

令和 2 年 6 月 18 日現在

機関番号：34315

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18861

研究課題名（和文）粘性に着目したスポーツ装具

研究課題名（英文）Sports equipment focused on viscosity

研究代表者

牧川 方昭（Makikawa, Masaaki）

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：70157163

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,200,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では粘性スポーツ装具の開発を目的としている。慣性、弾性、粘性の内、粘性のみが力学的な衝撃エネルギーを吸収する。粘性を強化したスポーツ装具によって、外部からの過度の衝撃力に対して筋骨格系への過大な負荷を軽減することが期待できる。本研究では、スポーツ装具の新しい粘弾性特性の力学試験方法を考案した他、手首関節用サポータに粘性を付加することによって、テニス肘の原因である手首への衝撃を軽減できることを示した。粘性スポーツ装具は、通常の生活動作程度の速さの関節運動には影響を与えず、捻挫アクシデントのような瞬間的な衝撃力に対しては衝撃エネルギーを吸収し運動器障害を防止できることが示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

サポータ、テーピングなどのスポーツ装具はスポーツ障害の防止、治療後のヒトの運動器への外的負荷の軽減を目的に使用される。力学的には、“粘性”特性のみが衝撃エネルギーを消費することは明らかであるが、十分な粘性を有する繊維がないこともあって、これまでサポータ、テーピングなどのスポーツ装具に粘性を取り込む試みは内外を問わずなかった。本研究では、手関節サポータに粘性を加えることによってテニス肘の原因を軽減できるなど、スポーツ装具の粘性を強化することによってヒトの筋骨格構造への負担を軽減できることが示された。更に様々なスポーツ障害防止への適用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study is to develop viscous sports orthosis. Of inertia, elasticity, and viscosity, only viscosity absorbs mechanical impact energy. It is expected that sports orthosis with enhanced viscosity will reduce the excessive load on the musculoskeletal system against excessive external impact force. In this study, we showed that by adding viscosity to the wrist joint supporter, the impact on the wrist, that is the cause of the tennis elbow syndrome, can be reduced, and also developed a viscous sports orthosis new method for evaluating the viscoelastic properties of sports orthosis. The viscous sports orthosis does not affect the joint movement at the speed of normal daily activities, but it can absorb the impact energy against the momentary impact force such as a sprain accident and prevent musculoskeletal disorders.

研究分野：生体医工学

キーワード：粘性 衝撃吸収 スポーツ装具 サポータ インソール テーピング 高速運動 運動軌跡

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

サポータ、テーピングなどのスポーツ装具はスポーツ障害の防止、治療後のヒトの運動器への外的負荷の軽減を目的に使用される。しかし、これらスポーツ装具の効果検証に関しては、力学的な考察はほとんどないのが現状である。力学的には、“粘性”特性のみが衝撃エネルギーを消費することは当然であるが、十分な粘性を有する繊維がないこともあって、これまでサポータ、テーピングなどのスポーツ装具に粘性を取り込む試みは内外を問わずなかった。

2. 研究の目的

本研究では粘性スポーツ装具の開発を目的としている。力学では、慣性、弾性、粘性の内、粘性のみが衝撃エネルギーを吸収する。粘性を強化したサポータ、テーピングが実現できれば、低反発マットのように、外部からの異常な衝撃力に対して筋肉、靭帯、腱などのヒトの運動器への過大な負荷を軽減することができる。粘性に着目したスポーツ装具は、通常の生活動作程度の速さの関節運動には影響を与えないが、捻挫アクシデントのような瞬間的な衝撃力に対しては、衝撃エネルギーを吸収し、関節への異常な負荷を防止できる。粘性を強化したスポーツ装具のもう一つの特徴に、素早い動きに対しては抵抗力を発生することがあることがある。例えばテニスラケットのスイングの場合、手関節に背屈制限するように粘性テーピングを設置した場合、手首の背屈運動に対しては粘性抵抗力が発生し、その動きを制限する。すなわち、粘性スポーツ装具によって高速運動軌道を矯正できる可能性がある。

本研究では、1) 粘性スポーツ装具の定量評価方法の検討、2) 粘性スポーツ装具の開発と、衝撃吸収機能の定量評価、3) 粘性スポーツ装具による関節運動軌跡の矯正の可能性の検討の3項目の研究を実施した。

3. 研究の方法

粘性に着目したスポーツ装具は市販されていない。そこで、研究項目1) 粘性スポーツ装具の定量評価方法の検討については、通常靴下(あしごろも、岡本株式会社)にシリコン(KE-1051J、信越シリコン社)を塗布することで粘性靴下を製作した。このシリコンは無色透明の液状であり、粘度は23℃のときで800 mPa・sの主剤と硬化剤を混ぜ合わせる2液混合型である。製作に際しては、あらかじめ靴下の中に中敷きを入れておき、真空脱泡済みのシリコンを用いて足底部の踵骨から末節骨の範囲を覆うように塗布した。



