

大腿骨金属補強の有効性と安全性に関する生体力学的検討（29-10）

主任研究者 原田 敦 国立長寿医療研究センター 病院長

研究要旨

本研究では定量的CTから個々の患者の骨形状と骨密度を持った3次元骨モデルを作成し、有限要素法によるコンピュータシミュレーションを行うことで、大腿骨近位部骨折の健側大腿骨補強手術による補強効果を予測し、最適なスクリュー補強条件を提示するとともに有害事象に至るまでの破壊機序について明らかにした。本年度は骨幹部補強インプラントでの実験とシミュレーションを行い再現性のある評価手法を確立したことから、軟部組織介在下での転倒シミュレーションを行い、側方転倒時の大腿転子部に伝達する外力の影響を軟部組織の機械的性質および床材の状態を変化させ、外力の緩和効果などを明らかにした（根本研究）。

大腿骨重錘落下試験装置を用いて、大腿部模擬骨の大転子部に対して重錘を落下させ、スクリュー挿入なしおよび3種類のスクリュー挿入による破壊の差を調べた。大腿骨模擬骨全体を用いた実験では、骨頭頸部に沿ってスクリューを挿入した場合に最大荷重の向上が見られた。ただし、骨幹部が破壊するケースが多く、骨頭頸部の強度評価は困難であった。そこで、模擬骨を骨幹部で切断し大腿骨近位部のみを用いた試験体による同様の実験を行った。破壊はスクリューの有無にかかわらず、骨頭頸部にて発生した。骨頭頸部に沿ってスクリューを挿入した場合、最大荷重が19%向上しており、スクリューが骨頭頸部の強度を向上させることが示された。大腿骨模擬骨全体の有限要素モデルによる重錘落下シミュレーションを行ったところ、骨幹部の応力が最も高かったが、スクリュー挿入による骨頭頸部の応力の減少が確認された（水野研究）。

大腿骨頸部骨折にて術前に標準的に撮影される大腿骨近位部CTの非骨折側の横断像および3次元画像データから、通常の方法以外の可能な経皮的刺入経路を検討した。後方刺入を想定する場合、スクリュー刺入を骨頭中心や小転子より内側に設定すると、座骨神経を損傷する可能性がある。前方刺入を想定する場合、スクリュー刺入を骨頭上や頸部上に設定すると、大腿神経及び大腿動脈・静脈を損傷する可能性がある。内方刺入を想定する場合、スクリュー刺入を骨盤腔で設定すると、外腸骨動脈・静脈を損傷する可能性がある。側方刺入を想定する場合、大転子中央より下は、通常の骨折治療にて頻用するアプローチで、これまでの生体力学的解析や実証試験にて検討されている。一方、大転子中央より上は、大腿骨と頸部、骨頭の3点を通るような直線のスクリュー刺入経路は設定困難であった（原田研究）。

主任研究者

原田 敦 国立長寿医療研究センター 病院長

分担研究者

根本 哲也 国立長寿医療研究センター

健康長寿支援ロボットセンター・診療関連機器開発研究室長

水野 幸治 名古屋大学工学部工学研究科 教授

A. 研究目的

大腿骨近位部骨折は、75歳以降で発生率が急上昇する重篤な転倒骨折で、寝たきりに直結するとされている。その発生数は、2010年に15万人が2040年には25万人に迫ると著しい増加が続くと予測され、最近では、両側骨折例がいつその重症化を招くため、注目されている。そこで、健側の骨折リスクを減少させるために、本研究費による骨補強スクリューの臨床試験が実施されたが、スクリューが健側の骨折リスクとなる有害事象が発生し、中止された。それに対して、骨補強効果に関する力学的検討と骨強度低下に関する力学的検討、そして、補強効果に関する実証試験を行った結果、金属補強の効果は確認できるものの補強による結果と考えられる応力の伝搬や集中による破壊が見られ、依然として、大腿骨金属補強を臨床試験の再開に進めるには、解決すべき疑問点が多く残っている。

そこで、本研究では、以下の検討を行った。

1. 骨補強効果に関する力学的検討

スクリューの刺入条件についてコンピュータシミュレーションにより骨質に合わせた骨補強効果の最適条件を明らかにする。

2. 骨強度低下に関する力学的検討

スクリューに伝達された応力が骨質の低下した部位に伝搬することによる骨強度低下や、応力集中や破壊力学的な問題点をコンピュータシミュレーションにより明らかにし、この諸問題を解決する新たなスクリュー形状を検討する。

3. 補強効果に関する実証試験（名古屋大の転倒模擬装置を使用）

転倒を再現した模擬骨の大転子に対する衝撃実験から、補強に有効なスクリューの刺入条件を検討する。また、衝撃の大きさを変えた場合には骨の破壊形態が異なるが、これについてもスクリューによる骨補強の有効性を検証する。

