

4%、5点の症例は2.2%存在し、ヒッププロテクターを装着する対象群と考えた。

## F. 研究発表

### 1 論文発表

山崎 薫 骨粗鬆症 Photodensitometry 法 日本臨床 60 ; 186-190, 2002

山崎 薫 超音波骨量測定機器の互換性に関する検討 Osteoporosis Japan 9 ; 39-41. 2001

日本人骨塩量の基準値およびcut-off値 The Bone 15 ; 233-237, 2001

転倒・骨折予防. 骨粗鬆症小辞典 15. 日本骨粗鬆症学会

### 2. 学会発表

山崎 薫, 串田一博, 渥美公勢, 豊山起光, 内藤健一, 西村行秀, 長野 昭. 高齢者における易転倒性評価法 第74回日本整形外科学会学術集会

山崎 薫, 串田一博, 渥美公勢, 西村行秀, 長野 昭 問診により高齢者の転倒リスクを評価する方法 第3回日本骨粗鬆症学会

## H. 知的財産権の出願・登録状況

該当なし

# ヒッププロテクター適応基準の作成および転倒シミュレーションによるヒッププロテクターの効果に関する研究

分担研究者 長屋 政博 国立療養所中部病院リハビリテーション科医長

## 研究要旨

本年度は、2つの研究からなり、転倒予測チャートの有効性の検討と転倒シミュレーションにおいてヒッププロテクターの有効性を検討した。昨年度の本研究において病院用に作成した転倒予測チャートの有効性を他施設（老人保健施設）で前向き調査を行い、検討した。転倒予測チャートでは、過去の転倒歴、転倒による骨折または外傷の有無、活動レベル、排尿のコントロール、移乗動作能力、問題解決能力からなり、愛知県内の老人保健施設に入所した高齢患者 113 名（男性 29 名、女性 84 名）で、病院用に作成した転倒予測チャートの有効性の検討を行った。転倒の予測を 19 点以上とした時、この転倒予測チャートの sensitivity は 83.3%、specificity は 70.8%、陽性反応適中度は 43.5%、陰性反応適中度は 94.0%であった。この転倒予測チャートを用いることにより、老人保健施設でも入所時に簡単にヒッププロテクター装着の適応者をスクリーニングできることが確認された。

また本年度は、ヒッププロテクターの有効性を確認するため、健常ボランティアをリフトにてマット上 20cm の高さに位置し、この高さから自由落下させることにより転倒時のヒッププロテクターの内側と外側での衝撃力および衝撃力の圧分布を測定した。後方転倒のシミュレーションでは、膝関節を屈曲、股関節を外転、外旋の角度が増加するにつれてヒッププロテクターに加わる衝撃力が増加した。また後側方転倒のシミュレーションでは、ヒッププロテクターの外側では、ほとんどヒッププロテクター全面に衝撃荷重がみられますが、ヒッププロテクターの内側では、大転子部分にはほとんど荷重はなく、周辺部分に衝撃力が集中していた。後方転倒よりも、後側方転倒で、ヒッププロテクターが有効に働くことが示された。

## A. 研究目的

高齢者の転倒傷害の代表である大腿骨頸部骨折は、運動機能障害や QOL の低下に直結するので、その予防として転倒時外力を減衰して傷害を予防するヒッププロテクターが着目されている。病院や老人保健施設、特別養護老人ホームなどでも、転倒の危険性は高く、慣れない環境のために転倒

し、大腿骨頸部骨折を引き起こす症例もみられる。大腿骨頸部骨折予防のために、ヒッププロテクターの導入は必要である。そのためにも易転倒者の予測はヒッププロテクターの適応を決める上で必要不可欠である。昨年度の本研究において、病院用に作成した転倒予測チャートの有効性を他施設（老人保健施設）で前向き調査を行い、検討した。

また本年度は、20cm の高さからの転倒シミュレーションでボランティアに実際にヒッププロテクターを装着した時の衝撃力吸収を測定した。また、転倒時にヒッププロテクターが有効性を発揮する転倒様式、つまり転倒時の股関節および膝関節の位置関係を調べた。

## B. 研究方法

### 1. 転倒予測チャートの有効性に関する研究

昨年度の本研究において高齢者包括医療病棟入院した患者 298 名（男性 109 名、女性 189 名）で有効性の検討を行った転倒の予測チャートを改訂し（表 1）、老人保健施設でも転倒の予測に有効であるか検討した。この転倒予測チャートでは、過去の転倒歴、転倒による骨折または外傷の有無、活動レベル、排尿のコントロール、移乗動作能力、問題解決能力からなる。得点は、0 から 35 点までに分布する。平成 13 年 1 月 1 日から平成 13 年 9 月 31 日までに老人保健施設に入所した高齢者 113 名（男性 29 名、女性 84 名）に対しては、prospective study を行い、転倒予測チャートの有効性について検討した。

### 2. 転倒シミュレーションに関する研究

昨年度の本研究においてヒッププロテクターの有効性を確認するための予備実験として、健常ボランティアをリフトにてマット上 30、20、10cm の高さに位置し、この高さから自由落下させることにより転倒のシミュレーションの安全性を確認した。全接触面における荷重値は、10cm では 114.9N、20cm では 129.0N、30cm では 163.3N であり、このシミュレーションで安全に転倒のシミュレーションができることが判明した。本年度は、安全性が確認された 20cm の高さからの転倒シミュレーションで実際にヒッププロテクターを装着した時の衝撃力吸収を測定した。健常男性（30

歳）をリフトにて、両足部はマットに接地した状態で厚さ 15cm のマット上に 20cm の高さにつり上げ、リフトと体幹ベルトを接続するプラスチックテープをカッターで切断することにより自由落下させ、転倒のシミュレーションを行った。転倒時の衝撃力は、ニッタ社製圧力計測システムを用いた。転倒時の股関節および膝関節の位置は、磁気式三次元動作解析システムを用いて測定した。またティアック社製ひずみゲージ式圧力センサーを被験者に装着したヒッププロテクターの外側と内側に固定して、転倒時に大転子に加わる衝撃力を測定した。転倒時にヒッププロテクターが有効性を発揮する転倒様式、つまり転倒時の股関節および膝関節の位置関係を調べた。

倫理面での配慮として、1) 国立療養所中部病院倫理委員会において認定された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った。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

