

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 2 日現在

機関番号：32511

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25750219

研究課題名(和文)前十字靭帯損傷に対する内側ハムストリングス集中的トレーニングの予防効果

研究課題名(英文)Effect of medial hamstrings training on prevention of ACL injury

研究代表者

吉田 成仁 (YOSHIDA, NARUTO)

帝京平成大学・ヒューマンケア学部・講師

研究者番号：60581791

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：前十字靭帯(ACL)損傷の予防方法を開発することを目的として、筋活動とACL損傷リスクとの関連性を検討した。接地直前50msにおいてつま先接地(FFS)は踵接地(RFS)に比べて腓腹筋(GL)、半腱様筋(ST)、大腿二頭筋(BF)の筋活動量が有意に大きかった。また、接地直後50msではFFSはRFSに比べてBFとGLの筋活動量が大きく、前脛骨筋の活動量が小さかった。このことからFFSによる動作では、接地前後のハムストリングスの筋活動が高く働くことが示唆され、FFSによるカッティング動作はRFSによるカッティング動作に比べ、ACL損傷リスクの低いカッティング動作であることが明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to investigate the relationship between the muscle activity and the risk of anterior cruciate ligament (ACL) injury.

At 50 ms prior to ground contact, BF, ST, and GL muscle activity was significantly greater during FFS cutting than during RFS cutting, and TA muscle activity was significantly greater during RFS cutting. At 50 ms after ground contact, BF and GL muscle activity was significantly greater during FFS cutting than during RFS cutting, while TA muscle activity was significantly lower during FFS cutting than during RFS cutting.

研究分野：スポーツ医学

キーワード：ACL 前足部接地(FFS) ジャンプ着地 カッティング動作

1. 研究開始当初の背景

膝前十字靭帯 (ACL) 損傷は女性アスリートにおいて発生率が高く、復帰には少なくとも 6 カ月から 9 カ月以上の期間が必要となると考えられている。アスリートにとって前十字靭帯 (ACL) 損傷は、競技レベルの低下や選手生命につながる重大な疾患であり、予防対策の検討が急務と考えられている。ACL 損傷の 70%前後がジャンプ着地、ストップ動作などの非接触性に発生する [1] [2]。ACL 損傷の要因として様々な要因が考えられている。ハムストリングスは ACL と同じく脛骨の前方移動を制御する筋でもあるため筋力低下や筋の動員遅延などによって、ACL 損傷が起こりやすくなる可能性が報告されている [3]。しかし、その他の筋活動についてはあまり検討が進められていない。我々の先行研究において大腿後面の筋肉 (ハムストリングス) の内側と外側の活動比が ACL 損傷に関わる可能性があると考えていたが、それについては関連性を認めなかった。また、接地前の前脛骨筋の筋活動が大ききことと膝の最大外反角度の増大に関連性がみられた [4] ことから、下肢の筋活動が膝関節の外反角度に影響を与える可能性があると考えた。

ハンドボール競技では、ボールをキャッチしてから最高 3 歩まで動くことができることから、あらゆる場面で多様なステップが用いられている [5]。こういった高度かつ多様な動きに対応しながらプレーする必要があるが、ハンドボール競技における ACL 損傷が、スピードに乗ったプレー中のカットティング動作やジャンプ着地動作といった多様なステップ動作時に発生している [6]。ハンドボール選手の ACL 損傷を予防するためにも、ハンドボールプレー時に過剰な膝関節外反を誘発しないステップ動作の習得が必要である。上記のような傷害の発生しにくいステップ動作を行うためには、足の接地方法についても考えていく必要がある。

中足部や前足部による接地がランニング効率を改善し、傷害発生を抑制する可能性があるとの報告 [7] [8] [9] や、前足部接地を行うランナーは後足部接地を行うランナーに比べて、膝関節と股関節の傷害リスクが低いとの報告 [10] もある。Lieberman [11] によるとランニング時の足の接地方法を前足部接地と後足部接地で比較した結果、身体へ加わる床反力が異なることが示されている。後足部接地の場合、体重の 1.5 倍から 3 倍の瞬間的な衝撃吸収を接地から 50ms 間で行っている。

前方へのカットティング動作についての先行研究 [12] において、カットティング動作時に過度の膝関節外反モーメントをもつものは、足部をより外側に接地することでカットティングを行いやすくしていたとされている。このような足を着く場所や足幅 [13] についての検討はなされているものの、カットティング動作時の足の接地部位の違いが、膝関節外反

角度に与える影響について検討したものはない。これを明らかにすることで、膝関節 ACL 損傷の予防に効果的なステップ動作の指導に役立つ知見となると考える。

2. 研究の目的

本研究では、前足部接地によるカットティング動作 (FFS) と後足部接地によるカットティング動作 (RFS) それぞれを実施した際の下肢筋活動と膝関節の外反角度の関連性を検討することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 対象