4. 骨強度低下効果に関する実証試験（当研究所の立位模擬装置を使用）

万能試験機に治具を取り付けた立位模擬装置を用いて模擬骨を用いた立位圧縮試験により、骨質状態による骨強度への影響を明らかにし骨補強の有効性を検証する。

5. 骨強度低下リスクが低い金属補強の解剖学的検討

手術で標準的に用いられている方法以外の臨床的に実施可能なスクリュー刺入条件を

大腿骨近位部 CT によって解剖学的に検討し、その中から骨強度低下リスクが最も低い方法を予測して、模擬骨で実証する。

大腿骨頸部骨折は、直ちに日常生活に必要な起立や歩行を行うことができなくなるため、外力により要介護となる直接的な要因となっている。そのため、大腿骨に外力が生じ、骨折にいたるまでの応力状態を明らかにすることは非常に重要で、個々の患者の骨形状や骨密度をモデル化し非侵襲的に評価できる有限要素法を用いた骨強度評価が利用されている。昨年度までは日常生活動作や転倒などの危険動作に即したシミュレーションを構築し、手術により歩行の様態が変化した際の荷重状態から、応力状態が変化することによるスクリューヘッドの応力状態も変化した場合の刺入状態の影響について解析を行ない、新たなインプラント条件におけるシミュレーションを行い有害事象の原因のひとつと考えられる応力集中の影響のないことを確認し、模擬骨における実証試験を行いシミュレーションにより応力状態を求めた。骨補強によって骨の弾性性が低下し変形により緩和した応力集中が顕著に現れることにより、補強の低下に至ることが示唆された。そこで本年度は軟部組織までを含めた初期条件の確立を目的とした（根本研究）。

大腿骨模擬骨を用いて転倒を再現した衝撃実験を行い、スクリューの効果補強に有効なスクリューの刺入条件を検討する。骨の破壊形態を明らかにし、それぞれについてスクリューによる骨補強の有効性を検証した（水野研究）。

これまでの基礎的検討から抽出される大腿骨近位部へのスクリュー刺入点や刺入方向及び刺入距離などが、臨床的に実施可能かどうかに関して解剖学的検討を行う（原田研究）。

B. 研究方法

3次元骨モデル: X線 CT画像を元に作成した3次元骨モデルに、定量的CT法(Quantitated Computed Tomography:QCT)により測定した骨密度を反映させ、有限要素解析を行うことで骨の強度を計算した。この方法を用いることで、3次元的な骨密度分布を持った骨構造の力学的な強度評価を行うことが可能である。3次元骨モデルの作成および解析には骨強度評価ソフトウェア(MECHANICAL FINDER、株式会社計算力学研究センター)を用い、3次元骨モデルの密度は、大腿骨と同時に撮影した骨量ファントム(B-MAS200、株式会社京都科学)のCT値を参照して、ハイドロキシアパタイト相当量の検量線を求め、3次元骨モデルの海綿骨を骨密度に変換し、非均質な等方性材料として近似した。3次元骨モデルには、DXAによる大腿骨の骨密度(Bone Mineral Density)により5例の右大腿骨のデータを抽出し、3次元骨モデルを作成した。表1に一般的な骨粗鬆症の検査で用いられるDXA法によるBMDとCT値から計算した3次元骨モデルのリン酸カルシウムの最大密度を、図1に3次元骨モデルの密度分布を示す。緩衝モデルは単層のゴム弾性体で作成し、ヤング率を01-20 MPaとした（根本研究）。

表 1 大腿骨の BMD と 3 次元骨モデルの密度

	性別	年齢	BMD [g/cm ²]	密度 [g/cm ³]
A	男性	75	1.091	1.514
B	女性	77	0.352	1.472

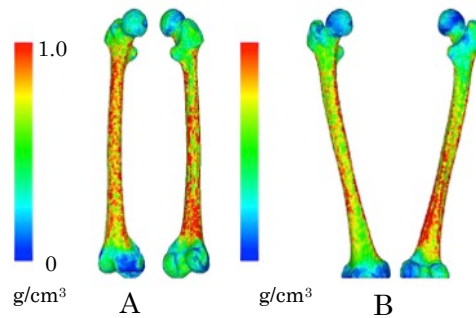
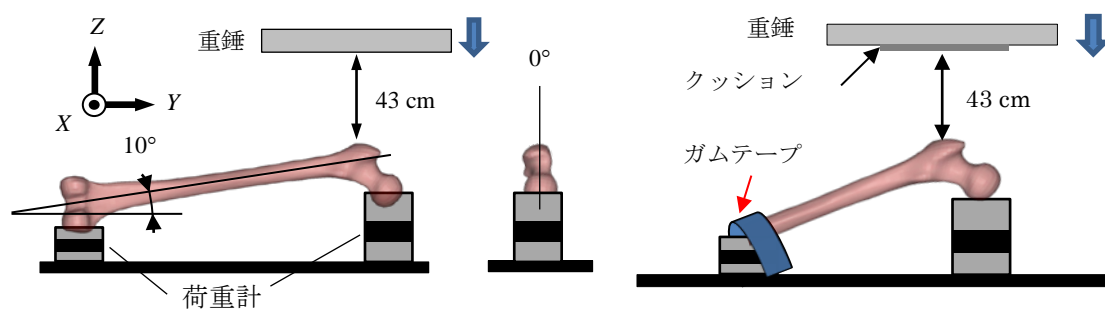


