

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月 7日現在

機関番号：12605

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2012

課題番号：23700663

研究課題名（和文）背圧軽減による仰臥位姿勢における褥瘡予防の力学的検討

研究課題名（英文）Mechanical Evaluation of Pressure Ulcer Prevention due to Reduced Stress in Supine Position

研究代表者

大下 賢一 (OSHITA KENICHI)

東京農工大学・工学（系）研究科（研究院）・助教

研究者番号：60334471

研究成果の概要（和文）：後頭部，肩甲骨部および仙骨部近傍に対して，ベッドの背上げ角に対する圧迫力およびせん断応力の変化を測定した．さらに，仙骨近傍に対して粘弾性特性を考慮した応力解析を実施し，測定結果と比較した．その結果，両者は定量的には異なるものの定性的には同様な傾向を呈し，応力分布の概略を確認することができた．また，仙骨の突起形状および寸法が皮膚表面の応力状態に及ぼす影響は比較的小さいのに対して，身体内部の応力状態には大きく影響することがわかった．さらに褥瘡予防には 30°付近の姿勢が効果的であることがわかった．

研究成果の概要（英文）：Pressure ulcer is consequence of intense and prolonged mechanical loading of vascularized soft tissues, which causes cell death through metabolic deprivation and/or critical deformation. Therefore in this research we focused attention on the external causes of pressure ulcer generating mechanism. We measured shear stress and pressure on the skin surface under the occiput, the scapula and the sacrum. Furthermore, the stress states in the body were numerically examined using viscoelastic finite element method. It was shown that the stress on uppermost of subcutaneous tissue under the sacrum greatly depended on the projection shape and the size of the sacrum.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：総合領域（工学）

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：圧迫力・せん断力の測定，非弾性有限要素法

1. 研究開始当初の背景

(1) 近年，先進諸国において高齢社会が現実のものとなりつつあり，日本においても急速な勢いで高齢化が進んでいる．高齢化に伴う重大な問題に寝たきり高齢者の増加がある．加齢や疾病による6ヶ月以上の寝たきり，寝かせきり高齢者（患者）は全国で120万人に上ると推計されており，その約半数が褥瘡に悩んでいるといわれている．また，厚生労働省は，2025年には寝たきり高齢者の総数が現在の120万人から230万人に増加すると予

測している．これに重度の要介護者の人数も加えると，褥瘡発症の危険因子を持つ例が多くなり，かなりの褥瘡患者が発生することが予想できる．したがって，褥瘡の発症，悪化の対処方法や防止策についても，避けて通ることのできない問題として年々その重要性が高まっている．

(2) 現在，これに関する研究は，医療的立場からは次第に明らかになりつつあるが，生体内部の応力状態を定量的に評価することはきわめて困難であることから力学的見地に

基づく研究は十分でない。しかしながら、本研究の重要性は学術的にも医学的・工学的実用性の上でも極めて明らかであり、本研究の成果を早急にあげることが望まれている。

2. 研究の目的

(1) 本研究では仰臥位時において褥瘡好発部位に生じる圧迫力とせん断力に着目し、生体内部における応力状態を定式化することにより褥瘡発生機構を解明するとともに、ベッドの角度等、力学的負担の軽減策を明らかにすることを目的とする。

(2) これにより、褥瘡に苦しむ方々への苦しみの解放、介護する方々の負担軽減、医療現場の方々への理論的説明となることを目指す。

3. 研究の方法

(1) 実験方法

被験者として、健康な成人男性 14 名（身長 166cm～183cm，体重 48kg～84kg，体脂肪率 11.1%～25.5%，年齢 22 歳～29 歳）に協力していただき、仰臥位姿勢におけるベッドの背上げ時（0°～60°まで 10°刻み）、背下げ時（60°～0°まで 10°刻み）下での圧迫力 P およびせん断応力 τ を各 3 回ずつ測定した。研究対象とした測定部位は褥瘡好発部位とされている後頭部、肩甲骨部および仙骨部である（図 1 参照）。

