

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 9 日現在

機関番号：34517

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24700716

研究課題名(和文) 予測的な運動スキルの学習による外傷予防効果の解明

研究課題名(英文) Acquisition of the predictive postural control and its effect on injury risk reduction

研究代表者

小笠原 一生 (OGASAWARA, Issei)

武庫川女子大学・スポーツ健康科学部・講師

研究者番号：70443249

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、膝や足関節の捻挫に代表されるスポーツ外傷が、予測的な姿勢制御能の向上によって予防されるかを検討することを目的とした。実施した主な研究は、1) 予測的かつ意識下な姿勢制御能のトレーニングの確立、2) 予測的姿勢制御トレーニングおよびパフォーマンス評価のための動作解析システムの構築、3) アスリートを対象とした下肢外傷予防介入、であった。これらの成果として、認知タスクと姿勢制御タスクを同時並行で行うデュアルタスクで予測的な姿勢制御能は向上し、かつこれを日頃のトレーニングに組み込むことで、下肢外傷につながる不良な動的アライメント(膝外反や股関節内転)を改善される結果となった。

研究成果の概要(英文)：Ligamentous injury in sports, such as non-contact anterior cruciate ligament (ACL) rupture, occurs in quite short period of time. It is thus difficult to prevent such injuries in feedback manner. The purpose of this study was to investigate whether the predictive postural control contributes to reduce the risk of athletic injuries.

Firstly we evaluated the trainability of the predictive postural control performance during single-landing task and found that the dual-task training (cognitive combined with postural task) effectively increased the postural stability after single-leg landing. Secondary, we conducted a training intervention for female athletes (N = 10). A significant decreases of the knee abduction angles during single-leg landing were observed after the eight-weeks training session, implying that the acquisition of predictive postural control plays an important role to correct the dynamic postural stabilization and may reduce the risk of knee ligament injuries.

研究分野：スポーツ医工学

キーワード：膝前十字靭帯 姿勢制御 予測 注意 外傷予防 内部モデル

1. 研究開始当初の背景

スポーツで起こる突き指や捻挫は、外力の作用からケガの発生までがわずかに 30 ミリ秒と極めて短いため、感覚フィードバックによる随意的なケガの回避は間に合わない。この研究代表者はことについて、スポーツ中の膝靭帯損傷 (ACL 損傷) に注目して、受傷機転の画像解析¹⁾や心理物理実験²⁾を通じて明らかにしてきた。

この生理学的な限界を克服してスポーツ外傷を予防するためには、環境変化や外乱を見越した予測的な四肢・姿勢制御能の獲得が不可欠と考えた。しかしながら従前の外傷予防トレーニングには、予測的姿勢制御の獲得といった概念がなく、また、どのようなトレーニングパラダイムによって予測的姿勢制御が獲得されるかも不明であった。

2. 研究の目的

上記の研究的疑問にもとづき、本研究では (1) スポーツ外傷予防を目的とした予測的姿勢制御能のトレーニング可塑性の確認、およびその効果検証、(2) 予測的姿勢制御の評価とトレーニングのためのフィードバックシステムの構築、(3) 大学スポーツ選手を対象としたトレーニング介入、を通じて、予測的姿勢制御の獲得がスポーツ外傷 (特に下肢関節の靭帯損傷) のリスク軽減に貢献するかを検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 予測的姿勢制御能のトレーニング可塑性の確認

姿勢外乱を伴う片脚着地後の姿勢動揺を床反力計で計測し、着地練習を重ねることで姿勢動揺が軽減するかを検討した。

健常成人 12 名 (男性 6 名、女性 6 名) を被験者とした。被験者には、20cm の高さのボックスから、前方に設置した床反力計の上に利き脚で着地し、その後 3 秒間静止立位を保つよう要求した。床反力計上にはコンピュータ制御されたレーザーポイントによって赤いターゲットが照射され、被験者はそのターゲット上にきれいに着地するよう求められた。最初の 60 試行では、ターゲットは床反力計の中心にあり動かない条件であった (ノーマル条件)。一方、61~120 試行は被験者が着地動作を開始した後にターゲット位置が突如変更するトリックが挿入され (外乱あり条件)、被験者には、もしターゲット位置が変更されたら変更後のターゲットに着地するようにと指示された。