### 1. 転倒予測チャート

調査対象は、老人保健施設に入所した 113 名（男性 29 名、女性 84 名）である。平均年齢は、 $82 \pm 7$  歳であった。入所中に転倒を経験した高齢者は 24 名（男性 8 名、女性 16 名）であった。転倒の予測を 19 点以上とした時、19 点以上で転倒した者は、20 名、転倒しなかった者は 26 名、19 点未満で転倒した者は 4 名、転倒しなかった者は 63 名であった。この転倒予測チャートの

sensitivity は 83.3%、specificity は 70.8%、陽性反応適中度は 43.5%、陰性反応適中度は 94%であった(表 2)。転倒の予測を 20 点以上とした時、20 点以上で転倒した者は、19 名、転倒しなかった者は 22 名、20 点未満で転倒した者は 5 名、転倒しなかった者は 68 名であった。この転倒予測チャートの sensitivity は 79.2%、specificity は 75.6%、陽性反応適中度は 46.3%、陰性反応適中度は 93.2%であった。次に転倒予測チャートによる得点を 21 点で分けた場合、21 点以上で転倒した者は、18 名、転倒しなかった者は 19 名、21 点未満で転倒した者は 6 名、転倒しなかった者は 70 名であった。転倒の予測を 21 点以上とした時、この転倒予測チャートの sensitivity は 75.0%、specificity は 78.7%、陽性反応適中度は 48.6%、陰性反応適中度は 92.1%であった。

## 2. 転倒シミュレーション

健常ボランティアをリフトにてマット上 20cm の高さに位置し、この高さから自由落下させ、ヒッププロテクターの内側と外側での衝撃力および衝撃力の圧分布を測定した。また同時に転倒時の股関節および膝関節の位置関係とヒッププロテクターに加わる衝撃力との関係を調べた。

後方転倒は、床に対して下肢の肢位は変化させても体幹は床に対し回旋させないで、臀部から落下させることによってシミュレーションした。図1は、膝伸展0度、股関節屈曲102.3度、7.6外転位での後方転倒、図2は、膝屈曲46.3度、股関節屈曲86.4度、外転26.3度、外旋2.3度での後方転倒、図3は、膝屈曲83.6度、股関節屈曲67.4度、外転19.2度、外旋24.1度での後方転倒、図4は、膝屈曲118度、股関節屈曲81.1度、外転40.3度、外旋28度での後方転倒時におけるヒッププロテクターの内側と外側での衝撃力および衝撃力の圧分布で

ある。後方転倒のシミュレーションの場合、膝伸展位で股関節内外旋中間位の場合、ほとんどヒッププロテクターには衝撃荷重はかからなかった。股関節を外転、外旋を増していくとヒッププロテクターの下部に荷重がみられたが、ヒッププロテクターの内側の大転子部には衝撃荷重はかからなかった。後方転倒では、股関節を屈曲させ、外旋位でヒッププロテクターが有効に働くことが示された。

後側方転倒のシミュレーションは、体幹を床に対して側臥位の状態で落下させて試験した。図5は、膝屈曲6.2度、股関節屈曲83.3度、体幹23.5度回旋位での後側方転倒、図6は、膝屈曲36度、股関節屈曲97.9度、体幹97.9度回旋位での後側方転倒時のヒッププロテクターの内側と外側での衝撃力および衝撃力の圧分布である。後側方転倒の場合、ヒッププロテクターの外側では、ほとんどヒッププロテクター全面に衝撃荷重がみられますが、ヒッププロテクターの内側では、大転子部分にはほとんど荷重はなく、周辺部分に衝撃力が集中していた。後方転倒よりも、後側方転倒で、ヒッププロテクターが有効に働くことが示された。

## D. 考察

病院で簡単に評価できるように作成した転倒予測チャートを老人保健施設でも有効か調査した。この転倒チャートは、項目数も少なく、入院時に数分で評価できかつ医者、看護婦など医療スタッフだけでなく、介護福祉士などケアスタッフでも評価可能なものである。しかしながら、この予測チャートでは、転倒の危険は 19 点以上の場合、注意が必要と考えられた。そしてこのチャートで転倒のリスクが高いと評価された高齢者には積極的にヒッププロテクターの着用を進める必要があると考えられる。このようにヒッププロテクター

の適応のある高齢者をスクリーニングすることは、コストの面からも非常に重要なことであると考えられる。

健康ボランティアをリフトにてマット上 20cm の高さに位置し、この高さから自由落下させ、ヒッププロテクターの内側と外側での衝撃力および衝撃力の圧分布を測定した。また同時に転倒時の股関節および膝関節の位置関係とヒッププロテクターに加わる衝撃力との関係を調べた。後方転倒のシミュレーションの場合、膝伸展位で股関節内外旋中間位の場合、ほとんどヒッププロテクターには衝撃荷重はかからなかった。股関節を外転、外旋を増していくとヒッププロテクターの下部に荷重がみられたが、ヒッププロテクターの内側の大腿子部には衝撃荷重はかからなかった。後方転倒では、股関節を屈曲させ、外旋位でヒッププロテクターが有効に働くことが示された。後側方転倒の場合、ヒッププロテクターの外側では、ほとんどヒッププロテクター全面に衝撃荷重がみられますが、ヒッププロテクターの内側では、大腿子部分にはほとんど荷重はなく、周辺部分に衝撃力が集中していた。後方転倒よりも、後側方転倒で、ヒッププロテクターが有効に働くことが示された。

#### E. 結論

ヒッププロテクターの適応基準を決める目的で、病院で簡単に評価できるように作成した転倒予測チャートを老人保健施設でも有効か調査した。老人保健施設に入所した 113 名（男性 29 名、女性 84 名）で前向き調査を行った、その結果この転倒予測チャートで 19 点以上であれば、入院中に転倒の可能性があり、ヒッププロテクターの適応があることが判明した。

今年度の転倒シミュレーションでは、後方転倒と後側方転倒時のヒッププロテクターの有効性を

検討した結果、

#### F. 健康危険情報

本年度の研究では、健康危険情報は特に認められなかった。

#### G. 研究発表

##### 1. 論文発表

- 1) 長屋政博 高齢者の外来診療 2 リハビリテーション Geriat Med 39(11): 1757-1764, 2001.
- 2) 重松良祐、長屋政博、他. 高齢者の身体活動保持法の進歩 Geriat Med 40(1): 33-37, 2002.
- 3) Sumi Y, Nakamura Y, Nagaosa S, Michiwaki Y, Nagaya M. Attitude to oral care among caregivers in japanese nursing home. Gerontology 18:2-6, 2001
- 4) Nagaya M, et al. Reaction time in the submental muscles of normal elderly people. J Am Geriatr Soc. 2002. in press.
- 5) 長屋政博、原田敦. 廃用に増す易転倒性 Geriat Med 40(1): 33-37, 2002.

