

膝前十字靭帯再建術後に Hip-focused Injury Prevention Program を 導入したリハビリテーションが Star Excursion Balance Test を用いた 動的バランス能力に与える影響

Effect of rehabilitation with a Hip-focused Injury Prevention Program on dynamic postural control assessed with the Star Excursion Balance Test following anterior cruciate ligament reconstruction

井上拓海*^{1,5}, 大見頼一*¹, 関 大輔*¹, 栗原智久*¹
金子雅志*¹, 國田泰弘*¹, 川島達宏*², 栗山節郎*³
星田隆彦*⁴, 窪田敦之*⁵

キー・ワード : Star Excursion Balance Test, anterior cruciate ligament reconstruction, rehabilitation
Star Excursion Balance Test, 膝前十字靭帯再建術, リハビリテーション

【要旨】我々は健常選手に対する膝前十字靭帯損傷予防で効果の認められた Hip-focused Injury Prevention Program (以下 HIP program) を膝前十字靭帯再建術 (以下 ACLR) 後のリハビリテーションに導入している。そのリハビリテーションが動的バランス能力及び股関節外転・内転筋力に与える影響を明らかにすることを本研究の目的とした。

対象は、初回 ACLR を受けた女性競技レベル選手 12 名と健常選手 12 名とした。動的バランス能力の評価として Modified Star Excursion Balance Test (以下 M-SEBT) を用い、測定時期を術後 3 ヶ月とスポーツ復帰時とした。患側・健側とも術後 3 ヶ月とスポーツ復帰時を比較し、スポーツ復帰時には健常群と比較した。また、スポーツ復帰時には股関節外転・内転筋力も併せて測定した。その結果、患側の M-SEBT のリーチ率は術後 3 ヶ月からスポーツ復帰時に有意に向上し、スポーツ復帰時には健常群と同等以上であった。股関節外転筋力は健常群より有意に大きく、内転筋力は同程度の値であった。

本研究の結果から、HIP program を導入したリハビリテーションは ACLR 後の動的バランス能力の改善に有効で、股関節外転・内転筋力が影響している可能性が示唆された。

緒 言

膝前十字靭帯再建術 (Anterior Cruciate Liga-

ment Reconstruction 以下 ACLR) 後には筋力、歩行・走行動作、着地動作などの機能不全が残存しているという報告が多く認められる¹⁻³⁾。動的バランス能力もその一つであり、スポーツ復帰をしても患側の動的バランス能力の低下が残存していることが報告されている⁴⁾。一方、スポーツ復帰した ACLR 後のアスリートの問題として再損傷が挙げられる。Wiggins ら⁵⁾ はシステムティックレ

*1 日本鋼管病院リハビリテーション技術科

*2 いちはら病院リハビリテーション科

*3 日本鋼管病院整形外科

*4 東京明日佳病院スポーツ整形外科

*5 順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科スポーツ医学

表 1 対象者の背景

	再建術群 (n=12)	健常群 (n=12)	P-value
年齢 (歳)	17.9±1.8	18.5±0.7	0.09
身長 (cm)	161.6±7.4	160.8±6.8	0.77
体重 (kg)	57.3±9.4	57.6±6.4	0.56
BMI (m ² /kg)	21.9±3.2	22.2±1.3	0.13

ビューにて25歳以下でスポーツ復帰した選手の再損傷率は23%であったと報告している。また、Paternoら⁶⁾は、再損傷選手は非再損傷選手と比較しスポーツ復帰時に片足のバランス能力低下が生じており、これが再損傷の一因と報告している。これらのことから ACLR 後に動的バランス能力を評価し、低下している選手で動的バランス能力を改善することは ACLR 後の身体機能向上だけでなく再損傷予防においても重要と考える。

近年では、若年女性アスリートの初回の膝前十字靭帯（以下 ACL）損傷に対する予防研究にて神経筋トレーニングの有効性がシステマティックレビューで明らかになってきている⁷⁾。しかし、初回の ACL 損傷予防で有効であった予防プログラムを ACLR 後に導入し、その効果を報告している研究は筆者が渉猟しうる限り皆無である。我々は、股関節の機能改善を目的とし、①ジャンプ着地エクササイズ、②筋力エクササイズ、③バランスエクササイズから構成された Hip-focused Injury Prevention Program（以下 HIP program）を ACLR 後のリハビリテーションに導入している。HIP program は、初回の ACL 損傷予防へ導入することで非接触型損傷が有意に減少したことが報告されている⁸⁾。そこで、この HIP program が ACLR 後の再建靭帯の損傷予防に有効であることを明らかにするために ACLR 後のリハビリテーションに導入した結果、導入群の再建靭帯の損傷率が約半減した⁹⁾。

