

スポーツ用サポーターの衝撃緩和作用と 動作抵抗性に関する研究

東京都立
立川短期大学

川 端 博 子

(共同研究者) 同

山 形 昭 衛

放送大学

酒 井 豊 子

文化女子大学

石 川 欣 造

Studies on the Protection and Garment Constriction by the Knee Supporter

by

Hiroko Kawabata, Akie Yamagata

Tachikawa College of Tokyo

Toyoko Sakai

The University of the Air

Kinzo Ishikawa

Bunka Women's University

ABSTRACT

We investigated protective response to mechanical shock, garment constriction and resistance during wearer's movement while wearing a stretch fabric knee supporter.

Two models of the knee supporters, reduction ratios of which were 10% and 30% were prepared.

(1) At the moment of impact, acceleration-time curve that corresponded to the amount of damage was recorded. The mechanical shock was cushioned proportionately to the number of the fabric layers.

(2) The pressure on the kneecap wearing the 10% reduction knee

supporter varied from 1 to 23 gf/cm² in standing posture and the pressure were from 4 to 97 gf/cm² in squatting posture. The pressure wearing the 30% reduction supporter ranged from 9 to 85 gf/cm² (standing) and from 25 to 213 gf/cm² (squatting).

(3) When keeping the same posture, constriction had a tendency to decrease due to fabric relaxation.

(4) The resistance during the wearer's movement was estimated as a work load; tension strain on the fabric and frictional force in contact with skin were used to calculate for work load, W_t and W_f . The total amount of work load, W_t of the 30% reduction supporter tended to be twice as high as that measured from the 10% reduction supporter due to fabric tension. The total amount of work load, W_f of the 10% reduction supporter was about 4 times that of the 30% reduction one; it was considered that the 30% reduction supporter, had less fabric slip on the knee during movement.

要 旨

本報では、ニット製のひざ用サポーターを着用した時の衝撃吸収作用と圧迫性および動作時の抵抗性について調べた。

実験には、人体の周径寸法より10%と30%縮小した2種のサポーターを使用した。

(1) 衝撃試験により衝撃量に相当すると考えられる加速度と時間の関係をとらえ、記録した。衝撃量の緩和は、布の重ね枚数と共に高まった。

(2) 10%縮小サポーター着用時にひざ頭に受ける衣服圧は、立位時に1～23 gf/cm²、ひざ屈曲時には4～97 gf/cm²の値であった。30%縮小サポーター着用時の衣服圧は、立位時に9～85 gf/cm²、ひざ屈曲時には25～213 gf/cm²であった。

(3) 同一動作を保つと、布の緩和作用の影響を受けて、衣服圧は時間と共に減少した。

(4) 立位からひざ屈曲姿勢に要する衣服の抵抗を仕事量で評価した。即ち、仕事量を、布の変

形に要する仕事 W_t と皮膚とサポーターの滑りに要する仕事 W_f でとらえた。30%縮小サポーター着用時に要する仕事量 W_t は、10%縮小サポーターの仕事量の約2倍に及んだが、これは布の張力の大きさによると考えられる。30%縮小サポーターではずれがほとんど生じないため、30%縮小サポーターの仕事量 W_f は、10%縮小サポーターの仕事量の約4倍大きかった。

1. 緒 言

スポーツウェアは着用時の環境状態や使用条件が過酷な場合が多く、運動時には、活動量が増えるため通常の衣服に比べて厳しい条件が必要とされる。今回、被服学の立場からひざ用サポーターの安全面と動作機能面に焦点をあてサポーターの着用効果について調べることを目的とする。

ひざ用サポーターの着用目的のひとつに衝撃から身体を保護することがあげられるが、適度な圧迫でしかも動作時には皮膚の動きにすばやく追随し動作抵抗性が少ないことが望まれる。本研究で

は、衝撃試験を応用したサポーター布の衝撃緩和作用について調べる。また、運動時の圧迫度合の変化を調べ、サポーターの変形状態および動作に伴うずれより動作間に要するエネルギー量を試算し動作のしやすいサポーターの条件をさぐる。

