

実践研究

## 高齢者疑似体験セットの有無による転倒時の 加速度パラメータに関する研究

Study on acceleration parameters of when falls with and without age simulation

廣田 音奏<sup>1)</sup> 内田 勇人<sup>1)</sup> 河鱒 一彦<sup>2)</sup>  
Okana Hirota<sup>1)</sup> Hayato Uchida<sup>1)</sup> Kazuhiko Kawabata<sup>2)</sup>

### Abstract

The purpose of this study was to clarify how the difference in experimental conditions depending on whether a young person wears an age simulation affects various parameters when falling. The subjects were healthy college students, each six males and females.

Falling experiments were conducted under two conditions, with and without age simulation. Measurements were made of acceleration in brain and hip during falls. The combined acceleration (G) and impact force (N) obtained in the experiments were analyzed to examine various parameters during falls.

For maximum combined acceleration in brain, this phenomenon was significantly higher in the age simulation group than in the non-simulation group for males ( $p < 0.05$ ). Regarding impact force, this phenomenon was significantly greater in the age simulation group than in the non-age simulation group for males ( $p < 0.05$ ). It was revealed that the university students who were the subject of the experiment in this study did not receive the impact force that is the threshold for proximal femoral fracture even if they wore the age simulation.

キーワード：転倒実験，合成加速度，若年者，衝撃力

fall experiments, combined acceleration, young people, impact force

### 1. 緒言

我が国の全人口に対する65歳以上の高齢者の割合は2007年に21%を越え、現代の日本は超高齢社会と定義づけられている。令和元年度版高齢社会白書(2019)によると総人口に占める65歳以上の割合は28%を越えており、世界

のOECD(経済協力開発機構)諸国の中でも群を抜いている(OECD, 2022)。また高齢者のQuality of life(以下、QOLと記す)を維持するためにも転倒を予防することは重要である。東京消防庁によると、令和元年中の東京消防庁管内における「65歳以上の転ぶ事故によ

1) 兵庫県立大学大学院環境人間学研究科

*Graduate School of Human Science and Environment, University of Hyogo*

2) 関西学院大学人間福祉学部

*School of Human Welfare Studies, Kwansai Gakuin University*

る年別緊急搬送人員」のデータでは、高齢者の転ぶ事故は年々増加している。さらに、高齢者の日常における事故のうち約8割が「転ぶ事故によるもの」と報告されている。高齢化率が今後も上昇することが見込まれており、高齢者の転倒事故は増えることが予想される。高齢者の転倒による重篤な外傷の例に頭部外傷と大腿骨頸部骨折がある。頭部外傷に関する研究では事例報告が多く（小野ほか、2013；横堀ほか、2013）、65歳以上の高齢者の頭部外傷の受傷原因として交通事故の割合が減少し、転倒・転落の割合が増加したと報告されている（小野ほか、2015）。大腿骨頸部骨折に関する研究において、Nankaku et al. (2005) は、転倒方向に関する股関節骨折リスク評価をし、転倒時の股関節への衝撃力に影響を与える因子を解明するために、側方、後外側および後方方向へ転倒実験を行い、その際の大転子部にかかる衝撃力を測定した。その結果、衝撃力は2000 N から4000 N だった。さらに、後外側への転倒が股関節骨折のリスクが最も高いことを明らかにした。Okuizumi et al. (1998) は平均年齢72.8歳の屍体から摘出された大腿骨を使い衝撃負荷の実験を行った。その結果、大腿骨が骨折した際の衝撃の平均は2166Nであったことを明らかにした。

転倒時の加速度に注目した研究では、Maarit et al. (2008) は腰、手首および頭に三軸加速度計を取り付けた被験者に転倒実験を行い、その際の転倒検知機アルゴリズムを評価した結果、腰部に取り付けた加速度計は、転倒検出に最適であることを明らかにした。丸茂ほか(1997)は、20歳代から60歳代における転倒時の加速度を計測した実験を行い、20歳代と60歳代に転倒時の加速度値の差はないことを明らかにした。

