

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：34444

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11434

研究課題名（和文）膝前十字靭帯損傷の予防に向けたElastomeric Strapの開発

研究課題名（英文）Development of the Elastomeric Strap for the prevention of anterior cruciate ligament injuries

研究代表者

向井 公一（mukai, kouichi）

四條畷学園大学・リハビリテーション学部・准教授

研究者番号：00353011

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,900,000円

研究成果の概要（和文）：前十字靭帯（anterior cruciate ligament：ACL）損傷と再損傷の予防を目的として、膝の内側移動（knee-in）を抑制し、安全な着地姿勢を誘導する機能的ラインを有する軟性装具のストラップ（Elastomeric Strap：ES）を開発した。このストラップの装着により、着地動作の運動学的解析より、ACL損傷の危険因子であるKnee-inを予防できる可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

被験者は、下肢疾患の既往がなく、ジャンプ着地時にknee-inが顕著な女子大学生を対象とした。運動課題は30cm台からのジャンプ着地動作とし、開発したElastomeric Strap（：ES）を装着の有無にてknee-inの抑制を三次元動作解析装置にて分析した。結果として、ESを装着することによりACL損傷の危険肢位であるknee-inや体幹の着地脚側への傾斜を回避できる可能性を示した。

研究成果の概要（英文）：We developed a soft orthotic strap (Elastomeric Strap: ES) with functional lines to reduce knee-in and induce a safe landing posture for the prevention of anterior cruciate ligament (ACL) injuries. Kinematic analysis of the landing motion showed that the strap could prevent knee-in, a risk factor for ACL injury.

研究分野：スポーツ科学関連

キーワード：前十字靭帯損傷 膝装具 着地動作

様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ACL 損傷はスポーツ活動において若年女性に頻発する、重篤なスポーツ外傷である。ACL 損傷の発生機序は非接触型が多く、ジャンプからの着地の際に knee-in することや、体幹が損傷側へ側屈することで損傷することが多い (Hewett TE et al, Br J Sports Med 43,2009)。

ACL 損傷の予防策として様々なトレーニングが実施されており、一定の効果が示されているが完全な予防には至っていない。さらに予防を目的とする装具やテーピングなどの外的支持が用いられるが、機能的膝装具は ACL 損傷の予防効果には否定的な報告 (Walter R Lowe et al, Am J Acad Orthop Surg,2017) も多く、さらに競技での使用に制限があり、運動パフォーマンスの低下を招くとされる。一方、テーピングは角質剥離等の皮膚障害を生じやすく、固定作用の効果が持続しないなどの問題がある。そこで支柱や粘着剤を使用せず、弾性による適度な制動性と伸張性による可動性、さらに耐久性や皮膚との親和性に優れた素材を用いた新たな外的支持の開発が期待される。

2. 研究の目的

本研究の目的は、新しい素材と機能的なライン構造により、従来の補装具よりも ACL 損傷及び再損傷の予防効果が高い、軟性装具としてのストラップ (Elastomeric strap: ES) を開発することにある。軟性装具の素材には、伸張性と弾性に富む TPS を用い、下肢筋群の解剖学的な走行に基づいた、機能的なラインを考案した。これにより、従来の軟性装具には困難であった、装具装着下における良好なスポーツパフォーマンスの発揮と、安全な着地姿勢を誘導する軟性装具を完成する。ES の機能評価として着地動作を運動力学的に解析し、ACL 損傷および再損傷予防に向けた姿勢制御に対する効果を検証する。この目的を実現するために、まず健康者を対象に ES を用いた片脚着地動作を検証し、姿勢制御の効果を検証する。

3. 研究の方法

対象は下肢疾患の既往がなく、ジャンプ着地時に knee-in が顕著な女子大学生とする。運動課題は 30 cm 台からのジャンプ着地動作とし、殿筋縫工筋 (ES) 型、大腿筋膜張筋 (ITB) 型、二重螺旋型 ES (DS) 型と装着なしをランダムに装着して実施する。

方法 デジタルビデオカメラ (CASIO 社製、EX-F1) を用いて、ハイスピードモードで前額面から撮影した。接地前 40ms (-40ms)、接地時 (0ms)、接地後 40ms、80ms における抽出した二次元画像の静止画から、画像解析ソフト ImageJ を用いて、膝内側移動量 (MKD) を算出する。

