

車椅子からの転落も含まれる」とした。

調査項目で転倒経験者の割合に差があるか検討した。さらに有意に転倒に関連があると思われた項目を説明変数、転倒の有無を目的変数として多重ロジスティック回帰分析を行った。倫理面での配慮として、1) インフォームドコンセントに基づき、同意を得た場合に調査を行う。2) 調査結果については秘密を厳守し、患者本人から要請があった場合にのみ直接本人に知らせる。3) 患者のプライバシーを尊重し、いかなる個人情報も外部に漏れないように細心の配慮を行う。4) 専門学会あるいは学会誌に発表する場合は患者個人の情報としてではなく、結果全体のまとめとして発表を行う。

C. 研究結果

調査対象は、164名（男性55名、女性109名）において、入院中に転倒を経験した患者は43名（男性12名、女性31名）であり、総転倒件数は65件であった。骨折は、6名（男性2名、女性4名）にみられ、骨折部位は、大腿骨頸部骨折2例、上腕骨1例、鎖骨1例、頬骨1例、肋骨1例であった。転倒場所は、病室内48件、食堂5件、トイレ5件、風呂場2件、廊下1件、その他4件であった。転倒時間と転倒数の関係を図1に示す。転倒時間は、朝7時前後と夕方5時前後に集中していた。食事およびトイレへ行くために活動性があがる時間帯に多く転倒がみられた。転倒は、ベッドや車椅子からの立ち上がり時に多くみられた。転倒と身長、体重、BMI、ALP、総蛋白、収縮期血圧、

拡張期血圧、年齢との間には有意な関連はみられなかった(表1)。転倒と過去の転倒既往および視力・聴力障害の関係では、転倒に対する不安、過去に骨折および外傷の既往があるもので有意に転倒が多くみられた($p<0.05$)(表2)。既往歴と転倒との関連では痴呆と、内服薬では睡眠薬の使用に関連がみられた($p<0.05$)(表3)。また、日常生活動作では、FIMの項目のうちで、清拭、理解、社会的交流、問題解決、記憶の項目で転倒と関連がみられた($p<0.05$)(表4)。以上の解析有意な差がみられた項目を用いて多重ロジスティック解析を行ったところ、過去の転倒歴、清拭、問題解決が転倒と有意に関連がみられた($p<0.05$)(表5)。

D. 考察

高齢者包括医療病棟の目的は、65歳以上で複数の疾患を有する高齢患者の多臓器疾患の診断ならびに運動機能、心理状態、社会的背景などを総合的に評価し、多臓器疾患の治療とともに最適なケアプランを作成するものである。本病棟の入院患者の基礎疾患は、主に脳血管障害、痴呆性疾患、その他骨関節疾患である。

高齢者包括医療病棟では、26.2%の患者で入院中に転倒がみられ、高率であった。転倒と関連がみられた項目は、転倒に対する不安、過去の転倒の既往、過去の転倒による外傷、既往症としての痴呆、睡眠薬の内服、日常生活動作では、FIMの項目のうちで、清拭、理解、社会的交流、問題解決、記憶の項目であった。これらの項目から多重ロジスティック解析を行

ったところ、過去に転倒歴があり、清拭での介助量が多く、認知機能としての問題解決能力が悪い症例で、転倒しやすいことが判明した。高齢者包括医療病棟では、痴呆患者が多く入院しているために、認知機能障害を反映する問題解決の項目が有意であったと考えられた。しかしながら、MMSE の点数では有意な差がみられず、転倒には問題の処理能力の方がより転倒との関連が考えられた。また、歩行障害を有する患者が多いため、歩行能力を示す移動の項目では転倒と有意に関連がみられなかった。それに対して、清拭という日常生活動作で有意な差がみられた。清拭という動作では座位バランスなどが反映している動作であり、歩行障害が多くみられる患者の中では、清拭などの動作が転倒と関連している可能性が考えられた。

今後、本研究で転倒の危険性が高い患者で、ヒッププロテクターを装着してもらい、病院内での転倒による骨折の発生率の減少を図れるか検討する予定である。

E. 結論

ヒッププロテクターの適応基準を決める目的で、高齢者包括医療病棟の入院患者で転倒のリスクファクターの詳細な検討を行ったところ、高齢者包括医療病棟では、過去に転倒歴があり、清拭での介助量が多く、認知機能としての問題解決能力が悪い症例にヒッププロテクターの適応があることが判明した。

F. 研究発表

1. 論文発表

- 1)長屋政博: 歩行障害のリハビリテーション Geriat. Med. 37:869-875,1999
- 2)Nagaya M, Kachi T, Yamada T: Effect of swallowing training on swallowing disorders in Parkinson's disease. Scand J Rehab Med 31: 1-6, 1999.
- 3)新野直明、長屋政博他: 変形性膝関節症における歩行特性に関する患者対照研究 医療 53:343-347,1999
- 4)日本老年医学会編 長屋政博: おとしよりとくらす、介護に役立つ機器 pp63-73 1999

2. 学会発表

長屋政博、武上泰光、高齢者包括医療病棟における集団訓練の効果、第4回日本リハビリテーション医学会中部・東海地方会、名古屋、1999.2

武上泰光、長屋政博、舌骨上筋群での反応時間における加齢の影響、第4回日本リハビリテーション医学会中部・東海地方会、名古屋、1999.2

成田恵美、長屋政博 他、当院における転倒予防教室、第15回東海北陸理学療法学会、浜松、1999.11

長屋政博、高齢者包括医療病棟におけるチーム医療の現状、第10回日本老年医学会東海地方会、名古屋、1999.9

表1 転倒と身体計測、血液検査、血圧との関係

	転倒患者	非転倒患者	t	p
身長	145.6±10.4	149.3±10.5	-1.644	0.1032
体重	43.3±8.8	46.2±10.1	-1.678	0.0953
BMI	20.82±4.12	20.67±3.57	0.059	0.9532
ALP	264.3±101.6	242.3±101.1	1.221	0.2241
T-P	6.35±0.63	6.47±0.58	-1.174	0.2422
収縮期血圧	133±21.2	133±18.3	-0.013	0.9898
拡張期血圧	76.12±14.1	74.63±11.6	0.664	0.5076
年齢	80.49±7.69	79.71±7.21	0.589	0.5568