##### 2. 学会発表

- 1) Nagaya M, et al. Effect of occupational therapy in demented patients. 2ed German-Japanese Workshop "Nonpharmacological treatment of dementia. 2001. Frankfurt.
- 2) 荒川幸子、長屋政博 他：転倒予防教室の長期的効果、第 56 回国立病院国立療養所総合医学会、仙台、2001.11.8

H. 知的財産権の出願・登録状況  
該当なし

表1 転倒予測チャート改訂版

生年月日 年 月 日 ( 歳)

入所年月日平成 年 月 日 退所日平成 年 月 日

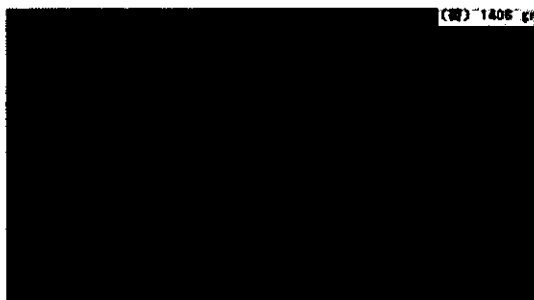
名前

転倒回数 0回 1回 2回以上 ( 回)

	1	2	3	4	5
過去1年の転倒歴	無		1回		2回以上
転倒による外傷	無		打撲・挫傷		骨折あり
活動レベル (平地歩行能力)	歩行自立	日常的には、ベッド臥床車椅子で移動	ふらつきあるが、一人で歩行可能。杖・歩行器などを使わない。	歩行に介助を要する	杖・歩行器の使用して歩行している
排尿コントロール	失禁・失敗なし		時々失敗		毎回・毎夜失敗あり
睡眠薬・抗精神薬の内服	なし		あり		
トランスファー能力	自立	日常的には移乗していない。二人の介助が必要である。	中等度以上の介助。一人での引き上げで移乗させる。	監視もしくは一部介助を要する。かるく引き上げる位の介助	ふらつきあるが手すりなどがあれば可能。一人でできるが、時間がかかる。
記憶・認知能力 問題解決能力	理解力もあり、特に問題なし。	危険な行動はとらないが、記憶・認知の障害あり。日常生活に問題はない。	危険な行動はとらないが、記憶・認知の障害あり。日常生活に問題あり。トイレ、更衣、洗面など指示・介助が必要。	指示内容の理解はできるが、時々危険な行動をとり、監視が必要	危険な行動をとる。車椅子から立ち上がろうとする。徘徊、夜間せん妄あり。指示がはいらない。

図1. 膝伸展0度、股関節屈曲102.3度、7.6外転位での後方転倒

ヒッププロテクターの外側



ヒッププロテクターの内側

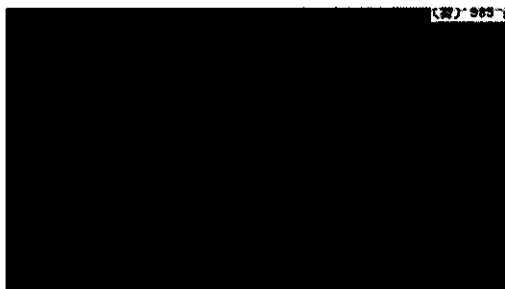
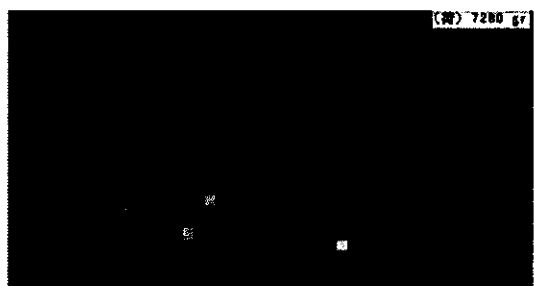


図2. 膝屈曲46.3度、股関節屈曲86.4度、外転26.3度、外旋2.3度での後方転倒

ヒッププロテクターの外側



ヒッププロテクターの内側

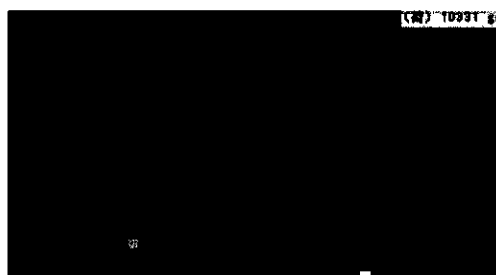
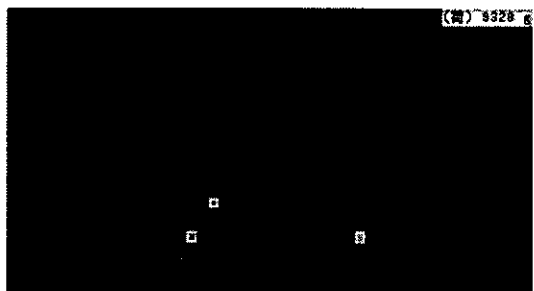
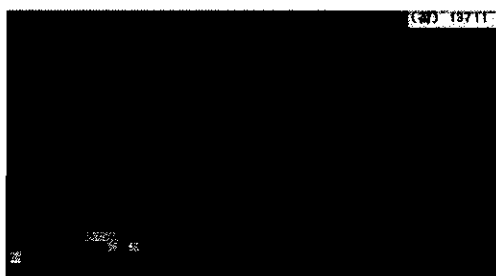


図3. 膝屈曲83.6度、股関節屈曲67.4度、外転19.2度、外旋24.1度での後方転倒

ヒッププロテクターの外側



ヒッププロテクターの内側







# 転倒外来における大腿骨頸部骨折予防プロテクター装着者と非装着者の追跡研究

鈴木隆雄（東京都老人総合研究所副所長）

転倒外来受診患者のなかで、大腿骨頸部骨折予防のためのプロテクター装着を勧めた転倒・骨折ハイリスク高齢者の特性を明らかにするとともに、プロテクター装着群（N=12）と非装着群（N=55）について1年間の転倒・骨折発生をエンドポイントとした追跡研究を行なった。装着群と非装着群の身体的特徴の比較については、装着群において、バランス能力（開眼および閉眼片足時間）、筋力（握力および下肢伸展力）、および歩行能力などが有意に劣っていた。両群における平均15.5ヶ月の追跡では転倒発生率や外傷の程度などに明らかな差異はみうけられなかった。しかし、装着群においてはプロテクターを装着することによってADLの拡大がはかられ、生活機能の向上につながった可能性の大きいことが考えられた。

## A. 研究目的

高齢社会の到来によって高齢者における転倒は確実に増加している。高齢期の転倒はさまざまな問題を内包している。その最大のものは転倒による外傷、なかでも骨折であることは明らかである。とくに高齢者における大腿骨頸部骨折は治療に長い期間を要し、安静臥床中に体力著しい低下をきたして寝たきりになる確率も決して低くはない。このような大腿骨頸部骨折受傷者の90%以上は転倒により骨折を引き起こしている。

