褥瘡防止寝具のための生体内応力分布シミュレーション Simulation of Stress Distribution for Bedsore Prevention

○土井 佑介, 山本 洋志郎, 秋山 庸子, 武田 真一, 泉 佳伸, 木村 裕和*, 西嶋 茂宏

大阪大学大学院 工学研究科, 大阪府立産業技術総合研究所*

Yusuke Doi, Yoshiro Yamamoto, Yoko Akiyama, Shin-ichi Takeda, Yoshinobu Izumi, Hirokazu Kimura,
and Shigehiro Nishijima

Graduate School of Engineering, Osaka University, Technology Research Institute of Osaka Prefecture

1. 緒言

褥瘡は血管の圧迫によって血流が停滞し、細胞が壊死するために起こる疾病であり、圧縮応力のほかに、生体（皮膚・皮下組織・筋など）に対して床・骨の相互作用により引張・せん断などの内部応力が発生し、それらが褥瘡発生に大きく関わっていることが指摘されている。しかし、褥瘡が組織のどの部分を基点として発生し、どのように進行していくかについては不明な点が多い。

上記の課題に対して、本研究では①骨と寝具との間に挟まれた軟組織に発生する応力分布の有限要素法 (FEM) を用いた解析, ②軟組織中に血管が存在するときの血管変形と圧力損失のシリコンゴム生体モデルを用いた測定および有限要素法による解析, ③拡散方程式を用いた血流による組織への酸素供給のシミュレーション, の3つの実験を組み合わせ、褥瘡発生・進行の空間的広がりやの検討を行った。

2. 実験方法

血管変形の実験は、シリコンゴムおよびシリコンチューブを用いて、組織血管モデルを作成し、オートグラフにより圧縮応力を加えて血管変形を測定した。また有限要素法による応力解析は、ANSYS9.0 を用いて行った。さらに、酸素拡散シミュレーションは、拡散方程式を毛細血管付近の組織を想定した境界条件と初期条件のもとで解くことによって行った。

3. 結果と考察

まず仙骨部を想定し、FEM によって骨と寝具との間の軟組織の内部応力分布を調べた結果を Fig.1 に示す。

Fig.1 Distribution of stress simulated by FEM on the rigid floor (a) soft floor (50kPa), (b) rigid floor

寝具がない場合には骨周囲と皮膚表面に応力が集中し、寝具がある場合には応力集中が緩和されていることが分か

る。褥瘡の発生は、このように応力集中が起こった付近の組織の血流が途絶えることによって発生することが予想される。そこで、シリコンゴムモデルを用いた実験によって、骨と寝具との間の軟組織に血管が存在した場合の血管変形について調べたところ、寝具を敷いている場合には、荷重が大きくなっても血管断面積の減少量が小さく、形状が一定に保たれた。またこのときの応力分布を有限要素法による応力解析にて調べたところ、血管付近に集中する応力が寝具により均等に分散されていることが分かった。

さらに、Fig.2(a)に示す血管・組織モデルを仮定し、毛細血管および細動脈に圧縮応力が加わったときの組織への酸素拡散について、まず1次元拡散方程式を解くことにより模擬した。毛細血管からの距離と酸素分圧の関係から、定常拡散では毛細血管からの酸素供給量が下がると、毛細血管から最も離れた部分から壊死が始まることが予測できた。この方法を発展させ、非定常状態での酸素拡散シミュレーションを行えば、壊死範囲の空間分布とその経時的な変化を推定することが可能であると考えられる。

Fig.2 Capillary model (a), arteriole model (b) and oxygen diffusion model (c).

実際には、仙骨部には Fig.2(a)のような毛細血管に加え Fig.2(b)のような細動脈も存在するため、今後はこれらの太さの異なる血管が共存する場合の血管変形および組織への酸素供給を模擬することによって、壊死組織を推定する予定である。以上のように、生体内部で発生する応力、それによる血管の変形、血流量の減少による酸素拡散領域の変化を互いに関連付けてモデル化することが可能であることが示された。本方法を発展させ、褥瘡予防に資する有効な解析手法として確立することを試みる。