図1 粘性靴下の外観(黒枠:シリコン塗布部)。

粘性靴下の力学的評価のために引っ張り試験を行った。ただ、スポーツ装具の弾性と粘性を同時に計測できる力学試験機は存在しない。そこで、本研究では新しいスポーツ装具の力学試験方法として、粘性靴下のシリコン塗布部である足底部の両端(踵部と爪先部)を固定して500gの重りをつるし、10cmの高さから自由落下させることで引っ張り試験を行った。そのときの足底部の変形をハイスピードカメラ(EX-F1、CASIO社)を用いて計測した。計測は300fpsで行った。通常靴下と粘性靴下それぞれ5回ずつ試行し、5試行分の試行波形を加算平均した。

実験結果から減衰振動波形が得られ、これより通常靴下と粘性靴下それぞれの粘性係数と弾性係数を求めた。粘性係数 c は減衰振動の振幅比 a_1/a_2 と周期 T の関係より、弾性係数は減衰振動波形の静定位置を用いて算出した。減衰振動の振幅比と周期の関係式を式(1)に示す。

$$e^{-\frac{c}{2m}T} = \frac{a_1}{a_2} \quad (1)$$

更に、この粘性靴下の衝撃吸収能力を明らかにするために、歩行時の足底腱膜への負担の軽減を定量計測した。足底腱膜は、踵骨から5つの中足骨に向かい扇状に広がっている腱膜であり、足の安定性や衝撃吸収に重要な役割を果たしている。歩行中の足部の内側縦アーチ構造の動的な変化を定量計測することで、粘性靴下による足底腱膜への負担軽減が検証できる。被験者は健康成人男性11名(22.1±1.1歳)で、歩行中の右足の第1足根中足関節の動きをひずみゲージで計測することで、粘性靴下の有無による縦アーチ構造変化の比較実験を行った。

研究項目2)、3)の粘性スポーツ装具の開発と衝撃吸収機能の定量評価、粘性スポーツ装具による関節運動軌跡の矯正の可能性の検討については、代表的なテニス障害であるテニス肘を対象に、粘性スポーツ装具による衝撃吸収の効果を検証した。テニス肘防止用に製作した粘性サポータを図2に示す。図に示されるように、本粘性サポータは市販の手首用の弾性サポータ(HT-TE-M-BK、sk11社)の内側背側部にハイパーゲルシート(エクシール社)を装着したもので、テニス肘発症の直接の原因であるボール打撃時の手首関節の掌屈、背屈衝撃力をハイパーゲルシートで吸収しようとするものである。この手首関節への過度の衝撃力は長橈側手根伸筋、短橈側手根伸筋などの手首関節屈筋群を介して上腕骨外側上顆炎などを発症させる。ハイパーゲルシ

ートとしては硬度 30 と 50 の 2 種類を用意し、更に比較のためハイパーゲルシートなしの弾性サポータも計測対象とした。

粘性サポータの効果検証のための計測項目としては、テニスボール打撃時の衝撃を計測するため、3 軸加速度センサ (AccStick6, SysCom 社、 ± 100 g) を手の甲に設置した。また、粘性サポータによるプレイヤーの筋パフォーマンスの変化を計測するため表面筋電図計測を行った。対象とした筋は橈側手根屈筋と尺側手根屈筋であり、ボールを打ったときに手関節の背屈方向に力が加わり、その力に反発する掌屈方向に力を入れるため掌屈に機能している橈側手根屈筋と尺側手根屈筋の筋電位を対象とした。

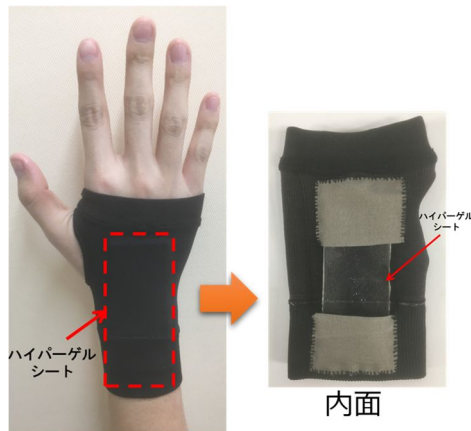


図2 粘性サポータ

被験者は男性テニス経験者 3 名 (22.3 ± 0.5 歳) で、被験者がラケットを持ち、テイクバックをした状態 (ラケットを後ろに引いた状態) で 3s 停止し、その後ボールをネットに向かって打ち、ラケットを振り切った状態で 3s 停止するまでを 1 試行とし、サポータなしと弾性サポータ着用時と粘性サポータ (硬度 30 および 50) 着用時の 4 条件で 5 試行ずつ行った。