なお、体圧測定には molten 社製簡易式体圧・ずれ力同時測定器 PREDIA（センサの測定部寸法：縦 8.0cm×横 4.0cm）、ベッド、枕にはそれぞれ PLATZ 社製在宅介護用ベッド PRB-385S，molten 社製 posfit を使用した。一方、マットレスの特性が測定結果に及ぼす影響を考慮して、マットレスには硬さの異なる二種類のマットレス（PLATZ 社製ダブルポイントマットレス PFM-8380PN およびビカムポイントマットレス PD502-BP8914）を用いた。

測定において、まず、被験者は変位センサ PREDIA を測定部位に医療用両面テープを用いて貼付する。水平なベッド上で仰臥位に

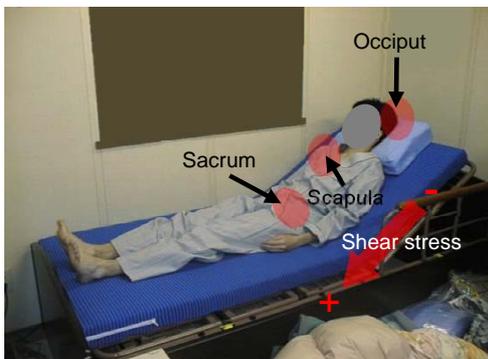


図 1 測定部位

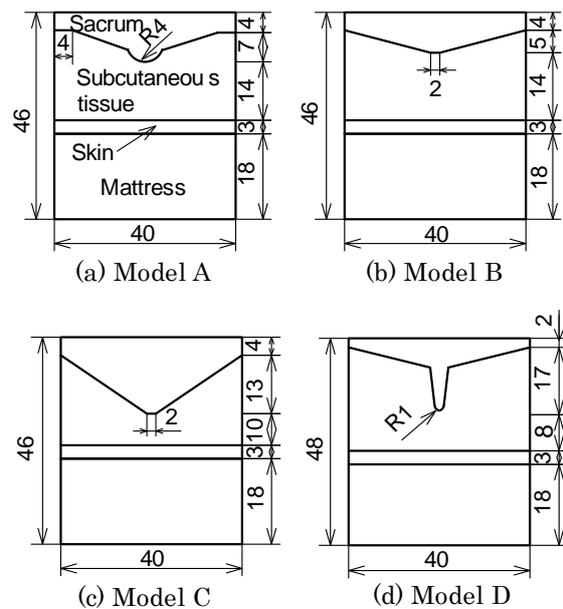


図 2 解析モデル

なり、ベッド角度を 60°まで背下げしたところで位置合わせを行い、水平に戻す。ここで、背下げ時にできたズレを解除する目的で一旦上半身を起こし、再び同じ位置で仰臥位になる。ここから膝伸展位における背上げ（0°から 60°まで 10°刻み）時、背下げ（60°から 0°まで 10°刻み）時の圧迫力およびせん断応力を 3 回ずつ測定する。なお、せん断応力は身体下部方向をプラス、上部方向をマイナスとした。測定時の服装は、下着と同じ種類のシャツとした。シーツは皺となるので用いなかった。

(2) 解析方法

身体内部の応力状態について検討するため、接触・粘弾性を考慮に入れた有限要素解析を行った。

①設定モデル 仙骨部近傍の一部を骨、皮下組織、皮膚、マットレスの 4 層に分類した局所モデルを作成し、有限要素法による非弾性解析を実施した（本研究では便宜上、皮膚と骨の間の層を皮下組織と呼ぶ）。作成したモデルを図 2 に示す。仙骨部の形状については突起形状、突起寸法がその発生率に関係するという報告があることから、A～D の 4 通りを作成した。今回はおおよその応力分布をみるだけのものであること、そして簡略化のため、骨およびマットレスについては線形微小変形を受ける均質等方弾性体、一方、皮下組織および皮膚については一般化 Maxwell モデルの粘弾性体とした。ここで、一般化 Maxwell モデルは次式で与えられる。