この要因として動的バランスの関与を調べるために、本研究では第一の目的として ACLR 後にバランスエクササイズを含んだ HIP program を導入したリハビリテーションを実施した選手の動的バランス能力の経時的変化を SEBT を用いて明らかにすることとした。第二にスポーツ復帰時に動的バランス能力及び股関節外転・内転筋力を健常群（以下 C 群）と比較することとした。

対 象

Study design：前向き研究

2014年10月から2015年12月の間に当院にて初回 ACLR を受けた若年競技レベル選手12名（年齢17.9±1.8歳、身長161.6±7.4cm、体重57.3±9.4kg、BMI21.9±3.2m²/kg）を ACLR 群とした（表1）。全例女性とし、ACL 損傷の既往のある選手、複合靭帯損傷や重篤な軟骨損傷を合併する選手を除外した。術式は膝屈筋腱を使用した解剖学的二重束再建術で全例同一術者が行った。術式の内訳は ACL 単独損傷での再建術が9例、半月板縫合術をともなう再建術が3例であった。種目はバスケットボール6名、ハンドボール4名、バレーボール1名、ラクロス1名のジャンプカッティングスポーツとした。Tegner Activity Score は7～8点であった。健常な若年競技レベル選手12名（年齢18.5±0.7歳、身長160.8±6.8cm、体重57.6±6.4kg、BMI22.2±1.3m²/kg、全例女性）を C 群とした（表1）。種目はバスケットボール8名、ハンドボール4名であった。Tegner Activity Score は7点であった。C 群の対象の基準は、下肢に手術既往がない選手、膝関節に既往歴がない選手、測定実施時に下肢関節に外傷、障害がなく練習に完全に参加しているものとした。C 群では利き脚、非利き脚を測定し、統計学的に有意差がないことを確認し、利き脚を採用した。利き脚はボールをける脚と定義した。

本研究は日本鋼管病院倫理委員会の承認（承認番号 No. 2015-9 号）を得て、ヘルシンキ宣言に基づき本研究内容を十分に説明した後、書面に同意を得たうえで実施した。

方 法

リハビリテーションプロトコル

術後2週で全荷重歩行、術後3ヶ月でジョギング、5ヶ月でダッシュやジャンプ、6ヶ月で練習に部分復帰、8～9ヶ月でスポーツ復帰とし、従来から行われていた ROM 訓練、大腿四頭筋、ハムストリングスを中心とした筋力強化以外に Omi ら⁸⁾により報告された HIP program（体幹・股関節を中心とした筋力エクササイズ、バランスエクササイズ、ジャンプエクササイズ）を術後適切な時期に併せて追加した（表2）。ジャンプエクササイズ時には、ACL 損傷は接地後極めて短時間で受傷す

表 2 HIP program を導入したリハビリテーションプロトコル

術後	1 週間	2 週間	2ヶ月	3ヶ月	4ヶ月	5ヶ月	6ヶ月	8～9ヶ月
	全荷重歩行		ジョギング			・ダッシュ ・ジャンプ	部分復帰	スポーツ 復帰
筋力エクササイズ	・股関節外転/外旋エクササイズ ・サイドブリッジ(健側下) ・両脚ブリッジ		・CKC片脚外転エクササイズ ・サイドステップ⇒ミニバンド				ロシアンハムストリング	
バランスエクササイズ(すべてバランスディスクまたはBOSUを使用)		両脚立位エクササイズ ⇒スクワット	フロントランジ	片脚スクワット	サイドランジ		・クロスレッグホップ ・サイドホップ	
ジャンプエクササイズ						・両脚上方/前後/左右ジャンプ ・90°ターンジャンプ ⇒ミニバンド	・片脚上方/前後/左右ジャンプ ・180°ターンジャンプ ⇒ミニバンド	