4. 研究成果

研究項目 1) の粘性靴下の力学試験に関しては、粘性靴下のシリコン塗布部である足底部の両端 (踵部と爪先部) を固定して 500 g の重りをつるし、10 cm の高さから自由落下させることで引っ張り試験を行った。通常靴下と粘性靴下それぞれ 5 回ずつ自由落下試験を実施し、5 試行分の試行波形を加算平均した。図 3 に通常靴下と粘性靴下それぞれの加算平均した波形を示す。この結果に式(1)を適用することにより粘性係数を算出することができる。その結果、通常靴下の粘性係数は 0.58 となり、粘性靴下の粘性係数は 0.82 となり約 30% 粘性が増加した。ばね定数は粘性靴下が約 40% 増加した。以上のように、本落下試験方法によってスポーツ装具の粘弾性特性を実測することが可能であることが示された。

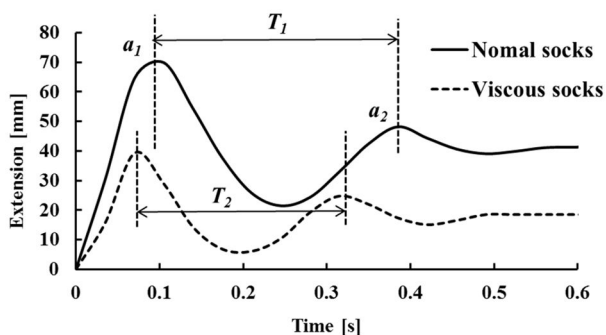


図3 通常靴下と粘性靴下の引っ張り試験結果。

更に製作した粘性靴下による足底腱膜への負担軽減を検証した。通常靴下および粘性靴下着用時の、ひずみゲージにより計測した定常歩行時の第一足根中足関節の曲率の変化を図 4 に示す。a) は通常靴下着用時、b) は粘性靴下着用時の結果である。グラフの縦軸の曲率の値が正の方向に増加することは、内側縦アーチが高くなることを意味する。同図下方にある 2 つの矩形波は、踵と母趾に設置したフットスイッチによる計測波形であり、このフットスイッチ波形から得られた踵接地からの時間タイミングを表している。

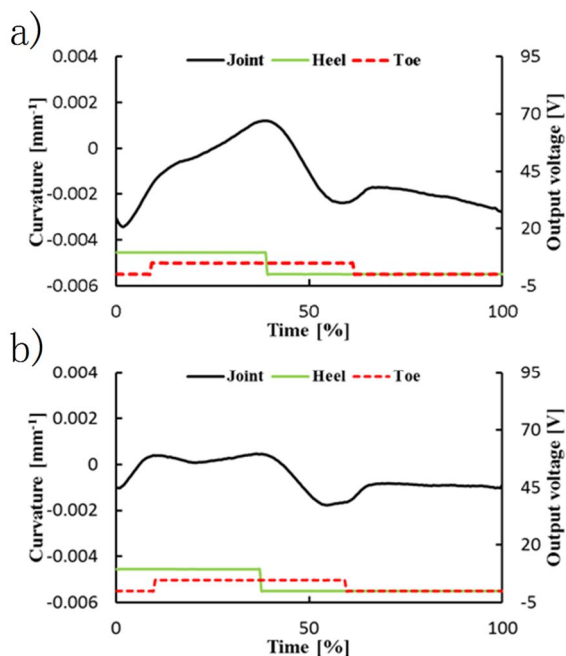


図4 歩行時の内側縦アーチの曲率変化の記録例。
a) 通常靴下、b) 粘性靴下着用時。

結果は、粘性靴下着用時に曲率の変化量は通常靴下着用時に比較して、約 20% 小さくなった。また、踵接地から足趾接地にかけて、踵離床から足趾離床にかけてのタイミングで、粘性靴下着用時に曲率の変化量が減少したことを確認でき、粘性靴下によって足底腱膜への負担が軽減できることが示された。

研究項目 2) のテニスラケット打撃時の粘性スポーツ装具の効果検証結果の内、加速度センサの計測例を図 5 に示す。いずれも手の甲面に対して垂直方向、すなわちボールのインパクト方向の加速度波形であり、a) はサポータなし、b) は弾性サポータ、c) は粘性サポータ (硬度 30)、d) は粘性サポータ (硬度 50) 装着時の結果であり、いずれも赤縦破線の時点でボールにインパク

