

## 外力が伝達する皮膚の可動性と軟組織損傷リスク

## Mobility and soft tissue damage risk of the skin which external force transmits

○根本哲也 久保田怜 大河原裕晶(長寿研) 伊藤安海(名古屋大院)

島本聡(埼玉工大) 松浦弘幸 古田勝経 磯貝善蔵(長寿研)

Tetsuya NEMOTO, Ryo KUBOTA, Hiroaki OHKAWARA, National Center for Geriatrics and Gerontology, NCGG  
Yasumi ITO, Nagoya University Akira SHIMAMOTO, Saitama Institute of Technology  
Hiroyuki Matsuura, Katsunori FURUTA, Zenzo ISOGAI, NCGG

**Abstract:** When external force is burdened by skin, the skin of the load penumbra transforms it and balances in external force. We can classify the transformation of the skin roughly into two patterns. In other words, it is the case which I transform so that skin is crushed in the input direction of the external force. In addition, it is the case that is out of skin so that skin puts off an input direction of the external force. The soft tissues such as skin or the fatty layer are given damage by transformation of the skin. Transformation becomes the starting point and suffers from an abrasion and an ulcer. The damage of the skin is frequent in the elderly person that skin became loose. The medical equipment maker develops a bed or a robot to be able to spend the comfortable old age, but it is necessary to consider damage to skin in course of the development. Therefore, in this study, I examined a state of the skin and relations of the external force.

**Key Words:** Skin, Soft tissue, Ulcer, abrasion, bed sore

## 1. 諸言

日本の高齢化率は2011年10月の時点で23.3%であり、今後さらに上昇し2060年には2.5人にひとりが65歳以上になると推計されている<sup>(1)</sup>。高齢化に伴い介護分野の労働者が不足することが予想されており、生活支援ロボット開発への期待は大きい。

生活支援ロボットは、多くの作業で被介護者と接触することが想定されるが、皮膚などへの軟組織の損傷問題についてはあまり検討されていない。

生活支援ロボットが関与する皮膚への影響は、搭乗型ロボットからの転落やロボット可動部への巻き込み、被介護者の作業介助時などが挙げられる。このような皮膚への影響は、転落などの衝撃的な荷重印加と、低速での接触などの持続的な荷重印加に大別することができる。衝撃的な荷重印加の場合には、交通事故に代表されるような人体損傷が挙げられ、近年特に、脳や内臓へ伝搬する荷重による影響についての研究報告が見られる。一方、低速接触の場合には、周辺の介護作業者のみならず被介護者も気づかずに持続的な負荷によって褥瘡などの潰瘍に発展することが予想される。このような低速で持続的な負荷状態は、生活支援ロボットを想定した場合に、顕著な人体損傷リスク項目となることが推測される。

そこで、本研究では皮膚の可動性を評価する方法、および、生活支援ロボットが抱きかかえなどの作業をした場合に考えられる、軟組織損傷評価法についての検討を行った。

## 2. 実験方法

## 2-1 皮膚の機械的性質

皮膚は表皮や真皮、脂肪層で構成されており、一様な材料ではないが、その機械材料的なふるまいは粘弾性的であることが知られている<sup>(2)</sup>。そこで皮膚の粘弾性を評価するために動的粘弾性測定法による計測を行った。測定機には、レオメータ (AR550, TA インストルメント) を用いた。レオメータ下部の測定ステージは固定されており、上部プローブにずり変形を与え、応力分散、周波数分散により、

粘弾性測定を行う。本研究では、皮膚の可動性が測定しやすいため応力分散により測定を行った。また、皮膚の粘弾性測定では、皮膚下の骨部の位置や形状の影響を受けやすい。本実験では、外皮から骨部までの距離があり、周辺に間接などの作動部がなく、安定した動揺が得られる前腕部中心付近を測定部とした。プローブの円盤のずれに皮膚が追従するように、プローブ円盤と皮膚が平行になるように固定治具を測定ステージ上に取り付けた。押し付け力は3.0N一定になるようにプローブを制御した。