表2 転倒と過去の転倒既往及び視力・聴力障害の関係

	odds 比	95% confidence interval	
転倒の不安*	4.246	1.8297	9.8535
骨折の有無*	3.018	1.134	8.029
外傷の有無*	4.117	1.9081	8.8817
視力障害	1.6494	0.8184	3.3244
聴力障害	2.0227	0.9747	4.1978

*P<0.05有意差あり

表3 薬剤及び既往歴と転倒との関係

	odds比	95%confidence interval	
降圧剤	1.1127	0.4295	2.8826
抗精神薬	1.314	0.6082	2.8406
睡眠薬*	2.4425	1.192	5.005
抗けいれん剤	0.9365	0.0948	9.2521
利尿剤	0.3878	0.0463	3.2466
脳硬塞・脳出血	1.8333	0.9073	3.7044
痴呆*	2.0595	1.0176	4.168
糖尿病	0.45635	0.05335	3.9033
高血圧	0.96134	0.4228	2.1859
慢性心不全	0.9356	0.0948	9.2521
パーキンソニズム	0.8325	0.218	3.179
骨粗鬆症	2.2905	0.74606	7.0324
変形性膝関節症	0.5524	0.0627	4.8665
大腿骨骨折の既往	2.3795	0.6083	9.3076
脊椎圧迫骨折	2.9024	0.39601	21.2728
白内障	1.2271	0.4935	3.0513

*P<0.05 有意差あり

表4 転倒と日常生活動作能力との関連

	転倒患者	非転倒患者	t	p
食事	5.91±1.67	5.63±2.16	0.768	0.4437
整容	3.61±2.18	4.35±2.50	-1.751	0.0818
清拭*	2.49±1.72	3.53±2.42	-2.591	0.0104
更衣(上)	4.07±2.27	4.41±2.52	-0.768	0.4434
更衣(下)	4.00±2.25	4.36±2.51	-0.82	0.4135
トイレ	4.12±2.27	4.54±2.53	-0.962	0.3376
排尿	3.77±2.19	4.60±2.61	-1.876	0.0625
排便	4.49±2.29	5.04±2.64	-1.22	0.2242
ベッド	4.88±1.92	4.81±2.41	0.181	0.8563
移乗	4.74±2.03	4.75±2.39	-0.034	0.973
浴槽	3.12±2.04	3.90±2.41	-1.91	0.0582
移動	4.49±2.25	4.70±2.38	-0.513	0.6084
階段	3.21±2.25	3.92±2.53	-1.62	0.1073
理解*	3.67±2.12	4.60±2.37	-2.25	0.0261
表出	3.79±2.09	4.56±2.35	-1.887	0.061
社会*	2.88±2.58	4.56±2.74	-3.496	0.0006
問題*	3.07±2.43	4.26±2.62	-2.616	0.0098
記憶*	3.42±2.32	4.36±2.51	-2.145	0.0334

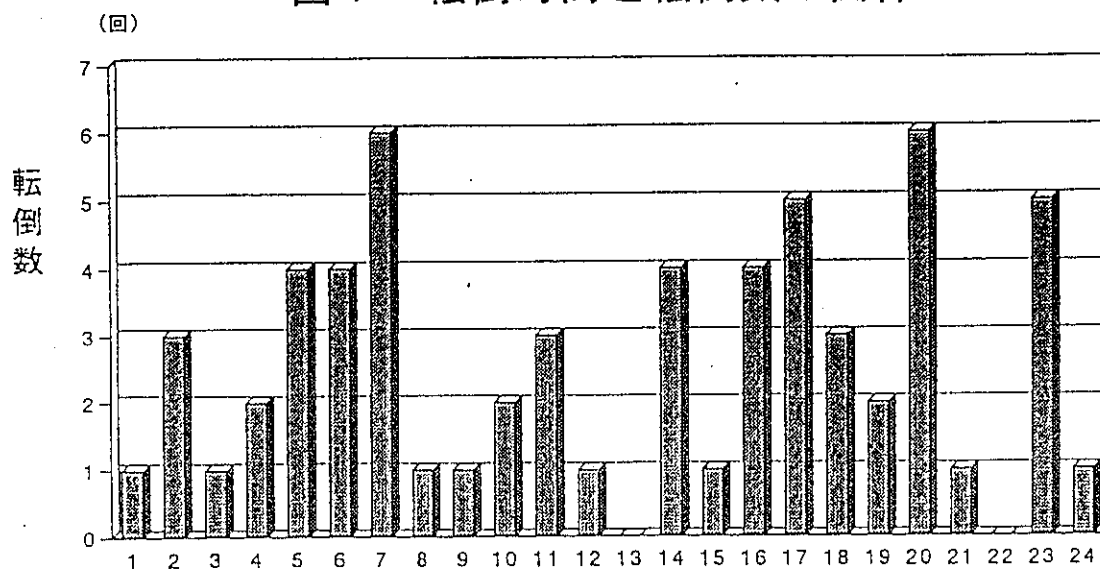
*P<0.05 有意差あり

表5 多重ロジスティック解析結果

説明変数	オッズ比	95%CI
転倒の不安	2.53	0.693-9.230
過去の転倒歴*	12.485	3.504-44.490
転倒による外傷	0.526	0.155-1.793
睡眠薬の使用	2.311	0.887-6.023
清拭*	4.296	1.171-15.765
理解	0.373	0.059-2.358
社会的交流	1.084	0.235-5.004
問題解決*	9.839	1.085-89.235
記憶	0.753	0.112-5.084

* P < 0.05 有意差あり

図1 転倒時間と転倒数の関係



転倒時間 (転倒時間の不明例4件を除く)