2. 方 法

2.1 被験者と測定動作

被験者は成人女子1名であり、その身体的特性を表1に示した。

衣服圧と動作抵抗性の測定は、サポーターを着用し、立位姿勢とひざ最大屈曲（かがみ込み姿勢）について行った。

2.2 試料および実験服の特性

ひざ関節用サポーターの着用目的として、関節の動きを制限することなく足に適度の圧迫を与えサポートすること、衝撃からの保護、保温、関節・筋肉障害の処理後の保護等があげられる¹⁾。

本報ではこれらのうちから衝撃と圧迫について実験した結果を記述するが、モデル的に解析するため、伸縮性を有する布で縫製した実験用サポーターを用いることとした。

試料布の諸元を表2に、図1には二軸伸長荷重特性を示した（オリエンテック K.K. 製 二軸引張試験機）。図1において、破線は、コース方向に0～100%の範囲で拘束した際のウェール方向の伸長率と荷重の関係である。実線は、ウェール方向に0～100%拘束した時のコース方向の伸長一

荷重特性である。本試料布の伸長荷重特性は異方性を示し、ウェール方向でよりなだらかなカーブとなっている。

図2は、サポーターの説明図である。右足のひざ頭を中心とする上下15 cmの部位を採寸（表1）し、周径方向にのみ10%と30%縮小した型紙を作った。サポート性を考慮して布のコース方向を人体の周径方向に合わせて裁断し、伸縮性を損なわないようにサポーターを縫製した。以下、それぞれを－10%サポーター、－30%サポーターと呼ぶ。

測定部位は膝頭を中心とする囲みの範囲35点である。－10%サポーターには、ウェール（た

表2 試料の諸元

使用糸	ナイロン	45 d
	綿	55 s
	スパンデックス	280 d
重 さ		233 g/m ²
厚 さ		0.63 mm
密 度	ウェール	15本/cm
	コース	13本/cm

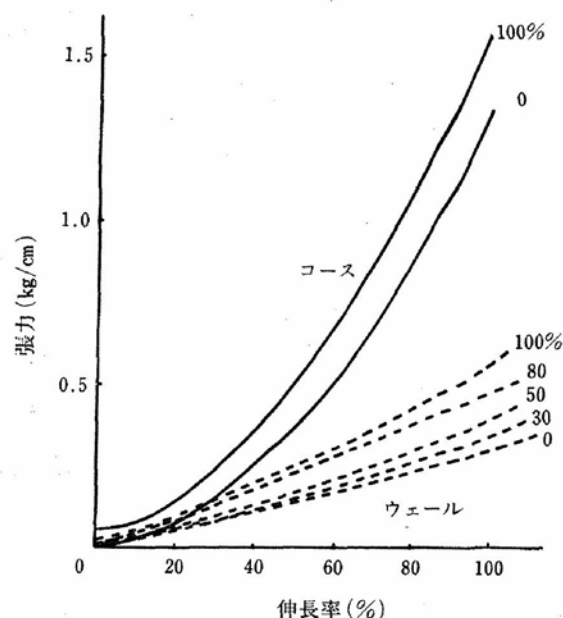


図1 試料の二軸伸長荷重特性

表1 被験者の身体的特性

身 長	163 cm	
体 重	50 kg	
右足周径	床上55.0cm位	40.0cm
	床上49.0cm位	36.2cm
	床上42.5cm位	33.4cm
	床上36.5cm位	30.9cm
	床上30.0cm位	32.2cm

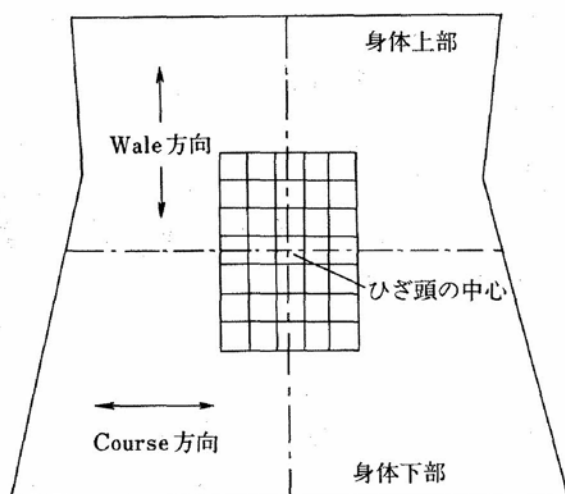


図2 サポーターの説明図

て) 方向とコース (よこ) 方向に約 1.8 cm の間隔で、- 30% サポーターには、それぞれの方向に約 1.8 cm × 1.4 cm の間隔で格子を印し、布の変形状態を把握する基点とした。