さらに、転倒による外傷の有無に関係なく、転倒経験そのものがその後の本人の自信喪失や、歩行時の不安などを引き起こす。そのため、日常の活動性が低下したり活動範囲の制限を生じたりしやすくなり、いわば転倒後症候群（Post fall syndrome）が出現することも大きな問題である。

転倒は年齢が増すにつれ、その発生も増加する。これにともなって転倒による骨折の発生率もまた増加することが都市部高齢者の研究において確認されている<sup>1)</sup>。また、わが国における転倒による死亡者数を1989年、97年の定点調査でみると、この10年間で明らかに増加し、とくに60歳代から80歳代にかけて顕著な増加が報告されている。したがって、高齢者においては骨折予防はもとより転倒事故による死亡の予防においても、その第一歩が転倒予防であることは明らかである。

このような背景をもとに高齢期における具体的な転倒予防の重要性が広く認識されはじめ、ようやく本格的予防対策が取り組まれるようになってきた。その1つが、「転倒予防クリニック（外来）」あるいは「転倒予防教室」などの実施である。

東京都老人医療センターでは、平成11年

(1999年)5月から、骨粗鬆症外来の一部に転倒外来を設け、高齢者の転倒・骨折予防に取り組んでいる。転倒外来は週1回に限られているが、主として骨粗鬆症外来を受診した転倒経験を有するいわば転倒ハイリスク高齢者を対象としている。受診者の現症や投薬状況、既往症等のほか、認知機能(MMSEによる)、そして転倒に関する詳細な聞き取りの後、約1時間におよぶさまざまな身体的検査を行なっている。なかでも、歩行能力は近い将来の複数回転倒の強い予知因子であることから、重きをおいた測定項目になっている。このような検査の後、再度の転倒の恐れの高い者については、比較的体力のある高齢者で希望のある者に対してはストレッチを含む筋力トレーニングを主体とする転倒予防教室に参加を勧める一方、より虚弱性の高い転倒ハイリスク高齢者に対しては、あるいは十分な説明と同意を得たうえで骨折予防効果の大きい大腿骨頸部骨折予防プロテクターを装着させ、その後のフォローアップを行なっている。

本研究では、外来におけるプロテクター要装着者についての特性を明らかにするとともに、プロテクター装着者と非装着者での転倒や骨折をエンドポイントとした約1ヵ年年間の追跡研究を行なった。

## B. 研究方法

対象者は本分担研究者が担当する東京都老人医療センター転倒外来(毎週火曜日午後のみ開設)において、平成11年6月より平成13年3月までの受診者のなかで、大腿骨頸部骨折予防装具(以下プロテクターと略す)を装着した高齢者12名と非装着者55名の合計67名である。

尚、外来受診者のなかで、プロテクター装着者は全体的な虚弱性や歩行時のふらつき感あるいは易転倒性スクリーニングによる総合的な結果で判断した。

## C. 研究結果

平成11年6月より平成13年3月末までの21ヶ月間に転倒外来を受診した者は91名であった。これらのうち重度痴呆高齢者、車椅子依存生活者、入院患者および男性患者を除く67名の女性高齢者が対象となっている。この対象者のなかで虚弱が強かつまた転倒ハイリスクの高い者12名には説明と同意を行なったうえで硬質ヒッププロテクター(セーフヒップ<sup>®</sup>)を装着してもらった。残り55名については東京都老人総合研究所の開設する転倒予防教室に入室し、筋力やバランス能力の向上を目的とする介入プログラムに参加してもらった。このような大腿骨頸部骨折予防プロテクター装着者(12名)と非装着者(55名)について転倒あるいは転倒による骨折をエンドポイントとして平成13年12月まで平均15.5ヶ月の追跡調査を行なった。以下に結果を述べる。

### 1) プロテクター装着群と非装着群の身体的特徴の比較

プロテクター装着群(12名)と非装着群(55名)の両群における身体的特徴(身長、体重)および運動能力(開眼および閉眼片足立ち時間、手伸ばし試験、Up & Goテスト、タンDEM歩行、握力および下肢伸展力)での比較を行なった(表1)。身体能力の低い者に対してプロテクターを装着していることからプロテクター装着群では(当然)多くの運動能力の項目において有意に劣っていた。特に転倒に直結する身体能力である筋力、バランス能力におよび総合的能力としての歩行機能のいずれも有意に劣っている。

## 2) 追跡期間中での転倒発生 (表 2)

プロテクター装着群と非装着群の平均 15.5 ヶ月間の追跡期間中に脱落者は発生しておらず、全員追跡可能であった。また追跡中に発生した転倒は装着群 3 件、非装着群で 9 件でそれぞれ 25%と 16.4%であった。大部分は 1 回のみでの転倒であった。また転倒による受傷状況は軽度の打撲が 4 例であり、非装着群には下腿外顆の亀裂骨折が 1 例認められた。両群間に転倒発生についての有意な差は認められなかった。

## D. 考察

我が国では高齢者を対象とした転倒事故予防のための専門外来「転倒外来」は東京都老人医療センターが唯一のものであり、また広く衆知されているとはいいがたいのが現状である。しかし、転倒外来受診者の多くは転倒、外傷、骨折などの既往者であり、転倒後症候群による ADL の低下や強度の転倒不安感を訴える者は少なくない。

さらに、身体的運動能力は低下しており、易転倒性を測定することすら不可能な者も少なくない。このような身体虚弱性が強く、転倒経験のある、あるいは転倒ハイリスク者には現在のところ、プロテクター装着が唯一の大腿骨頸部骨折予防に有用と考えられている。今年度は、転倒外来者のうちプロテクター装着者の特性を明らかにし、対象者の追跡により、プロテクター装着者での転倒・骨折発症についての調査を行なった。その結果、プロテクター装着者は（当然のことながら）身体能力、特に運動能力は劣っていることが確認された。またプロスペクティブな追跡調査から装着群と非装着群との間での転倒発生率や受傷状況などに大きな差異は認められなかった。しかし、我々の行なった心理的側面からの分析からプロテクター装着者では、転倒や

骨折に対する安心感が得られた者が多く、少なくともプロテクターを着用することによって ADL の拡大がはかられ生活機能の向上につながった可能性の大きいことが考えられた（金、鈴木他；日老医誌，2001）。今後さらに症例数を増やして分析するとともに、地域在宅高齢者ではプロテクター装置のみならず、根気強い身体機能の向上がやはり不可欠であり、転倒そのものを減少させる取り組みを具体化するプログラムの作成が必要である。