トしている。

衝撃計測のグラフより、全被験者でサポートを着用していない状態より弾性サポート着用時のほうが背屈方向への衝撃が減少され、硬度 30 の粘性サポート、硬度 50 の粘性サポートを着用するとさらに衝撃が軽減していることがわかる。これは、弾性サポートが衝撃を吸収することでサポートを着用していない時よりも衝撃が軽減され、そこに粘性シートを取り付けることで粘性シートが衝撃を吸収したと考えられる。硬度 30 の粘性サポートと硬度 50 の粘性サポートで衝撃の大きさが異なることから、硬度が高いもののほうが吸収する衝撃の大きさが大きいと考えられる。

筋電図に関しては、スイング開始から 1 秒間を解析対象とした。この区間の筋電図に対して 10Hz のハイパスフィルタを通した後、整流化し、積分値を求めた。積分値が大きいほど、テニスボール打撃時の筋活動が高かったことを示す。

橈側手根屈筋と尺側手根屈筋の積分値の箱ひげ図例を図 6 に示す。結果は、弾性サポート着用時に筋電位が他の条件と比べると低い値を示していた。筋肉がばねのような働きをしているためサポートの弾性が筋肉の代わりに機能したと考えられる。

また、硬度 30 の粘性サポート着用時に弾性サポートより値が大きくなり、サポートを着用していない状態に近い値を示すことから、このサポートを着用した状態でもサポートを着用していない時と同じ力を発揮することができると考えられる。

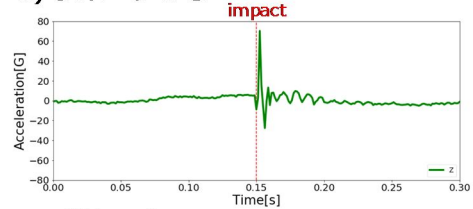
以上の衝撃計測と表面筋電位計測の両方の結果から、1)弾性サポート着用時に衝撃が減少することから、弾性サポートが衝撃を軽減している、2)粘性サポート着用時に弾性サポートと比べて衝撃が減少することから、弾性サポートに装備した衝撃吸収ゲルが衝撃を吸収している、3)弾性サポート着用時に平均振幅と積分値が減少することから、筋肉の代わりにサポートの弾性が機能している、4)粘性サポート(硬度 30)着用時に積分値が増加することから、粘性サポートは衝撃を軽減させながらサポートなしと同じ力を発揮しうる、5)粘性サポート(硬度 50)着用時に積分値が増加することから、衝撃を軽減できることが示された。

以上の結果から、硬度 30 の粘性サポートを着用してボールを打った時にサポートを着用していない状態よりも衝撃を大きく軽減し、さらに、サポートを着用していない状態に近い力を発揮することができることが明らかとなった。

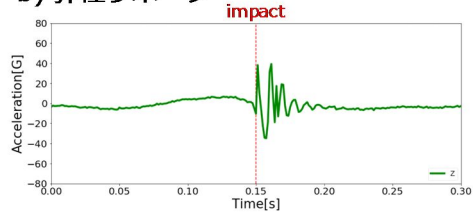
研究項目 3)については、研究項目 2)で製作した粘度 30、50 の粘性テープを使用し、運動軌跡矯正の可能性を検討した。速度が増大すると粘性が抵抗力を発生することを利用して、サーブ準備などの運動初期の速度がゆっくりの状態では運動を阻害せず、サーブ時などの運動速度が速い相では抵抗力を発生させることで運動軌跡変化させようとした。

実験では、手関節をまたぐように粘性テープを掌側、背側に固定し、実際に卓球ラケットによるサーブ動作を行い、ボールの軌道の変化を観察した。結果は、年度 50 の粘性の高いテープの場合、着地方向にずれが認められたが、統計的に有意な変化ではなかった。人の関節運動は回転運動であり、この回転運動の粘性テープ方向の位置変化はそれほど小さくなく、これが顕著な運動軌跡の矯正につながらなかった原因であると考えられた。

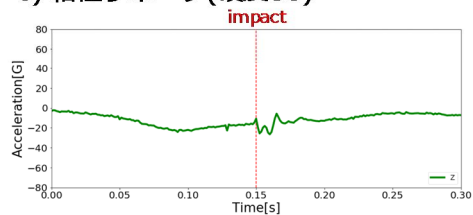
a) サポートなし



b) 弾性サポート



c) 粘性サポート(硬度30)



d) 粘性サポート(硬度50)