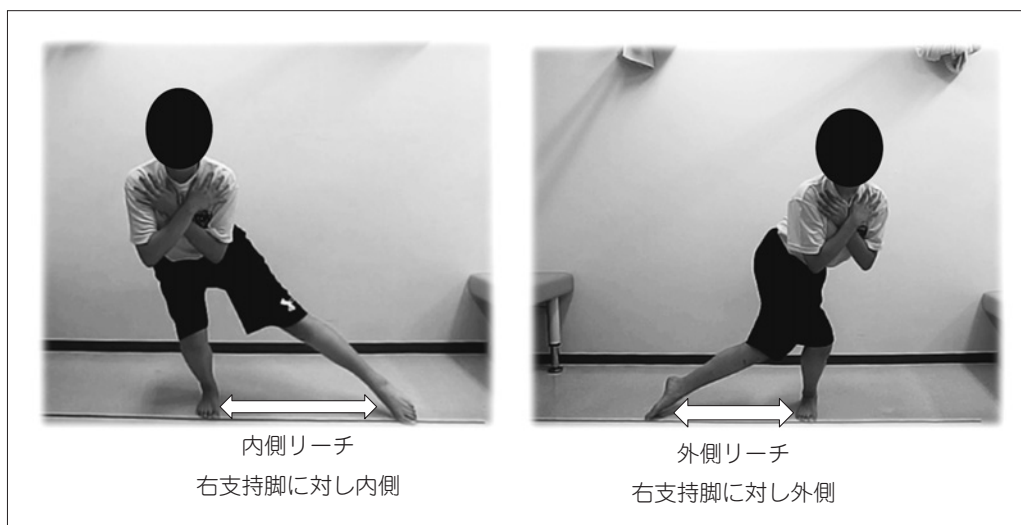


図 1 内側と外側リーチの測定方法

る¹⁰⁾ ことから接地前動作が重要と考え、着地時に膝関節外反、股関節内転・内旋が起こらないように接地前から弾性バンドを張ることで空中での neutral position を意識し着地するよう指導した。また、片脚着地時には着地側に体幹が側屈せず正中位を保ち、股関節・膝関節を十分に屈曲し柔らかく着地するよう指導した。統一した指導ができるように指導方法、プログラム導入時期を理学療法士の間で一致させた。

動的バランス能力の評価

動的バランス能力の評価として SEBT を用いた。SEBT は 8 方向で支持脚の動的バランスを評価する方法である¹¹⁾が、先行研究¹²⁾にて ACL 損傷との関連が示唆された支持脚に対し内側・外側の 2 方向で評価する M-SEBT を用いた (図 1)。メジャーの 0cm に支持脚の母趾先端を合わせ片脚立位から開始した。次に、支持脚の足底面が床から離れないように遊脚側をできるだけ遠くにリーチさせ、足尖に体重がかからないようにメジャー