予測的姿勢制御のパフォーマンスは着地直後から 0.1 秒までの足圧中心平均速度で評価した。この理由としては、接地直後は足底や荷重脚からの sensory input は神経伝達速度の遅延のため姿勢制御に直接的に利用することはできない。すなわち、接地直後の安定性は接地以前の予測的な下肢姿勢生成や、体幹と荷重脚の位置関係、下肢筋の予備緊張

などの予測的制御によるところが大きい。そのため接地後 0~0.1 秒区間の足圧中心平均速度 (~重心動揺) をパフォーマンスの値とした。着地試行の繰り返しによる学習 (足圧中心平均速度の減少) の評価は、試行回数 t の関数で表した足圧中心平均速度 y を指数関数 $y = Ae^{b(t)}$ でフィットしたときの係数 b が $b < 0$ であった場合に、学習有りとして評価した。

(2) 予測的姿勢制御の評価とトレーニングのためのフィードバックシステムの構築

上記 (1) 予測的姿勢制御能のトレーニング可塑性の確認の結果は、以下に記述しているが、この第 1 段階の結果より、姿勢外乱が誘発される状況でも、着地トレーニングを繰り返すことにより予測的姿勢制御能 (片脚着地後の姿勢動揺) が向上することが確認された。これを受けて、(1) の実験セッティングをトレーニングパラダイムとして拡張し、さらには姿勢動揺のパフォーマンスを試行後にフィードバックできるトレーニングシステムを構築した。本システムは動作解析システム OptiTrack (NaturalPoint, Inc.) と床反力計 (Type-9281B) および大型モニター (Aquos LC-40E9, Sharp) で構成され、LabVIEW (National Instruments) で制御される。

(3) 大学スポーツ選手を対象としたトレーニング介入

従来の下肢外傷予防トレーニングに予測的姿勢制御トレーニングを加えたトレーニング介入を行い、片脚着地時の下肢キネマティクスが改善されるかを検討した。

過去 6 ヶ月に下肢に既往症の無い健常大学アスリート 10 名を対象とした。被験者には通常のクラブ活動の傍ら、補強トレーニングを行った。メニューは股関節外転筋力トレーニング、片脚ジャンプ着地トレーニング、片脚閉眼立位保持、2 名ペアでの片脚ジャンプタックル相撲であった。これらフィールドトレーニングに加えて、上記のトレーニングシステムを使用した予測的姿勢制御トレーニングを実施した。トレーニング介入はアスレティックトレーナーの指導のもと 17 日間にわたって 15 回行われ、1 回のセッションは約 20 分であった。

トレーニング介入の前後に 股関節内外転筋力の測定、動作解析実験を行い、介入効果を検討した。

股関節内外転筋力の測定では、被験者は側臥位となり、股関節外転角度 0、15、30 度にて等尺性最大収縮時の股関節内・外転トルクを計測した。

動作解析実験では、被験者には 25 箇所の体ランドマークに直径 14mm の反射マーカーを貼付し (1) で実施した内容と同様のタスクを行った。片脚着地時の反射マーカーの 3 次元座標を動作解析システム OptiTrack で計測し、3 次元的な膝関節角度

(屈曲/伸展、内旋/外旋、内反/外反)を算出した。この膝関節角度の中で膝前十字靭帯(ACL)損傷との関連が深いとされる膝外反角度が軽減するかに注目し解析を進めた。

4. 研究成果

(1) 予測的姿勢制御能のトレーニング可塑性の確認

図1には典型的な2名の被験者の結果を示した。Sub1は試行の反復によって学習が進んだ(足圧中心平均速度が低下した)もので、Sub12は反対に学習が進まなかったものである。12名の被験者全員の学習結果を表1に示したが、12名中8名が外乱条件において学習が認められた。この結果より、姿勢外乱が誘発される状況下でも着地を繰り返すことにより予測的姿勢制御は適応し、着地後の安定性は高まることが示された。また、この向上には個人差があり、中には学習が進まない場合もあることが示された。

