

平成 30 年 9 月 10 日現在

機関番号：34411

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2017

課題番号：26750315

研究課題名(和文) 経皮的電気刺激を用いた新たな手法によるACL損傷メカニズムの再現と内的因子の影響

研究課題名(英文) A new method using cutaneous electrical stimulation to simulate ACL injury mechanism and the influence of internal injury risk factors

研究代表者

下河内 洋平 (Shimokochi, Yohei)

大阪体育大学・体育学部・教授

研究者番号：80465632

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、経皮的電気刺激により大殿筋を片脚着地の接地直前から収縮させ、身体部位の角度変化や膝の負荷に対する影響を検証した。大殿筋を用いた衝撃吸収は、ACL損傷予防において重要であるといわれている。しかし、検証の結果、制御されておらず、不適切なタイミングで生じる大殿筋の活動は、片脚着地におけるACL損傷リスクを高める可能性が示された。よってアスリートは、ACL損傷を予防するために、適切な大殿筋活動の制御方法を習得する必要がある。今後さらに、片脚着地時の大殿筋活動の不適切な制御がACL損傷リスクへ及ぼす影響度合いと、ACL損傷の危険因子との関係性を明らかにしていく。

研究成果の概要(英文)：We examined the effects of uncontrolled GM activations induced by cutaneous electrical stimulation on lower extremity and trunk kinetics and kinematics during single-leg landing. Three dimensional kinetic and kinematic data were collected from 28 healthy recreationally active subjects during the tasks. Results showed that uncontrolled GM activation led the body into a risky position for the ACL, characterized that the sacrum posteriorly and laterally inclined toward the stance leg. These results indicate that although using hip extensors such as GM for shock attenuation has been considered to be important to prevent ACL injuries, uncontrolled GM activations prior to and after the foot contact of landing may increase ACL injury risks. Thus, athletes should learn proper muscle activation timing to protect their ACL. The relationships of internal risk factors and the amount of biomechanical changes between experimental and control conditions are currently analyzed.

研究分野：スポーツ医学

キーワード：ACL 前十字靭帯 スポーツ傷害 傷害予防 着地 landing injury prevention lower extremity

1. 研究開始当初の背景

前十字靭帯(以下 **ACL**)損傷は急激な減速 - 加速を繰り返すスポーツ、例えば、ハンドボールやバスケットボールなどの競技において頻繁に生じる。そして、その **70%**以上は、非接触性の形で生じることが知られている。特に女子選手においてはその発生率は高く、**ACL** 損傷の合理的な予防メカニズムの解明は重要な課題であり、そのためには非接触性 **ACL** 損傷メカニズムを明確にしていくことが必要不可欠である。

我々はシステマティックレビュー (**Shimokochi and Shultz 2008, J Athl Train**) によって、膝関節が伸展位に近い時に、膝外反 + 内旋負荷が加わり、更にハムストリングスの共収縮が無い状態で大腿四頭筋の過度な収縮が生じる状況が **ACL** を損傷させるという説を提唱した。この **ACL** 損傷メカニズム説は、その後様々な研究などで検証され、広く受け入れられている。更に、*in vitro* 研究 **Meyer and Haut 2008 J Biomech, Koga et al 2010, Am J Sport Med**) により、膝外反負荷や膝圧縮力増加が、膝関節に過度な内旋負荷と前方剪断力を生み、**ACL** 損傷を損傷させる可能性が示された。よって、急激な減速時に膝関節屈曲角度の低下、大腿四頭筋の収縮力増大及びハムストリングス共収縮低下、膝圧縮力及び外反ストレスの増大などを実際に引き起こす状況を再現し、**ACL** 損傷リスクを検証することが新たな知見を生み出すためには重要である。