## E. 結論

転倒外来患者のなかで、プロテクター装着を第一選択とされる方々は、元来腰痛症やパーキンソン氏病などの合併症や骨折既往者が多く、また身体機能、特に運動能力の低下した者がほとんどである。

しかし、今回の追跡研究から非装着群に比し転倒発生率や受傷程度などに大きな差を認めなかった。一方、プロテクター装着率は良好であり、装着後の転倒恐怖感は減弱し、かわって安心感が増加するとともに、ADL の拡大が推定された。このことから、転倒ハイリスク状態にある虚弱高齢者では積極的にプロテクターを推奨し、ADL の改善につなげると同時に転倒予防に一段と取り組む必要がある。

## F. 健康危険情報

該当なし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

1. Suzuki T : Significance of the prevention of falls in osteoporosis. In; Sato K (ed.); Basic and Clinical

- Aspects of Osteoporosis, PP10-18, Life Science Pub. Tokyo, Japan, 2001
2. 鈴木隆雄：高齢者の転倒防止対策に何が有効か—転倒予防外来を実施して—。Osteoporosis Japan, 9 : 42-46, 2001
  3. 鈴木隆雄：転倒予防外来の取り組み。整形外科看護, 6 : 27-33, 2001
  4. 鈴木隆雄：高齢者の転倒事故。Clinical Rehabilitation, 10 (11) : 955-960, 2001
  5. 芳賀 博, 安村誠司, 鈴木隆雄他：農村における老人の活動的自立の維持とライフスタイルとの関連。民族衛生, 67 (2) : 68-76, 2001
  6. Ota, N., Nakajima, T., Nakazawa, I., Suzuki, T., Hosoi, T., Orimo, H. et al: A nucleotide variant in the promoter region of the interleukin-6 gene associated with decreased bone mineral density. Jpn Hum Genet, 46 : 267-272, 2001
  7. 湯川晴美, 鈴木隆雄, 吉田英世, 熊谷修, 岩間範子, 柴田博：都市部在住の健康高齢者におけるエネルギー充足率に及ぼす社会・心理・生活身体状態の影響。栄養学雑誌, 59 : 117-125, 2001
  8. Suzuki, T.: Risk factors for osteoporosis in Asia. J Bone Miner Metab, 19: 133-141, 2001
  9. 鈴木隆雄：地域高齢者の余命に規定要因—学際的縦断研究 TMIG-LISA から—。日老医誌, 38 : 338-340, 2001
  10. 新開省二, 渡辺修一郎, 熊谷修, 吉田祐子, 藤原義典, 吉田英世, 石崎達郎, 湯川晴美, 金 憲経, 鈴木隆雄, 天野秀紀, 柴田 博：地域高齢者における「準ねたきり」の発生率, 予後および危険因子。日本公衛誌, 48 : 741-752, 2001
  11. 金 憲経, 吉田英世, 鈴木隆雄他：高齢者の転倒関連恐怖感と身体機能について, 日本老年医誌, 38 : 805-811, 2001
2. 学会発表
1. Suzuki T.: Osteoporotic fractures and QOL in the community elderly in Japan, 17th International Cong. Gerontology, Vancouver, 1-6, July, 2001
- H. 知的財産権の出願・登録状況  
該当なし

表 1 Comparison of descriptive characteristics between HP group and Non-HP group (in 2001)

	HP group (n=12)	Non-HP group (n=55)	Prob.
Age (Years)	78.9 ± 4.3	74.2 ± 5.5	
Height (cm)	144.8 ± 6.5	149.1 ± 5.9	
Body weight (kg)	45.5 ± 7.6	48.9 ± 8.5	
One leg balance with eyes open (sec)	7.2 ± 14.4	25.3 ± 21.6	*
One leg balance with eyes closed (sec)	1.2 ± 2.5	4.3 ± 2.6	*
Functional reach (cm)	22.2 ± 4.6	30.9 ± 7.4	
Up & Go test (sec)	20.1 ± 5.3	12.0 ± 4.3	*
Tandem walking (step)	1.8 ± 2.0	7.8 ± 3.7	*
Grip strength (kg)	11.9 ± 4.2	19.6 ± 4.7	*
Leg extension (kg)	10.4 ± 6.1	18.8 ± 6.7	*

\* ; P<0.05

表 2 Fall occurrence during observed period

	HP group (n=12)	Non-HP group (n=55)
Person (%)	3 (25%)	9 (16.4%)
Number of fall	1 (2 person) 2 (1 person)	1 (8 person) 2 (1 person)
Result of fall	Light bruise ×1 No fracture	Light bruise ×3 Fracture (crus) ×1

## 個別最適ヒッププロテクタ開発のための生体力学的検討

分担研究者 田中 英一 名古屋大学大学院工学研究科教授

本研究は、高齢者の転倒による大腿骨頸部骨折の予防を目的とし、有効な骨折予防策として期待されているヒッププロテクターの効果を生体力学的に検討し、個別別に最適化されたプロテクター設計のための設計要件の確立を目指すものである。本年度は、大腿骨頸部骨折を生じるような転倒を模擬した動的有限要素解析を実施し、プロテクター設計のための指針を検討した。まず、従来開発してきた個別別大腿骨有限要素モデル構築プログラムを改良し、実際の転倒を模擬可能な動的有限要素解析に適したメッシュ分割をされた大腿骨有限要素モデルを構築した。さらに、大腿骨を覆う筋・脂肪組織、皮膚組織を模擬した有限要素モデルと、その他の人体各部要素の等価質量を持つ剛体要素モデルにより、高齢老人女性の全身モデルを構築した。これにより転倒シミュレーションを行い、個体の特徴および転倒条件と骨折発生の危険性との関連性を評価した。次に、このモデルに対し、典型的な形状のヒッププロテクターを取付け、プロテクターの材質と構造の違いによる衝撃緩和効果を検討した。

## A. 研究目的

高齢者に頻発する大腿骨頸部骨折は、患者の起立、歩行を不可能にし、寝たきりの原因となる。したがって、大腿骨頸部骨折は、我が国の高齢者医療・福祉における重要問題のひとつに位置づけられ、高齢者のQOL向上のためには、大腿骨頸部骨折の早急な予防法の確立が急務である。この骨折発生原因の約9割が転倒によることから、その予防には発生メカニズムの解明を始めとするバイオメカニクス的研究が必要である。