$$G(t) = G^\infty + \sum_{n=1}^N G^n \exp(-t/\lambda^n)$$

ただし、 G^∞ は長期せん断弾性係数であり、 λ は時定数である。本研究では簡略化のため、次式のように級数1次近似($n=1$)とした。

$$G(t) = G^\infty + G^1 \exp(-t/\lambda)$$

②解析条件 解析は平面ひずみ条件のもとで行い、要素分割には3角形3節点要素を用いた。一例として Model A の要素分割 (総節点数 2176, 総要素数 4246) を図3に示す。有限要素法の計算には市販の汎用有限要素解析ソフトウェア MARC を利用した。

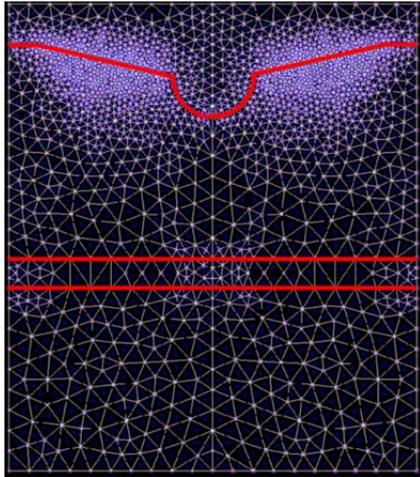


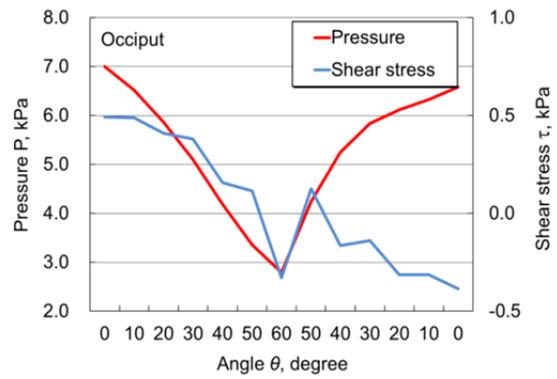
図3 要素分割の一例 (モデル A)

解析に用いた骨、皮下組織、皮膚、マットレスのヤング率 $E^{(1)}$ 、ポアソン比 $\nu^{(1)}$ 、 $G^\infty^{(2)}$ および $\lambda^{(3)}$ を表1に示す。

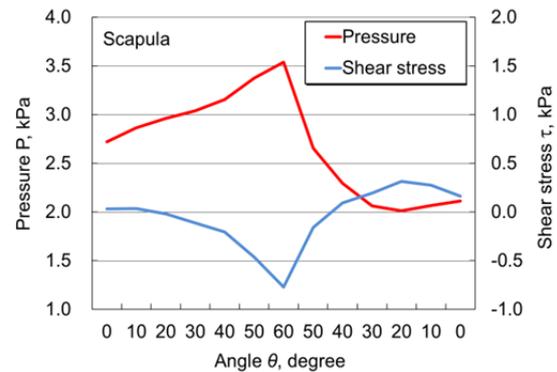
表1 解析に用いた材料定数

	E (kPa)	ν	G^∞ (MPa)	λ (s)
Bone	1.7×10^7	0.30	-	-
Subcutaneous tissue	500	0.49	20	0.7
Skin	700	0.40	20	0.7
Mattress	150	0.49	-	-

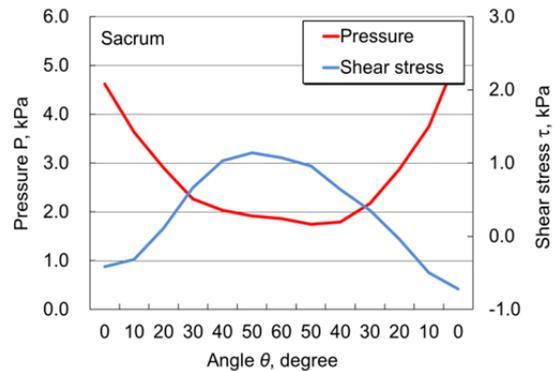
人が仰臥位で臥床した場合、体重の40%が仙骨部を含む臀部にかかると言われていることから、解析では体重 60kg のヒトを想定し、仙骨部モデルにはモデルの上部自由端からマイナス y 方向に 11.2N/mm の等分布荷重を与えた。また、マットレス最下部面を y 軸