2.3 衝撃緩和作用の測定

衝撃緩和作用の把握については木下ら²⁾の方法を参考に試作した装置を用いた。図3はその説明図である。振り運動をするハンマー (リオン K. K. 製加速度ピックアップ PV-58) で金属板に一定の衝撃を与え、時間と加速度の波形を測定記録

(リオン K. K. 製パイプレーション・アナライザー VA-10) し、布の重ね枚数による衝撃緩和特性を比較した。

2.4 衣服圧

衣服圧の測定は、立位とひざ最大屈曲について行った。長時間にわたる同一姿勢の維持は被験者に疲労を感じさせ、かつ測定の不正確さにつながる恐れもあると考え、サポーターの変形状態を石膏で固定した後に測定を行った。

衣服圧 P (gf/cm²) は、ウェール (W)、コース (C) 二軸方向の垂直圧の和で考え、

$$P = T_w / R_w + T_c / R_c$$

の式より得られる³⁾。ここで、 T (gf/cm) は図1より伸長率に対応させ得られた張力であり、 R (cm) は曲率半径である。 R はサポーターの編目に沿った方向に接触子をあて、測定部の中央部と周辺部の凹凸の差 h から以下のように求めた。

$$R = \{h^2 + (\phi / 2)^2\} / 2h$$

ϕ は直線距離で 3.7 cm とした。

先に記述した衣服圧測定法には、運動時の経時的変化の追跡が非常に困難であること、布が有する応力緩和特性を含めて議論することが困難であ

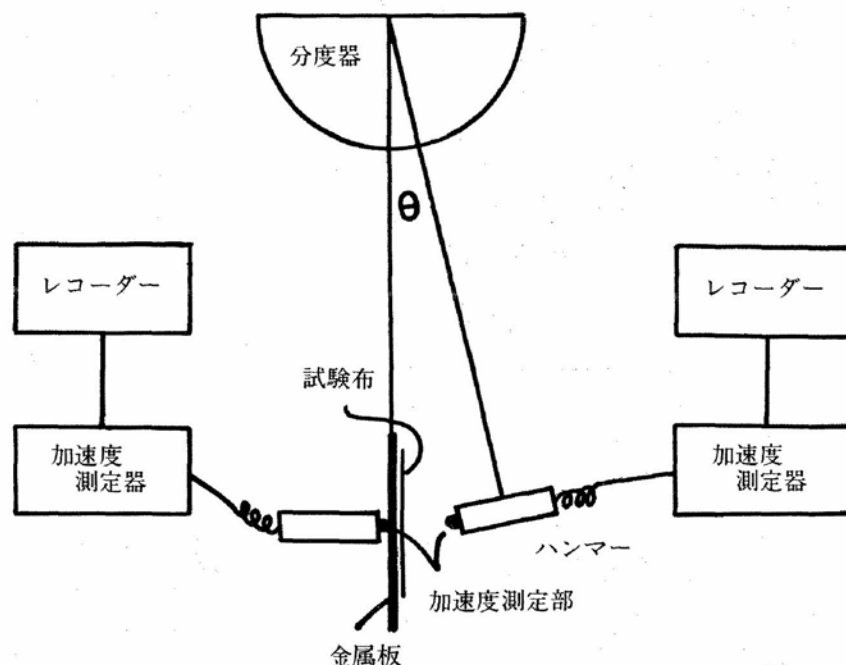


図3 衝撃試験の装置の説明図

るといった点が指摘される⁴⁾。これらの点を補う意味で半導体圧力センサー（共和電業 K. K. 製 PSL-500 GA）を用いた衣服圧の結果についても報告する。

2.5 動作抵抗性

立位姿勢から足を屈曲させていくとひざ頭周辺の形状は大きく変化する。一方、サポーターは伸長変形し、摩擦を生じながら身体上を滑り最終的につり合う。これらの過程に要するエネルギーが動きやすさにかかわると考え、この間の仕事を、布の伸長変形に働く仕事 W_t と滑りに要する仕事 W_f に分け両者の和で近似的にとらえた。 W_t 、 W_f の算出は先の報告⁵⁾にはば準ずるが、その算出方法を以下に記述する。