図 1 3 次元骨モデルの密度分布

大腿骨重錘落下試験装置を用いて、大腿骨模擬骨（Sawbone、#3414 small）に対して、大腿骨大転子に対して重錘（11 kg）を 43 cm の高さから落下させる（図 2 (a)）。模擬骨はヒトの骨の力学特性を模擬しており、弾性係数は引張 16 GPa、圧縮 16.7 GPa、引張強度 106 MPa、圧縮強度 157 MPa であり、引張よりも圧縮の方が強度が高い。荷重計によって、大腿骨に発生する反力を求め、重錘の加速度を 2 回積分して重錘の変位を求める。この反力と変位によって、大腿骨の荷重変形特性を得る。

表 2 のように、スクリューなしの模擬骨 N1、N2 と 3 種類のスクリュー挿入の模擬骨について実験を行った。スクリュー挿入方法として、大転子から骨頭頸部の頸部軸にそって挿入したものを A1、A2（模擬骨の小孔に挿入）、頸部軸に対して傾けて挿入したものを B1、B2、頸部軸と骨幹軸に沿って 2 本のスクリューを挿入する方法を C1、C2 とした。本実験では A、C には長さ 70 mm、B、C には長さ 90 mm の 2 種類のスクリューを使用した。スクリューの径は全て M4 である。

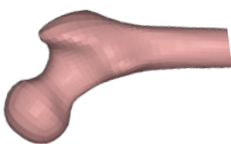
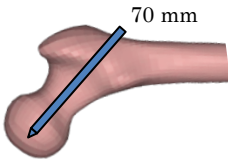
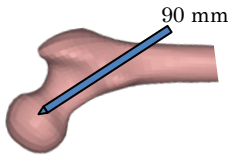
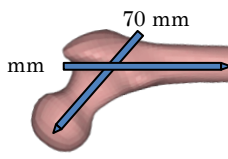
また、骨幹部から破壊することを防止し、骨頭頸部の強度を評価するため、模擬骨の骨幹部で切断した大腿骨近位部試験体によっても実験を行った。スクリューなし（N3、N4、N5）、骨頭軸にそってスクリューを挿入した S1、S2 を用いた。大転子の粉碎破壊を防ぐため、重錘下面にクッション（株式会社 ムーラン アルティ・ワンダーマット）を取り付けた。



(a) 大腿骨試験体 (N, A, B, C) (b) 大腿骨近位部試験体 (N, S)

図2 実験方法

表2 スクリューの挿入方法

N	A1, A2, S1, S2	B1, B2	C1, C2
			

有限要素解析プログラム LS-DYNA を用いて、大腿骨の大転子を打撃したときの衝撃シミュレーションを行った。重錘を 33 cm 落下させたときの速度を初速度として重錘に与えた (図3)。スクリュー有無の大腿骨モデルに対して、応力を比較した。スクリューとして大腿骨モデルにビーム要素を挿入し、その近傍を大腿骨の節点に剛体結合した。模擬骨には弾性体モデルを用い、破断判定は入れていない (水野研究)。

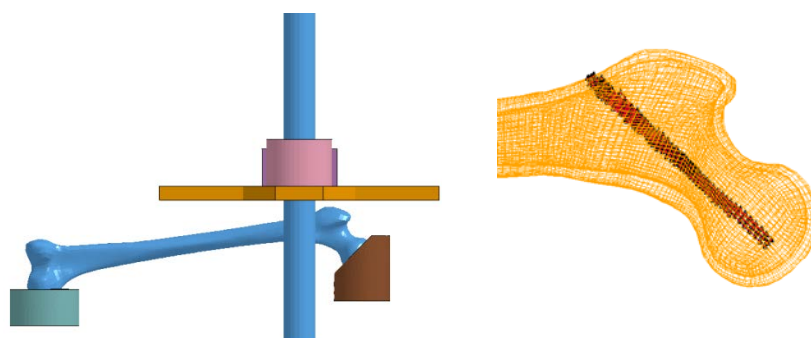


図3 有限要素解析

大腿骨頸部骨折にて術前に標準的に撮影される大腿骨近位部 CT の非骨折側の横断像および 3 次元画像データから、通常の方法以外の可能な経皮的刺入経路を検討した (原田研究)。

(倫理面への配慮)

本研究のすべての担当者は、「ヘルシンキ宣言」および「人を対象とする医学系研究に関する倫理指針」を遵守して実施する。院外へ提出する情報と被験者の個人情報とは完全に分離されているとともに、それぞれの情報については研究責任者の責任の下、厳重な管理を行う。

C. 研究結果

シミュレーションは転倒により大転子から地面に倒れこむ動作を想定し、図4に示すようなものとした。皮膚に相当する緩衝材料は厚さを9、18、27mm、ヤング率を100、0.01Paとして、モデルの体重によって荷重の初速を0.788~1.47m/sとした。

衝撃印荷速度の違いによる緩衝材の影響を調べた結果を図5に示す。図5は緩衝材厚さ9mm、ヤング率0.01Paのものであり、初速以外は同一であり、同じ変形時のものを示している。このことから同一の変形量でも初速が異なることによって応力分布に及ぼす影響が大きいことがわかった。また、緩衝材の厚さによる傾向の変化は確認できなかった。