## 2-2 皮膚の変位計測

抱きかかえでは、背部の一部に体重が負荷される。このとき皮膚の可動性の少ない、骨突出部近傍を基点にして体を保持する場合が多い。このことから骨突出部周辺において皮膚表面への負荷が大きくなるため、皮膚の変位による発赤や褥瘡が懸念される。

そこで、皮膚直上に、接合材を介してひずみゲージを取り付け、減歪されたひずみ値を計測した。接合材には基材は用いず組織的に均一な弾性体を用いた。

## 3. 結果と考察

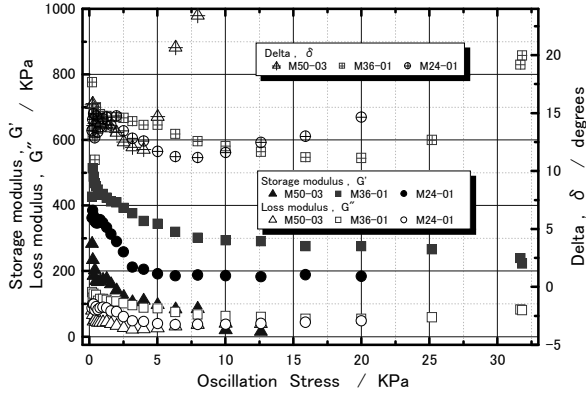
## 3-1 皮膚の粘弾性評価

24歳、36歳および50歳男性の前腕掌側部の粘弾性測定結果をFig.1に示す。Fig.1に示したM24-01, M36-01, M50-03はそれぞれ24歳、36歳、50歳男性のものである。測定中において、貯蔵弾性率  $G'$  および損失弾性率  $G''$  は、測定部位や押し付け力などの測定条件によって大きく変化するものの、位相角  $\delta$  は、大きな変化は見られなかった。ここで、 $\delta$  に着目するとM50-03では振幅応力10KPa近傍で、皮膚の動揺が大きくなり、変位に対して追従できなくなっているのがわかる。しかし、M36-01およびM24-01では20KPa以上でも動揺はほとんど見られず、プローブと皮膚の変位がほぼ同じであることがわかった。また、位相角は5KPa以下では、すべての測定結果が13度程度であったものの、M50-03では応力の増加とともに位相が増大し、M36-01およびM24-01では20KPaにいたるまでの範囲では、変化は認められなかった。

### 3-2 皮膚の可動性評価

#### 3-2-1 皮膚の粘弾性特性値の部位特性

34歳男性の前腕背側部の粘弾性測定結果を Fig.2 に示す。Fig.2 に示した M34-P01, P02, P03 はそれぞれ、手首から肘の間を3等分したセグメントに分け測定したものである。手首側が P01, 肘側が P03 であり、これらの中間が P02 となる。



M50-03 is 50 years old, male, M36-01 is 36 years old, male and M24-01 is 24 years old, male. Black-lacquered symbol are storage modulus  $G'$ . White symbol are loss modulus  $G''$ . Cross overlapped symbol are phase difference (Delta)  $\delta$ .