a. W_t について

着衣の前後での測定点の長さ（着衣前の格子点の間隔： 1_0 、立位時の格子点間隔： 1_1 、ひざを屈曲した時の格子点間隔： 1_2 ）の比より伸長率を求め、図1より立位時の張力 T_1 と屈曲時の張力 T_2 を得る。この間の張力は直線的な増加をたどると仮定すればそこに作用する張力 T は布の幅 1_0 を考慮し以下のようにする。

$$T = 1_0 (T_1 + T_2) / 2$$

布の変形分だけ移動したと考え、その仕事量 W_t は、

$$W_t = T \times |1_2 - 1_1|$$

であるが、各点の仕事量をウェール、コースの二軸方向の仕事とでとらえ、

$$W_t = 0.5 \times 1_{c0} (T_{w1} + T_{w2}) \times |1_{w2} - 1_{w1}| + 0.5 \times 1_{w0} (T_{c1} + T_{c2}) \times |1_{c2} - 1_{c1}|$$

のように近似的に算出を行った。

b. W_f について

垂直圧（衣服圧）を P 、皮膚-布間の摩擦係数を μ とすればそこに作用する摩擦力 f には、

$$f = \mu P$$

の関係が成り立つ。立位時の単位面積当りの摩擦力 f_1 (gf/cm²) と動作時の摩擦力 f_2 (gf/cm²)

から平均摩擦力 F (gf/cm²) を

$$F = (f_1 + f_2) / 2$$

とし、測定点の面積を $1_{w0} \times 1_{c0}$ で近似し、滑り量 S (cm) から仕事量 W_f (gfcm) は、

$$W_f = 1_{w0} \times 1_{c0} \times F \times S$$

とした。尚、滑り量は、測定範囲の中心位置の移動距離とした。

摩擦係数は、諸岡ら⁶⁾の方法を参考にして測定した。被験者の右手首内側を水平に固定し、試料布を貼ったスライダ（長さ 4.7 cm × 幅 1.8 cm × 厚さ 0.3 cm）を人体上で定速度（3.6 cm/分）で移動させた。この時の引張り力-縦荷重の関係を求めた。今回の実験の範囲では、皮膚に接する布の編み目方向や伸長率の違いによる影響はみられず、摩擦係数 $\mu = 0.47$ を採用した。

3. 結果と考察

3.1 布の衝撃緩和作用

ハンマーの落下角 θ と衝撃速度 V には、

$$V = \sqrt{2gr(1 - \cos \theta)}$$

の関係がある。 g は重力加速度、 r はハンマーの回転半径 (31.1 cm) を表す。

図4は落下角 2° で金属板にあてた時のハンマーの先端の時間と加速度の関係である。衝撃時の加速度とその後の減衰の様子から衝撃による影響を推測できる。金属板に布を当てていくと衝撃加速度の減少と、衝撃時間の延長がみられる。また、衝撃部の質量 (109 g) と衝撃加速度から得られる力も金属板に布を重ねるにつれて減少し、衝撃が緩衝される。

一般に衝撃速度が大きいとき衝撃加速度は大きくなるが、木下の報告に記述されるように²⁾、かたい部位ほど衝撃加速度が大きく、大きな衝撃を受けると言える。皮下組織の少ない関節部位に、保護用のクッション材を着衣することで運動時のけがを防ぐことが出来ると思われる。今後、さらに大きな衝撃が加わった時の応答を人体上で調べて