次に緩衝材の厚さの違いによる影響について解析した結果の一例を図6、7に示す。図6から薄い緩衝材の方が、骨に荷重を伝播しやすいことがわかった。しかし、図7に示すヤング率が0.01Paの場合には厚さの影響は認められなかった(根本研究)。

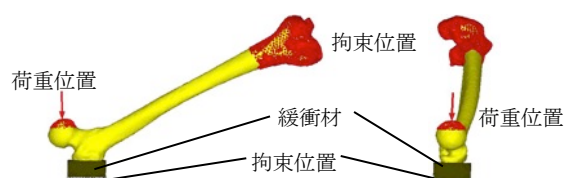


図4 荷重・拘束条件

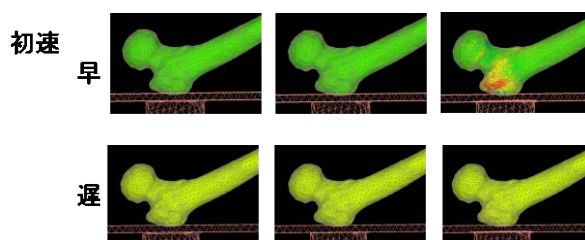


図5 衝撃荷重印荷速度の違いによる緩衝材の影響

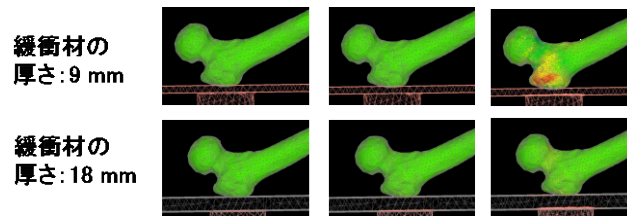


図6 緩衝材の厚さの違いによる影響 (100Pa)

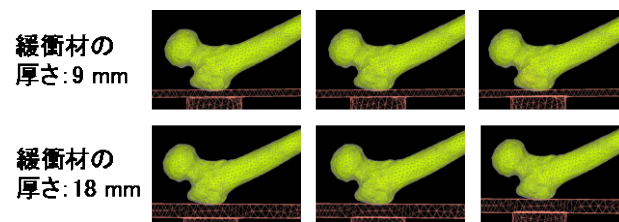


図7 緩衝材の厚さの違いによる影響 (0.01Pa)

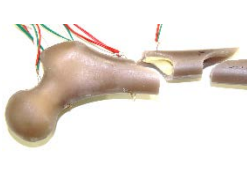
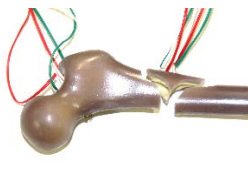
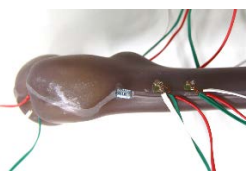
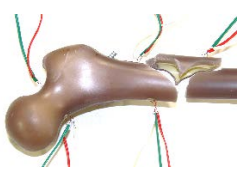
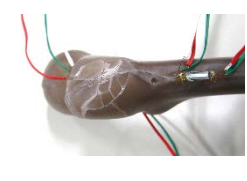


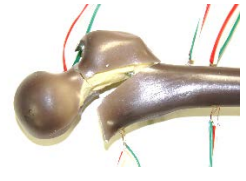
(1) 大腿骨全体試験体によるスクリューの効果

スクリュー有無による大腿骨模擬骨の力学特性を検討した。表3のように、損傷状況はスクリューなしでは骨幹部骨折、スクリュー挿入Aでは骨幹部骨折または大転子損傷、スクリュー挿入Bでは大転子粉碎、スクリュー挿入Cでは骨幹部骨折または転子部骨折が発生した。骨幹部骨折はバタフライ骨折となっている。骨頭頸部骨折が観察されたのはC2のみであった。

最大荷重を図8に示す。スクリューなしの模擬骨では最大荷重が7 kNであった。これに対して、スクリュー挿入Aでは8 kN、スクリュー挿入Bでは6 kNであり、スクリュー挿入Cでは7 kNであった。スクリューなしに比べてスクリュー挿入Aではやや最大荷重が増加していたが、スクリュー挿入B1、B2、C2では最大荷重は同程度か低くなっており、最大荷重では補強による効果は確認できなかった。

荷重時刻歴と荷重変位特性を図9に示す。荷重変位特性はスクリューによらずほぼ同様である。しかし、荷重時刻歴を見ると、最大荷重が低くなっているB1、B2、C2はスクリューなしと比較して、早い段階で荷重が下がっている。これは、スクリュー挿入方法によっては、補強効果よりも強度が下がる可能性が考えられる。また、この実験では骨幹部骨折の頻度が高く、スクリューが想定する骨頭頸部補強に対して、骨頭頸部骨折が発生していないのでスクリューの骨折予防効果の確認は困難である。

