sup> 埼玉大学総合研究機構技術部, \*<sup>2</sup> 埼玉大学大学院理工学研究科, \*<sup>3</sup> 北里大学医学部

## 1. 結論

褥瘡は皮膚表面に持続的圧力が加わることで、血管が圧迫され血行障害が起こり組織壊死する病態である。また、意識状態の低下、病的骨突出、関節拘縮、浮腫、低栄養などの危険因子が複雑に関与して発生する<sup>1)~4)</sup>。また、組織の侵襲度は圧力の大きさと持続時間によって影響される<sup>5)</sup>。褥瘡は難治性かつ慢性的な疾患であるため、発症前に予防する事が重要となる。しかし、症状は個人の皮膚組織状態、衛生環境や栄養状態に依存するため、現在の看護経験に基づいた予防基準では一律に予防することは難しい。臨床看護現場では持続的圧迫による褥瘡発生を防ぐため、2時間おきに体位変換するとされているが<sup>6)7)</sup>、2002年に足立らにより2時間おきの体位変換には医学的検証がないことが報告された<sup>8)</sup>。また、近年体表面接触圧を32mmHg以下<sup>9)</sup>に維持するということを評価基準として採用することの意義が薄れてきている<sup>10)</sup>。これらのことから、褥瘡の発生を一律に予防するための体表面接触圧や持続的圧迫時間等の標準化はできていないことが分かる。そこで本研究では、褥瘡発生のメカニズムを解明するために、組織への酸素供給の基準である酸素分圧(以下PO<sub>2</sub>)と組織の沈み込み量の加圧による経時変化をラットを用いたin vivo実験で測定した。また、in vitro実験で組織に静的負荷を加え、組織のひずみと血液透過係数の関係を求めた。

## 2. 実験方法

### 1) 加圧によるPO<sub>2</sub>変化の測定

Wistar系ラットに麻酔(ミダゾラム:ベトルフェール:ドミトール=1:1:3)を0.05mL/100gの割合で投与し、麻酔下ラットの大腿部に酸素分圧測定装置(栄行科学社製:Oxygen Monitor)の針電極を針入した。その部分を加圧し、加圧時のPO<sub>2</sub>変化を測定した。それと同時に、組織の沈み込み変位量をレーザ変位計(KEYENCE社製:可視光レーザ式変位センサLB-1000)にて測定した。大腿部に加える圧力は図1に示すように、加圧子に乗せる重錘で調節し、10,15,20mmHgの3点で加圧・除圧を繰り返した。また、加圧時間を3,5,8分と変化をさせて測定を行った。実験中は、体温測定装置でラットの直腸温を測定し、遠赤外線輻射器を用いて体温を一定に保った。

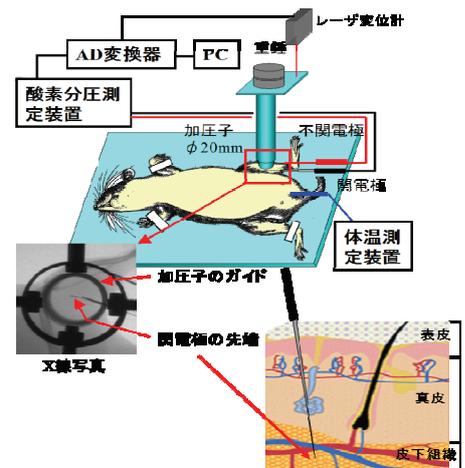


図1. 加圧によるPO<sub>2</sub>変化測定装置

### 2) 筋組織の血液透過係数の測定

筋組織に静的負荷を加え、組織の縦弾性係数と血液透過係数を求めるために、図2のような実験装置を用いた。平均気孔径130μm、気孔率約50%の焼結体容器に組織を設置しエアシリンダにて一定圧力を負荷し、組織を圧密化した。その時の組織の沈み込み変位をレーザ変位計にて測定し、得られたクリープ挙動のグラフより、ひずみに対する縦弾性係数と血液透過係数の関係を求めた。加圧力は、12,20,36,53mmHgで実験を行なった。

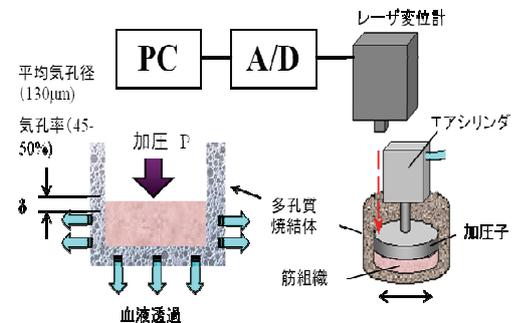


図2. 組織加圧実験装置

## 3. 結果および考察

### 1) 加圧によるPO<sub>2</sub>の経時変化について

PO<sub>2</sub>値は加圧力だけでなく、図3のように加圧回数の増加と共に除圧時のPO<sub>2</sub>値が下がることから、加圧の際に組織に加圧量の大きさにかかわらず、前荷重履歴が残留するものと考えられる。これは、沈み込み量の変化からも見て取れる。

除圧後の PO<sub>2</sub> の回復は、加圧時間が長ければ長いほど回復に時間を要し、回復速度も遅くなった。また、回復後は元の酸素分圧よりも低くなる傾向も見られた。加圧時の PO<sub>2</sub> 減少挙動は初めに大きく低下し、その後の低下率は徐々に緩慢となった。沈み込み量もそれに伴って大きくなった。これらの結果から PO<sub>2</sub> が減少する原因は、加圧により組織と血管が押しつぶされ、血流量が低下しているためであると考えられる。図 4 の長時間加圧のグラフから、沈み込み量は組織内血液が排除されることによって起こる粘弾性特性と同じようなクリープ挙動を示しており、60 分間加圧した場合でも安定していないことが分かる。