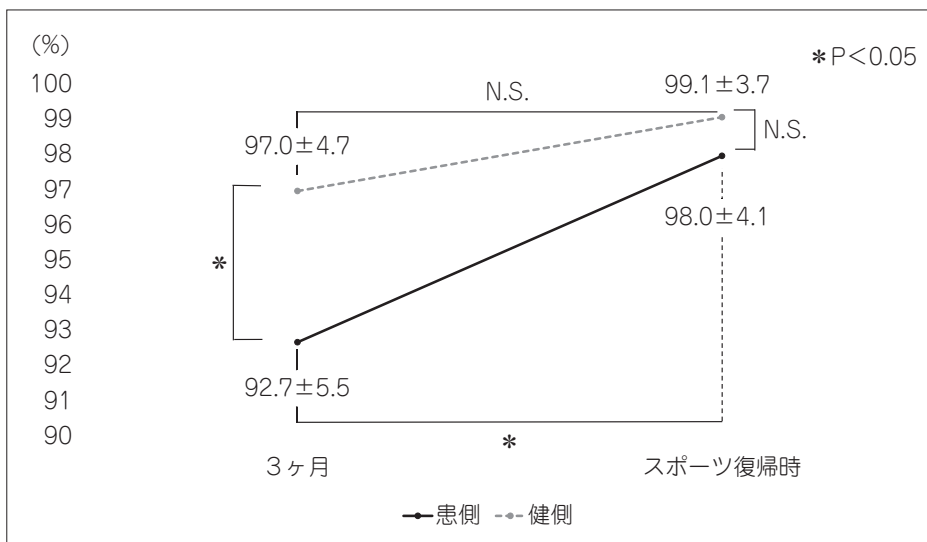


図2 内側リーチ率の変化

に接地させ、接地後に開始肢位に戻るよう指示し、最大リーチ距離を測定した。各方向4回ずつ練習し、成功3試技の平均値を棘果長で標準化し内側リーチ率、外側リーチ率(%)と定義した。失敗試技は、①片脚姿勢が維持できない、②支持脚が動いてしまう、③手が胸から離れる、④スタートポジションに戻れないこととした。ACLR群の測定実施時期は、術後3ヶ月(術後平均97.3±11.9日)、スポーツ復帰時期(術後平均285.1±49.1日)とした。スポーツ復帰時期は対人練習に参加している時期と定義した。

股関節外転・内転筋力測定

徒手筋力測定器(μTas MF-01, アニマ社製)を用いて股関節外転・内転筋の等尺性筋力測定を実施した。2回ずつ練習した後、約5秒間の最大努力による運動を2回実施し、平均値を採用した。得られた平均値と測定した大腿長を掛けた後、体重で正規化した。測定時期はスポーツ復帰時期のみとし、M-SEBTと併せて測定した。ACLR群において、1名のデータ欠損を認めたため、11名を対象とした。

ACLR群は、術後1年以上追跡を行い、再建靭帯の損傷が発生していないかを調査した。

統計解析

1. ACLR群とC群の年齢、身長、体重、BMIを正規性の検定後に対応のないt検定、マンホイットニーのU検定を用いて比較した。

2. C群の利き脚、非利き脚内側・外側リーチ率及び股関節外転・内転筋力を正規性の検定後に対

応のあるt検定、マンホイットニーのU検定を用いて比較した。

3. 術後3ヶ月、スポーツ復帰時期におけるACLR群の患側と健側の内側・外側リーチ率の比較を正規性の検定後に測定時期と測定脚の2要因による2元配置分散分析を用い、その後、ボンフェローニ法による多重比較検定を実施した。

4. スポーツ復帰時におけるACLR群の患側と健側及び、C群の利き脚の内側・外側リーチ率と股関節内転・外転筋力の比較を、等分散性を確認した後に一元配置分散分析を用い、その後、Tukey法による多重比較検定を実施した。

※統計学的解析はR2.8.1を使用し、P<0.05を有意差ありとした。

結 果

1. ACLR群とC群の年齢、身長、体重、BMIに有意差を認めなかった(表1)。

2. C群の利き脚、非利き脚内側・外側リーチ率及び股関節外転・内転筋力に有意差を認めなかった。

3. 内側リーチ率に交互作用を認めた。多重比較検定では、術後3ヶ月時点の患側が健側に対し有意に低値を示した。また、患側において術後3ヶ月からスポーツ復帰時にかけて有意に向上した(図2)。外側リーチ率では交互作用を認めなかった。多重比較検定では、患側において術後3ヶ月からスポーツ復帰時にかけて有意に向上した(図3)。