方法 三次元動作解析装置 (Vicon Nexus) にて、着地前、着地時と着地後 (40ms ~ 120ms) における体幹のアライメントと下肢関節の角度、モーメント、COP の解析、床反力値を計測する。

上記 および により ES の有用性を検証する。

4. 研究成果

1) 殿筋縫工筋 (ES) 型と大腿筋膜張筋 (ITB) 型の装着による着地動作時の下肢アライメントへ与える影響

【方法】 Knee-in 傾向が著明な女子大学生 14 名 (平均年齢 19.3 歳) を対象とした。計測条件は、機能的ラインを有しないウェアのみを着用した装着なしと ITBL、GSL の 3 条件とした。各試技は、30cm 台からの片脚着地動作をランダムに 3 回実施し、デジタルビデオカメラ (CASIO 社製、EX-F1) を用いて、ハイスピードモードで前額面から撮影した。接地前 40ms (-40ms)、接地時 (0ms)、接地後 40ms、80ms における抽出した二次元画像の静止画から、画像解析ソフト ImageJ を用いた。膝内側移動量 (MKD) は、Kagaya らの方法を参考にして、上前腸骨棘と膝蓋骨中心を結んだ延長線と母趾中央部の距離を測定した。統計処理は反復測定による分散分析を用い、多重比較には Bonferroni 法を用いた。

【結果】 -40ms、0ms、40ms、80ms の MKD (装着なし/ITBL/GSL、単位:cm) は、 $3.3 \pm 2.7/1.3 \pm 3.2/0.3 \pm 2.9$ 、 $3.3 \pm 3.2/1.6 \pm 3.1/0.1 \pm 3.4$ 、 $3.0 \pm 2.9/1.1 \pm 3.1/-0.8 \pm 2.7$ 、 $5.6 \pm 2.9/3.2 \pm 3.1/2.3 \pm 3.3$ となり、すべての経過時間において、GSL は、装着なしと ITBL に比べ、有意に減少した。(11 回 日本アスレティックトレーニング学会学術大会)。

2) 二重螺旋型 ES (DS) 型の装着による着地動作時の下肢アライメントへ与える影響

【対象と方法】Knee-in を呈する女子大学生 25 名 (19.6±0.7 歳) を対象とした。大殿筋および縫工筋の走行に近似させたらせん形状の弾性ストラップを、Compression wear (以下 CW) 上に装着した条件 (弾性ストラップあり) と、CW のみの条件 (弾性ストラップなし) にて、30cm 台からの片脚着地動作を実施した。動作の安定した 3 試行を採用し、着地前 (-40ms)、着地時 (0ms)、着地後 40ms 後および 80ms 後までを解析対象とした。計測は三次元動作解析装置を使用し、関節角度を算出し、2 条件間での比較を行った。

【結果】弾性ストラップありは弾性ストラップなしと比較し、着地前の股関節内旋と着地時 (0ms) から 80ms の股関節内転と内旋角度および膝外反角度が有意に減少した。