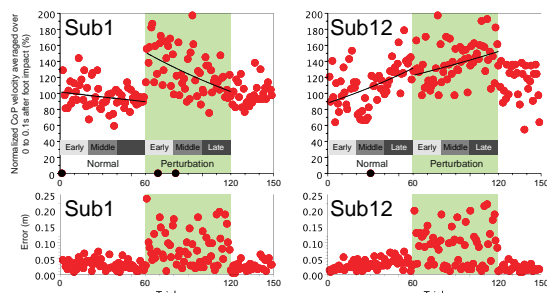


図1 片脚着地後の足圧中心平均速度の学習

表1 被験者別学習評価 b<0で学習有り

		Normal	Perturbation
Sub1	High rate	-0.00210	-0.00652
Sub2		-0.01387	-0.00572
Sub3		-0.00127	-0.00308
Sub4		0.00310	-0.00264
Sub5		-0.00349	-0.00194
Sub6		0.00216	-0.00132
Sub7		0.00119	-0.00093
Sub8		0.00349	-0.00023
Sub9		0.00021	0.00044
Sub10		-0.00283	0.00143
Sub11		0.00398	0.00161
Sub12	Low rate	0.00669	0.00363

この実験で用いたタスクは、「着地後の姿勢制御」に加えて「変動するターゲットを追う」という2重課題となっており、タスク中の被験者の注意は自ずと姿勢制御よりもターゲット追従の方に割かれる。これはスポーツにおいては相手選手やボールに注意が向けられ、姿勢制御に向けられる注意の割合が小さくなる状況に相当する。今回の結果の興味深いところは、姿勢制御に割かれる注意の割合が小さい場合でもトレーニングによって着地後の姿勢安定性が向上するという点で

ある。このことは、スポーツのパフォーマンスを落とすことなく怪我のリスクを軽減できることを示唆している。また同時に、今回の結果は外傷予防トレーニングにおいて2重課題による姿勢制御(バランス)から注意をそらすデュアルタスクトレーニングの有効性を期待させるものである。

(2) 大学スポーツ選手を対象としたトレーニング介入

トレーニング介入の後、股関節内転筋力、外転筋力は股関節角度0、15、30度とも増加傾向にあったが、有意な増加ではなかった(図2)。一方、片脚着地時の膝外反角度は、外乱条件にてトレーニング介入前に比べて介入後に有意に減少し、外乱なし条件と同程度の外反偏位となった(図3)。

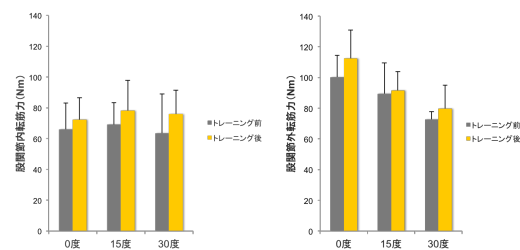


図2 股関節筋力の変化

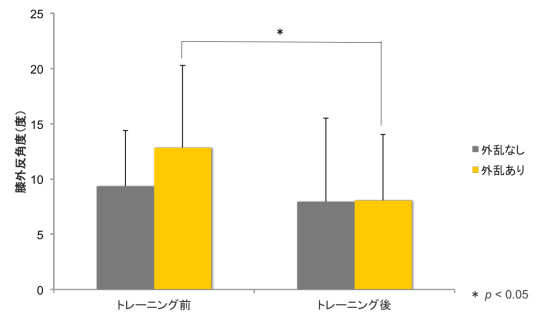


図3 膝外反角度の変化

片脚着地時に増大する膝外反角度はACL損傷のリスクをよく説明する因子として知られており³⁾、これを減少させられたということは、ACL損傷の予防にとって好ましい結果である。股関節外転筋力が高い場合に膝外反角度が低くなることが知られているが、今回の結果から、股関節内外転筋力は有意に増加していない。よって、膝外反角度の減少は筋力増加によるものではなく、予測的な姿勢制御スキルの向上に依存するものと考えられる。17日間の短期介入であるため大幅な筋力増加は期待できないという側面からも、筋力依存ではなく制御系依存による動作解析であったと考えられる。

今後は、より大きな規模の前向き調査にて、予測的姿勢制御能の獲得が怪我の発生率に影響するかを検討する必要がある。

<引用文献>

1) Issei Ogasawara et al. Video Based Analysis of Three Dimensional Knee Joint

Moments During Anterior Cruciate Ligament Injury. Med Sci Sports Exerc, 43(5), s639, (2011).