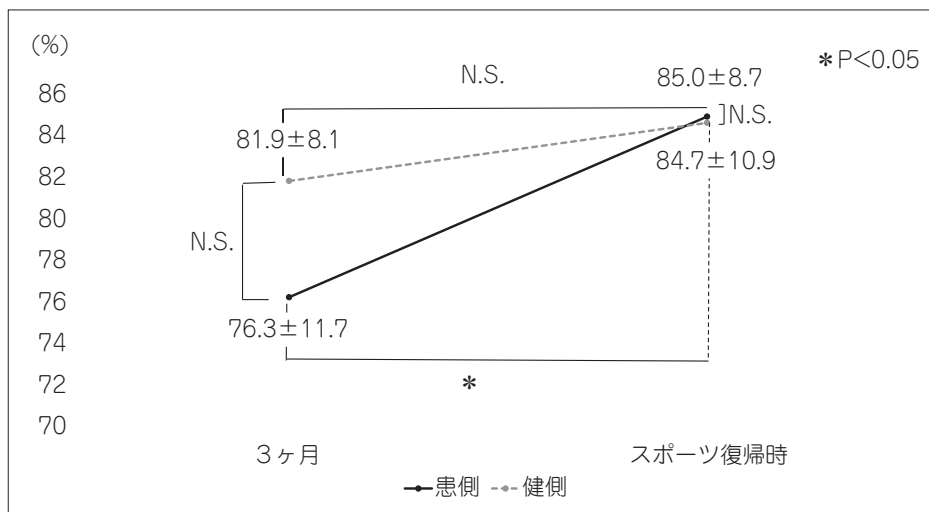


図3 外側リーチ率の変化

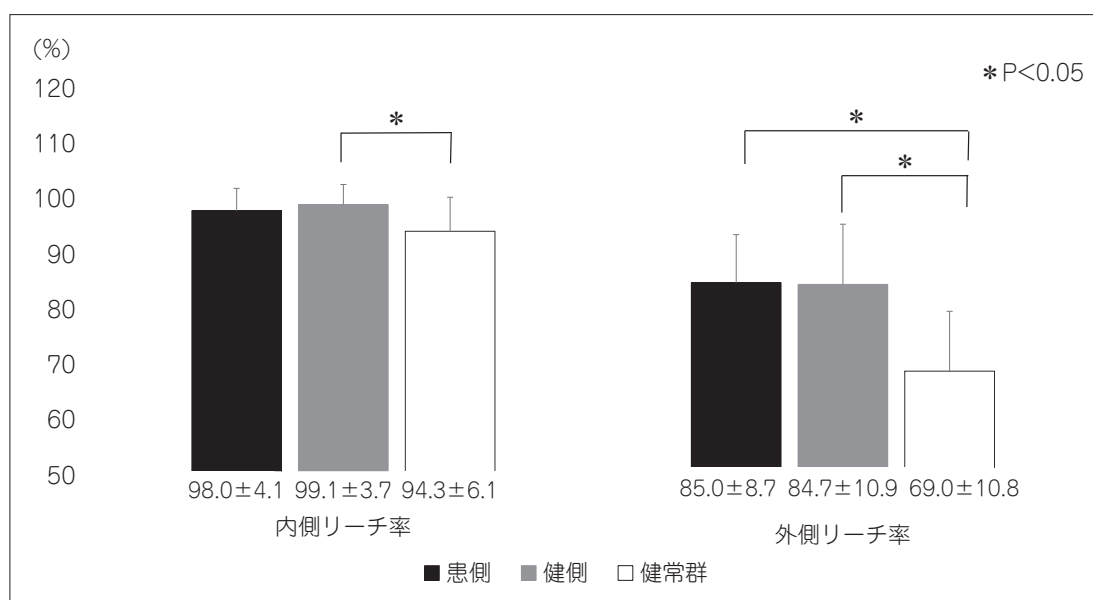


図4 スポーツ復帰時の内側・外側リーチ率の比較

4. 内側・外側リーチ率及び股関節外転筋力で有意な主効果が認められた。多重比較法の結果、健側の内側リーチ率はC群に対し有意に高い値を示した。外側リーチ率はC群に対し患側・健側で有意に高値を示した(図4)。股関節外転筋は、C群に対し患側・健側で有意に高値を示した(図5)。

再建靭帯の再損傷は0人であった(追跡期間720.2±224.7日)。

考察

本研究では、ACLR後3ヶ月のM-SEBTにおいて健側と比較し患側の内側リーチ率の有意な低下

を認めたが、スポーツ復帰時には内側、外側リーチ率ともに有意な向上を認めた。また、スポーツ復帰時にはM-SEBTのリーチ率、股関節外転・内転筋力ともにC群と同程度以上の値を示した。以上のことから、ACLR後にHIP programを導入したリハビリテーションを実施することにより、動的バランス能力が改善し、健常スポーツ選手と同等のレベルになった可能性があると考えた。

バランス能力の評価には、Balance Systemを使用しプラットフォーム上で足圧重心を測定する方法が代表的なものとして挙げられる⁷⁾。しかし、定期的に用いたり、術後から評価する方法としては場所、費用、時間の観点から臨床上、使用するこ