表3 大腿部試験体（全体）による損傷状況

N1 骨幹部骨折	N2 骨幹部骨折	A1 大転子損傷	A2 骨幹部骨折
			
B1 大転子粉砕	B2 大転子粉砕	C1 骨幹部骨折	C2 転子下骨折
			

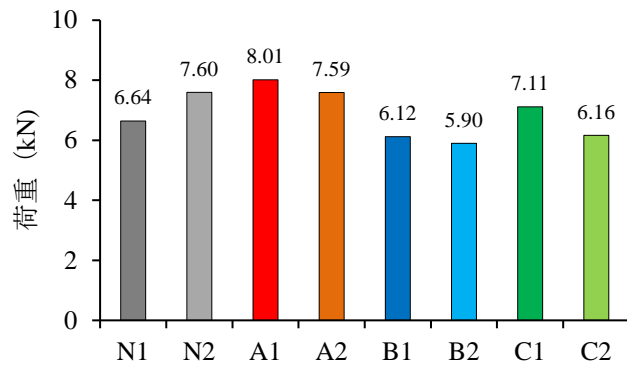


図8 ロードセルの最大荷重（大腿骨試験体）

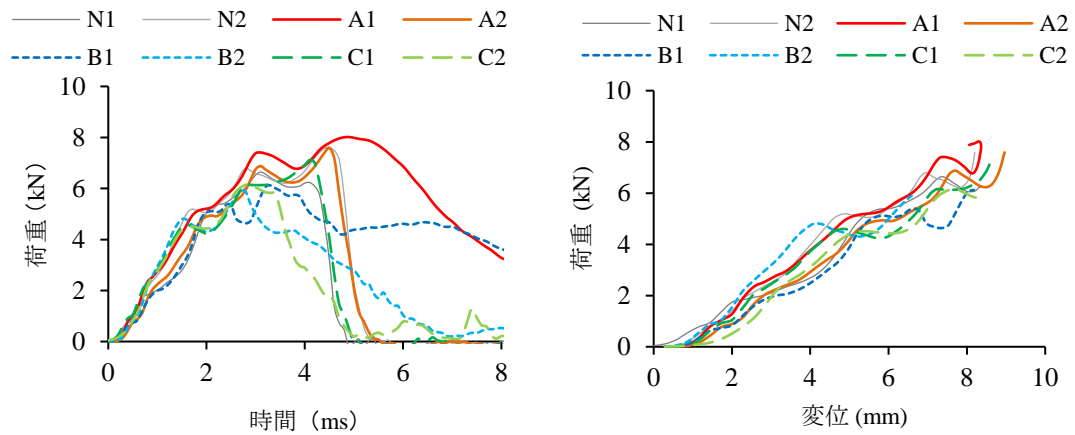



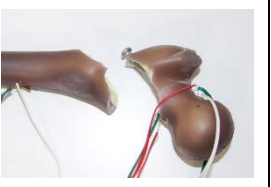


図9 荷重時刻歴および荷重変位特性

(2) 大腿骨近位部試験体によるスクリューの効果

大腿骨模擬骨を骨幹部で切断して大腿骨近位部のみの重錘落下試験を行った (図 2 (b))。損傷状況を表 4 に示す。スクリューなしの N1、N2 は骨頭頸部、スクリュー有りの S1、S2 はスクリューにそって大転子から骨頭頸部が骨折している。いずれの場合も骨頭頸部が破損しており、この大腿部近位部試験体の実験によって骨頭頸部の強度を比較することができる。

表 4 大腿部近位部試験体による損傷状況

N1 頸部骨折	N3 頸部骨折	S1 転子下骨折	S2 転子下骨折
			

スクリュー有無による大腿骨模擬骨の力学特性を検討した。最大荷重を図 10 に示す。スクリューなしの平均最大荷重は約 6.3 kN、スクリュー挿入ありの平均最大荷重は 7.5 kN であり、最大荷重が 19% 増加した。図 11 は荷重時刻歴および荷重変位特性を示したものである。スクリュー有りの場合では、破壊に至るまでの傾きと最大荷重が増加している。スクリューなしの剛性の平均値は 1.39 kN/mm、スクリューありの剛性の平均値は 1.72 kN/mm であり、スクリューによる剛性の向上が確認された。

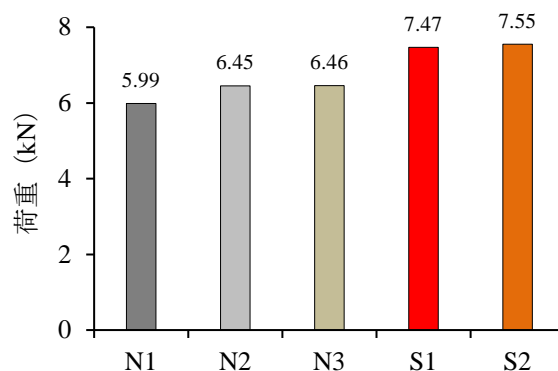


図 10 ロードセルの最大荷重 (大腿骨近位部試験体)