そのため分担研究者は、高齢者の転倒による大腿骨頸部骨折の予防を目的とし、有効な骨折予防策として期待されているヒッププロテクターの効果を生体力学的に検討し、個別別に最適化されたプロテクター設計のための設計要件の確立を目指し、研究を行ってきた。平成11年度には、大腿骨頸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頸部の個別別有限要素モデルを高精度かつ簡単に作成する手法を開発し、それを用いて2、3の予備的解析を実施した。さらに平成12年度には、転倒姿勢と骨形状および骨密度を連成させた系統的な解析を実施し、大腿骨の骨折型に及ぼす転倒姿勢、骨形状、骨粗鬆症による骨密度低下の影響を検討した。また大腿部周辺の軟組織の影響を評価するため、大腿部モデルを構築する有限要素モデリング手法を開発し、筋、脂肪、皮膚の剛性、厚さなどを考慮した解析を行った。さらに、型式、材質、厚さが異なる種々のヒッププロテクタ有限要素モデルを構築し、骨折発生に対する予防効果を検討して、高い骨折予防に繋が

ると考えられる個別別ヒッププロテクタ開発のための基礎的検討を行った。

これらの成果を受け、平成13年度は、大腿骨頸部骨折を生じるような転倒を模擬した動的有限要素解析を実施し、プロテクター設計のための指針を検討した。具体的には、この動的有限要素解析モデルに改良を加え、軟組織や骨折予防に効果的といわれるヒッププロテクタを模擬したパッドによる衝撃吸収効果、地面の材質の影響について検討した。

## B. 研究方法

解析モデルは、形状を簡略化した剛体要素と形状、材料特性を詳細にモデル化した大腿骨、大腿軟組織および軟組織に貼付いたパッドからなる人体モデルと地面モデルにより構成される。

大腿骨の有限要素モデルは著者らが開発した個別別モデリング手法に基づき、より動解析に適した要素分割に改良したものをを用いた。モデル形状は、高齢女性の大腿骨標本 ( $n=8, 75.8 \pm 10.6$  yrs) から計測した形状パラメータの平均値を用いて構築した。材料特性は、皮質骨、海綿骨とも等方線形弾性体とし、ポアソン比はLotzら<sup>(1)</sup>の値を用いた。ヤング率は、日本骨代謝学会の原発性骨粗鬆症診断基準に基づく、健常者の値に相当する<sup>(2)</sup>骨密度を持つ62歳男性の標本のCT値から推定した。すなわち、この男性大腿骨標本の骨密度分布からPeacockら<sup>(3)</sup>の観察結果を参考に女性大腿骨の骨密度分布を推定した上で、CT値 (HU: Hounsfield Unit) より、皮質骨のヤング率はSnyderら<sup>(4)</sup>の式、

$$E = 7.04 \times 10^5 \times (HU)$$

により求めた。ここでHUは皮質骨のCT値である。海綿骨はLotzら<sup>(1)</sup>の式を用いてCT値から算出したハイドロキシアパタイト相当量(QCT)から導出した。

$$E = 0.7 \times (QCT)^{1.2}$$

大腿軟組織は皮膚と筋・脂肪組織からなる。皮膚等方線形弾性体とし、シェル要素によりモデル化した。筋・脂肪組織はMaxwellモデルを用い粘弾性体とした。大腿部の筋-脂肪要素は等方性のMaxwellモデルで近似し、皮膚要素は等方線形弾性体で近似した。筋-脂肪要素の弾性係数を15MPa、ポアソン比を0.31とし、粘性係数については10MPa・sとした。質量密度は1g/cm<sup>3</sup>とした。皮膚要素の弾性係数は230MPa、質量密度は1g/cm<sup>3</sup>とし、厚さを0.5mmとした。骨頭関節軟骨要素は等方線形弾性体で近似し、弾性係数を50MPaポアソン比を0.3、質量密度は1g/cm<sup>3</sup>とした。寛骨臼要素は2層構造とし、内部に皮質骨と同じ材料特性を与え、外部を剛体とした。これは、転倒時に全身の体重を寛骨臼で受けたときに寛骨臼が変形を起こさないようにするためである。靭帯要素は等方線形弾性体で近似を行い、弾性係数を285MPa、ポアソン比を0.3、質量密度を1g/cm<sup>3</sup>とした。その他の全身要素は計算コストの削減のため剛体とし、各セグメントの質量中心に等価質量を与えた。地面モデルはコンクリートの材料定数を与えた。等方線形弾性体と仮定し、ヤング率を24500MPaポアソン比を0.2、質量密度を2.3g/cm<sup>3</sup>とした大腿軟組織の形状は、解剖資料などに基つき、大腿部、臀部の外形を楕円近似して構築した。

この基準モデルを基に、頸体角、前捻角、骨頭基部断面積をそれぞれ小さくしたモデル、頸部長を長くしたモデルを構築した。さらに、昨年度実施した骨折実験結果を詳細に検討したところ、頸部基部の断面形状がより円形に近づくと内側骨折の発生率が高くなる傾向がみられたので、これを考慮したモデルを構築した。頸体角、前捻角を小さくしたモデルでは、それぞれのパラメータを基準モデルに対し計測結果の標準偏差分だけ減じて与え、その他の形状パラメータは基準モデルと等しくした。頸部長を変化させたモデルは、基準モデルに対し標準偏差分だけ長い頸部長を与えた。また、骨頭基部断面積を減じたモデルでは、頸部断面積だけを基準モデルに対し90%に減じたモデルとした。最後に、頸部基部断面の形状を変化させたモデルは、頸部基部断面を近似する楕円の長軸の長さを基準モデルに対し、標準偏差分だけ減

小さくすることでより円形に近づけた。

骨粗鬆症を模擬したモデルは、基準大腿骨に対し、皮質骨厚さ、海綿骨のヤング率を75%に減じたモデル、皮質骨厚さ、海綿骨のヤング率を60%減じたモデルを構築した。これは日本骨代謝学会の原発性骨粗鬆症の診断基準を参考に構築した。日本骨代謝学会によると、若年成人女性平均値(YAM)の80%以上が健常者、70~80%が骨量減少、70%未満が骨粗鬆症であるとしており<sup>(27)</sup>、本研究も骨量減少モデル、骨粗鬆症モデルをこの診断基準に対応させる形で構築した。

また、パッドによる衝撃緩和効果を検討するために、市販のヒッププロテクターを参考に楕円形状のプロテクターモデルを構築した。パッドは等方線形弾性体とし、軟質プロテクタ(ポリエステル)、硬質プロテクタ(ポリプロピレン)を想定し、材料特性を定義した。また内部を中空または中実構造のもの、パッド厚さを変化させたものを構築した。

地面はコンクリートを模擬した等方線形弾性体としてモデル化した。

境界条件は以下のように設定した。まず大腿が大腿骨大転子側から接地するように人体モデルと地面を配置し、人体モデルを速度3.17m/sで地面モデルに衝突させた。衝突速度はKroonenbergら<sup>(6)</sup>の転倒実験を参考にした。地面が大腿部と接触する面の角度を変化させることで転倒方向の違いを表現した。大腿骨骨折を起こす危険性のある、側方転倒から後方転倒を模擬するべく、矢状面に平行に前額面に対して0°を側方転倒とし、前額面に対し0°から15°づつ90°まで地面の角度を変化させた。地面の大腿部に接しない面を応力無反射境界とし、その変位を固定することで無限に広がる地面を模擬した。