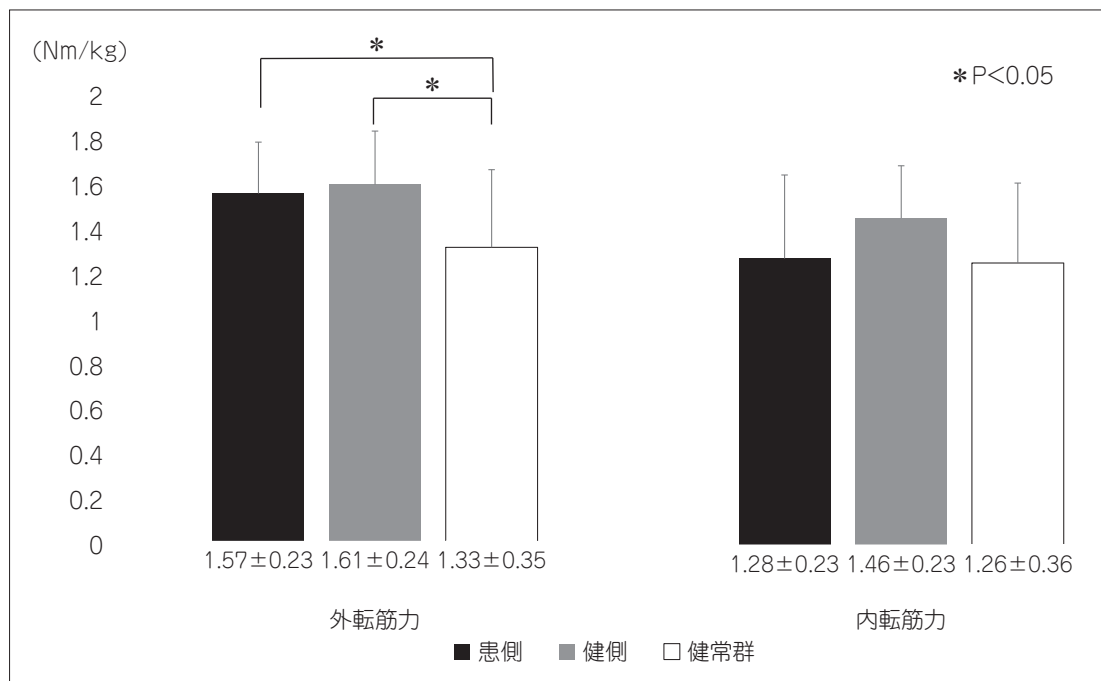


図5 スポーツ復帰時の股関節外転・内転筋力の比較

とが困難である。これに対して、SEBTは下肢外傷・障害に対する動的バランス能力を簡便に評価できる方法として有用性が報告されている¹³⁾。

また、近年では、若年サッカー選手を対象とした研究で方向転換に要する時間とSEBTを調査したところ、方向転換の時間が速い選手ほどSEBTで高いリーチ率を示していた¹⁴⁾。このようにSEBTは競技パフォーマンスの動的バランス評価にも有用であり、本研究の評価方法として用いた。

一方、ACLR後にSEBTを測定した研究では、ACLR後にスポーツ復帰した選手の患側において、健常者と比較してリーチ距離が低下していた¹⁵⁾。また、Dominguesら¹⁶⁾は24名を対象にACLR前後でSEBTを測定した結果、術後12ヶ月では健常者と比較して患側のリーチ率が有意に低下していたことを報告している。これらの先行研究ではスポーツ復帰後もSEBTの低下がみられるが、本研究結果では、スポーツ復帰時には患側のリーチ率が有意に向上しており、C群よりも高かった。SEBTで最大限リーチさせるには、支持脚の股関節および膝関節の深い屈曲が必要となり、特に内側リーチの際には中殿筋の活動量が増加することが報告されている^{17,18)}。本研究で行ったリハビリテーションにはHIP programを導入しており、股関節を深く屈曲するように指導してい

ることに加え、中殿筋等の股関節外転・外旋筋をOpen Kinetic Chainから段階的にClosed Kinetic Chainへと負荷を上げて重点的に強化していることから、HIP programが中殿筋等の筋力強化によってSEBTのリーチ率向上に影響した可能性があると考えられる。また、C群と比較しても、ACLR群ではスポーツ復帰時の股関節外転筋力が有意に高かった。本研究の股関節外転・内転筋の評価では、等尺性の筋力測定を行ったため筋活動は明らかではないが、M-SEBTのリーチ率の増大にC群を上回る股関節外転筋力が関与した可能性があると考えた。