今回、2 種類の加圧子 φ15mm と 20mm を使用した。加圧子 φ20mm では、20mmHg 程度の圧力でも PO<sub>2</sub> が大幅に減少するが、φ15mm では 20mmHg 程度の加圧力では PO<sub>2</sub> の変化量は小さかった。加圧子 φ20mm、加圧力 20mmHg の時と同様の変化量を加圧子 φ15mm の時に与えるには、加圧力は 55mmHg 必要であった。これは、加圧面積が大きいほど、血流が阻害される範囲が増え、加圧部分の PO<sub>2</sub> が減少しやすくなったためであると考えられる。

## 2) 筋組織の圧密化と血液透過係数について

ダルシーの式(1)を用いて算出したひずみに対する血液透過係数  $k$  の変化を図 5 に示す。ひずみの増加に伴って血液透過係数は指数関数的に減少し、圧密化により血液透過係数が低下することを確認した。皮下組織を、固相成分として筋組織を液相成分として血液を仮定した固液二相系粘弾性モデルを想定した場合、一定圧力の下でも組織は血液が排除されるに伴って、圧密化が進行する。血液流動速度が時間と共に減少すると筋組織に作用する圧力は増大する。血液流動が停止した時点で透過係数はゼロになると考えられる。これらは、主に加圧力、組織の硬軟や厚さに依存すると考えられる。

$$k = \frac{Q}{A} \frac{L - \delta}{P_2} \cdot \cdot \cdot (I) \quad P_1 = \varepsilon E(\varepsilon) \quad P_2 = P - P_1$$

$Q$ : 流量                       $\delta$ : 沈み込み量                       $P$ : 加圧力  
 $A$ : 断面積                       $\varepsilon$ : ひずみ                                       $P_1$ : 固相分圧力  
 $L$ : 組織厚さ                       $E$ : 縦弾性係数                               $P_2$ : 液相分圧力

## 謝辞

本研究は、文部科学省科学研究費補助金(若手研究(B))No.22792135 の助成を受けて遂行したことを付記する。

## 参考文献

- 1) 大浦武彦：わかりやすい褥瘡予防・治療ガイド，14-27，照林社，(2001)。
- 2) 杉山みち子：栄養ケア・マネジメント，褥瘡会誌，4(1)，13-19，(2002)。
- 3) 大浦武彦，真田弘美，杉山みち子，他：褥瘡治療・看護・介護・介護機器の総合評価ならびに褥瘡予防に関する研究，厚生労働省平成 11 年度長寿科学総合研究報告書，15-28，(2000)。
- 4) Gilmore SA, Robinson G, Posthauer ME, et al: Clinical indicators associated with unintentional weight loss and pressure ulcers in elderly residents of nursing facilities, J Am Dietetic Assoc, 95(9), 984-992, (1995)
- 5) Bryant RA: Acute and chronic wounds: Nursing management, Mosby-Year book, 105-163, (1992).
- 6) Gendron F: "Burns" occurring during lengthy surgical procedures, J Clin Eng, 5(1), 19-26, (1980)
- 7) Scott SM, Mayhew PA, Harris EA: Pressure ulcer development in the operating Room. Nursing implications., AORN J, 56(2), 242-250, (1992).
- 8) 宮地良樹, 真田弘美: 新褥瘡のすべて, 永井書店, 4, (2006)
- 9) Landis EM: Micro-injection studies of capillary blood pressure in human skin, Heart, 15, 209-228, (1930).
- 10) 足立香代子, 大浦武彦, 真田弘美, 他: 褥瘡発生要因の抽出とその評価, 褥瘡会誌, 4(2), 191-193, (2002)

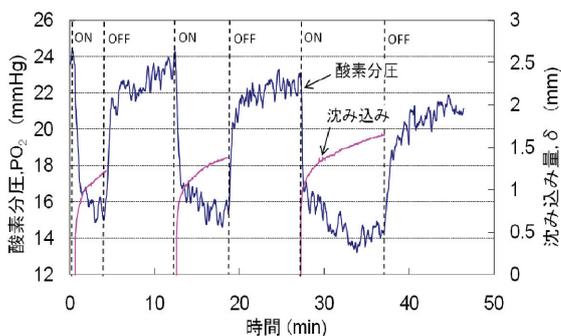


図 3. φ20mm, 20mmHg での PO<sub>2</sub> の経時変化

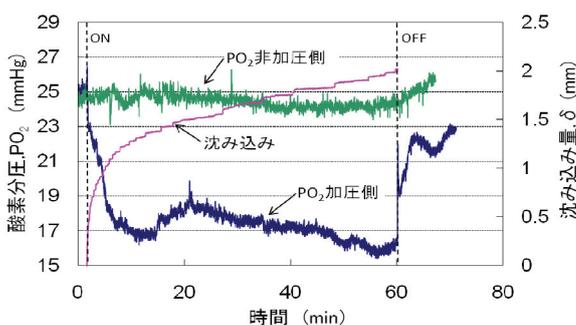


図 4. φ15mm, 55mmHg での PO<sub>2</sub> の経時変化

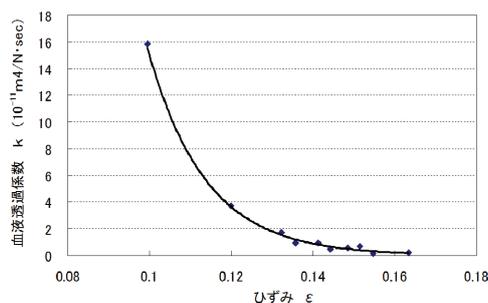


図 5. ひずみに対する血液透過係数の変化