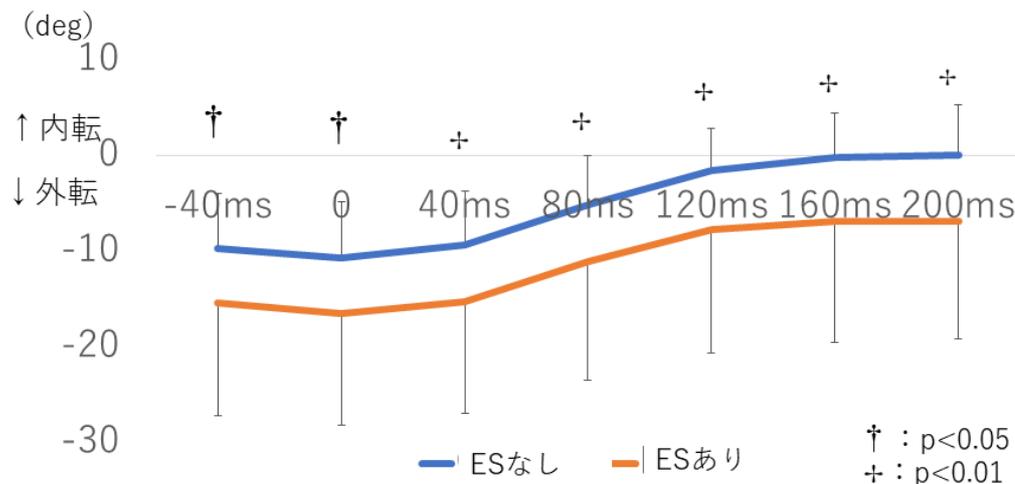


図 1：股関節内転角度の変化

股関節内外転角度は、接地前より、ES ありが ES なしに比べて、外転位となり、Knee-in の要素である股関節の内転を接地後も制動した

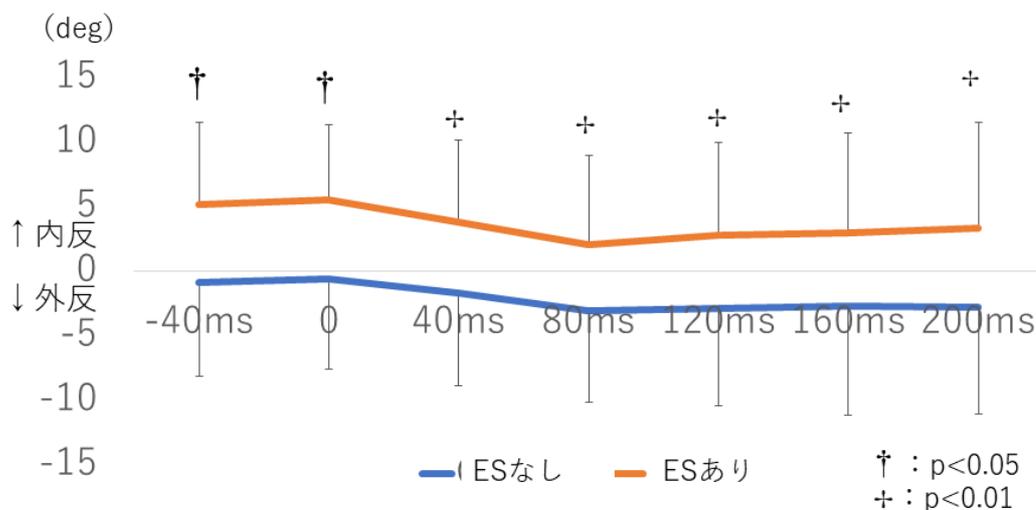


図 2：膝関節の内外反角度の変化

ES ありが ES なしに比べ全ての phase で、有意に内反位であった

3) 殿筋縫工筋 (ES) と大腿筋膜張筋 (ITB) ラインの着地動作時の体幹アライメントへ与える影響

ES と ITB の 2 種類のストラップが、着地動作時の股関節と膝関節に及ぼす制御効果を、前額面および矢状面上で解析した。

【対象】着地時に Knee-in を認める女子大学生 14 名 (18~22 歳) とした。身体に密着したスパッツを着用し、GS、ITB、装着なしの 3 条件における着地動作を計測した。計測条件は、30cm 台からの片脚着地動作を 5 回実施し、三次元動作解析装置 (Vicon Nexus) にて、着地時と着地後 (40ms) における股関節の内転・屈曲と膝関節の屈曲・外反角度を計測した。統計処理は反復測定による分散分析を用い、多重比較には Bonferroni 法を用いた。有意水準は 5% とした。

【結果】股関節の内転角度 (GS / ITB / 装着なし、単位: ° 外転は - 表記) は、着地時が $-11.2 \pm 0.7 / -2.2 \pm 0.6 / -1.9 \pm 1.1$ 、着地後が $-11.7 \pm 1.6 / -2.3 \pm 0.6 / -1.5 \pm 1.2$ であり、膝関節の外反角度は、着地時が $-5.1 \pm 1.2 / 3.6 \pm 0.5 / 5.3 \pm 1.1$ 、着地後が $-5.2 \pm 1.1 / 3.6 \pm 0.9 / 4.9 \pm 0.5$ であった。GS

は ITB および装着なしに比べ、すべての時間において股関節の内転角度と膝関節の外反角度が有意に減少した。股関節の屈曲角度は、着地時が $30.7 \pm 1.8/38.5 \pm 3.2/43.3 \pm 2.9$ 、着地後が $44.8 \pm 2.2/48.1 \pm 3.3/51.9 \pm 1.8$ であり、膝関節の屈曲角度は、着地時が $21.3 \pm 1.8/29.4 \pm 1.5/30.5 \pm 2.1$ 、着地後が $33.2 \pm 8.2/40.9 \pm 2.6/40.5 \pm 1.6$ であった。GS は ITB および装着なしに比べ、着地時の股関節と膝関節の屈曲角度が有意に減少したが、着地後には、有意差がなかった。(第9回日本スポーツ理学療法学会学術大会)