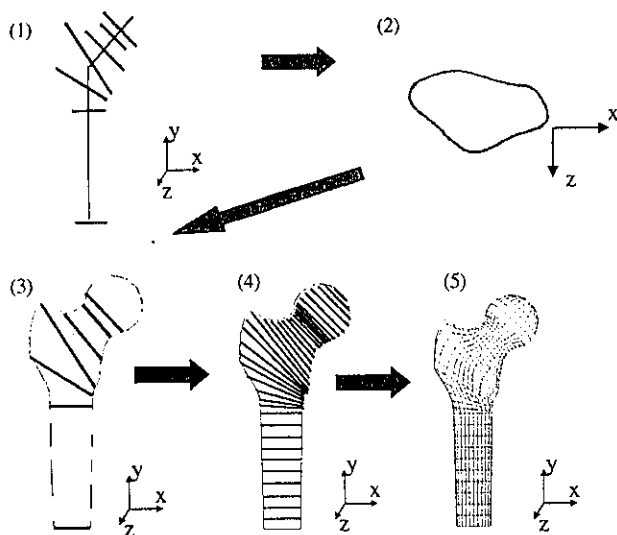


Fig. 2 Procedure of finite element modeling

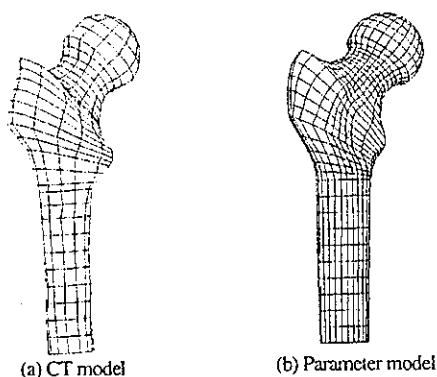


Fig. 3 Image drawings of CT model and parameter model

と頸部位置ならびに頸部軸を定め、各計測断面位置を軸上で定める。

(手順2)各断面の形状を形状パラメータに基づいて再現する。

(手順3)複数の大腿骨標本を観察した結果に基づき、形態的特徴を表現できるように決定した関数を用いて各断面間を補間する。

(手順4)得られた形状を適切に有限要素に分割するため、層状に再分割する。

(手順5)各層を8節点六面体要素により要素分割する。

予め節点は各要素に割り振っており、一断面内の節点数は97、断面数は39、総節点数は3783、要素数は3648である。

(研究結果)

形状パラメータによるモデリングの妥当性を検討するために、X線CT画像を基に構築したモデル⁽²⁾(以下、CTモデル)と、今回開発したモデリング手法により作成したモデル(以下、パラメータモデル)を用いて解析を行った。形状パラメータはX線CT画像から計測した。図3に両モデルを示す。また、今回は形状の再現性についてだけ検討するので、両モデルの全要素を等方線形弾性体($E=10\text{GPa}$, $\nu=0.31$)とした。境界条件は、骨幹端の2点において完全に変位を拘束し、骨頭では骨盤

臼蓋の接触する1点を完全に変位拘束した。また、荷重として大転子部に4000Nの静的荷重を与えた。骨幹軸の回旋角は0, 15, 30, 45度とした。なお材料特性と境界条件の設定には日本マーク社製Mentat3.2を、解析には同社製MARC K7.2を用いた。

図4と5に解析結果の比較を示す。図はそれぞれ骨頭基部下方と頸部基部後方における最大圧縮主ひずみと回旋角の関係を示す。これらの部位は大腿骨近位部骨折の発生頻度が高い部位である。図4より骨頭基部下方では、CTモデル、パラメータモデルともほぼ同じ結果であった。一方、図5に示した頸部基部後方では、骨幹軸周りの回旋角が大きいときに違いがみられた。これは、大転子と大腿骨頸部の間にある転子窩の形状がパラメータモデルでは十分に再現されていないことに起因すると考えられるが、その差はそれほど大きくはなく、定性的傾向は一致している。以上より、パラメータモデルは大腿骨近位部骨折の危険性の評価に十分有効であるといえる。

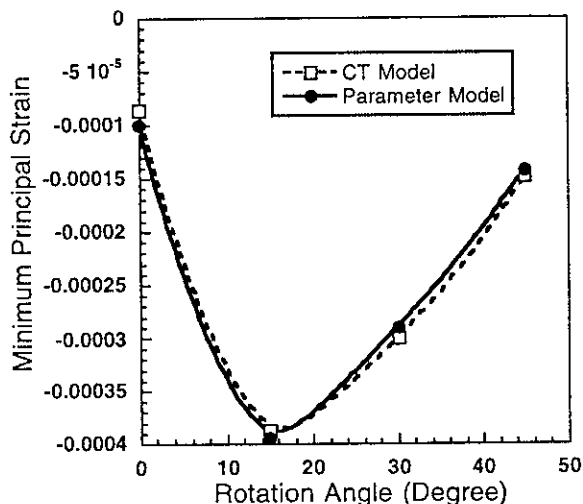


Fig. 4 Comparison between CT model and parameter model (inferior subcapital region)

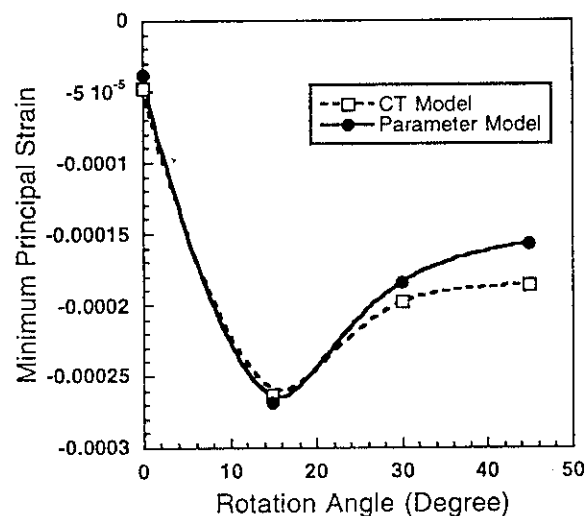


Fig. 5 Comparison between CT model and parameter model (posterior basicervical region)

(考察)

CTモデルとパラメータモデルを用いた有限要素解析の結果の比較から、形状パラメータによるモデリング手法の妥当性が示された。しかし、大腿骨形状が特殊なものについてはモデルの補正が必要になる可能性があり、今後もモデリング手法の改良を行う必要がある。