関東大学リーグに所属する女子ハンドボール選手 11 名 (21.5 ± 0.9 years, 163.1 ± 5.2 cm, 57.8 ± 3.8 kg) を対象とした。本研究は、筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を経て (課題番号第体 24-82 号)、対象者に対しては研究の趣旨を十分に説明し文書または口頭で同意を得て行った。

(2) 実験プロトコル

前足部接地と後足部接地の 2 種類のカットティング動作を行わせ、この時の筋活動を表面筋電図により記録する。また、この時の膝関節角度の変化を 3 次元動作解析により算出し、筋活動と膝関節角度の関連性を検討する。フォースプレート筋電図と同期させ、接地直前・直後の筋活動量を算出し、比較検討することとした。

(3) 課題動作

カットティング動作: 80cm 手前からフォースプレート中心点に向かい片脚接地後、進行方向に対して接地脚外側 60 度の方向へカットティング動作を行う。各被験者は 3 回ずつ試技を行い、3 試技の中で膝関節屈曲角度が最大となった試技を採用試技とした。

(4) 表面筋電図記録

筋活動の記録には表面筋電図 (Biometrics 社) を使用し、被検筋を大腿直筋 (RF)、内側広筋 (VM)、外側広筋 (VL)、半膜様筋 (SM)、大腿二頭筋 (BF)、前脛骨筋 (TA)、腓腹筋外側頭 (GL)、長腓骨筋 (PL) の計 8 筋とした。電極には表面電極とアンプが一体化された EMG アンプ (Biometrics 社; 電極間中心距離 2cm) を使用し、各筋線維方向に平行になるように貼付し、アース電極は左手首に設置した。導出した筋電位はサンプリング周波数 1000Hz にて A/D 変換し、データ取込・汎用解析プログラム TRIAS System (Biometrics 社) を用いてパーソナルコンピューター内に保存する。筋電図の解析は、生波形から root mean square (RMS) に変換し、試技間の検討に用いた。分析には、着地前と着地初期の筋活動を調べるために、足尖接地前 50ms と接地後 50ms の筋活動を使用した。

(5) 膝外反・下腿外旋角度の評価

3次元動作解析システム(Motive Tracker, Optitrack社製),床反力計(9286B, Kistler社製)1枚, サンプリング周波数100Hzの赤外線カメラ(V100:R2, Optitrack社製)6台を用いた。ジャンプ着地点をフォースプレート上としサンプリング周波数1000Hzにて床反力データの計測を行い, ジャンプ着地時の床反力を算出した。木藤の報告[14]を参考にし, シューズ先端, 外果, 膝関節外側, 内側(膝関節裂隙の高さで膝蓋骨を除く前後径の midpoint), 大転子, 上前腸骨棘とし, 股関節を大転子中央と上前腸骨棘を結ぶ線上で大転子から1/3の点に反射マーカ(直径14mm)を貼付した。

左大腿座標系は上前腸骨棘から膝外側と膝内側の midpoint (K0) へ向かうベクトルを LFz とし, 膝内側から膝外側へ向かうベクトルと LFz の外積によって得られるベクトルを LFx, LFz と LFx の外積によって得られるベクトルを Lfy と定義した。左下腿座標系は K0 から内果と外果の midpoint (A0) へ向かうベクトルを LTz とし, 内果から外果へ向かうベクトルと LTz の外積によって得られるベクトルを LTx, LTz と LTx の外積によって得られるベクトルを LTy とした。右大腿座標系は K0 から上前腸骨棘へ向かうベクトルを RFz とし, 膝外側から膝内側へ向かうベクトルと RFz の外積によって得られるベクトルを RFx, RFz と RFx の外積によって得られるベクトルを Rfy とした。右下腿座標系は A0 から K0 へ向かうベクトルを RTz とし, 外果から内果へ向かうベクトルと RTz の外積によって得られるベクトルを RTx, RTz と RTx の外積により得られるベクトルを RTy とした。左膝角度は左大腿座標系から左下腿座標系へ, 右膝関節角度は右大腿座標系から右下腿座標系へ定めた回転順序(Y軸 X軸 Z軸)で変換する時のオイラー角として定義し, 膝関節の外反・下腿の回旋角度を算出した。

(6) 統計解析

統計量は中央値(25%, 75%)で表した。RFSとFFSを比較するために統計ソフト(IBM SPSS Statistics Ver.19)を用いWilcoxon signed-rank test(有意水準を0.05未満)にて検討した。