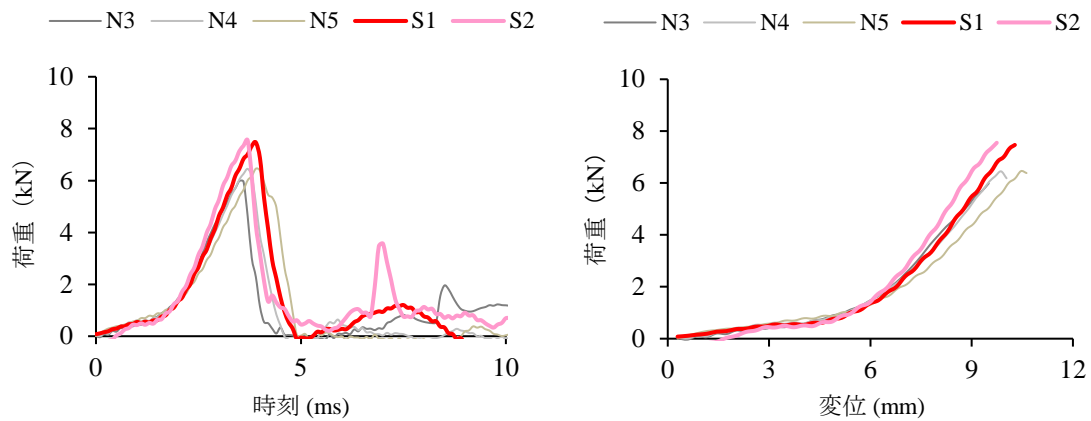


図 11 荷重時刻歴および荷重変位特性（大腿骨近位部試験体）

(3) 有限要素解析

大腿骨全体モデルの大転子に重錘を落下させた場合の、大腿骨と重錘の接触力の時刻歴を図 12 に示す。スクリー有りの方がわずかに荷重が大きくなっているが、スクリー有無による大きな差は見られない。

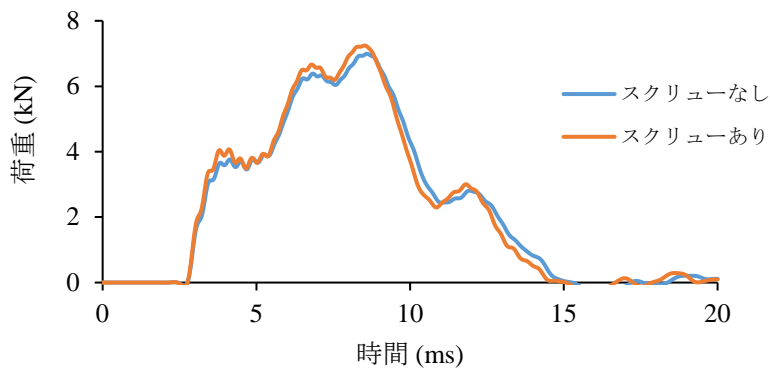


図 12 荷重時刻歴（大腿骨有限要素モデル）

図 13 に大腿骨の最大主応力の分布を示す。骨幹部内側に高い応力がみられる。スクリー有りでは骨頭頸部では応力が小さくなっているが、骨幹部内側では高い応力が広く分布する。図 14 はスクリー有無による骨幹部内側と骨頭頸部内側の節点の応力の比較である。スクリーの有無によって骨幹部内側の応力には変化が見られない。しかし、スクリーによって骨頭頸部の応力が減少し、スクリーによってこの部位の負担が減少し、強度向上がなされていることがわかる（水野研究）。