本研究で用いたHIP programは、筋力エクササイズに加えて、バランスエクササイズやジャンプエクササイズ等の複合的なトレーニングプログラムとなるよう設定されている。また、段階的にトレーニングの難易度や負荷が上がるように、バランスエクササイズでは術後2週以降からバランスディスクもしくはBOSU Balance Trainer (以下BOSU)上での両脚立位練習を開始し、2ヶ月以降からフロントランジ、3ヶ月以降から片脚スクワット、4ヶ月以降からはサイドランジ、6ヶ月以降からはクロスレッグホップやサイドホップを行うようにプログラムした(表2)。ジャンプエクササイズでは術後5ヶ月以降から両脚ジャンプを開始し、6ヶ月以降は片脚ジャンプに難易度を上げ

るようプログラムした(表2)。過去の調査によると健常スポーツ選手であっても同様に、筋力エクササイズや BOSU 上でのバランスエクササイズやジャンプ等の複合的なトレーニングを行うことで、SEBT のリーチ率が增大することが報告されている¹⁹⁾。ACLR 後に導入した HIP program でも複合的なトレーニングプログラムを設定している点や、M-SEBT より難易度の高い種目を実施したことがスポーツ復帰時のリーチ率の向上に参与したと考える。

本研究の限界として、比較対象として ACLR 後に HIP program を組み合わせていないリハビリテーションを行う群が存在しなかったことである。同一施設内で行う研究としては、臨床上的倫理面への配慮により対象者に全く異なるプログラムのリハビリテーションを実施させることは困難であった。そこで本研究では、健常な若年競技レベル選手を対照群とし、スポーツ復帰時の評価と比較検討することとした。また、股関節外転・内転の筋力についてはスポーツ復帰時の測定のみで、術後の時間経過に伴う評価までできていないことや、等尺性筋力の評価のみで筋活動量の観点から SEBT 向上の要因が検討できていないことも今後の課題として挙げられる。

結 語

M-SEBT のリーチ率はスポーツ復帰時には内側・外側ともに術後3ヶ月と比較し有意に向上していた。また、スポーツ復帰時では内側リーチ率、股関節内転筋力はC群と同程度で、外側リーチ率、股関節外転筋力はC群より有意に高い値を示した。HIP program を導入したリハビリテーションは ACLR 後の動的バランス能力の改善に有効で、股関節外転・内転筋力が影響している可能性が示唆された。

利益相反

本論文に関連し、開示すべき利益相反はなし。

文 献

1) Schmitt L, Paterno M, Hewett T. The impact of quadriceps femoris strength asymmetry on functional performance at return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2012; 42(9): 750-759.

2) Abourezk M, Ithurburn M, McNally M, et al. Hamstrings strength asymmetry at 3 years after anterior cruciate ligament reconstruction alters knee mechanics during gait and jogging. *Am J Sports Med.* 2017; 45(1): 97-105.

3) Claes S, Neven E, Callewaert B, et al. Tibial rotation in single-and double-bundle ACL reconstruction: a kinematic 3-D in vivo analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2011; 19(1): 115-121.

4) Delahunt E, Chawke M, Kelleher J, et al. Lower limb kinematics and dynamic postural stability in anterior cruciate ligament-reconstructed female athletes. *J Athl Train.* 2013; 48(2): 172-185.

5) Wiggins AJ, Grandhi RK, Schneider DK, et al. Risk of secondary injury in younger athletes after anterior cruciate ligament reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2016; 44(7): 1861-1876.

6) Paterno MV, Schmitt LC, Ford KR, et al. Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med.* 2010; 38(10): 1968-1978.

7) Petushek EJ, Sugimoto D, Stoolmiller M, et al. Evidence-based best-practice guidelines for preventing anterior cruciate ligament injuries in young female athletes: A systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2019; 47(7): 1744-1753.

8) Omi Y, Sugimoto D, Kuriyama S, et al. Effect of hip-focused injury prevention training for anterior cruciate ligament injury reduction in female basketball players. *Am J Sports Med.* 2018; 46(4): 852-861.