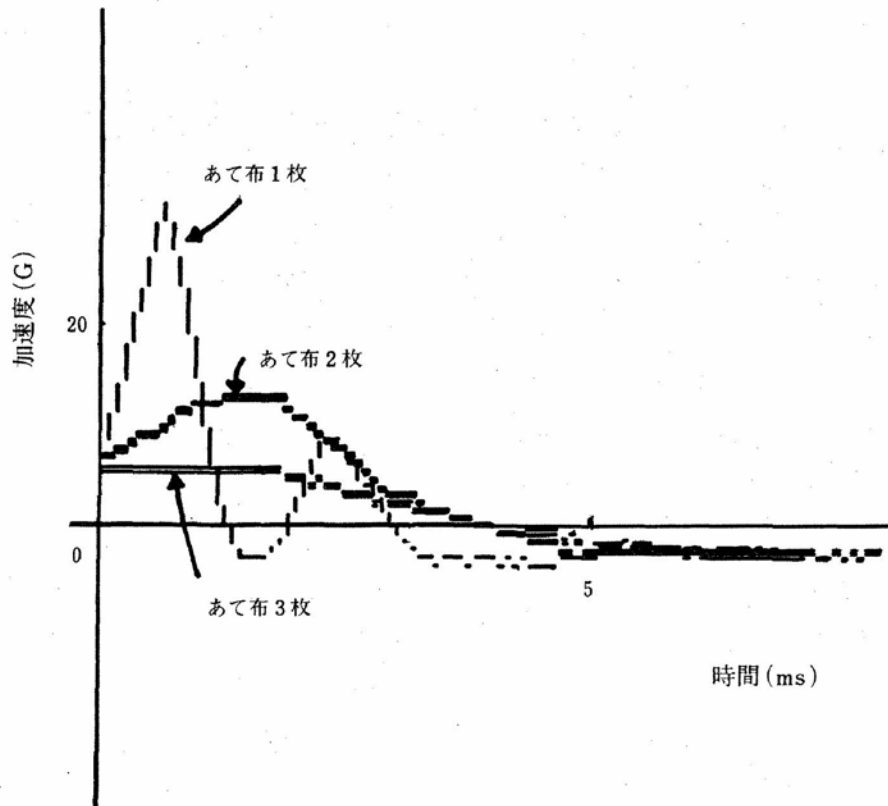


図4 加速度と時間の関係

いくことが課題である。

3.2 衣服圧

— 10% サポーターの伸長率は— 30% サポーターの値より小さくなるが、— 30% サポーターの伸長率を表3に例として示した。各囲みの数値のうち上段は立位時、下段はひざ屈曲時、左列はよこ、右列はたての伸長率を表す。また、—印は、しわが生じたため測定不能の箇所である。

— 30% サポーターには、立位時でよこ（コース）方向に 30～49%，たて（ウェール）方向にも 8～29% の伸長が見られた。ひざを屈曲するとひざ頭付近の皮膚が伸長し、布はよこ方向に 32～68%，たて方向で 23～91% の伸びとなり、特に長径方向の伸長の増加がめざましい。

これらの伸長率を図1の二軸伸長荷重特性より張力に換算し、 T_w と T_c を得た。

曲率半径はいずれのサポーターでも同様の分布傾向がみられたが、表4に、— 30% サポーター着

用時のよこ方向とたて方向の曲率半径 (R_c と R_w) の結果を示した。立位時の足部は円筒型に近く、よこ方向のカーブが大で曲率半径は 3.3～24.4 cm の範囲であった。たて方向の値は 6.6～ ∞ cm であり測定点間のばらつきが大きい。ひざ屈曲時によこ方向の曲率半径は 3.9～9.7 cm、たて方向では 3.9～488 cm の範囲であり、立位時より値が小さくなった。

表5は、衣服圧の算出結果である。各囲みの上段は— 10% サポーター、下段は— 30% サポーターの衣服圧で、左列の数値が立位、右列はひざ最大屈曲時の算出結果である。

— 10% サポーターの値は、立位時で 1～23 gf/cm²、ひざを屈曲すると 4～97 gf/cm² を示した。また、— 30% サポーター着用において立位時には 9～85 gf/cm² の値がみられ、ひざを屈曲すると圧は一段と高くなり 25～213 gf/cm² の値であった。いずれのサポーターを着用した場合

表3 立位時、ひざ屈曲時の布の伸長率（-30%サポーター）

42	24	41	24	37	25	38	23	41	20
57	23	54	32	50	42	45	41	46	40
46	28	46	31	41	29	49	21	45	16
67	32	57	47	51	53	50	58	53	56
46	28	44	24	41	18	42	16	45	12
65	39	65	60	59	75	53	81	58	73
44	23	42	18	40	15	38	10	—	—
68	43	63	68	53	83	50	91	54	76
39	18	37	19	38	17	41	14	44	13
52	43	44	71	42	81	41	78	45	71
35	13	37	13	34	14	36	15	38	11
32	40	38	70	38	82	37	75	41	72
35	10	33	8	32	8	30	9	—	—
37	36	35	54	63	33	34	68	39	56