ACL 損傷に関わる膝関節への負荷は着地接地後約 **40msec** で最大になり、**ACL** 損傷もこの時点で生じることが多いと考えられている。これまでの研究は、我々の研究 (**Shimokochi et al 2009, 2013, 2016**) を含め、着地や減速に伴う接地後の動作や筋活動を生体力学的に検討したもののばかりであった。これらの研究において、接地後の膝関節への負荷は、着地直前の矢状面における上体の角度や下肢の位置などによって大きく影響を受けることが示されている (**Shimokochi et al 2009, 2013, 2016**)。これは、接地後 **50msec** 以内の膝関節への負荷は、接地直前の下肢筋群の予備収縮度合や各身体セグメントの位置に大きく影響を受けることを意味している。しかし、接地直前の身体のポジショニングや下肢筋群の予備収縮を制御することで上述のような **ACL** 損傷メカニズムを再現し、それが着地直後の膝関節負荷や筋活動及び **ACL** 損傷リスクに与える影響に関して検証した研究は、ほとんど見当たらない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、着地直前の過度な大臀筋予備収縮が片脚着地後における膝関節負荷や下肢筋活動に与える影響と、その影響の大きさと内的危険因子との関係性を検証することとする。

3. 研究の方法

被験者

健康な男女 **28** 名 (女性 **13** 名: 20.2 ± 1.7 yrs old, 56.7 ± 7.8 kg, 1.576 ± 0.064 m; 男性 **15** 名: 21.3 ± 1.5 yrs old, 64.9 ± 4.8 kg, 1.726 ± 0.053 m) が実験に参加した。すべての被験者は運動を **1** 日 **30** 分、週に **3** 回以上行っており、下肢の手術歴は無く、実験時において下肢に疼痛や傷害無いものであった。

実験準備

被験者は地面反力計上に万歳の姿勢で直立し、その上部に設置してある板上に、指先から上部 **30** cm の位置を記すテープを張った。また、被験者の利き脚の大殿筋の筋腹に粘着導子を貼付した。干渉電流型低周波治療器 (**Dynamid 2500**, ミナト医科学株式会社) を用いて $2500\text{Hz} \pm 5\%$ の搬送周波数、**70Hz** 治療周波数により、大殿筋に電流を流し、被験者が許容できる上限まで電流を上げ、着地直前に出力する電流量を決定した。

実験手順

被験者は腕を約 **90** 度外転させ万歳した状態で **45** cm のボックスの上に立ち、そこからとび下りて地面反力計の上に両足で着地 - 踏切り動作を行い、下記の手順で2条件において垂直跳びからの片脚着地を行った (**Fig. 1**):

統制条件: 跳躍後、上部に設置してある板上のラインを指先で触り、そのまま地面反力計上に利き脚で片脚着地を行った

実験条件: 跳躍後、上部板上のライン位置に設置された干渉電流型低周波治療器の作動スイッチボタンを指先で押し、着地直前に大殿筋が経皮的電気刺激により強制的に収縮した状態で片脚着地を行った

データ測定

一連のタスクの各身体セグメントの運動学的・動力学的データは三次元磁気動作自動追尾システム (**Motion Monitor System, Inn Sport Inc. Chicago, U.S.**) 及び非磁性地面反力計を用いて測定した。**3** 次元磁気動作センサーは足背部、脛骨、大腿部外側遠位部、仙骨、胸郭上に貼付 & 固定した。



Fig. 1. Double-leg drop jump to single-leg landing

運動学的データは **140Hz**、地面反力データは **1400Hz** で測定し、運動学的データは地面反力データに直線補完し **20Hz** ローパスバタワースフィルターを用いて平滑化した。

3 回の成功試技における片脚着地接地時、最大地面反力鉛直成分発生時、最大膝伸展モーメント発生時、そして身体重心最下点到達時の股関節、膝関節、足関節、および体幹の矢状面、水平面、前額面角度等を算出し、平均値を代表地とした。

統計処理

性別 × 条件の **2** 元配置分散分析を用いて条件間の各変数の平均値の差を検証した。交互作用が有意であった場合は、対応のある *t* 検定を用いて性別ごとに条件間の差を検証した。有意確率は **5%** 未満とした。

4. 研究成果

分析の結果、制御されておらず、不適切なタイミングで接地直前に生じる大殿筋の活動は、前額面においては骨盤を空間において支持脚側により側方傾斜させ、矢状面においては前傾が少ない姿勢を呈する結果となった (Table 1a & b)。この姿勢は、ACL 損傷時に頻繁に観察される姿勢であり (Shimokochi et al 2009, 2013, 2016, Sheehan et al 2010, Hewett et al 2009)、膝の圧縮負荷や外反負荷がかかりやすくなり、衝撃吸収能力が低下する姿勢であることが報告されている。