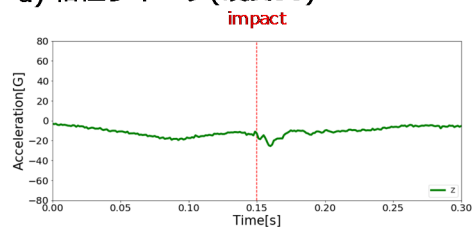


図5 ボール打撃前後の加速度計測例。
a) サポートなし、b) 弾性サポート、
c) 粘性サポート(硬度30)、d) 粘性サポート(硬度50)。

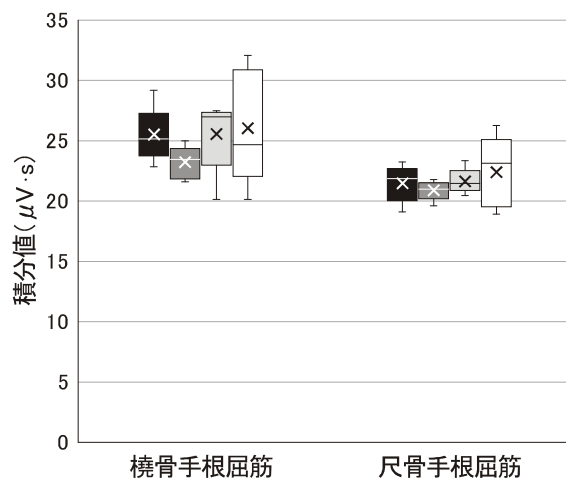


図6 橈側手根屈筋、尺側手根屈筋の筋電図の積分値。いずれも左からサポートなし、弾性サポート、粘性サポート(硬度30)、粘性サポート(硬度50)装着時

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 増田 一太, 塩澤 成弘	4. 巻 61
2. 論文標題 中学生の座位時間と腰痛の関係	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 保健の科学	6. 最初と最後の頁 785-789
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 本條孝典, 塩澤成弘, 岡田志麻, 牧川方昭	4. 巻 55
2. 論文標題 足底腱膜への負担軽減を目的とした粘弾性靴下の開発と検証	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 生体医工学	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11239	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件/うち国際学会 10件）

1. 発表者名 Motoki YOSHIHI, Teruaki NOCHINO, Shima OKADA and Masaaki MAKIKAWA
2. 発表標題 Relationship between Sleep Stage and Head Motion
3. 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Minori Nakatani, Keisuke Yamamoto, Daisuke Goto, Takuya Toyoshi, Chinami Taki, Naruhiro Shiozawa
2. 発表標題 Development of Swimwear-Type Electrode for Electrocardiogram Measurement under the Water
3. 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Goto Daisuke, Nakatani Minori, Toyoshi Takuya, Shiozawa Naruhiro
2. 発表標題 Development of Underwear-Type Electrocardiogram Measurement System
3. 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Toyoshi Takuya, Shiozawa, Naruhiro
2. 発表標題 Characteristic Evaluation of Flexible Film Material for a Wearable Device by Image-Based Method
3. 学会等名 41st Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Hiroataka Matsumoto, Shima Okada, Naruhiro Shiozawa, Masaaki Makikawa
2. 発表標題 Sleep State Estimation Using Smart Wear
3. 学会等名 IEEE BHI & BSN 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Motoki Yoshihi, Nochino Teruaki, Okada Shima, Masaaki Makikawa
2. 発表標題 Sleep Stage Estimation Using Head Motion
3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE EMBS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Hiroataka Matsumoto, Shima Okada, Masaaki Makikawa
2. 発表標題 Sleep State Estimation Using Wearable ECG Measurement Device
3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE EMBS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kato Daiki, Nochino Teruaki, Makikawa Masaaki, Okada Shima
2. 発表標題 Development of Stable Electrocardiogram Measurement System Using Multi Capacitance Coupling Electrodes
3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE EMBS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Miyata Chika, Makikawa Masaaki, Okada Shima
2. 発表標題 Hand Motion Discrimination by Forearm Deformation Measurement using Distance Sensors
3. 学会等名 40th Annual International Conference of the IEEE EMBS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kobayashi takahiro, Okada Shima, Makikawa Masaaki, Shiozawa Naruhiro, Kosaka manabu
2. 発表標題 Development of Wearable Muscle Fatigue Detection System Using Capacitance Coupling Electrodes
3. 学会等名 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (国際学会)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	塩澤 成弘 (Shiozawa Naruhiro) (30411250)	立命館大学・スポーツ健康科学部・教授 (34315)	
研究 分担者	岡田 志麻 (Okada Shima) (40551560)	立命館大学・理工学部・准教授 (34315)	