2) 小笠原一生他, 静力学を用いた膝前十字靭帯損傷のリスクを高める動作の同定. 体力科学, 59(9), 485-494, (2010).

3) Hewett et al. Biomechanical measures of neuromuscular control and valgus loading of the knee predict anterior cruciate ligament injury risk in female athletes: a prospective study. Am J Sports Med, 33(4), 492-501, 2005.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 3 件)

Issei Ogasawara, Shumpei Miyakawa, Shigeyuki Wakitani. The external force model for determining the frontal plane knee loading pattern - Implication for the mechanism of non-contact anterior cruciate ligament injury -. Mukogawa journal of health and exercise science, 4(1), 19-28, 2014. [査読有]

Issei Ogasawara, Shumpei Miyakawa, Shigeyuki Wakitani. Gender difference in neuromuscular hip and knee control during single-leg landing. Mukogawa journal of health and exercise science, 4(1), 1-11, 2014. [査読有]

杉山 恭二, 木村 佳記, 佐藤 睦美, 小柳好生, 小笠原一生, 松尾 知彦, 前 達雄, 北 圭介, 中田 研. 動的バランス評価方法の提案-片脚 drop jump 着地動作における重心動揺総軌跡長の再現性-. スポーツ傷害, 17, 40-42, 2012. [査読有]

[学会発表](計 9 件)

小笠原一生, 小柳好生, 他. 膝外反内旋複合ストレス発生メカニズムの3次元的可視化. 第3回日本アスレティックトレーニング学会学術集会, 2014年7月13日, 名古屋国際会議場(愛知県名古屋市)

Issei Ogasawara, Yoshio Koyanagi et al. Rearfoot impact more frequently induces knee valgus and internal rotational combined loading in side-cut task. 2014 Annual meeting of American College of Sports Medicine, Orlando, FL, US, May, 2014.

小笠原一生, 小柳好生, 他. サイドカット動作における膝外反内旋複合ストレスの発

生メカニズム. 第28回日本体力医学会近畿地方大会, 2014年1月25日, 神戸大学(兵庫県神戸市).

木村佳記, 小笠原一生, 他. 片脚ドロップジャンプ着地テストによる動的バランス評価. 第19回スポーツ傷害フォーラム, 2014年1月25日, グランキューブ大阪(大阪府大阪市).

川上由紀子, 小笠原一生, 他. 片脚前方ホップ着地時の動的バランス. 第19回スポーツ傷害フォーラム, 2014年1月25日, グランキューブ大阪(大阪府大阪市).

小笠原一生, 小柳好生, 他. 膝外反+内旋複合負荷の発生メカニズムの解明. 第24回日本臨床スポーツ医学会学術集会, 2013年10月25日, 熊本市国際交流会館(熊本県熊本市).

Issei Ogasawara, Yoshio Koyanagi et al. Assessment of prediction and learning effect on dynamic postural stability in single leg landing task. 2012 Annual meeting of American College of Sports Medicine, San Francisco, CA, US, May, 2012.

小笠原一生, 小柳好生, 他. ビデオ解析による膝靭帯損傷のメカニズム解明. 第10回ハンドボール研究会, 2012年3月10日, 駒沢大学, (東京都世田谷区).

古賀 英之, 小笠原一生, 他. Model-based image-matching technique を用いた膝モーメントの推定によるACL損傷メカニズムの解明. 第23回日本臨床スポーツ医学会学術集会, 2012年11月3日, 新横浜プリンスホテル(神奈川県横浜市).

[図書](計 2 件)

小笠原一生. 前十字靭帯損傷のメカニズムと予防プログラム. バイオメカニクス研究, 17(2), 99-102, 2013.

小笠原一生, 高野内俊也. アスリートのリハビリテーション とリコンディショニング, 第8章ハンドボール日本代表チームの事例, 福林徹監修, 315-317, 2012, 文光堂.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小笠原 一生 (OGASAWARA, Issei)
武庫川女子大学・健康・スポーツ科学部、健康・スポーツ科学科 講師

研究者番号: 24700716