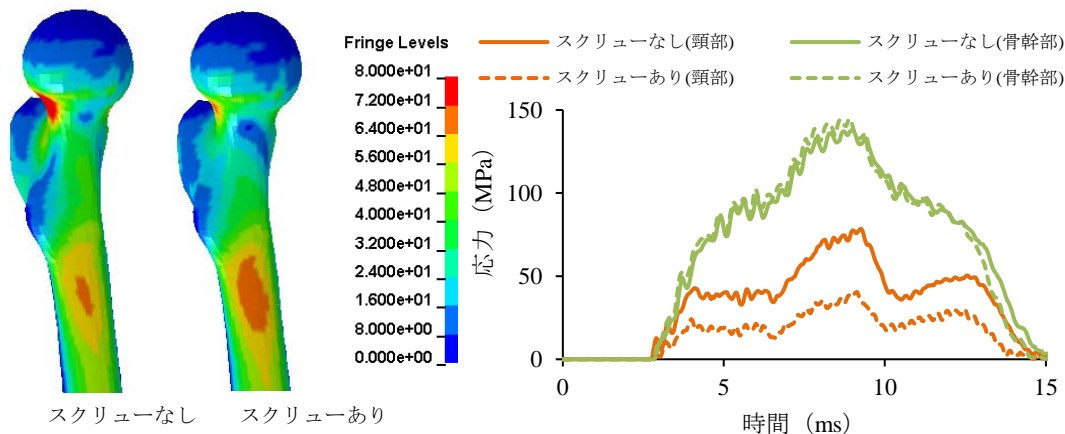


図 13 最大主応力の分布

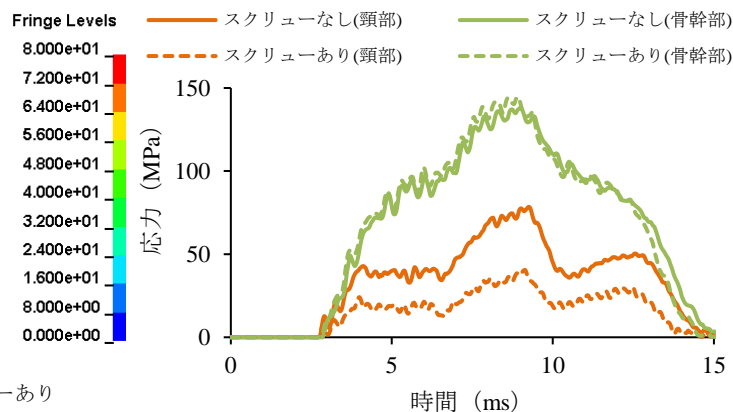


図 14 骨頭頸部と骨幹部の主応力

後方刺入を想定する場合、スクリュー刺入を骨頭中心や小転子より内側に設定すると、座骨神経を損傷する可能性がある。前方刺入を想定する場合、スクリュー刺入を骨頭上や頸部上に設定すると、大腿神経及び大腿動脈・静脈を損傷する可能性がある。内方刺入を想定する場合、スクリュー刺入を骨盤腔で設定すると、外腸骨動脈・静脈を損傷する可能性がある。側方刺入を想定する場合、大転子中央より下は、通常の骨折治療にて頻用するアプローチで、これまでの生体力学的解析や実証試験にて検討されている。一方、大転子中央より上は、大腿骨と頸部、骨頭の 3 点を通るような直線のスクリュー刺入経路は設定困難であった（原田研究）。

D. 考察と結論

軟部組織を含めた骨強度の評価方法の検討として、外力を免ずる材料が骨へ与える緩衝性について調べた結果、骨形状のみならず骨密度が外力の伝播に影響することがわかった。このことは、荷重の増加とともに変形量が多くなるため、形状が変化し外力の伝播性が変化することと考えられる。また、外力の印荷初期速度によって骨に加わる荷重が変化することがわかった。また、この際の軟部組織の厚さが異なっても傾向は変化しないことがわかった。しかし軟部組織の厚さが変化することにより応力の集中する場所が変化することから、骨折などの結果に影響を及ぼすと考えられる（根本研究）。

大腿部模擬骨大転子に対する重錘を落下実験では、骨頭頸部に沿ったスクリューを挿入した場合に最大荷重の向上が見られた。ただし、骨幹部が破壊するケースが多く、スクリューによって骨頭頸部の強度が増加したのか評価は困難であった。大腿骨近位部のみによる模擬骨の衝撃実験では、破壊はスクリューの有無にかかわらず、骨頭頸部にて発生した。骨頭頸部に沿ってスクリューを挿入した場合、最大荷重が 19%向上しており、スクリュー

が骨頭頸部の強度を向上させることが示された。

大腿部全体を用いた有限要素解析でも骨幹部内側の応力が最も高く、実験でこの部位での破損が最も多く見られたことと対応していた。また、スクリュー有りによって骨頭頸部の応力が減少するが、骨幹部の応力が高くなることが確認された。すなわち、大腿骨全体による衝撃実験では、スクリュー有りによって骨頭頸部の強度が増加しても、骨幹部内側の応力が高くなり、この部位で破損してしまうので、スクリューの効果を確認できなかつたと考えられる。

今回、大腿骨骨頭頸部中心にそってスクリューを挿入した場合に、骨頭頸部の強度向上が確認できた。強度向上のためのスクリューの径や長さ、本数について、さらなる検討が必要である。頸部の強度が向上しても大腿骨骨幹部で破壊してしまうことが考えられるので、骨幹部の強度確保についても検討する必要がある（水野研究）。

昨年度までと今年度に生体力学的解析や実証試験にて検討されたスクリューの刺入経路を、解剖学的に再検討した結果、臨床的な安全性や有用性に関して問題はないと想定された。一方、設定困難であった大転子中央より上で、大腿骨と頸部、骨頭の3点を通るような直線のスクリュー刺入経路などは、もし仮に生体力学的な大腿骨近位部補強効果が基礎的研究から示されたとしても、実施時の大血管や重要神経や骨盤臓器への安全性リスク上昇および技術的困難度等から、実際の臨床の場にて応用する選択は最初から除外すべきと考えられた（原田研究）。

E. 健康危険情報

なし

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1) Fujita K, Tokuda H, Yamamoto N, Kainuma S, Kawabata T, Sakai G, Kuroyanagi G, Matsushima-Nishiwaki R, Harada A, Kozawa O, Otsuka T. Incretins amplify TNF- α -stimulated IL-6 synthesis in osteoblasts: Suppression of the I κ B/NF- κ B pathway. *Int J Mol Med* 39(4): 1053-1060, 2017.
- 2) Yoshihiro Yoshimura, Hidetaka Wakabayashi, Minoru Yamada, Hunkyung Kim, Atsushi Harada, Hidenori Arai. Interventions for treating sarcopenia: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies. *Journal of the American Medical Directors Association* 18(6): 553.e1-553.e16, 2017.
- 3) Shigeo Kawada, Atsushi Harada, Naohiro Hashimoto. Impairment of cold injury-induced muscle regeneration in mice receiving a combination of bone