(a) 後頭部



(b) 肩甲骨部



(c) 仙骨部

図4 ベッド角度と圧迫力およびせん断応力との関係

拘束とし、さらに同面中央の節点を x 軸拘束した。

4. 研究成果

(1) 実験結果

図4(a)~(c)にそれぞれ、後頭部、肩甲骨部および仙骨部におけるベッドの背上げ・背下げ角 (以後、これを傾斜角 θ と呼ぶ) と圧迫力およびせん断応力との関係を示す。図中、

(1) 林紘三郎, バイオメカニクス, コロナ社, 2000

(2) 中曽根祐司・原文雄, 機講論, No.03-26 (2003), pp.327-328

(3) Gefen, A., J. Biomech. Eng., Vol.128 (2006), pp.782-788

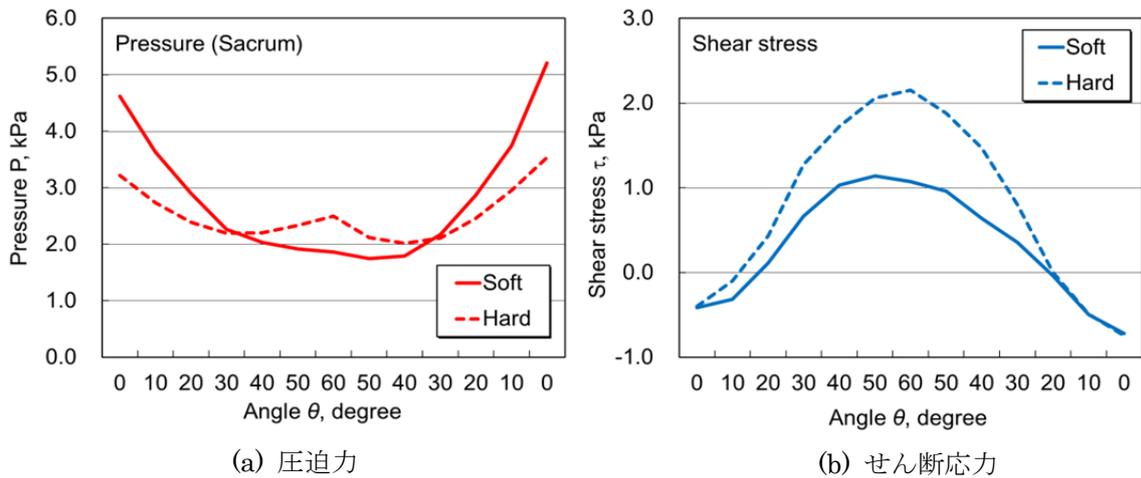


図5 仙骨部における測定結果のマットレスの硬さ依存性

赤実線は圧迫力を、青実線はせん断応力を表している。なお、これらは全て被験者 14 名（それぞれの被験者に対して各 3 回ずつ測定）より得られた測定結果の平均値を示している。さらに表 2 に被験者 14 名の身長、体重および体脂肪率 (Body fat percentage) と各被験者の最大圧迫力、最大せん断応力との関係を示す。

表 2 最大応力と身体的特徴との相関

Mattress	Maximum shear stress		Maximum Pressure	
	Soft	Hard	Soft	Hard
Height(cm)	0.052	0.014	0.011	0.099
Weight(kg)	0.087	0.077	0.11	0.001
BFP (%)	0.013	0.000	0.23	0.12