Nankaku et al. (2005) は、ヒトを対象にして転倒実験を行っているが、多くの研究はOkuizumi et al. (1998) のように屍体から摘出された骨や、山本ほか(2006)のように転倒シミュレーションモデルなどを作成し、股関節や大腿骨部有限要素モデルを組み込んだシミュレーション有限要素複合モデルを使用した転倒実

験がほとんどである。転倒時の頭部に関わる各パラメータの研究も同じようにロボットを用いて行う実験が多い。ヒトを対象にした転倒実験の研究は少なく、転倒の衝撃負荷に関して、未だ不明な点が多いのが現状である。さらに、高齢者を対象にした転倒に関わるパラメータを得ることは難しく、怪我の危険性など倫理的な問題も発生する。このように高齢者の実測値を得ることは難しいことがわかる。ヒトが対象の高齢者に関する実験を行う際には、健全な若年者や成人が高齢者を模す高齢者疑似体験セット（以下、「高齢者セット」と記す。）を装着することで高齢者の生体をモデル化する方法が考えられる。

高齢者セットを使用した研究は、栗原ほか(2004)のように医療系の学生を対象とした体験学習の一つとしてその学習の効果や高齢者に対するイメージの変化を比較し報告している研究が多い。高齢者セットの装着時と通常時における身体の比較等を行っている研究では、杖使用時の重心動揺や歩行時にどのような影響を与えるかなどの研究がされている（平野ほか、2009；奥ほか、2009；小林ほか、2002）。いずれにおいても、高齢者セット装着により高齢者の立位・歩行等が体験できると報告されている。

そこで我々は、高齢者セットを装着することで転倒時に高齢者が受けるであろうと予測できる様々なパラメータを近似的に明らかにすることができるのではないかと考えた。本研究の目的は若年者が高齢者セット装着の有無による実験条件の差が、転倒時の各種パラメータにどのような影響を与えるかを明らかにすることである。

## 2. 研究1

本研究は若年者による高齢者セット装着の有無が、頭部と腰部の最大合成加速度、衝撃力にどのような影響を与えるのかを明らかにするために実験を行う。研究1では、転倒によりどのくらいの加速度が得られ、高齢者の身体各部分質量を掛け合わせることで衝撃力はどの程度なのか。また、外傷の危険性がないかを把握する

ために加速度計をコンクリートに垂直落下させる実験を行った。

## 2-1 方法

加速度計（スポーツセンシング社製 DSP ワイヤレス 9 軸モーションセンサ）をコンクリートの地面より 50cm の高さから垂直に落下させた。試技は 5 回行った。

## 2-2 加速度の測定

加速度測定時の周波数は 1000 Hz とした。そして、測定の実験範囲内の合成加速度 (G) を、式 A を用いて算出し、式 B より衝撃力 (N) を算出した。なお、式 B で用いる頭部、腰部の質量は、松井 (1958) の身体各部の質量比を参考にした。その際に用いた体重は厚生労働省 (2019) による 60 - 69 歳の日本人平均体重で求めた。質量を求めた結果、男性頭部 2.9 kg、男性腰部 32.1 kg、女性頭部 2.0 kg、女性腰部 26.8 kg であった。

式 A

$$\text{合成加速度 (G)} = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$$

( $a_x$ : X軸の加速度,  $a_y$ : Y軸の加速度,  
 $a_z$ : Z軸の加速度)

式 B

$$\text{衝撃力 (N)} = \text{身体各部分質量 (kg)} \times \text{最大合成加速度 (G)}$$

## 2-3 結果と考察

平均合成加速度は、 $60.2 \pm 19.2$  G であった。男性の平均衝撃力は  $1933.7 \pm 615.0$  N、女性の平均衝撃力は  $1614.4 \pm 513.5$  N であった。Courtney, A C. et al. (1995) よると、大腿骨近位部骨折の閾値となる衝撃力は若年者の場合 7200 N であるとされている。研究 1 の結果は骨折の閾値となる 7200 N よりもかなり低い値であった。また、研究 1 のサーフェイスはコンクリートであったが、ヒトを対象に転倒実験を行う研究 2 ではサーフェイスには厚さ 4 cm のマットを敷いた実験環境で行う。そのため直接

コンクリートに加速度計を落下させた研究 1 よりもマットが緩衝材の役割をする研究 2 のの方が低い衝撃力を得ると予測した。そのため本実験ではヒトを対象に転倒実験を行えると判断した。

## 3. 研究 2

### 3-1 被験者

被験者は、健康な男子大学生 6 名 ( $21.3 \pm 0.9$  歳: 平均年齢  $\pm$  SD, 以下略, 身長:  $171.7 \pm 5$  cm, 体重:  $74.5 \pm 15.7$  kg, 頭部質量:  $3.3 \pm 0.7$  kg, 腰部質量:  $35.7 \pm 7.5$  kg) と女子大学生 6 名 (年齢:  $21.2 \pm 0.9$  歳, 身長:  $158.4 \pm 4.4$  cm, 体重:  $53.7 \pm 3.0$  kg, 頭部質量:  $2.0 \pm 0.1$  kg, 腰部質量:  $26.2 \pm 1.5$  kg) であった。なお被験者には、ヘルシンキ宣言に則り、事前に実験に関する説明を書面と口頭にて十分に行った後に、書面による参加の同意を得て実施した。

### 3-2 条件

転倒実験は、株式会社ヤガミ製の高齢者セット<sup>注1)</sup>を装着した状態 (図 1) で 3 試技と、装着していない状態 (図 2) で、3 試技行った。なお、装着したのは「背曲げエプロン」と「ひざサポーター」であった。高齢者セットの有無で測定を行ったのは、転倒時の加速度であった。転倒動作は、上岡ほか (1998) を参考に、転倒による重篤な外傷の 1 つとされる大腿骨頸部骨折を想定し、静止立位から前側方方向へ転倒させた。転倒動作の流れとして、右足つま先を障害物 (毛布) に引っかけて、前方向へ右膝、右腰、右腕と順に地面に自発的な転倒をするように指示した (図 3)。各機器は、験者が実験開始と共に開始ボタンを押した。被験者には、あらかじめ験者の指導の下、3 ~ 5 回程度の練習をさせてから測定を行った。



図1 高齢者セット装着：有

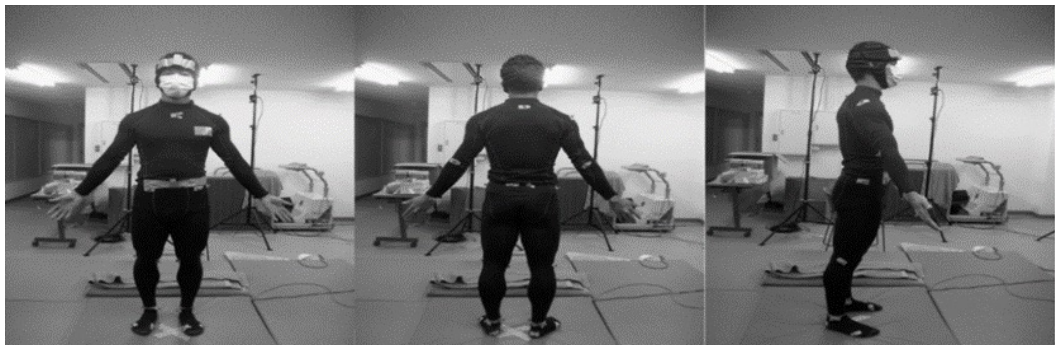


図2 高齢者セット装着：無

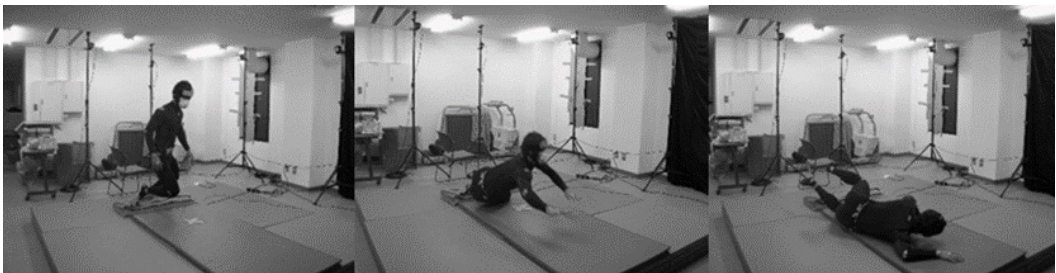


図3 転倒実験の様子

### 3-3 加速度の測定

被験者の頭部、腰部に加速度計を取り付けた。周波数は1000 Hzとした。測定範囲内の合成加速度 (G) と衝撃力 (N) の算出方法は、2-2の方法を用いて算出した。なお、式Bで用いた質量は各被験者の身体部分質量であった。

### 3-4 ビデオカメラおよび分析範囲

実験には、ビデオカメラ (株式会社 JVC ケンウッド製) を1台設置し、実験の動作を撮影

した (120 fps)。ビデオカメラの映像により、被験者が静止状態から動き始めたのを目視で確認し、転倒開始と定義した。また、転倒開始して床に手が完全についてから1秒後を転倒終了と定義した。転倒開始から転倒終了までを本研究の分析範囲とした。

### 3-5 統計処理

統計解析には、差の検定に対応のある t 検定を用いて行い、分析に使用したアプリケーション



ンは IBM 社製 SPSS 統計ソフトウェアバージョン 26 であった。統計上の有意水準は 5% 以下とした。

### 3-6 結果

高齢者セットの有無による、最大合成加速度と衝撃力の結果を表 1 に示した。最大合成加速度では、男性高齢者セット有の頭部が  $14.2 \pm 4.9$  G、セット無の頭部が  $7.1 \pm 1.5$  G でセット有の方が有意に大きかった ( $p < 0.05$ ,  $\eta^2 = 0.73$ )。頭部の最大合成加速度はマットに頭を打った瞬間に生じていた。女性の高齢者セットの有無による頭部の最大合成加速度に差は見られなかつ

た。女性の頭部最大合成加速度はマットに頭を打った瞬間と転倒の勢いを止める動作時に生じていた。男性、女性ともに腰部の高齢者セットの有無による最大合成加速度の差は見られなかった。

衝撃力では、男性高齢者セット有の頭部が  $43.8 \pm 12.7$  N、セット無の頭部が  $23.2 \pm 7.5$  N でセット有の方が有意に大きかった ( $p < 0.05$ ,  $\eta^2 = 0.73$ )。男性の腰部、女性の頭部と腰部には高齢者セットの有無による衝撃力の差は見られなかった。

表 1 高齢者セットの有無による転倒の合成加速度と衝撃力

	males (N=6)			females (N=6)		
	AS	NS	p	AS	NS	p
maximum combined acceleration (G)						
brain	14.2±4.9	7.1±1.5	p<0.05	10.3±9.1	17.0±9.3	n.s.
waist	11.1±2.9	9.8±4.8	n.s.	13.8±10.0	11.7±6.4	n.s.
impact force (N)						
brain	43.8±12.7	23.2±7.5	p<0.05	20.6±17.9	33.8±18.6	n.s.
waist	398.8±132.6	349.0±182.0	n.s.	349.2±227.8	298.7±145.9	n.s.

n.s. ; not significant

AS ; age simulation

NS ; non-simulation

### 3-7. 考察

本研究の目的は若年者が高齢者セット装着の有無による実験条件の差が、転倒時の各種パラメータにどのような影響を与えるかを明らかにすることであった。

その結果、高齢者セットの有無により有意差が認められたのは男性の場合、最大合成加速度、衝撃力ともに、頭部のみであった。一方、女性では最大合成加速度、衝撃力ともに高齢者セットの有無による頭部、腰部に有意差は認められなかった。頭部の最大合成加速度と衝撃力では、男性のみ高齢者セット装着時の方が有意に大きい値が認められたことから、男性が高齢者セットを装着した場合、頭部にかかる外力の影響は大きいことが明らかになった。実際の高齢者の頭部外傷は若年者と違い、生理学的特徴から特異的な病態を示す。加齢的な脳委縮により高齢者の頭部に外力が加わると、頭蓋内で脳が大き

く移動し脳挫傷が発生しやすい。さらに、転倒などの軽微な外傷によっても頭蓋内出血や硬膜下血腫が起こりやすい (前田ほか, 2018)。このように、高齢者の場合は軽微な転倒であっても頭部外傷を引き起こす可能性は若年者よりもはるかに高い。本研究で明らかになった高齢者セット装着時の頭部の最大合成加速度と衝撃力を実際の高齢者が受けると、頭部外傷の危険性もあることが示唆された。一方、女性では最大合成加速度、衝撃力ともに頭部、腰部に有意差は認められなかった。男性の頭部では最大合成加速度と衝撃力に有意差が見られたのに、女性の頭部では見られなかったことに関して、男女間で一定の転倒動作が出来なかったことが考えられる。転倒動作は「前方向へ右膝、右腰、右腕と順に面に自発的な転倒をするように指示した。」としたが、頭部の地面への接地の仕方までは指示はしていなかった。そのため男女間で

頭部の地面接地の仕方に違いがあり、直接地面へ頭部を打っていた男性で有意差が見られたことが考えられる。さらに、女性は転倒動作開始から右膝、右腰、右腕と順に衝撃を吸収、分散させていたことが頭部と腰部の最大合成加速度、衝撃力に影響を与え、有意差が見られなかったと考えられる。この動作開始から動作終了までの動作完了時間を長くする動作は、柔道で投げられた際に受け身をとり衝撃を吸収することと同じ方法である。しかし、それぞれの局面での身体接地面積、接地時間は本研究では明らかにすることはできなかったため今後検討が必要である。

本研究では男性女性ともに腰部の最大合成加速度、衝撃力に有意差は認められなかった。算出した衝撃力に関して、Nankaku et al. (2005) および Courtney, A C. et al. (1995) によると、大腿骨近位部骨折の閾値となる衝撃力は高齢者で 2000 N ~ 4000 N、若年者で 7200 N であるとされている。本研究では、腰部における最大衝撃力は、男性：1290.8 N (高齢者セット無)、女性：1647.1 N (高齢者セット有)であったため、高齢者セットを装着しても本研究の対象となった大学生は、実験中の転倒に際しても、大腿骨近位部骨折の閾値となる衝撃力を受けないことが明らかになった。

高齢者と若年者の骨折の閾値となる衝撃力の差が大きい理由として関節の機能が加齢により低下することがあげられる(松村ほか, 2015; 尾崎・筒井, 2016)。特に、高齢者は日常の活動量が減ることにより、関節を動かす機会も減少する。その状態が長く続くことによって起こる関節の拘縮により、さらに関節の可動域が低下してしまう。本研究で装着した高齢者セットの「背曲げエプロン」は円背の姿勢になり、「ひざサポーター」は膝が少し曲がり、そこから曲げ伸ばししにくくなるというものであった。この2つを装着することによって脊柱、股関節および膝関節等の可動域が小さくなり動きにくくなる。関節の可動域が人体の転倒動作に著しく影響を与える(趙・蔡, 2003)ことが報告されており、関節の可動域が低下する高齢者は転倒

した際に、関節の変化がなくそのまま強く床に打ち付けられていることが、本研究から考えられる。肘が曲げにくくなるサポーターや、腕を上げる時に重く感じるおもり等を装着することで関節の可動域を制限し高齢者の大腿骨頸部骨折の閾値となる 2000 N ~ 4000 N を得ることができるのかさらに検討する必要がある。また、本研究では被験者の怪我防止のために、サーフェイスには柔らかいマットを使用した。マットが持つ弾性の影響を受けた被験者は、地面への接地時間が長くなり衝撃力の最大値が低く生じたと考えられる。実際の生活場面のサーフェイスは本研究のように弾性が高い場所ばかりではなく、むしろ弾性帯ではない生活帯が多いのは明確である。そのため実際にコンクリートやフローリングなどのサーフェイスで転倒した場合はさらに大きな加速度と衝撃力が身体にかかることが考えられる。

これらの結果より、本研究をさらに発展させることによって、様々なシチュエーションの転倒の加速度などが明らかになり、骨折を起こすような転倒の条件が明確になれば、高齢者の生活環境を考える際の一助となる。また、介護施設や病院等の職員が高齢者セットを装着し高齢者の転倒を体験することが可能であり、転倒予防に対する意識の強化になり、社会的貢献は多大である。さらに、高齢者になって転倒により重篤な外傷に至るリスクを減らすために、身体の運動機能を劣らせないように常に日常的な身体活動を心掛けることや、つまずき防止のために遊脚期で足を高く上げるなどといった、エビデンスを伴った高齢者に対する運動指導も、今後の高齢者の増加に伴いさらに必要とされるであろう。

#### 4. まとめ

本研究の目的は若年者が高齢者セット装着の有無による実験条件の差が、転倒時の各種パラメータにどのような影響を与えるかを明らかにすることであった。その結果、以下の結果を得た。

- ・高齢者セットの有無により有意差が認められ

たのは男性の最大合成加速度、衝撃力ともに頭部（各 $p < 0.05$ ,  $r^2=0.73$ ）であった。

- ・高齢者セットを装着した本研究における実験の対象となった大学生は、大腿骨近位部骨折の閾値となる衝撃力を受けないことが明らかになった。

#### 〔注〕

注1) 装着したのは、背曲げ用エプロン（前傾姿勢で首が前に落ち込み背中が丸くなる）と膝サポーター（身体の動作を変化させるときが大変になる）であった。

#### 文献

- アルミダ F. フェリニニ：今本喜久子ほか訳（2001）高齢期の健康科学。メディ出版, pp200.
- Courtney, A C., Wachtel, E F., Myers, E R., and Hayes, W C. (1995) Age-related reductions in the strength of the femur tested in a fall-loading configuration. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 77(3) : 387-395.
- 平野雅巳・宮地由奈・武田ケンジ・中川一斗（2009）高齢者疑似体験セットの装着が大学生の生活機能と姿勢制御に与える影響。健康医療科学研究, 9 : 83-93.
- 小林陽子・高田谷久美子・山岸春江・瀧澤孝子（2002）高齢者疑似体験装具による歩行への影響。山梨大学看護学会誌, 1(1) : 33-36.
- 上岡洋晴・武藤芳照・太田美穂・朴眩秦・千歳和芳（1998）高齢者の転倒・転落事故に関する事例研究。東京大学大学院教育学研究科紀要, 38 : 441-449.
- 厚生労働省（2019）国民健康・栄養調査, <https://www.mhlw.go.jp/content/000711007.pdf>, (参照日 2022 年 5 月 19 日)
- 栗原トヨ子・木之瀬隆・井上薫・大津慶子・新田収・寺山久美子・長田久雄（2004）保健医療系学生のための高齢者疑似体験プログラムの意義—体験による高齢者に対する意識の変化の考察—。日本保健科学学会誌, 7(3) : 194-199.
- M. Kangas, A. Konttila, P. Lindgren, I. Winblad, and T. Jämsä. (2008) Comparison of low-complexity fall detection algorithms for body attached accelerometers. *Gait & Posture*, 28(2) : 285-291.
- 前田剛・片山容一・吉野薫緒（2018）高齢者頭部外傷の現状と課題。脳神経外科ジャーナル, 27(1) : 9-16.
- 丸茂壮加・樋口佳樹・金政秀（1997）三軸加速度計による高齢者を対象とした転倒検知アルゴリズムに関する研究。日本建築学会環境系論文集, 83 : 913-920.
- 松村将司・宇佐英幸・小川大輔・市川和奈・畠昌史・清水洋治・古谷英孝・竹井仁・篠田瑞生（2015）下肢の関節可動域と筋力の年代間の相違およびその性差。理学療法科学, 30(2) : 239-246.
- 松井秀治（1958）運動と身体重心。体育の科学社, pp32-33.
- 内閣府（2019）高齢社会白書, [https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2019/zenbun/01pdf\\_index.html](https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2019/zenbun/01pdf_index.html), (参照日 2022 年 5 月 19 日)。
- M. Nankaku, H. Kanzaki, T. Tsuboyama, and T. Nakamura (2005) Evaluation of hip fracture risk in relation to fall direction. *Osteoporosis International*, 16 : 1325-1320.
- OECD (2021) OECD の主要統計, <https://data.oecd.org/pop/elderly-population.htm>, (参照日 2022 年 12 月 26 日)。
- H. Okuizumi, A. Harada, H. Iwata, and N. Konishi (1998) Effect on the Femur of a New Hip Fracture Preventive System Using Dropped-Weight Impact Testing. *Journal of Bone And Mineral Research*, 13(12) : 1940-1945.
- 奥壽郎・廣瀬昇・加藤宗規・丸山仁司（2009）杖の使用が重心動揺に与える影響—高齢者疑似体験装具装着での基礎的研究—。理学療法科学, 24(2) : 235-239.
- 小野純一・小川武希・鈴木倫保・奥野憲司・藤

- 川厚（2013）わが国における頭部外傷の最近の動向：One Week Study 2005 と 2012 の比較検討から. 神経外傷, 36 : 129-135.
- 小野純一・宮田昭宏・藤川厚・鈴木倫保（2015）高齢者頭部外傷の最近の動向：頭部外傷データベース One Week Study および Project Study の分析から. 神経外傷, 38(1) : 1-8.
- 尾崎尚代・筒井廣明（2016）肩関節機能の加齢による影響と性差の X 線学的検討. 昭和学士学会, 76(5) : 589-597.
- 東京消防庁（2019）STOP！高齢者の「ころぶ」事故, <https://www.tfd.metro.tokyo.lg.jp/lfe/topics/stop/stop-old02.html> (参照 20 22 年 5 月 19 日).
- T. P. Pinilla, K. C. Boardman, M. L. Bouxsein, E. R. Myers, and W. C. Hayes. (1996) Impact Direction from a Fall Influences the Failure Load of the Proximal Femur as Much as Age-Related Bone Loss. *Calcified Tissue International*, 58(4) : 231-235.
- 趙航・蔡東生（2003）高齢者身体関節可動域を考慮した転倒動作のシミュレーション. 情報処理学会, 1 : 181-182.
- 山本創太・田中英一・窪内靖治・池田武司・水野幸治・原田敦・奥泉宏康（2006）歩行者転倒における大腿骨頸部骨折発生機序の生体力学的検討. 日本機械学会論文集 (A 編), 72(723) : 1799-1807.
- 矢田茂樹（1997）住居における高齢者の転倒事故—横浜市における聞き取り調査から—. 横浜国立大学教育紀要, 37 : 253-260.
- 横堀將司・荒木尚・恩田秀賢・松本学・高山泰広・布施明・横田裕行（2013）高齢者頭部外傷に対する積極的治療と患者転帰の変遷：頭部外傷データベース【プロジェクト 1998, 2004, 2009】における検討. 神経外傷, 36(1) : 76-85.

(受付日 2023/08/22 受理日 2023/09/21)