（単位：％）

立位 よこ	立位 たて
屈曲 よこ	屈曲 たて

でも摩擦の作用が関与するためひざの中央付近で圧は高く、ひざの周辺に向けて減少の傾向がみられる⁷⁾。

これまで述べてきた衣服圧の算出法では、動きに伴う変化をとらえることは難しい。そこで半導体圧力センサーによる測定を試みたので一例を報告する。図5は、ひざの中央付近にセンサーを着装し、ひざの屈曲を維持したときの衣服圧の変化である。屈曲直後の衣服圧は167 gf/cm²であるが動作を維持すると1分後には120 gf/cm²となりこの間に約30%の圧の減少がみられた。図6は二軸引張試験機で布を定速（6 cm/分）伸長し、そのまま布を維持した時の張力の時間変化を示した例である。図中、かっこ内の数値はウェール、コースの伸長率で、アンダーライン方向の緩

和状態を示した。布の伸長が大きくなるにつれて緩和の影響も大きくなり、時間変化は対数曲線に近似される。

しかし、布の粘弾性的特徴を含めて張力を求めていくことは現実には非常に難しく、むしろ、圧力センサーを用いて衣服圧の減少を直接測定するかあるいは一定条件下で布の緩和試験を行い、試料間同志の比較を行うといった方法が簡便である。

3.3 動作抵抗性

表6は立位姿勢からひざ屈曲動作に要したと考えられる仕事量である。上段は-10%サポーター、下段は-30%サポーターの仕事量であり、左列は張力仕事、右列は摩擦仕事をそれぞれ表している。

表4 立位時、ひざ屈曲時の曲率半径 (—30%サポーター)

5.9	75	5.3	115	5.2	61	5.4	72	5.7	32
8.6	32	7.4	28	6.7	40	5.8	390	5.5	488
6.0	18	5.2	20	4.6	488	5.2	∞	6.8	27
9.3	23	7.9	27	7.0	28	5.4	15	4.9	17
7.6	17	5.0	17	3.7	15	4.5	24	9.8	115
12	11	7.1	8	5.6	6.5	5.3	5.4	3.9	5.0
8.6	21	4.5	14	3.3	12	3.7	279	—	—
7.6	5.6	5.1	5.6	4.9	4.9	5.5	6.2	4.3	8.3
8.3	12	4.1	9.5	3.8	13	4.2	11	5.0	6.6
9.7	11	4.1	9.6	5.8	11	5.9	12	4.6	8.4
24.4	∞	4.9	∞	3.6	42	3.9	16	5.4	15
9.7	29	4.6	9.4	4.5	6.4	6.1	7.6	4.7	7.6
6.0	∞	5.2	∞	4.2	∞	3.7	∞	—	—
7.0	21	7.4	37	4.1	12	5.0	11	4.3	11

(単位: cm)

立位 よこ	立位 たて
屈曲 よこ	屈曲 たて

— 10% サポーターで各点 4 ~ 258 gfc/cm の張力仕事が見られた。布の伸びが高い測定点で張力仕事は大きくなる。一方、摩擦仕事は 3 ~ 138 gfc/cm の範囲にあるが、ひざの上部から中央にかけて値は大きく、下部に向けて減少の傾向が見られた。

— 30% サポーターの張力仕事は 51 ~ 514 gfc/cm の範囲にある。— 30% サポーターの 1 cm の値は、— 10% サポーターの時より小さくなるにもかかわらず張力の増加が顕著なため、仕事量は大きくなる。摩擦仕事の範囲は 2 ~ 25 gfc/cm であった。— 30% サポーターでは衣服圧が増大するが、ずれ量が非常に小さく、— 10% サポーターの時より仕事量は小さい傾向が見られた。

張力仕事と摩擦仕事の合計で動作間の仕事量を

とらえるならば、測定不能箇所を除く 31 点の — 10% サポーター着用時の仕事量の合計は、5,165 gfc/cm、— 30% サポーター着用時の合計は 8,279 gfc/cm であり約 1.6 倍の結果となった。圧迫性の高いサポーターは動作抵抗性も高いといえる。