4. 研究成果

膝関節最大屈曲角度, 最大外反角度, 最大回旋角度, 垂直方向の最大床反力では, 両群間に有意な差は認められなかった。接地直前50msにおいてBF, ST, GLの筋活動量に有意な差が認められ(p<0.05), FFSはRFSに比べてBF, ST, GLの筋活動量が大きかった。接地直後の50msではBF(p<0.01), TA(p<0.01), GL(p<0.01)の筋活動量に有意な差が認められた。FFSはRFSに比べてBFとGLの筋活動量が大きく, TAの活動量が小さかった。(Table1, 2)

Table1. Angle of Knee joint

	Flexion		Internal Rotation		Valus	
	RFS	FFS	RFS	FFS	RFS	FFS
MAX	61.163	64.668	3.428	5.915	5.986	7.133
75%	56.560	55.793	-13.316	-12.893	-2.267	0.082
MEDIAN	52.826	50.851	-16.468	-15.527	-3.494	-2.788
25%	49.281	49.582	-19.673	-22.367	-4.273	-3.347
MIN	46.998	41.218	-25.569	-26.370	-5.776	-6.918

Table2. Muscle Activity

PRE 50	VM		RF		VL		ST*	
	RFS	FFS	RFS	FFS	RFS	FFS	RFS	FFS
MAX	2.39	2.93	0.36	0.48	1.34	1.36	0.56	0.67
75%	0.63	0.61	0.17	0.15	0.42	0.60	0.29	0.38
MEDIAN	0.24	0.36	0.08	0.08	0.25	0.29	0.24	0.30
25%	0.15	0.19	0.05	0.05	0.23	0.23	0.19	0.25
MIN	0.08	0.11	0.04	0.04	0.14	0.14	0.10	0.14
PRE 50	BF*		TA*		GL*		PL	
	RFS	FFS	RFS	FFS	RFS	FFS	RFS	FFS
MAX	0.36	0.90	0.77	0.44	0.68	0.91	0.38	0.60
75%	0.21	0.42	0.53	0.29	0.27	0.46	0.28	0.33
MEDIAN	0.16	0.24	0.47	0.25	0.20	0.38	0.20	0.24
25%	0.12	0.13	0.43	0.16	0.16	0.32	0.12	0.14
MIN	0.07	0.12	0.19	0.07	0.12	0.16	0.07	0.07
POST 50	VM		RF		VL		ST	
	RFS	FFS	RFS	FFS	RFS	FFS	RFS	FFS
MAX	2.55	2.99	0.52	0.62	1.44	1.41	1.21	1.12
75%	0.66	0.63	0.25	0.18	0.45	0.61	0.53	0.63
MEDIAN	0.24	0.37	0.10	0.09	0.34	0.32	0.45	0.55
25%	0.20	0.25	0.08	0.07	0.26	0.28	0.34	0.45
MIN	0.10	0.12	0.06	0.06	0.16	0.16	0.22	0.26
POST 50	BF*		TA*		GL*		PL	
	RFS	FFS	RFS	FFS	RFS	FFS	RFS	FFS
MAX	0.62	1.16	1.23	0.61	0.79	1.60	0.52	0.67
75%	0.41	0.65	0.85	0.31	0.34	0.85	0.41	0.48
MEDIAN	0.30	0.49	0.77	0.28	0.31	0.70	0.28	0.33
25%	0.21	0.33	0.66	0.23	0.23	0.57	0.19	0.19
MIN	0.18	0.27	0.40	0.14	0.16	0.25	0.11	0.12

* : RFS vs FFS p<0.05

FFSは接地前50msのGLの筋活動が高かったことは, 接地前から足関節を底屈させるために筋活動が高かったことを示している。また, GLのエキセントリックな収縮によって接地による衝撃を緩衝するため予備緊張がなされているとも考えられる。接地後においては, よりGLの働きが大きくなるとともに, TAの筋活動は低くなっている。主働筋の筋活動に対して拮抗筋は反射的に抑制されることは明らかになっており[15], このメカニズムは相反神経抑制と呼ばれる。FFS時にはGLの活動が大きくなっていることから, GLの拮

抗筋である TA は相反神経メカニズムにより活動が抑制されているためであると考えられる。また、本研究において興味深いのは、この下腿での筋活動と同時に、接地直前 50ms において BF と ST の筋活動量、接地後 50ms において BF の筋活動量が大きくなっている点である。FFS において BF と ST の活動が大きかった理由としては、足関節底屈が BF の活動を惹起している可能性がある。歩行におけるパターンのひとつとして歩行時に足関節の底屈が強調されている場合がある。このパターンでは、身体重心を前方へ運ぶために、早期に踵離地を出現させ、床反力作用線が前方へ移動する。このために、足関節が底屈し、膝関節が屈曲する歩行が起こるとしている [18]。この膝関節の屈曲を行うために BF の活動が高くなると予想されることから、FFS においても、底屈位を維持することにより膝関節の屈曲も同様のメカニズムで引き起こされた可能性が考えられる。ハムストリングスの筋力低下や活動遅延が ACL 損傷の危険因子として挙げられていることから台上からの着地においても、カッピング動作においても、ハムストリングスの働きが大きくなることは、ACL 損傷リスクの低下に寄与するものと考えられる。特に、接地後 50ms 以内に ACL 損傷が発生しているとの報告 [16] もあり、この期間に ACL 損傷の予防に働くと考えられるハムストリングスの筋活動が高かったことはより貴重な研究結果となると考える。