9) 大見頼一, 川島達宏, 栗山節郎, 他. 膝前十字靭帯再建術後の再断裂予防介入の実際とその効果. *日本臨床スポーツ医学会誌.* 2019; 27(3): 367-370.

10) Koga H, Nakamae A, Shima Y, et al. Mechanisms for noncontact anterior cruciate ligament injuries: knee joint kinematics in 10 injury situations from female team handball and basketball. *Am J Sports Med.* 2010; 38(11): 2218-2225.

11) Hertel J, Miller SJ, Denegar CR. Intratester and intertester reliability during the star excursion balance test. *J Sport Rehabil.* 2000; 9(2): 104-116.

- 12) Herrington L, Hatcher J, Hatcher A, et al. A comparison of star excursion balance test reach distances between ACL deficient patients and asymptomatic controls. *Knee*. 2009; 16(2): 149-152.
- 13) Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW, et al. Star excursion balance test as a predictor of lower extremity injury in high school basket ball players. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2006; 36(12): 911-919.
- 14) Rouissi M, Haddad M, Nicola L. Implication of dynamic balance in change of direction performance in young elite soccer players is angle dependent? *J sports Med Phys Fitness*. 2018; 58(4): 442-449.
- 15) Clagg S, Paterno MV, Hewett TE, et al. Performance on the modified star excursion balance test at the time of return to sport following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2015; 45(6): 444-452.
- 16) Domingues PC, Serenza FS, Muniz TB, et al. The relationship between performance on the modified star excursion balance test and the knee muscle strength before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee*. 2018; 25(4): 588-594.
- 17) Robinson R, Gribble P. Kinematic predictors of performance on the star excursion balance test. *J Sport Rehabil*. 2008; 17(4): 347-357.
- 18) Norris B, Jackson T. Hip-and thigh-muscle activation during the star excursion balance test. *J Sport Rehabil*. 2011; 20(4): 428-441.
- 19) Filipa A, Byrnes R, Paterno MV, et al. Neuromuscular training improves performance on the star excursion balance test in young female athletes. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2010; 40(9): 551-558.

(受付：2019年3月7日，受理：2020年7月27日)

Effect of rehabilitation with a Hip-focused Injury Prevention Program on dynamic postural control assessed with the Star Excursion Balance Test following anterior cruciate ligament reconstruction

Inoue, T.^{*1,5}, Omi, Y.^{*1}, Seki, D.^{*1}, Kurihara, T.^{*1}
Kaneko, M.^{*1}, Kunita, Y.^{*1}, Kawashima, T.^{*2}, Kuriyama, S.^{*3}
Hoshida, T.^{*4}, Kubota, A.^{*5}

*1 Department of Rehabilitation, Nippon Koukan Hospital

*2 Department of Rehabilitation, Ichihara Hospital

*3 Department of Orthopaedic Surgery, Nippon Koukan Hospital

*4 Department of Sports Orthopaedic Surgery, Tokyo Asuka Hospital

*5 Department of Sports Medicine, Graduate School of Health and Sports Science, Juntendo University

Key words: Star Excursion Balance Test, anterior cruciate ligament reconstruction, rehabilitation

[Abstract] The purpose of this study was to evaluate the influence of the Hip-focused Injury Prevention Program (HIP program) on dynamic postural control and hip abductor and adductor muscle strength after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction (ACLR).

The participants were 12 female athletes with primary unilateral ACLR and 12 healthy female athletes (control group).

Dynamic postural control was evaluated using the Modified Star Excursion Balance Test (M-SEBT). Hip abductor and adductor muscle strength was evaluated using a Hand-Held dynamometer (HHD). The involved and uninjured limbs were compared among participants with ACLR at three months following ACLR. The same parameters were also compared between the ACLR and control groups at the time of return to sports. The changes from three months after ACLR to return to sports activities were also analyzed.

The involved limb of dynamic postural control improved significantly from three months after ACLR to return to sports ($P < 0.05$). Dynamic postural control and hip abductor and adductor muscle strength at the time of return to sporting activities were at the same level in the ACLR group. It was suggested that the HIP program is effective to improve dynamic postural control after ACLR, and that the hip abductor and adductor muscle strength may have an effect.