なお、この解析には Livermore Software Technology 社製有限要素解析プログラム LS-DYNA Version 950を用いた。

(参考文献)

- (1) Lotz, J. C., Cheal, E. J., and Hayes, W. C., Fracture Prediction for the Proximal Femur Using Finite Element Models: Part 1-Linear Analysis, J. Biomech. Eng., 113, (1991), pp. 353-360.
- (2) 折茂肇, 他, 原発性骨粗鬆症の診断基準, Osteoporosis Jpn., (1996), pp. 643-653.
- (3) Peacock, M. et al., Bone Mass and Structure at the Hip in Men and Women over the Age of 60 Years, Osteoporosis Int., Vol. 8, (1998), 231-239.
- (4) Snyder, S. M., Schneider, E., Estimation of Mechani-

### C. 研究結果

本研究では骨折危険性を、圧縮最大主応力を圧縮強さで除した値と、引張り主応力を引張り強さで除した値の2つの骨折危険度で評価した。具体的には式

$$\rho = 1.09 + (4.45 \times 10^{-4}) \times (HU)$$

によりCT値から皮質骨密度 $\rho$ を算出し、この値より、圧縮強さ $\sigma_c$ と引張強さ $\sigma_T$ を式

$$\sigma_c = 5.36 \times e^{2.917 \times \rho}$$

$$\sigma_T = 5.14 \times e^{1.761 \times \rho}$$

から求め、無次元化の基準値とした。なお、頸部基部下方、骨頭基部下方、転子部が引張り主応力の高くなる領域であり、頸部基部上方と骨頭基部上方が圧縮主応力の高くなる領域である。

基準モデルによる解析の結果、応力値の時刻歴変化は、どの部位においても接触後応力値は急激に上昇し、5.5ms後に極値を迎え、以後下降した。最小主応力は頸部基部上方部位、最大主応力は頸部基部下方部位で最大値を示した。また骨折危険度の分布は、骨頭基部上方で $0^\circ$ において最大となり、骨頭基部上方、頸部基部上方部位においては転倒方向が後方に移るにしたがって骨折危険度の値は小さくなる傾向があった。逆に、頸部基部下方、骨頭基部下方においては転倒方向が後方になるにしたがって骨折危険度は上昇したが、その差は小さかった。頸部基部と骨頭基部では転倒方向が骨折危険度に与える影響は類似の傾向を示したが、骨折危険度は骨頭基部の方が大きかった。

一方、形態の変化については、骨頭基部断面積が小さくなると骨折危険度が大きくなり、頸部基部断面積が円形に近づくと骨折の危険性が小さくなる傾向があること、その影響は骨頭基部において顕著にであることがわかった。

次に、骨粗鬆症が骨折危険度に与える影響はどの転倒方向、頸部のどの部位においても同様に現れ、骨密度低下によりあらゆる条件下で骨折の危険性が高まることわかったが、特に内側骨折の危険が高まることわかった。

プロテクターを装着することにより、転倒による衝撃緩和効果が顕著であることが示された。さらにパッドの構造、材質による衝撃緩和効果の違いを詳細に検討した結果、中実構造より中空構造プロテクターの方が衝撃緩和効果があることがわかった。また、中空プロテクターのドーム部を高くすると側方

転倒において骨折危険度を減少させる効果があることがわかった。材質の違いは構造の違いに比べ、影響が小さかった。

### D. 考察

基準モデルによる解析の結果から、骨折危険度は、骨頭基部上方、頸部基部上方部位においては転倒方向が側方転倒方向、頸部基部下方、骨頭基部下方においては後方転倒の方が骨折危険度が高くなる傾向があった。しかし頸部基部下方、骨頭基部下方における骨折危険度の変化は小さいこと、また頸部基部と骨頭基部を比較すると、骨折危険度は骨頭基部の方が大きいことから、側方転倒において特に内側骨折発生の危険性が高いと考えられる。

形態の違いによる影響を評価した結果から、頸部骨折を発生しやすい個体の形態的特徴を示すことが出来たので、今後臨床診断において応用が期待できる。

本解析結果では、大腿骨近位部で一様に骨粗鬆症が進行すると仮定したモデル化を行ったが、今後、局所的な骨粗鬆症進行による骨密度分布の差を考慮した検討が必要と考えられる。

また、本解析結果により効果的なプロテクター設計の指針が示されたので、今後のプロテクター開発に有用なデータとなったと考えられる。本解析では材質の影響を衝撃緩和効果の点からのみ論じたが、実際のプロテクター開発においては装着感、動作時の保持性、加工性等も考慮した設計が必要である。

### E. 結論

本研究は、大腿骨頸部骨折の骨折発生メカニズムの解明、予防を目的とした動的有限要素解析を行った。静的有限要素解析では表現しえない転倒時の衝撃力を考慮した動的有限要素解析を行うことで従来の静解析に比べ、より現実に近い境界条件を表現した。その結果、以下の結論を得た。

転倒方向が骨折危険度に及ぼす影響を検討した結果、特に側方転倒において特に内側骨折発生の危険性が高いことが示された。

骨頭基部断面積を小さくしたモデルが、他のモデルに比べ大きな骨折危険度を示した。また、頸部基部形状を円形に近づけたモデルは他のモデルに比べ、どの転倒方向、頸部部位においても骨折危険度が小さな値をとった。これらの結果は臨床診断の基礎的知見を与えるものである。

骨粗鬆症の影響を検討した結果、内側骨折の危険性を増加させる因子であることが分かった。



中実構造より中空構造プロテクタの方が衝撃緩和効果があることがわかった。また、中空プロテクターのドーム部を高くすると側方転倒において骨折危険度を減少させる効果があることがわかった。材質の違いは構造の違いに比べ、影響が小さかった。

H. 知的財産権の出願・登録状況  
該当なし

## F. 健康危険情報

側方転倒において特に内側骨折発生の危険性が高い可能性がある。

骨頭基部断面積が小さい人は骨折の危険性が高く、頸部基部形状が円形に近い人は骨折の危険性が小さい傾向がある。

骨粗鬆症が進行することにより、内側骨折の危険性が高まる。

中空構造プロテクターは衝撃緩和効果が高く、特にドーム部を高くすると側方転倒において保護効果が期待出来る。

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

1. E. Tanaka他5名, Mechanical Evaluation of Hip Fracture Using Finite Element Analyses, Mechanical Properties of Advanced Engineering Materials IMMM 2001 (2001), PP. 275-282.
1. 尾関重宣, 転倒時の衝撃力を考慮した大腿骨頸部骨折発生要因の力学的検討, 名古屋大学大学院工学研究科機械情報システム工学専攻平成13年度修士論文.