Fig.1 Viscoelasticity determination result of a male forearm part

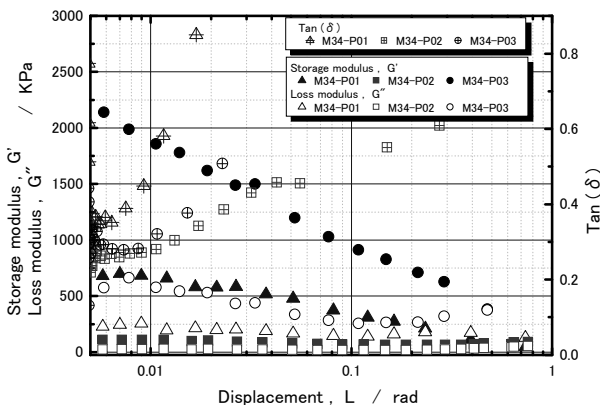


Fig.2 Viscoelasticity determination result of part dependability

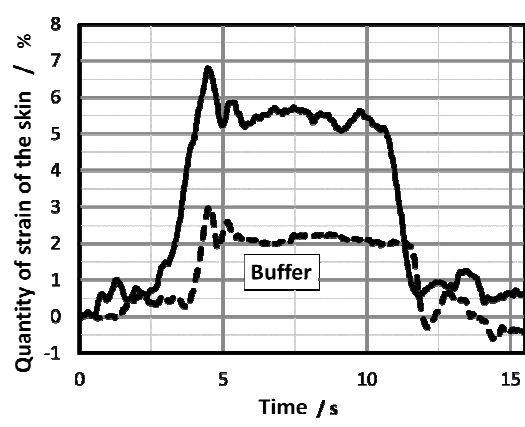


Fig.3 Movement of the skin at the time of the bear hug

Fig.2 の  $\tan(\delta)$  をみると手首側が変位の増加に対して、最も  $\tan(\delta)$  が増加している。次に肘部が大きく、中間部は最も低い値であった。中間部の弾性率は  $G'$ 、 $G''$  の変位に対する差はほとんどなく、ほぼ 100KPa ( $G'$ )、250KPa ( $G''$ ) であった。しかし、肘部は変位に対する動揺が大きく、 $G'$  は変位の増加とともに急激に減少した。このことは皮膚のベースとなる骨部からの距離や組成により、自由度が変化するためであると思われる。

応力分散による測定では、位相差  $\delta$  は皮膚の外力への対応、すなわち、皮膚組織の動揺の度合いを示すことができるものであると思われる。このことは、Fig.2 から明らかのように、M50-03 の結果が 5KPa 程度から急激に上昇しており、粘性項が支配的になっていることがわかる。一方、M36-01 と M24-01 は 20KPa まで変化が見られないことから、弾性項が支配的であることがわかり、外力と皮膚の動揺の関係を明確に表していることが考えられる。

#### 3-2-1 皮膚の粘弾性特性値の部位特性

抱きかかえた場合の皮膚ひずみ挙動について調べた。印加部位は肩甲骨周辺である。Fig.3 に抱きかかえた場合の皮膚ひずみ量変化を実線で示す。なお、ひずみ方向は頭足方向である。背部に対して徐々に負荷を与え、皮膚が可動しなくなるまで印加した後、その負荷を5秒保持した後に除荷した。皮膚のひずみ量は負荷とともに増加するが、皮膚が可動しなくなる所で急激に上昇することが明らかになった。また、負荷を保持した場合には、若干の応力緩和がみられるものの、高いひずみを維持していた。さらに除荷後は、0.64%の残留ひずみが認められた。実験後の皮膚表面を観察したところ、肩甲骨周辺部において発赤が確認できた。次に印加側（抱きかかえ時のアームの素材）の影響を調べた。荷重を印加する位置に応力分散性の高いウレタンフォームで皮膚への負荷を与えた場合、負荷に対する皮膚ひずみ量は大きく低減された。また、除荷後の残留ひずみも 1/3 程度に軽減されることがわかった。このことから負荷位置（抱きかかえ位置）やアームの素材が軟組織に与える影響が明らかとなった。

### 4. 結果と考察

本研究では外力の影響による軟組織への損傷リスクを明らかにするために、皮膚の機械的性質および皮膚ひずみ量の測定方法について検討を行った結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 皮膚の可動性が大きいほど、外力を貯蔵しやすいことがわかった。
- (2) 皮膚に負荷を与えた場合、皮膚の可動性が低くなるとともに皮膚ひずみ量が上昇した。
- (3) 応力分散性の高い素材を用いて印加することにより皮膚ひずみ量が低減されることがわかった。

### 5. 謝辞

本研究は、新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO) 生活支援ロボット実用化プロジェクトの一環として実施されたことを記し、ここに感謝の意を表す。

### 参考文献

- (1) 総務省, 人口推計, (平成23年10月1日現在)
- (2) 根本哲也, 小井手一晴, 野田信雄, 松浦弘幸: “褥瘡(床ずれ)に関する測定技術”, 設計工学, vol. 43, no. 7, pp.363-367, 2008