動作抵抗性の少ないサポーターには、布の伸びが容易で、皮膚の伸縮に対し布が速やかに追随し、圧迫が少ないことが望まれる。一方、サポート性が必要とされるこの種の衣服においてどの程度の圧迫が適当かという答えは、スポーツ種目や本人の好みに左右される。本研究をひとつの基準に加えて、製品の着用テストを行い、官能検査や筋電図などの運動能力検査を組合せながらよりよい製品の開発がすすめられればと思う。

表5 立位時とひざ屈曲時の衣服圧

7	20	11	34	9	36	7	49	9	36
51	60	54	67	46	65	46	60	52	66
7	34	14	69	16	81	9	92	3	69
64	78	73	75	64	71	73	96	49	110
7	51	13	97	21	85	22	68	8	56
52	70	70	129	81	153	68	156	34	213
3	28	11	84	23	45	19	44	—	47
41	124	69	180	85	171	64	147	—	156
2	4	8	37	17	19	12	33	15	31
36	61	63	119	68	89	69	83	68	115
2	1	2	33	7	39	9	27	8	41
9	25	48	89	58	114	60	82	46	104
2	7	1	12	2	31	—	32	—	28
35	41	36	37	44	74	43	69	—	86

(単位: gf/cm²)

—10%	—10%
立 位	屈 曲
—30%	—30%
立 位	屈 曲

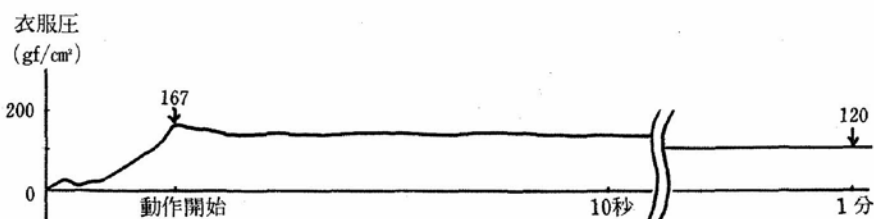


図5 衣服圧の時間変化

4. 要 約

本報では、ひざ用サポーターを着用した際の衝撃緩和作用と圧迫性および動作抵抗性について調べた。

実験には、人体の周径方向に10%と30%縮小した2種のサポーターを使用した。

(1) 衝撃試験を応用した衝撃量測定装置を試作し、衝撃直後の加速度と時間の関係をとらえた。衝撃の緩和は、布の重ね枚数と共に高まった。

(2) —10% サポーターの着用時にひざ頭に受ける衣服圧は、立位時に1～23 gf/cm²、ひざ屈曲時には4～97 gf/cm²の値であった。—30% サポーター着用時の衣服圧は、立位時に9～85