結論として、FFS によるカッピング動作では、接地前後のハムストリングスの筋活動が高く働くことから、FFS によるカッピング動作は RFS によるカッピング動作に比べ、ACL 損傷リスクの低いカッピング動作であることが明らかとなった。本研究では進行方向が 60 度変化するカッピング動作であったが、今後は様々な方向へのカッピング動作においても FFS で実施することで、ハムストリングスの活動が高く、ACL 損傷のリスクを低減した状況で行われるかを検討していきたいと考える。

<引用文献>

1. McNair, P., R. Marshall, and J. Matheson, *Important features associated with acute anterior cruciate ligament injury*. The New Zealand Medical Journal, 1990. **103**(901): p. 537-539.
2. Boden, B.P., et al., *Mechanisms of anterior cruciate ligament injury*. Orthopedics, 2000. **23**(6): p. 573-578.
3. MacWilliams, B., et al., *Hamstrings cocontraction reduces internal rotation, anterior translation, and anterior cruciate ligament load in weight-bearing flexion*. J Orthop Res., 1999. **17**(6): p. 817-822.
4. Yoshida, N., et al., *Relationship between lower limb muscle activity and knee joint valgus angle during jump landing in female handball players*. The Japanese journal of handball research, 2015. **4**: p. (in press).
5. Hisashi, S., *A Study of the Step Technique in Handball Games (II)*. Bulletin of Sendai University, 1985. **17**: p. 1-11.
6. Myklebust, G., et al., *A prospective cohort study of anterior cruciate ligament injuries in elite Norwegian team handball*. Scandinavian journal of medicine & science in sports, 1998. **8**(3): p. 149-153.
7. Fitzgerald, M., *The Cutting-edge Runner: How to Use the Latest Science and Technology to Run Longer, Stronger, and Faster* 2005: Rodale.
8. Martin, D.E. and P.N. Coe, *Better training for distance runners* 1997: Human Kinetics 1.
9. Yessis, M., *Explosive Running: Using the science of kinesiology to improve your performance* 2000: Contemporary Books.
10. Daoud, A.I., et al., *Foot strike and injury rates in endurance runners: a retrospective study*. Med Sci Sports Exerc, 2012. **44**(7): p. 1325-34.
11. Lieberman, D., et al., *Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners*.

Nature, 2010. **463**(7280): p. 531-535.

12. Sigward, S.M. and C.M. Powers, *Loading characteristics of females exhibiting excessive valgus moments during cutting*. Clinical Biomechanics, 2007. **22**(7): p. 827-833.
13. Yamaguchi, O., et al., *Influence of foot position on knee valgus during feinting in team handball*. The Japanese Society of Physical Fitness and Sports Medicine 2009. **58**(5): p. 537-544.
14. 木藤伸宏, *内側型変形性膝関節症の歩行時の運動学・運動力学的特徴*. 別冊整形外科, 2008. **53**: p. 180-188.
15. Åstrand, P.-O., *Textbook of work physiology: physiological bases of exercise* 2003: Human Kinetics.
16. Krosshaug, T., et al., *Mechanisms of anterior cruciate ligament injury in basketball video analysis of 39 cases*. The American Journal of Sports Medicine, 2007. **35**(3): p. 359-367.
17. Kulmala, J.-P., et al., *Forefoot strikers exhibit lower running-induced knee loading than rearfoot strikers*. Med Sci Sports Exerc, 2013. **45**(12): p. 2306-13.
18. Mitsukuni, Y., F. Tsutomu, and I. Makoto, *Effective Orthopedic Physical Therapy* 2009, Tokyo, Japan: Medical View Co., Ltd.

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 1 件)

1. 吉田成仁, 眞下苑子, 増成暁彦, 功刀峻, 大隈祥弘, 加納明帆, 山田永子, 女子ハンドボール選手におけるスポーツ動作時の膝関節外反角度と下肢筋活動動態の関連性, ハンドボールリサーチ, 査読有, 4 巻, 2015, 39-45

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

吉田 成仁 (YOSHIDA, Naruto)

帝京平成大学・ヒューマンケア学部・講師

研究者番号 : 60581791