これらの図によると、いずれにおいても $\theta = 0^\circ$ においてせん断応力が生じている。これは実験開始前に変位センサーをゼロリセットしたのちにギャッチアップするまでに身体を動かしたことが原因と思われる。また、頭部 (図(a)) では傾斜角と増加とともに圧迫力・せん断応力のいずれも減少しているのに対して、肩甲骨部 (図(b)) では圧迫力は増加する一方でせん断応力が減少する傾向にあることがわかる。一般的に傾斜角の増加とともに圧迫力は減少し、せん断応力が増加することが予想される。しかし、仙骨部における結果を除き、このような傾向を呈していない。この原因の一つに被験者がベッドの背上げ・背下げに伴い、無意識のうちに姿勢を変えている可能性がある。背上げ時と背下げ時で計測値が異なるのも同様の理由である。加

えて、後頭部では枕がズレ落ちる事を防ぐために従来とは異なる挙動を行っていた可能性があり、これが特に背下げ時において挙動が乱れている原因と思われる。仙骨部付近は身体の重心に近いので、姿勢を変化させることが難しく、この影響は他の部位に比較して小さくなる。仙骨部以外の測定領域は皮膚表面の形状が丸みを帯びており、傾斜角の変化に伴いマットレスとの接地面が変動することも一因である。

そこで、これ以降、研究対象を仙骨部として研究を実施した。図 5 に仙骨部に対してマットレスの硬さが測定結果に及ぼす影響について検討した結果を示す。図中、(a)は圧迫力、(b)はせん断応力に関する結果である。これらによると、両マットレスの間で定性的な傾向は一致するが、圧迫力は硬いマットレスを用いた方が、せん断応力は柔らかいマットレスを用いた方が小さくなることがわかる。今回使用した硬いマットレスは褥瘡予防に効果があるとされており、これはせん断応力よりも圧迫力の軽減を着眼して設計されていることがわかる。また、いずれのマットレスにおいても圧迫力は 30° 付近から応力の低下が緩やかになるのに比較して、せん断応力はほぼ一定で増加しており、これは褥瘡予防には 30° 付近の姿勢が効果的であることを示唆している。

一般に褥瘡予防として確立されている概念に、外部圧力を 4.27kPa (32mmHg) 以下に保つという基準がある。この値は外圧として皮膚に加えられると軟部組織から虚血を引き起こす恐れがある値として確立され、今日において褥瘡予防マットレスや車椅子設計の判断基準となっている。今回、最大圧迫力が 4.27kPa を超えたものも多く見られたが、各被験者が実験 1 回に要する時間は 10 分程度であり、体位変換の目安とされる 2 時間に比較すると非常に短い。表 2 によると、