本手法では、大腿骨近位部の形態的特徴をパラメータ化することで、高精度モデルを短時間で作成できた。このため、大腿骨形状の違いによる骨折の発生危険度の評価を行うためには有効であると考えられる。

B-2 骨形状の個体差を考慮した大腿骨近位部骨折の発生危険度の力学的検討

(研究方法)

これまでの研究により、転倒様式の違いによる骨折の発生危険度の検討を行い、大腿骨の外旋により外側骨折の発生危険度が増加することが示されたが、内側骨折の発生危険度と大腿骨の内旋・外旋角との関係は明確ではなかった。これは内側骨折には形状や骨密度分布の個体差が影響するためと考えられた。そこで本研究では、前章で開発した個別別モデリング手法を用いた有限要素解析と大腿骨標本による骨折実験により、骨密度・骨形状の違いによる内側・外側骨折の発生危険度を比較した。

実験には、73歳から83歳までの男女から摘出した大腿骨6本を用いた。図6に実験の概要図を示す。まず大腿骨頸部軸を鉛直方向に対して40度傾け、骨幹端において骨幹軸周りに15度内旋させ、骨幹軸周りと水平面内での回転を拘束した。荷重として、骨頭部に鉛直上方より重錘を落下させた。重錘の落下は骨折が発生するまで重錘の高さを段階的に上げながら行った。

骨折実験の結果、大腿骨6本のうち内側骨折様の破壊が4例、外側骨折様の破壊が2例観察された。これらの大腿骨の骨密度・骨形状を比較したところ、内側骨折を起こした大腿骨では頸部基部に対する骨頭基部の骨密度・断面積の比が、外側骨折を起こしたものに比べ小さいという結果が得られた。表1に本実験で用いた大腿骨6本の骨頭基部(Subcapital region:SC)と頸部基部(Basicervical region:BC)の骨密度の比と断面積の比の平均値を内側骨折・外側骨折別に示す。頸部基部の骨密度はWard Triangleで計測した。実験結果より、内側・外側骨折の発生危険度には、骨頭基部、頸部基部の骨密度・断面積が影響すると考えられる。

以上の実験結果をより詳細に検討するために、骨頭基部・頸部基部の骨密度・形状を考慮した有限要素解析を行った。解析には骨頭基部・頸部基部の骨密度・断面積がそれぞれ異なる7種類の左大腿骨モデルを用いた。皮質骨の材料定数はLotzら¹⁰⁾が解析で使用したデータを参考にし、要素は横等方線形弾性体として近似した。海綿骨要素は等方線形弾性体とした。各モデルは、Model-1を基準モデルとして骨頭基部・頸部基部の断面積、または骨密度のいずれかをそれぞれ小さくした。骨密度の違いは、海綿骨・皮質骨の弾性係数をそれぞれ変えることにより与えた。表2に、各有限要素モデルの骨頭基部・頸部基部の断面積比と、骨密度の小さい部位を矢印で示す。

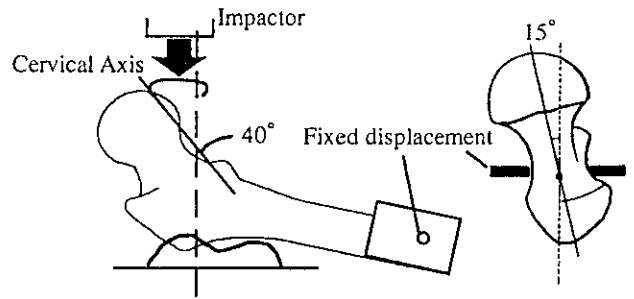


Fig. 6 Schematic drawings of experimental set up

Table 1 Ratio of bone density and ratio of cross sectional area of subcapital region to basicervical region (Mean ± S.D.)

	Ratio of bone density (SC / BC)	Ratio of cross sectional area (SC / BC)
Medial (n=4)	1.169 ± 0.133	1.004 ± 0.146
Lateral (n=2)	1.692 ± 0.032	1.324 ± 0.011

Table 2 Conditions of finite element models

FE Model	Area ratio of cross section SC:BC	Bone density			
		Trabecular bone SC	BC	Cortical bone SC	BC
Model-1	1.0:1.0	-	-	-	-
Model-2	1.0:1.0	↓	-	-	-
Model-3	1.0:1.0	-	↓	-	-
Model-4	1.0:1.0	-	-	↓	-
Model-5	1.0:1.0	-	-	-	↓
Model-6	1.0:0.7	-	-	-	-
Model-7	0.8:1.0	-	-	-	-

解析の境界条件は、頸部軸を鉛直方向に対して40度傾け、骨幹軸周りに15度内旋させ、骨幹端の2点で変位を完全拘束した。また、転子部の外側部分において鉛直方向と骨幹に対して水平横方向の変位を拘束した。骨頭部に2000 Nの静的荷重を与えた。この条件で、形状が同一で海綿骨の弾性係数が異なるモデルを用いた解析(解析1, Model-1, 2, 3)、形状が同一で皮質骨の弾性係数が異なるモデルを用いた解析(解析2, Model-1, 4, 5)、また、弾性係数が同一で骨頭基部と頸部基部の断面積が異なるモデルを用いた解析(解析3, Model-1, 6, 7)を行った。有限要素解析にはMSC-Marc K7.2を用いた。

(研究結果)

解析結果の比較・検討には、骨折の発生には圧縮の影響が大きいと考えられる⁽¹⁾ことから、骨折危険度として最小主ひずみ(圧縮ひずみ)の値を用いた。最小主ひずみの値は、骨頭基部上方、頸部基部上方、また、これらの中間にある骨表面の要素で、その部位における最大の値を示した積分点の値を用いた。

図7に解析1の各モデルの最小主ひずみの値を示す。解析の結果、どの部位においても各モデルの間にひずみ値の差はみられなかった。これは、この解析では皮質骨が海綿骨に比べはるかに弾性係数が高いため、海綿骨の弾性係数が異なっても、大腿骨頸部の剛性に影響がないためと考えられる。