### 2. 学会発表

1. 田中英一他4名形態・骨密度の性差を考慮した大腿骨頸部骨折の力学的発生要因の検討, 日本機械学会講演論文集No. 013-2 (2001), pp. 164-165
2. S. Yamamoto 他3名, Evaluation of Mechanical and Morphological Factors on Hip Fracture, Switzerland - Japan Workshop New Directions in Cellular and Tissue Biomechanics (2001), pp. 117.
3. 田中英一他5名転倒を模擬したシミュレーションによる大腿骨頸部骨折の力学的検討, 日本機械学会講演論文集No. 01-27 (2001), pp. 23-24.
4. 水野雅士他8名, 大腿骨頸部骨折型の決定因子(第3報) - 骨密度及び骨密度分布, 荷重方向の関与についての検討 -, 第28回日本臨床バイオメカニクス学会予稿集, Vol. 2(8(2001), pp. 56.
5. 田中英一他5名, 動的有限要素解析による大腿骨頸部骨折の検討, 第51回理論応用力学講演会講演論文集(2001), pp.171-172.

## 研究成果の刊行に関する一覧表

### 書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書籍名	出版社名	出版地	出版年	ページ
Atsushi Harada	Mechanism of hip fracture and its prevention by a hip protector.	Sato K	Basic and Clinical Aspects of Osteoporosis	Life Science Pub	Tokyo	2001	19-24
Suzuki T	Significance of the prevention of falls in osteoporosis	Sato K	Basic and Clinical Aspects of Osteoporosis	Life Science Pub	Tokyo	2001	10-18

### 雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
A Harada, M Mizuno, M Takemura, H Tokuda, H Okuizumi, N Niino	Hip fracture prevention trial using hip protectors in Japanese nursing homes	Osteoporos Int	12	215-221	2001
M Takemura, A Harada, M Mizuno, Y Yamada.	Relationship between osteoprotegerin/osteoclastogenesis inhibitory factor concentration in synovial fluid and disease severity in individuals with osteoarthritis of the knee.	Metabolism	50	1-2	2001
Yoshiji Yamada, Akimitsu Miyauchi, Yasuyuki Takagi, Masashi Mizuno, Atsushi Harada	Association of the C-509→T polymorphism, alone or in combination with the T869→C polymorphism, of the transforming growth factor- $\beta$ 1 gene with bone mineral density and genetic susceptibility to osteoporosis in Japanese women.	J Mol Med	79	149-156	2001
Mitsuhiro Kamiya, Atsushi Harada, Masashi Mizuno, Hisashi Iwata, Yoshiji Yamada.	Association between a polymorphism of the transforming growth factor- $\beta$ 1 gene and genetic susceptibility to ossification of the posterior longitudinal ligament in Japanese patients.	Spine	26	1264-1266	2001
Atsushi Harada	Prevention of fractures caused by falls in elderly persons.	JMAJ	44	306-311	2001

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
原田敦	ヒッププロテクターによる骨折予防.	日本臨床増刊号骨粗鬆症-最新の成因研究と治療動向	60	605-612	2002
原田敦	大腿骨頸部骨折の発生メカニズムとヒッププロテクターによる予防.	Osteoporosis Japan	9	19-23	2001
原田敦	ヒッププロテクターを用いた介入の有効性.	EBNURSING	2	44-47	2001
山崎 薫	骨粗鬆症 Photodensitometry 法	日本臨床	60	186-190	2001
山崎 薫	超音波骨量測定機器の互換性に関する検討	Osteoporosis Japan	9	39-41	2001
山崎 薫	日本人骨塩量の基準値および cut-off 値	The Bone	13	233-237	2001
長屋政博	高齢者の外来診療 2 リハビリテーション	Geriat Med	39	1757-1764	2001
重松良祐、長屋政博	高齢者の身体活動保持法の進歩	Geriat Med	40	33-37	2002
Sumi Y, Nakamura Y, Nagaosa S, Michiwaki Y, Nagaya M.	Attitude to oral care among caregivers in japanese nursing home.	Gerontology	18	2-6	2001
Nagaya M, et al.	Reaction time in the submental muscles of normal elderly people.	J Am Geriatr Soc.		in press	2002
長屋政博、原田敦	廃用に増す易転倒性	Geriat Med	40	33-37	2002
鈴木隆雄	高齢者の転倒防止対策に何が有効か—転倒予防外来を実施して—	Osteoporosis Japan	9	42-46	2001
鈴木隆雄	転倒予防外来の取り組み	整形外科看護	6	27-33	2001
鈴木隆雄	高齢者の転倒事故	Clinical Rehabilitation	10	955-960	2001

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
芳賀 博, 安村誠司, 鈴木隆雄他	農村における老人の活動的自立の維持とライフスタイルとの関連	民族衛生	67	68-76	2001
Ota, N., Nakajima, T., Nakazawa, I., Suzuki, T., Hosoi, T., Orimo, H. et al	A nucleotide variant in the promoter region of the interleukin-6 gene associated with decreased bone mineral density	Jpn Hum Genet,	46	267-272	2001
湯川晴美, 鈴木隆雄, 吉田英世, 熊谷修, 岩間範子, 柴田博	都市部在住の健康高齢者におけるエネルギー充足率に及ぼす社会・心理・生活身体状態の影響	栄養学雑誌	59	117-125	2001
Suzuki, T	Risk factors for osteoporosis in Asia	J Bone Miner Metab	19	133-141	2001
鈴木隆雄	地域高齢者の余命の規定要因 - 学際的縦断研究 TMIG-LISA から -	日老医誌	38	338-340	2001
新開省二, 渡辺修一郎, 熊谷修, 吉田祐子, 藤原義典, 吉田英世, 石崎達郎, 湯川晴美, 金 憲経, 鈴木隆雄, 天野秀紀, 柴田 博	地域高齢者における「準ねたきり」の発生率, 予後および危険因子.	日本公衛誌	48	741-752	2001
金 憲経, 吉田英世, 鈴木隆雄他	高齢者の転倒関連恐怖感と身体機能について	日本老年医誌	38	805-811	2001
Eiichi Tanaka, Sota Yamamoto, Seiji Sakamoto, Takafumi Nakanishi, Atsushi Harada, Masashi Mizuno, Hiroyasu Okuizumi	Mechanical Evaluation of Hip Fracture Using Finite Element Analyses, Mechanical Properties of Advanced Engeneering Materials	IMMM		275-282	2001