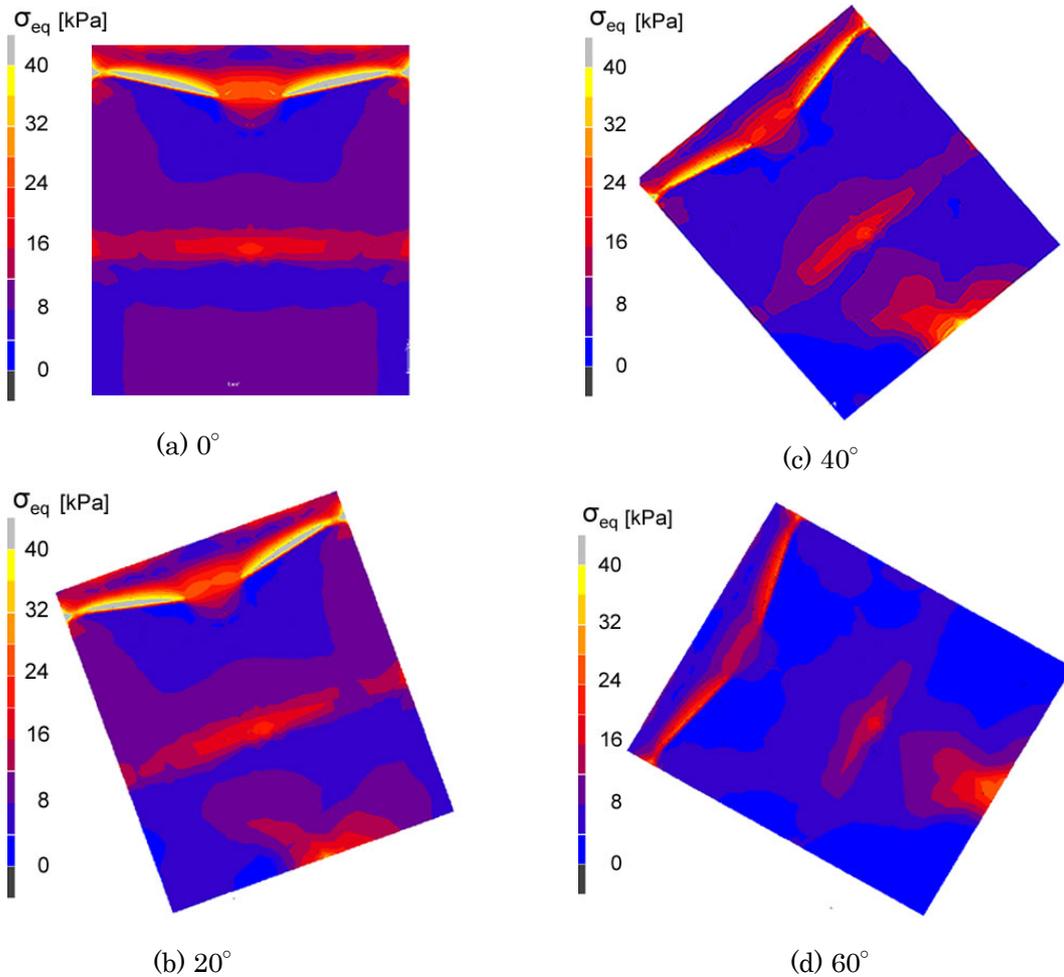


図6 ベッド角度の増加に伴う仙骨部周辺の相当応力の変化

今回の被験者の範囲内ではこれらの最大値と身長、体重および体脂肪率との間には相関が見られなかった。

さらに詳細な検討を行うため、仙骨部に対して有限要素法による解析を実施した。

(2)解析結果

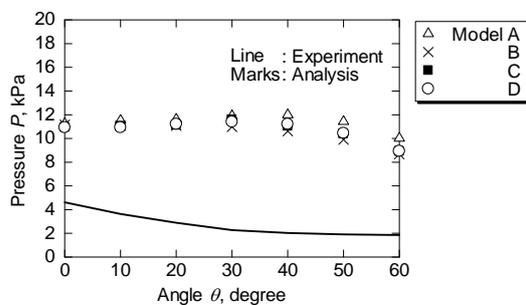


図7 実験より得られたP-θ関係と解析より得られたそれとの比較

モデルA～Dに対して有限要素解析を実施し、背上げに伴う身体内部の応力状態の変化を調べた。一例として、図6にモデルBにおける負荷直後の仙骨部周辺の相当応力分布を示す。図中(a)～(d)はそれぞれ、傾斜角0°、20°、40°および60°における結果である。これらによると、仙骨部直下および皮膚表面

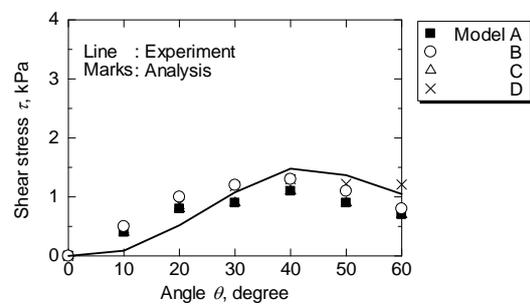


図8 実験より得られたτ-θ関係と解析より得られたそれとの比較

(マットレスと皮膚の間)で大きな応力が生じていることがわかる。また、このような応力集中はベッドの傾斜角が大きくなるに伴い、減少する傾向にあることが確認された。

次に、解析より皮膚表面の位置での圧迫力およびせん断応力を求め、測定結果と比較した。図7および8にそれぞれ、実験より得られた $P-\theta$ 、 $\tau-\theta$ 関係と解析より得られた負荷直後におけるそれとを比較した結果を示す。図中、実線は被験者14名より得られた測定結果の平均値を、一方、それぞれのマークはモデルA~Dより得られた解析結果を示している。ただし、図8中の実験結果は $\theta=0^\circ$ においてせん断応力が0となるように応力値を平行移動している。