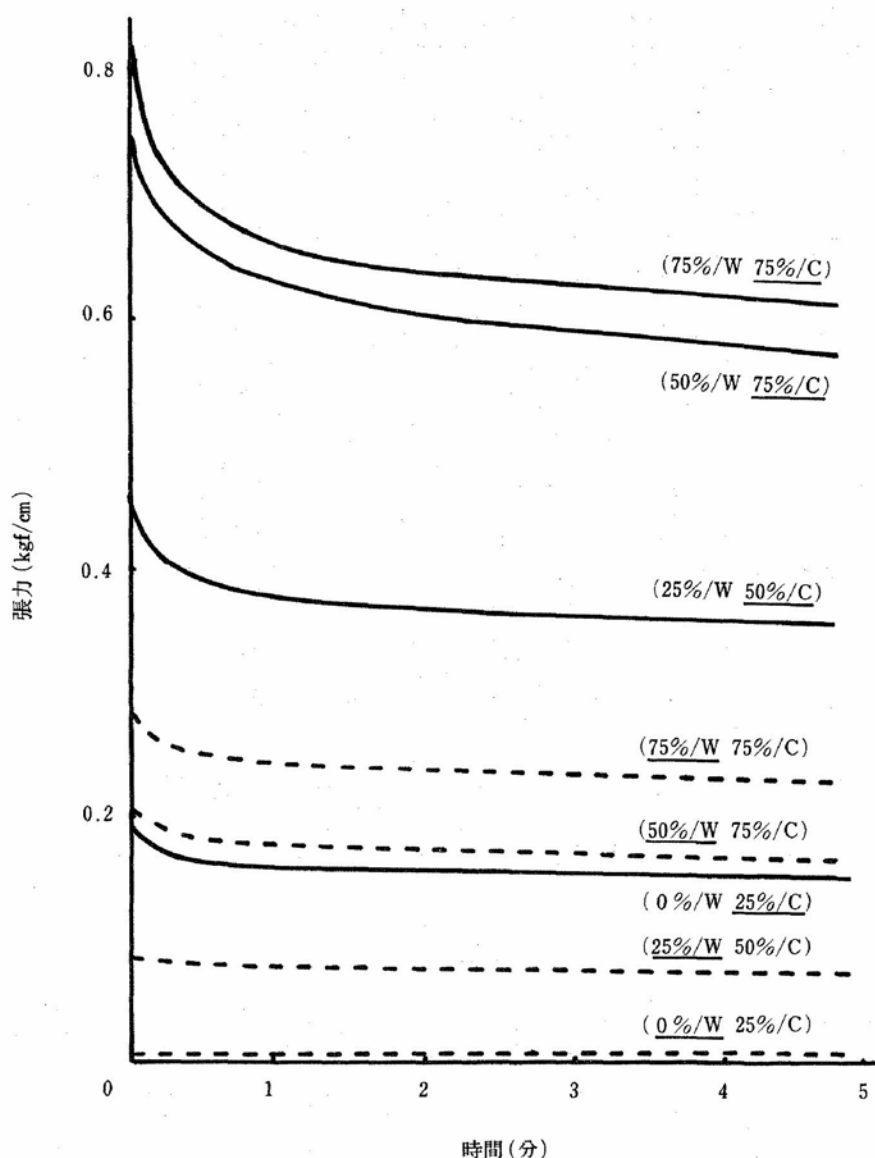


図6 試料の張力の時間変化

gf/cm², ひざ屈曲時には 25 ~ 213 gf/cm² であった。

(3) 同一姿勢を保つと, 布の緩和作用により衣服圧は時間と共に次第に減少した。

(4) 立位から屈曲姿勢に要するエネルギーを仕事量で算出した。仕事量として布の変形に要する仕事 W_t と皮膚とサポーターの滑りに要する仕事 W_f でとらえた。圧迫性の高いサポーター着用時の動作抵抗性は高くなるが, W_t , W_f の内訳で見ると, W_t は張力の大きさにより決定するため, - 30% サポーター着用時の全仕事量は, - 10%

サポーターの仕事量の約 2 倍となった。 W_f は, 衣服圧の大きさと衣服のずれ量に比例するが, - 30% サポーターでは, 衣服圧は大きいはずれがほとんど生じないため - 10% サポーターの全仕事量が約 4 倍大きくなった。

謝辞

本研究は石本記念デサントスポーツ科学振興財団の援助により行われた。また, 平成元年度文部省科学研究費補助金奨励 (A) から一部援助を受けたことをここに記し感謝する。

表 6 立位からひざ屈曲間の動作抵抗性

83	34	114	60	129	63	115	67	88	49
106	3	185	3	104	4	114	6	101	10
133	50	221	114	257	138	251	123	173	73
229	12	234	12	116	11	171	14	239	16
149	64	258	118	240	104	198	76	146	41
220	17	426	13	377	12	447	12	441	15
58	25	168	63	116	38	129	34	—	—
306	24	411	18	420	25	514	18	—	—
4	3	57	20	88	13	78	16	56	15
139	11	285	15	299	21	293	15	280	18
—	—	57	11	70	12	77	8	62	15
95	2	240	6	306	13	245	8	280	7
15	4	48	4	63	9	—	—	—	—
51	6	132	3	196	4	222	2	—	—

(単位：gfc)

—10% 張 力	—10% 摩 擦
—30% 張 力	—30% 摩 擦

文 献

- 1) 例えば、セルフグリップカタログ、デサント K. K. や Supporter & Knee guard カタログ、ソニー企業 K. K. など
- 2) 木下良二；人間工学，7，28 (1971)
- 3) 吉村博子，石川欣造；織学誌，39，T-525 (1983)
- 4) 清水裕子，戸塚歌子，清水義雄；織学誌，44，T-502 (1988)
- 5) 吉村博子，石川欣造；家政誌，37，107 (1986)
- 6) 諸岡英雄，金山真知子，滝野裕子；家政誌，31，4 (1980)
- 7) 被服科学総論 (下巻) p. 55～59，日本繊維機械学会被服学体系化分科会編 (1981)