図8に解析2の最小主ひずみ分布を、図9に各モデルの最小主ひずみの値を示す。Model-4では、Model-1より皮質骨の弾性係数が小さい骨頭基部でひずみ値が増加し、頸部基部では差がなかった。Model-5では、Model-1より皮質骨の弾性係数が小さい頸部基部でひずみ値が増加し、

骨頭基部では差がなかった。これより、骨頭基部（頸部基部）における骨密度の減少により、内側骨折（外側骨折）の発生危険度は増加すると考えられる。

図10に解析3の最小主ひずみ分布を、図11に各モデルの最小主ひずみの値を示す。Model-6では、Model-1より

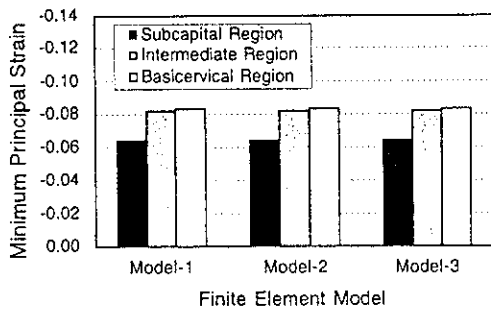


Fig. 7 Comparison of minimum principal strain (analysis -1)

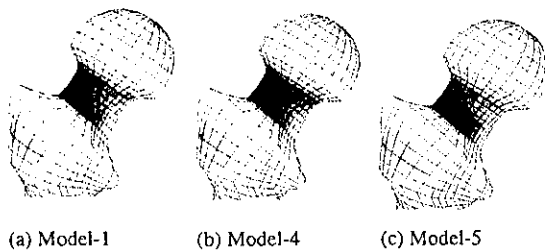


Fig. 8 Minimum principal strain distribution (analysis -2)

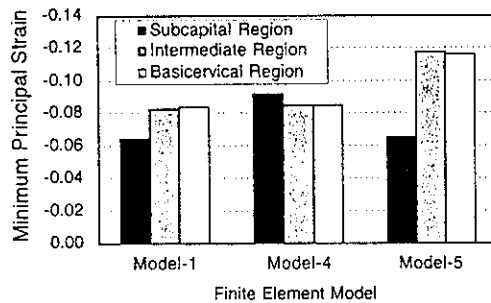


Fig. 9 Comparison of minimum principal strain (analysis -2)

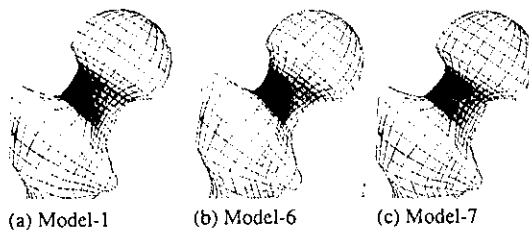


Fig. 10 Minimum principal strain distribution (analysis -3)

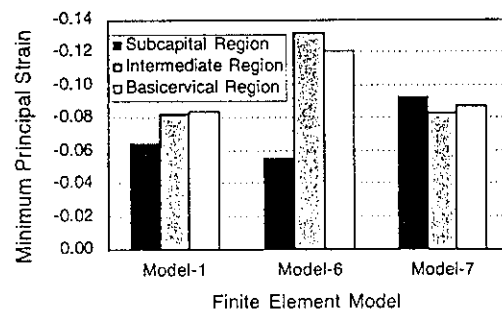


Fig. 11 Comparison of minimum principal strain (analysis -3)

断面積が小さい頸部基部でひずみ値が増加し、骨頭基部ではその差は小さかった。Model-7では、Model-1より断面積が小さい骨頭基部でひずみ値が増加したが、頸部基部では差はみられなかった。これは、断面積の違いにより、Model-6,7ではそれぞれ頸部基部・骨頭基部の形状変化がModel-1に比べ急激であるためと考えられる。このことから、内側・外側骨折の発生危険度は骨頭基部・頸部基部での形状変化が急激であるほど高くなると考えられる。

(考察)

骨折実験と有限要素解析の結果より、皮質骨の骨密度の減少によって骨折危険度が増加し、海綿骨の骨密度には影響が少ないということがわかった。また、内側・外側骨折それぞれの発生危険度は、骨頭基部・頸部基部での断面積に大きく影響を受けるということがわかった。しかしながら、皮質骨厚さや材料特性の違いにより、海綿骨の骨密度が骨折危険度に影響を与えると推定される。また、今回の解析では頸体角や前捻角など大腿骨の骨形状の力学的特性に影響するパラメータについては検討を行っていない。したがって、今後、皮質骨の厚さ・材料定数の違いや断面積以外の形状特性の違い、また内旋・外旋角の影響を考慮した条件を連成させた解析を行い、総合的な検討を行う必要がある。

B-3 皮質骨厚さ・海綿骨形状の個体差を考慮した大腿骨

近位部骨折の発生危険度の力学的検討

(研究方法)

これまでに、転倒時の荷重の作用方向の違い、頸部における海綿骨と皮質骨の骨密度の違い、また頸部形状の違いを考慮した有限要素解析を行ってきた⁴⁾。これらの解析では、海綿骨密度の違いによる骨折危険度の違いはみられなかったが、頸部皮質骨厚さの影響を考慮していなかった。そこで、頸部皮質骨の厚さと海綿骨密度の違いが大腿骨近位部骨折発生に及ぼす影響を検討した。

頸部における皮質骨厚さは、頸部基部下方に向かうに従い厚くなる。この形態的特徴を定量的に把握するため、頸部上方と頸部基部下方の皮質骨厚さを、左大腿骨9本、右大腿骨3本のCT写真から計測した。標本の計測結果は、頸部上方で 1.39 ± 0.3 (mm) (Mean \pm S.D.)、頸部基部下方で 4.24 ± 1.46 (mm) (Mean \pm S.D.)であった。また、頸部上方と頸部基部下方のBMD (Bone mineral density) 値は、上述の標本とは異なる左大腿骨6本、右大腿骨6本からDXA法により計測した。標本の測定結果によるBMD値は頸部上方で 0.408 ± 0.102 (g/cm²) (Mean \pm S.D.)、頸部基部下方で 0.663 ± 0.147 (g/cm²) (Mean \pm S.D.)であった。