得られた結果より、解析から得られる圧迫力は傾斜角 40° までほぼ一定値を示した後に低下しており、実験値の挙動と若干異なっていることがわかる。一方、せん断応力に関しては解析結果は測定結果と定性的・定量的に同様な挙動を呈している。これらの結果より定量的な議論を行うためには詳細なモデル化が必要であるが、本解析手法により大まかな応力状態を確認できることがわかった。また、いずれにおいてもモデルの差による解析結果の違いは見られず、仙骨部の形状の違いが皮膚表面の応力分布に及ぼす影響は小さいことがわかる。

続いて、仙骨-皮下組織境界層における応力状態の時間的変化を調べた。図9に負荷直後 ($t=0s$) および定常状態における、背上げに伴う仙骨突起直下から $4mm$ 下方の位置での相当応力の変化を示す。図中、実線は負荷直後 ($t=0s$) における結果を、一方、波線は定常状態における結果を示している。

図より仙骨部直下の相当応力は傾斜角お

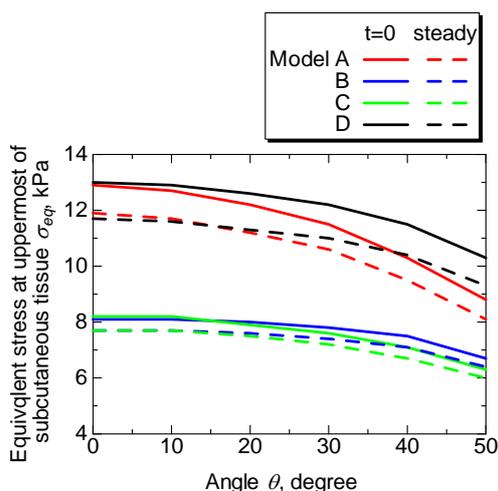


図9 仙骨-皮下組織境界層における応力状態の時間的変化

よび時間の経過に伴い、減少していくことがわかる。また、皮膚表面による結果とは異なり、仙骨-皮下組織境界層における相当応力は仙骨部の形状により依存することがわかる。これは褥瘡の予防・軽減には皮膚表面の応力状態のみならず、身体内部の応力状態を詳細に検討する必要があることを示唆している。

(3)まとめ

ギャッチアップに伴う後頭部、肩甲骨部および仙骨部における圧迫力およびせん断応力を測定するとともに、これについて非弾性有限要素法による応力解析を実施した。得られた知見を要約すると以下のようになる。

①傾斜角とともに圧迫力が減少し、せん断応力が増加する傾向を呈したのは仙骨部のみであった。

②最大圧迫力および最大せん断応力と身長、体重および体脂肪率との間には相関が見られなかった。

③褥瘡予防には 30° 付近の姿勢を保持することが効果的である。

④仙骨部の形状の違いが皮膚表面の応力分布に及ぼす影響は小さい。

⑤仙骨-皮下組織境界層における相当応力は仙骨部の形状により依存しており、褥瘡の予防・軽減には皮膚表面の応力状態のみならず、身体内部の応力状態を把握することが重要である。

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1件)

大下賢一・長岐滋・磯部英司, ギャッチアップ角度が仰臥位姿勢における背圧軽減に及ぼす影響, 日本機械学会 2012 年度年次大会 2012.9.12 金沢大学

[その他]

ホームページ等

<http://www.tuat.ac.jp/~nagaki/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

大下 賢一 (OSHITA KENICHI)

東京農工大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号: 60334471