- fracture and alendronate treatment. PLOS ONE 12(7):e0181457, 2017.
- 4) Fujita K, Tokuda H, Kainuma S, Kuroyanagi G, Yamamoto N, Matsushima-Nishiwaki R, Harada A, Kozawa O, Otsuka T. Resveratrol suppresses thyroid hormone-induced osteocalcin synthesis in osteoblasts. Mol Med Rep 16(3): 2881-2886, 2017.
 - 5) Madoka Ikemoto-Uezumi, Yasumoto Matsui, Remi Fujita, Yasuhide Kanayama, Akiyoshi Uezumi, Atsushi Harada, Naohiro Hashimoto. Disuse Atrophy Accompanied by Intramuscular Ectopic Adipogenesis in Vastus Medialis Muscle of Advanced Osteoarthritis Patients. The American Journal of Pathology 187(12): 2674-2685, 2017.
 - 6) Hiroshi Hagino, Naoto Endo, Tetsuji Yamamoto, Atsushi Harada, Jun Iwamoto, Naoki Kondo, Tasuku Mashiba, Satoshi Mori, Junichi Nakamura, Seiji Ohtori, Akinori Sakai, Junichi Takada, Yoshiharu Kato. Treatment status and radiographic features of patients with atypical femoral fractures. Journal of Orthopaedic Science 23(2): 316-320, 2017.
 - 7) 竹村真里枝、原田敦. 医療経済的な観点から見た骨粗鬆症治療. 季刊 腎と骨代謝 特集 骨粗鬆症マネジメント update 30(2): 145-154, 2017.
 - 8) 原田敦. ヒッププロテクターの効果と限界は? 転倒予防指導士公式テキスト Q&A. 日本転倒予防学会監修 編著 武藤芳照、奥泉宏康、北湯口純. 新興医学出版社 125-126, 2017.
 - 9) 原田敦. ロコモティブシンドロームにおけるサルコペニアの位置付け. 日本薬剤師会雑誌 69(9): 1113-1117, 2017.
 - 10) 松井康素、原田敦. 特集ロコモと地域包括ケア ロコモの日常臨床—診療と地域包括ケアの視点から—. Loco Cure 先端医学社 東京 3(2): 110-115, 2017.
 - 11) 原田敦. ロコモティブシンドローム. 老化と摂食嚥下障害「口から食べる」を多職種で支えるための視点 藤本篤士・葛谷雅文・糸田昌隆・若林秀隆 編著 医歯薬出版株式会社 40-44, 2017.
 - 12) 原田敦. シンポジウム「ロコモからみたサルコペニアの現状、治療、予防」サルコペニアの評価法. 日本整形外科学会雑誌 91: 764-768, 2017.
 - 13) 西尾康宏、伊藤安海、岸田亮太郎、鍵山善之、根本哲也. 皮膚の動的粘弾性特性評価と安全評価用ダミー皮膚の提案. 実験力学. 16(4): 307-314, 2017.

2. 学会発表

- 1) 原田敦. サルコペニア-加齢に伴う筋肉の減少-. 高知県整形外科医会 (三木会) 学術講演会. 2017年7月7日. 高知.
- 2) 根本哲也、富村敦子、原田敦. 軟組織を伝搬する際のシミュレーションモデル. 第8回 MECHANICAL FINDER ユーザー研究会. 2017年7月15日. 東京

- 3) 根本哲也. 高齢化社会に対応するロボットの材料的未開拓領域における人体損傷評価. 日本実験力学学会人体損傷評価分科会第9回研究会. 日本実験力学学会. 2017年10月20日. 甲府市
- 4) 根本哲也、富村敦子、村澤裕介、伊藤安海、原田敦. 軟組織を伝搬する負荷を考慮した骨損傷シミュレーション. 山梨講演会 2017. 日本機械学会. 2017年10月21日. 甲府市
- 5) 村澤裕介、根本哲也、磯貝善蔵、近藤和泉. 物理的負荷における皮下結合組織の構造変化. 山梨講演会 2017. 日本機械学会. 2017年10月21日. 甲府市
- 6) 根本哲也. 大規模災害時の電源の備え, 平成29年度第2回鹿児島県重症難病医療ネットワーク研修会, 鹿児島県重症難病医療ネットワーク連絡協議会, 2017年10月8日奄美市, 9日鹿児島市
- 7) 根本哲也、富村敦子、村澤裕介、伊藤安海、磯貝善蔵、原田敦. コンピュータシミュレーションによる骨損傷状態推定において外力が軟部組織を伝搬する際の影響, 日本法科学技術学会第23回学術集会, 日本法科学技術学会, 2017年11月9日, 東京中野区

G. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

- 1) 上田耕右、鴻野勝正、佐藤彰洋、根本哲也、伊藤直樹、近藤和泉. 敷布及び挙動判定保護システム. 特願
- 2) 鴻野勝正、山本大策、根本哲也、伊藤直樹、相本啓太、近藤和泉. 敷布. 特許出願中

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし