

OS3-1

大腿骨頸部骨折予防用ヒッププロテクタの性能評価

Performance Evaluation of Hip protector for preventing femoral neck fracture

○ 永田光 (名大) 平林智子 (名大) 若山浩介 (名大) 山本創太 (芝浦工大) 田中英一 (名大)

Hikaru NAGATA, Nagoya University
 Satoko HIRABAYASHI, Nagoya University
 Kosuke WAKAYAMA, Nagoya University
 Sota YAMAMOTO, Shibaura Institute of Technology
 Eiichi TANAKA, Nagoya University

Abstract: There exists no agreed-upon standard method to evaluate the performance of hip protectors; researchers or makers adopt fundamentally different testing systems. We investigated the evaluation method proposed thus far and summarized the components of each testing system. It is clarified in the past that hip protectors prevent femoral neck fracture during fall by energy absorption and shunting. But the method evaluating their effects is not established. By investigating contact time, deformation of protector and load transfer paths, we suggested a testing system that can evaluate energy absorption and shunting effects separately.

Key Words: Biomechanics, Hip Fracture, Hip Protector, Prevention, Standards

1. 緒言

近年我が国では急速に高齢化が進み、それに伴い大腿骨頸部の骨折の発生数が増加している。大腿骨骨折で患者は起立や歩行が困難となり、寝たきりになる場合も多い。

この骨折のうち、転倒を原因とするものが約9割である。転倒骨折予防手段としてヒッププロテクタがある。大腿部に装着することで、転倒時に大腿骨へかかる衝撃が低減され、大腿骨近位部骨折の予防に役立つと考えられている。

現在、複数の種類のヒッププロテクタの開発が行われ、その性能評価試験も行われているが、ヒッププロテクタの骨折予防効果を定量的に示すための基準が確立されていない⁽¹⁾。大腿骨近位部にかかる衝撃荷重の低減率によってヒッププロテクタの性能が評価されることが多いが、各々の評価システムの構成要素は様々で、その低減率は評価システムそのものに依存する⁽¹⁾。また、過去に国内外で行われた評価手法の調査・有限要素解析などから、ヒッププロテクタは材料による衝撃吸収と構造による荷重分散によって転倒時の大腿骨頸部骨折を防止することが分かっているが、両者の機能を適切に評価できる方法は確立されていない。

今回、各システムの構成要素のまとめと、吸収と分散の効果を評価できる試験法について検討した結果を報告する。

2. 調査結果

過去に国内外で実施された、ヒッププロテクタの性能評価に関する研究⁽²⁾⁻⁽⁷⁾について調査した。

各評価システムでは、システム全体の構成とヒッププロテクタの性能評価指標に共通点がみられる。システム全体は図1のように、大腿部モデル(大腿骨モデル、骨盤モデル、軟組織モデルで構成)と荷重負荷装置(重錘、ガイドで構成)、計測機器(ロードセルなど)から構成される。重錘を落下させることで転倒を想定した荷重を大腿部モデルに与え、大腿骨近位部に加わる荷重を計測する。ヒッププロテクタ使用による衝撃荷重の低減率

$$\text{Reduction rate} = 100 * (1 - F_{\text{padded}} / F_{\text{unpadded}}) \quad \dots (1)$$

を用いて、ヒッププロテクタの性能を評価する研究が多い。ここで、 F_{padded} はヒッププロテクタを使用した場合の衝撃荷重、 F_{unpadded} はヒッププロテクタを使用しない場合の衝