4) 二重螺旋型 ES の開発と着地動作における姿勢制御への影響

これまでの殿筋縫工筋 (ES) 型、大腿筋膜張筋 (ITB) 型のストラップの形状を見直し、下部体幹への圧迫を除き、下肢回旋作用をより強化した二重螺旋型 ES を開発し、その効果を検証した。

【対象】 knee-in 傾向が著明な女子大学生 10~17 名にて、先の実験と同様の台からの着地動作を運動課題として三次元動作解析装置にて着地動作を検証した。

【結果】 直線型 ES は、螺旋型 ES よりも knee-in を抑制する効果に乏しいことを示した。これに対して、二重螺旋型 ES は、同様の着地動作解析により、knee-in を抑制する効果は螺旋型と同等の効果が得られ、更に体幹の前傾と膝関節の屈曲を誘導する結果を示した。(7th IOC World Conference on Prevention of Injury and Illness in Sport)

今回の開発により、ACL 損傷予防のための下肢装具に求められる Knee-in の抑制と体幹の傾斜を抑制することに一定の成果が認められることが示唆された。このストラップは、従来の装具では不十分であると考えられるスポーツ現場での使用が可能となる可能性を十分に秘めており、更なる改良により損傷の予防に寄与できる可能性を示している。研究当初のコロナ禍の影響により、ヒトを用いた実験が十分進まなかったため、ACL 損傷後の再建術後患者やスポーツ現場でのフィールド調査に時間を割けなかったことは今後の課題である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 森下 聖、小柳 磨毅、向井 公一、成 俊弼、有馬 佑多、境 隆弘、中野 和彦
2. 発表標題 前十字靭帯損傷の予防に向けて考案した2種類のElastomeric strapによる着地動作のKnee-in抑制効果 - 大殿筋縫工筋ラインと腸脛靭帯ラインの比較 -
3. 学会等名 第11回 日本アスレティックトレーニング学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森下 聖、小柳 磨毅、向井 公一、成 俊弼、有馬 佑多、境 隆弘、中野 和彦
2. 発表標題 前十字靭帯損傷の予防に向けて考案した2種類のElastomeric strapによる片脚着地の三次元解析
3. 学会等名 第9回日本スポーツ理学療法学会学術大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森下 聖、小柳 磨毅、向井 公一、成 俊弼、境 隆弘、中野 和彦
2. 発表標題 ACL 損傷の予防に向けて考案した Elastomeric strapにおける片脚着地の三次元解析 - 大殿筋縫工筋型と二重螺旋型の比較 -
3. 学会等名 第33回日本臨床スポーツ医学会学術集会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森下 聖、小柳 磨毅、向井 公一、成 俊弼、有馬 佑多、越野 八重美
2. 発表標題 新たに考案した股関節回旋角度の解析手法 - 3次元動作解析における検証-
3. 学会等名 保健医療学学会第12回学術集会
4. 発表年 2022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	小柳 磨毅 (koyanagi maki) (20269848)	大阪電気通信大学・医療健康科学部・教授 (34412)	
研究分担者	境 隆弘 (sakai takahiro) (60353009)	大阪保健医療大学・保健医療学部・教授 (34449)	
研究分担者	松尾 高行 (matuo takayuki) (80643593)	大阪行岡医療大学・医療学部・教授 (34452)	
研究分担者	三谷 保弘 (mitani yasuhiro) (50567071)	関西福祉科学大学・保健医療学部・教授 (34431)	
研究分担者	木村 佳記 (kimura Yoshinori) (00571829)	大阪電気通信大学・医療健康科学部・教授 (14401)	
研究分担者	田中 則子 (tanaka noriko) (20290380)	大阪電気通信大学・医療健康科学部・教授 (34412)	
研究分担者	成 俊弼 (song Junpil) (80843185)	大阪電気通信大学・医療健康科学部・講師 (34412)	

6. 研究組織（つづき）

	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	森下 聖 (morishita Satoshi) (90964057)	大阪電気通信大学・医療健康科学部・特任講師 (34412)	

	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 協力者	中野 和彦 (nakano kazuhiko)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関