これまでに、大腿骨形態の特徴を表す形状パラメータによって、個体別の大腿骨モデルを作成する手法を開発してきた⁴⁾。本研究では、皮質骨厚さの骨折危険度に対する影響を検討するため、皮質骨厚さを変化させることができるように改良を加えた。

本解析で用いた有限要素モデルは、皮質骨要素、海綿骨要素とも等方線形弾性体として近似した。皮質骨の縦弾性係数にはLotzら⁹⁾が解析で使用したデータを参考に

Table 3 Types of finite element models (group A)

Group A		Apparent bone density of cancellous bone		
		Low (L)	Middle (M)	High (H)
Thickness of cortical bone	Thin (1)	A_1L	A_1M	A_1H
	Middle (2)	A_2L	A_2M	A_2H
	Thick (3)	A_3L	A_3M	A_3H

Table 4 Types of finite element models (group B)

Group B		Apparent bone density of cancellous bone		
		Low (L)	Middle (M)	High (H)
Thickness of cortical bone	Thin (1)	B_1L	B_1M	B_1H
	Middle (2)	B_2L	B_2M	B_2H
	Thick (3)	B_3L	B_3M	B_3H

与えた。海綿骨の縦弾性係数EはRiceら⁹⁾により提案された次式に基づき算出した。

$$E = 820p^2 + 70$$

ここでpは骨密度である。皮質骨のポアソン比は0.48, 海綿骨のポアソン比は0.31とした。

頸部上方及び頸部下方の皮質骨厚さ、並びに海綿骨密度が異なるいくつかの有限要素モデルを作成し、転倒を模擬するシミュレーションを実施した。基本となるモデルは、頸部上方及び頸部下方のそれぞれに対し、前に述べた平均の皮質骨厚さと海綿骨密度を持つものとし、これを基本に、頸部上方及び頸部下方のそれぞれの皮質骨厚さ、並びに骨密度を変化させた。すなわち、皮質骨厚さは、頸部上方、頸部下方のそれぞれの部位に対し、Thin, Middle, Thickの3種類を選び、各部位での厚さの平均値をMiddle、それに標準偏差を加えたものをHigh、減じたものをLowとした。海綿骨密度も同様に、骨密度の平均値をMiddleとし、それに標準偏差を加えたものをHigh、減じたものをLowとした。以下では頸部下方の皮質骨厚さ、並びに骨密度を変化させたモデルをA群、頸部上方のそれをB群と呼ぶことにし、例えばA群で皮質骨厚さがThin、骨密度がHighのモデルをA_1H、B群で皮質骨厚さがThick、骨密度がLowのモデルをB_3Lのように書く。これに従えば、上述の基本となるモデルは、A_2MあるいはB_2Mと書ける。A群及びB群のモデルの詳細を表3と4に示す。

解析には、骨幹軸を鉛直方向に対して10度傾け、骨幹軸周りに15度外旋させた。また、骨幹端の2点で変位を完全拘束し、骨頭部は寛骨臼内で自由に変位できることから、鉛直方向の変位を拘束し、水平面内の変位は自由とした。荷重として大転子部に2000 Nの静的荷重を与えた。有限要素解析にはMSC-Marc K7.3を用いた。

(研究結果および考察)

骨折の発生には圧縮の影響が大きいと考えられることから、解析結果の比較・検討には最小主ひずみ(圧縮ひずみ)の値を用いた¹⁰⁾。骨頭基部・頸部基部それぞれの、上方、下方、前面、後面の骨表面要素のひずみ値を検討の対象とし、それぞれの部位において最大の値を示した積分点の値を採用した。骨折の目安となる骨折危険度

は、最小主ひずみの値を圧縮における降伏ひずみ0.01で除した値¹⁰⁾を用いた。

頸部下方の皮質骨厚さを変化させた場合(A群)には、各部位のひずみ値の減少はなかった。頸部基部下方の皮質骨厚さが薄い場合でも、その剛性が十分高かったためと考えられる。

頸部上方の皮質骨厚さが増加するに従い、頸部基部上方、頸部基部前面、骨頭基部上方、骨頭基部下方、骨頭基部前面、骨頭基部後面でひずみ値が減少した。図12にひずみ値が最も大きく減少した頸部基部上方の最小主ひずみ値を示す。皮質骨厚さの増加により、 8.0×10^{-4} (骨折危険度の8%)から 6.0×10^{-4} (骨折危険度の6%)のひずみ値の減少がみられる。すなわち、頸部上方の皮質骨厚さの減少は、皮質骨の剛性の低下につながると考えられる。

頸部下方の皮質骨厚さにかかわらず、海綿骨密度の増加により骨頭基部の各部位でひずみ値が減少した。図13に、ひずみ値が最も大きく減少した骨頭基部前面の最小主ひずみ値を示す。皮質骨厚さがほとんど影響していないのに対し、海綿骨密度の最大のもとの最小のものとは、 6.0×10^{-4} (骨折危険度の6%)のひずみ値の減少があることがわかる。

また、頸部上方のどの皮質骨厚さに対しても、海綿骨

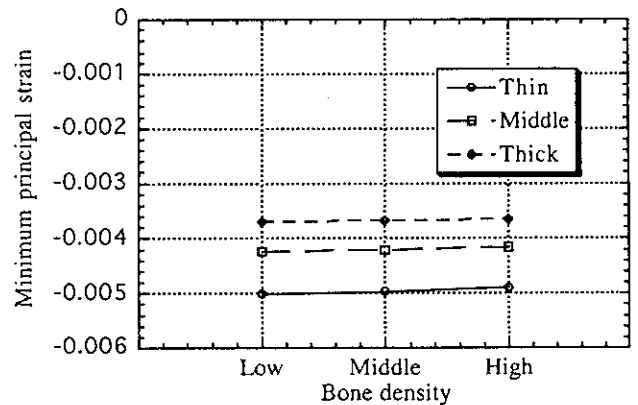


Fig. 12 Comparison of minimum principal strain in the superior subcapital region (effects of the thickness of cortical bone in superior cervical region)