大殿筋などの股関節伸筋群による衝撃吸収は、片脚着地のような急激な減速動作時に ACL 損傷を予防するために重要であることが示されている (Decker et al 2003)。しかし、本研究では、不適切な大殿筋の収縮は、逆に ACL 損傷リスクを高める可能性が示された。

したがって、アスリートは、ACL 損傷を予防するために、適切な大殿筋活動の制御方法を習得する必要がある。今後さらに、片脚着地時の大殿筋活動の不適切な制御が ACL 損傷リスクへ及ぼす影響度合いと、ACL 損傷の危険因子との関係性を明らかにしていく。

Table 1. Mean ± SD for sacrum a) sagittal and b) frontal inclination angles in space and results of 2-way ANOVAs. Positive directions indicate posterior and lateral inclinations toward dominant leg.

a)

Time Point	Sacrum Sagittal Inclination Angle (°)		<i>p</i> values	
	Control	Experiment	Main Effect	Interaction
Foot Contact				
Females	-10.7 ± 8.3	-8.0 ± 9.6	0.155	0.328
Males	-3.0 ± 7.1	-2.4 ± 7.0		
All	-6.5 ± 8.5	-5.0 ± 8.6		
Peak Vertical Ground Reaction Force				
Females	-8.9 ± 10.0	-5.5 ± 10.5	0.067	0.469
Males	-2.8 ± 7.5	-1.3 ± 7.1		
All	-5.6 ± 9.1	-3.2 ± 8.9		
Peak Knee Extension Moment				
Females	-8.5 ± 11.3	-3.8 ± 12.7	0.021	0.487
Males	-1.3 ± 8.8	1.3 ± 7.9		
All	-4.6 ± 10.5	-1.0 ± 10.6		
End of Landing				
Females	-14.1 ± 13.0	-8.7 ± 16.3	0.013	0.833
Males	-6.3 ± 9.9	-1.7 ± 10.3		
All	-9.9 ± 11.9	-5.0 ± 13.7		

b)

Time Point	Sacrum Frontal Inclination Angle (°)		<i>p</i> values	
	Control	Experiment	Main Effect	Interaction
Foot Contact				
Females	12.4 ± 5.2	13.9 ± 7.4	0.001	0.07
Males	10.0 ± 7.2	14.6 ± 5.5		
All	11.1 ± 6.4	14.3 ± 6.4		
Peak Vertical Ground Reaction Force				
Females	10.8 ± 4.9	12.4 ± 7.9	0.002	0.115
Males	7.4 ± 6.8	11.8 ± 5.0		
All	9.0 ± 6.1	12.1 ± 6.4		
Peak Knee Extension Moment				
Females	8.8 ± 4.9	9.7 ± 8.6	0.023	0.178
Males	4.9 ± 7.0	8.2 ± 5.7		
All	6.7 ± 6.3	8.9 ± 7.1		
End of Landing				
Females	5.6 ± 5.7	6.7 ± 7.7	0.013	0.133
Males	2.8 ± 5.5	7.0 ± 6.2		
All	4.1 ± 5.6	6.8 ± 6.8		

5. 主な発表論文等

[学会発表](計 2 件)

1. 第 72 回 日本体力医学会大会 愛媛県 松山大学文京キャンパス 2017 年 9 月 16 日 ~ 17 日、Abstract published in Journal of Physical Fitness and Sport Medicine. Yohei Shimokochi¹, Kanae Hosaki, Akiko Takiguchi, Too Early Gluteus Maximus Preactivations Affect Multiplane Lower Extremity Joint Angles during Single-leg Landing, Volume 6 (2017) Issue 6 Pages 554
2. American College of Sport Medicine's 65th Annual Meeting, Minneapolis, MN, May 29 ~ June 2. Abstract published in Medicine & Science in Sports & Exercise, Yohei Shimokochi, Kanae Hosaki, Akiko Takiguchi, Issei Ogasawara, Effects of Increased Gluteus Muscle Activation on Hip and Trunk Kinematics during Single-leg Landing, Volume 50 (2018), Issue 5S:690-691.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

下河内洋平 (Shimokochi Yohei)
大阪体育大学・体育学部・教授
研究者番号：804656323