撃荷重である。荷重以外に、近位部のひずみの値を評価指標に用いる研究もある⁽²⁾。

しかし、システムを構成する各要素は、評価システムごとに様々である。そこで、各要素についてのまとめと、求められる特性についての検討を行った。

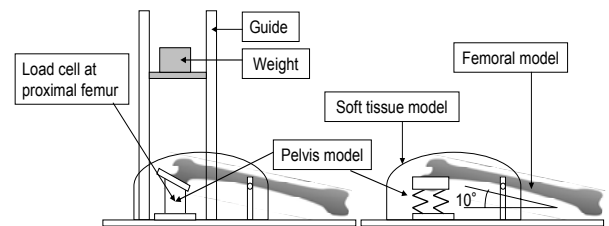


Fig. 1 Systems for measuring the capacity of hip protectors

2-1 大腿部モデル

大腿骨頸部骨折が多くみられる高齢女性の、大腿部特性の再現を目指したシステムが多い。各々の構成要素の調査結果は、参考文献順に表1にまとめられる。

2-1-1 大腿骨モデル

大腿骨の解剖学的形状をよく再現した、Sawbones社のComposite boneが多く利用される⁽²⁾⁻⁽⁴⁾。一方、大腿骨モデルの形状を簡易化したシステムもあり、転子を模擬した円柱形のABSロッド⁽⁵⁾、木製モデル⁽⁶⁾、スチールで制作されたMetallic replica⁽⁷⁾が使用されている。これらの簡易化において、大転子部や頸部などの特徴的な部分の形状は残されて表現されている。また、骨幹軸と水平方向が約10度^{(2),(6),(7)}、頸部軸と鉛直方向が約15度^{(2),(7)}をなすように大腿骨モデルを配置するシステムがみられる。

2-1-2 骨盤モデル

転倒の衝撃は大腿骨だけでなく骨盤にも伝わる。その荷重伝達を考慮するため、骨盤モデルが用いられる。骨盤を簡易的に表現したシステムが多く、バネで骨盤の弾力性を表現したもの^{(3),(6)}や、腸骨稜をアセタールコポリマーやアルミニウムで製作したもの^{(4),(7)}がある。

2-1-3 軟組織モデル

筋や脂肪を再現するため、ポリエチレンなど生体忠実性が高い高分子で製作している。大転子部上の軟組織厚さは20mm程度としている⁽³⁾⁻⁽⁷⁾。ゴムで皮膚組織を表現するも

のもある^{(3),(5)}。衝撃は大腿骨近位部に加えられるため、軟組織モデルで遠位部を覆わず、近位部周辺のみを覆うものが多くみられる⁽²⁾⁻⁽⁶⁾。

Table 1 Summary of components of the thigh model

Femoral model (angle)	Pelvis model (pelvis stiffness)	Soft tissue model (thickness over the trochanter)	Ref No.
Composite bone (10°・15°)	—	High-density sponge Cushioning sheet	2
Composite bone	Surrogate pelvis Leaf spring 42.2[kN/m]	Polyethylene foam (24mm) Gum rubber	3
Composite bone	Iliac crest model (Acetal Copolymer)	Blue CONFER (25mm)	4
Rod of ABS copolymer	—	Oil-extended jelly like red polymer (20mm) Talc-coated rubber	5
Wooden femur (10.5°・-)	Steel spring 75[kN/m]	Polyethylene foam (20mm)	6
Metallic replica (10°・12.5°)	Artificial (Aluminum)	Silicone elastomer (20mm)	7

2-2 荷重負荷装置

荷重負荷装置についての調査結果は表2にまとめられる。

2-2-1 負荷荷重

重錘落下により、転倒を想定した荷重を再現している。転倒実験の結果を反映し、危険な転倒を想定して荷重値を7000N程度とする研究が多い^{(4),(6),(7)}。衝撃荷重測定のため、重錘にロードセル⁽⁶⁾や加速度変換機^{(5),(7)}を取りつけたものがある。また、様々な転倒を想定し、落下高さ^{(5),(6)}や重錘質量⁽⁷⁾を調節して荷重値を変更できるものもある。

2-2-2 重錘質量と衝突速度

表2から重錘の質量とその衝突速度は様々であることがわかるが、どれが妥当かは一概には言えない。しかし、対象の負荷荷重や衝撃エネルギーを再現できるように、質量と衝突速度の組み合わせが決定されている。

2-2-3 重錘落下メカニズム

振り子形式で大腿部モデルを地面に衝突させる研究もある⁽⁵⁾が、ドロップタワーまたは振り子の形式で重錘を落下させているものが一般的である。重錘を垂直落下させるためにガイドを用いるものもあるが⁽⁴⁾、落下重錘とガイドが干渉し合わないよう注意が払われている⁽¹⁾。

2-2-4 実験条件

大腿骨モデルの大転子部上に重錘質量中心を配置し、重錘を落下させている。試行を数回実施し、荷重の最大値、平均値、標準偏差を求めるものが多い。試行間で時間を空け、ヒッププロテクタと軟組織モデルの変形の回復を待つ。