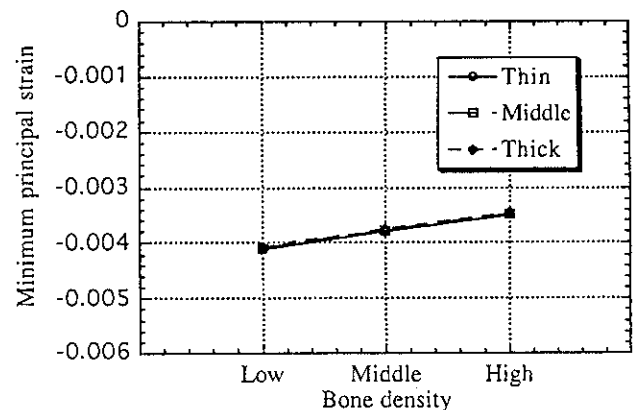


Fig. 13 Comparison of minimum principal strain in the anterior subcapital region (effects of the thickness of cortical bone in inferior cervical region)

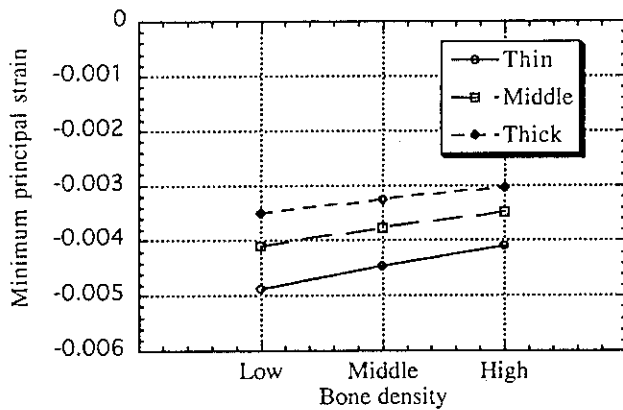


Fig. 14 Comparison of minimum principal strain in the anterior subcapital region (effects of the thickness of cortical bone in superior cervical region)

密度の増加により、骨頭基部の各部位でひずみ値が減少した。図14に、ひずみ値が最も大きく減少した骨頭基部前面での最小主ひずみ値を示す。海綿骨密度がHighとLowの場合のひずみ値を比べると、皮質骨厚さがThinのモデルでは、 8.0×10^{-4} (骨折危険度の8%), Thickでは 5.0×10^{-4} (骨折危険度の5%)の減少がみられる。これより、皮質骨が薄いほど海綿骨密度の骨折危険度への影響が大きいということがわかった。

C. 結論

今年度の研究成果のまとめは以下の通りである。

大腿骨形状の個体差による骨折危険性の違いを検討するため、大腿骨近位部の形態的特徴を示すパラメータを導入することにより、大腿骨近位部の高精度な有限要素モデルを簡単かつ速やかに作成する手法を開発した。

骨の変形、破壊に関する文献調査を実施し、骨の力学特性を線形弾性体により十分な精度でモデル化できること、また弾性定数、破壊強度をX線CT測定結果から推定でき、したがって個体別有限要素モデルの材料特性の同定に直接使用できるという結論を得た。

骨頭基部、頸部基部の骨密度、断面積が異なる種々の大腿骨モデルを用いた有限要素解析を実施し、皮質骨の骨密度の減少により骨折危険性が増加すること、これに対し海綿骨の骨密度の影響は小さいこと、また内側・外側骨折の発生危険性は、骨頭基部、頸部基部での断面積に大きく影響を受けることが明らかとなった。

頸部皮質骨厚さが異なる種々の大腿骨有限要素モデルを作成し、骨折危険性に及ぼすその影響を検討した。その結果、頸部下方の皮質骨厚さの影響はほとんどないこと、これに対し頸部上方の皮質骨厚さの減少は剛性の低下につながる事が明らかとなった。

なお、骨折に対する大腿骨周りの軟組織の効果を評価するため、骨幹部、転子部周辺の筋肉、脂肪、皮膚を組入れた有限要素解析を現在実施中であり、骨単体モデルに対する解析結果との比較検討を行っている。それによれば、軟組織は大腿骨に生じる応力およびひずみを減少させるが、その効果はそれほど顕著なものではないという結果が得られつつある。

今回得られた解析結果を受け、骨折に大きな影響を及

ぼす因子は何であるかを生体力学的に今後詳細に検討する。また解析の信頼性を高めるため、転倒の境界条件の妥当性と動的効果の検討も行う予定である。今年度の研究により、大腿骨の個体別モデルを作成する方法をほぼ確立できた。これを受け、今後は関節包、靭帯、筋の影響の考慮によるモデルの精密化、ヒッププロテクターの組込みを通じて個体別ヒッププロテクタの開発につながる解析モデルの開発を行う予定である。

D. 参考文献

- (1) 村地俊二, 骨折の臨床, 中外医学社, (1980), pp. 383, 385, 389.
- (2) 田中英一, 山本創太, 坂本誠二, 原田敦, 奥泉宏康, 有限要素解析と実験に基づく大腿骨近位部骨折の力学的検討, 機講論No. 98-2, (1998), pp. 199-200.
- (3) Lotz, J. C., Cheal, E. J., and Hayes, W. C., *Fracture Prediction for the Proximal Femur Using Finite Element Models: Part I-Linear Analysis*, J. Biomech. Eng., 113, (1991), pp. 353-360.
- (4) 田中英一, 山本創太, 坂本誠二, 原田敦, 奥泉宏康, 水野雅士, 大腿骨近位部の個体別有限要素モデリング手法の開発, 機講論No. 99-1, (1999), pp. 643-644.
- (5) Rice, J. C., Cowin, S. C., and Bowman, J. A., *On the Dependence of the Elasticity and Strength of Cancellous Bone on Apparent Density*, J. Biomech., 21, (1998), pp. 155-168.
- (6) Ford, C. M., Keaveny, T.M., and Hayes, W. C., *The Effect of Impact Direction on the Structural Capacity of the Proximal Femur During Falls*, J. Bone and Min. Res., 11, (1996), pp. 377-383.