Table 2 Summary of impact loading system

Mass [kg]	Velocity [m/s]	Force [N]	Energy [J]	Dropping form	Ref No.
10	2.4	-	-	Drop tower	2
28	1 / 2 3 / 4	-	14 / 56 126 / 224	Pendulum	3
25	0.4	7806	-	Drop tower	4
12.3	1.4~3.1	-	-	Drop tower	5
40.3	1.4 1.9 2.3	4330 7230 10840	41 74 110	Pendulum	6
5 10 15	3.1	- 7100 -	24.5 49.1 74.6	Drop tower	7

3. 衝撃吸収・分散効果を独立して評価する手法の提案

ヒッププロテクタは衝撃時、材料の変形と、大腿骨近位部周辺への衝撃エネルギーの分散により、大腿骨近位部荷

重を低減する。現在、式(1)で表される衝撃荷重低減率を主な評価指標とする研究が多く、吸収と分散の効果を区別した評価はできていない。そこで、両者を分けて評価できる方法を提案する。

衝撃吸収効果は、ヒッププロテクタの変形量や重錘の接触時間から求められる。変形量が大きく、接触時間が長いほど、衝撃吸収効果が大きいといえる。ヒッププロテクタの変形量は、重錘の侵入量に等しく、これは重錘の衝突加速度の値を2回積分することで得られる。重錘接触時間は、ヒッププロテクタに荷重が負荷される時間である。

衝撃分散効果は、荷重伝達経路を調べることで求められる。複数のロードセルやひずみゲージを用いて、図2のように衝撃荷重が近位部側・遠位部側にどのように分配されるかを調べる。特に近位部側について、頸部や骨盤など複数箇所での荷重やひずみを計測し、どの部位に大きく衝撃が加わるかを調べる。プロテクタの使用により、頸部に加わる衝撃の割合が減少し、その他の部位へ加わる衝撃の割合が増加すれば、分散効果があるといえる。また、それらの時刻歴から、荷重の伝達経路が推定できると考えられる。

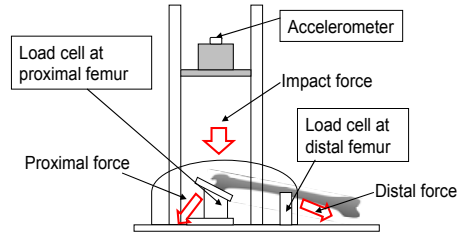


Fig. 2 Image of impact energy-shunting

4. 結言

本研究では、大腿骨頸部骨折予防用ヒッププロテクタの性能評価手法の確立を目的として、過去に実施された評価手法の調査を行った。評価システムを構成する各要素についてまとめた。また、ヒッププロテクタの変形量や接触時間、荷重伝達経路を調べることで、衝撃吸収と分散の効果を分けて評価できる手法を提案した。

参考文献

- (1) S. N. Robinovitch, S. L. Evans, Hip protectors: recommendations for biomechanical testing - an international consensus statement (part I), *Osteoporos Int* 20, pp. 1977-1988, 2009.
- (2) 後藤 直子, 但野 茂, 高齢者の転倒骨折を防止するヒップパットの衝撃吸収性能評価, *日本機械学会2004年度年次大会講演論文集*, pp. 103-104, 2004.
- (3) Andrew C. Laing, Stephen N. Robinovitch, The Force Attenuation Provided by Hip Protectors Depends on Impact Velocity, Pelvic Size, and Soft Tissue Stiffness, *Journal of Biomechanical Engineering*, Vol.130, 2008.
- (4) N. M. van Schoor, A. J. van der Veen, Biomechanical comparison of hard and soft hip protectors, and the influence of soft tissue, *Bone* 39, pp. 401-407, 2006.
- (5) N J Mills, The biomechanics of hip protectors, *Proc Instn Mech Engrs* Vol 210, pp. 259-266, 1996.
- (6) P. Kannus, J. Parkkari, Comparison of Force Attenuation Properties of Four Different Hip Protectors Under Simulated Falling Conditions in the Elderly: An In Vitro Biomechanical Study, *Bone* Vol.25, pp. 229-235, 1999.
- (7) Siegfried Derler, A. B. Spierings, Anatomical hip model for the mechanical testing of hip protectors, *Medical Engineering & Physics* 27, pp. 475-485, 2005.