E. 研究発表

1. 学会発表

1. 田中英一, 山本創太, 坂本誠二, 原田敦, 奥泉宏康, 水野雅士, 大腿骨近位部の個体別有限要素モデリング手法の開発, 日本機械学会講演論文集, No. 99-1, (1999), pp. 643-644.
2. 水野雅士, 原田敦, 竹村真里枝, 奥泉宏康, 田中英一, 山本創太, 大腿骨頸部骨折骨折型の決定因子 - 転倒時荷重方向, 大腿骨頸部骨量分布, 形態のパラメータの関与についての検討 -, Osteoporosis Japan, Vol. 7, Suppl. 1, (1999), pp. 87.
3. 田中英一, 山本創太, 坂本誠二, 原田敦, 奥泉宏康, 水野雅士, 骨形状の個体差を考慮した大腿骨近位部骨折の発生危険度の力学的検討, 日本機械学会講演論文集, No. 99-5, (1999), pp. 163-164.
4. 田中英一, 山本創太, 中西孝文, 坂本誠二, 原田敦, 奥泉宏康, 水野雅士, 有限要素法による大腿骨近位部骨折の力学的要因の検討, 日本機械学会講演論文集, No. 99-37, (2000), pp. 165-166.
5. 田中英一, 計算バイオメカニクスと整形外科領域への応用, 日本機械学会講演論文集, No. 004-1, (2000), pp. 11-45 - 11-48.

19990154

以降のページは雑誌／図書等に掲載された論文となりますので「研究成果の刊行に関する一覧表」をご参照ください。

「研究成果の刊行に関する一覧表」

- ・Tokuda H, Kozawa O, Harada A, Uematsu T. Extracellular sphingomyelinase induces interleukin-6 synthesis in osteoblasts. J Cell Biochem 72: 262-268, 1999.
- ・Yano K, Tsuda E, Washida N, Kobayashi F, Goto M, Harada A, Ikeda K, Higashio K, Yamada Y. Immunological characterization of circulating osteoprotegerin/ osteoclastogenesis inhibitory factor: Increased serum concentrations in postmenopausal women with osteoporosis. J Bone Miner Res 14:518-527, 1999.
- ・Tokuda H, Kozawa O, Harada A, Uematsu T. Prostaglandin D2 induces interleukin-6 synthesis via Ca²⁺ mobilization in osteoblasts: regulation by protein kinase C. Prostaglandins, Leukotrienes and Essential Fatty Acids. 61:189-194, 1999.
- ・Yamada Y, Okuizumi H, Miyauchi A, Takagi Y, Ikeda K, Harada A. Association of transforming growth factor β 1 genotype with spinal osteophytosis in Japanese women. Arthritis Rheum 43:452-460, 2000.
- ・Yamada Y, Harada A, Hosoi T, Miyauchi A, Ikeda K, Ohta H, Shiraki M. Association of transforming growth factor β 1 genotype with therapeutic response to active vitamin D for postmenopausal osteoporosis. J Bone Miner Res 15:415-420, 2000.
- 2) Nagaya M, Kachi T, Yamada T: Effect of swallowing training on swallowing disorders in Parkinson's disease. Scand J Rehab Med 31: 1-6, 1999.
 - ・原田敦. 高齢者の転倒・骨折予防. 日本医師会雑誌 122:1955-1959, 1999.
 - ・原田敦. 転びやすい. おとしよりとくらす (高齢者介護の手引き) 183-190, 1999.
 - ・原田敦. ヒッププロテクター開発の現状. 診断と治療 87:1003-1005, 1999.
 - ・原田敦. 高齢者の転倒による損傷. とその予防. Geriatric Medicine 37: 863-867, 1999.
- 1) 山梨晃裕、小出陽一、山崎 薫ほか. 両側大腿骨頸部骨折例の検討. 1999, 整形外科 50:20-24.
- 2) 山崎薫、渥美公勢、豊山起光ほか. 重心動揺計による易転倒性の定量評価の試み. 1999, Osteoporosis Japan 7:189-192.
- 3) 山崎 薫、串田一博、渥美公勢ほか. 骨粗鬆症QOL評価法としての身体活動能力調査の意義. 1999, 中部日本整形外科災害外科学会誌42:399-400.
- 1)長屋政博: 歩行障害のリハビリテーション Geriat. Med. 37:869-875,1999

3)新野直明、長屋政博他: 変形性膝関節症
における歩行特性に関する患者対照研究
医療 53:343-347,1999

4)日本老年医学会編 長屋政博: おとしよ
りとくらす、介護に役立つ機器 pp63-73
1999

1. 田中英一, 山本創太, 坂本誠二, 原田敦, 奥泉宏康, 水野雅士, 大腿骨近位部の個別有限要素モデリング手法の開発, 日本機械学会講演論文集, No. 99-1, (1999), pp. 643-644.
2. 水野雅士, 原田敦, 竹村真里枝, 奥泉宏康, 田中英一, 山本創太, 大腿骨頸部骨折骨折型の決定因子 - 転倒時荷重方向, 大腿骨頸部骨量分布, 形態的パラメーターの関与についての検討 -, Osteoporosis Japan, Vol. 7, Suppl. 1, (1999), pp. 87.
3. 田中英一, 山本創太, 坂本誠二, 原田敦, 奥泉宏康, 水野雅士, 骨形状の個体差を考慮した大腿骨近位部骨折の発生危険度の力学的検討, 日本機械学会講演論文集, No. 99-5, (1999), pp. 163-164.
4. 田中英一, 山本創太, 中西孝文, 坂本誠二, 原田敦, 奥泉宏康, 水野雅士, 有限要素法による大腿骨近位部骨折の力学的要因の検討, 日本機械学会講演論文集, No. 99-37, (2000), pp. 165-166.
5. 田中英一, 計算バイオメカニクスと整形外科領域への応用, 日本機械学会講演論文集, No. 004-1, (2000), pp. 11-45 - 11-48.