

# 膝前十字靭帯再建例における 片脚立ち上がりテストの結果と跳躍系 パフォーマンステストの結果との相関性

The relationship between the results of single leg standing test and jump performance test of anterior cruciate ligament reconstruction cases

上池浩一\*<sup>1</sup>, 森 孝久\*<sup>1</sup>, 藤岡宏幸\*<sup>2</sup>  
吉矢晋一\*<sup>3</sup>, 川口浩太郎\*<sup>2</sup>

キー・ワード : anterior cruciate ligament reconstruction, single leg standing test, performance test  
膝前十字靭帯再建例, 片脚立ち上がりテスト, パフォーマンステスト

〔要旨〕 膝前十字靭帯 (ACL) 再建例 85 例を対象に, 片脚立ち上がりテスト (SLST) と跳躍系パフォーマンステストの関係, また跳躍系パフォーマンステストの成績に影響を及ぼす因子について検討した. 角速度 60° の等速性膝伸展・屈曲筋力を測定し, 体重比膝伸展・屈曲筋力を算出し, Hamstrings/Quadriceps 比 (H/Q 比) を求めた. 跳躍系パフォーマンステストには片脚で前方に 3 回連続跳躍を行う 3 hops test (3HT) を用いた. 高さ 10・20・30cm の台を用いた SLST の成績と 3HT の成績を比較した. また, 3HT の成績に影響を及ぼす因子も検討した. より低い台から SLST が可能な対象ほど 3HT と膝屈曲筋力, H/Q 比は高値であり, 3HT の成績に影響を及ぼす因子として H/Q 比が抽出された. 本研究の結果から, SLST は 3HT と同様に ACL 再建術後の下肢運動機能評価として有用であり, 荷重位における下肢運動機能には膝伸展筋力のみならず膝屈曲筋力も影響することが示唆された.

## はじめに

スポーツ活動によって生じた下肢関節外傷後のリハビリテーションにおいて, 筋力や関節可動域, 関節安定性の評価に加え, 客観的な下肢運動能力, いわゆるパフォーマンス能力の評価を行い, 下肢機能とパフォーマンス能力の関係を明確にすることは競技復帰を検討するうえで重要と考えられる. 下肢運動能力の評価方法として跳躍系パフォーマンステストがあり, その中でも片脚での跳躍動作によって構成される hop test は膝前十字靭帯 (anterior cruciate ligament, 以下 ACL) 再建例の下肢パフォーマンス能力の有用性も報告さ

れている<sup>3,4)</sup>. 我々は荷重位における下肢運動能力の評価として用いられる片脚立ち上がりテスト (single leg standing test, 以下 SLST) の成績に影響を及ぼす下肢筋力については検討した<sup>1,2)</sup>. その結果, より低い台から SLST を行うためには十分な膝伸展筋力に加え膝屈曲筋力も高値でなければならず, 荷重位における下肢運動能力には膝屈曲筋力も影響することを報告した. しかし, SLST と跳躍系パフォーマンステストの成績について検討された先行研究は我々が渉猟しうる限り見当たらず, SLST の成績が下肢運動能力の指標になりうるか不明な点もある. さらに, hop test の成績に影響を及ぼす因子について先行研究<sup>5-9)</sup> では一定の見解は得られていない.

SLST の成績とパフォーマンステストの結果に関係性が認められれば, SLST は簡便に下肢運動能力を評価しえる方法であることが証明でき, さ

\*1 整形外科つばさクリニック

\*2 兵庫医療大学リハビリテーション学部理学療法学科

\*3 兵庫医科大学整形外科

らに跳躍系パフォーマンステストの成績に影響を及ぼす因子を明らかにすることで、下肢関節外傷後のリハビリテーション施行上、有用な指標を提示できると考えられる。本研究では、SLSTと跳躍系パフォーマンステストの成績の関係性、また跳躍系パフォーマンステストの成績に影響を及ぼす因子について検討することを目的とした。

## 対象と方法

### 1. 対象

対象はLachman testおよびpivot shift testが陰性であり、荷重位での下肢関節運動においてknee inや自覚的な不安定性がなく、執刀医から跳躍動作が許可されている片側ACL再建施行例85名の術側85肢(男性40名、女性45名、平均年齢 $21.2 \pm 5.5$ 歳、左膝再建例51名、右膝再建例34名)とした(表1)。再建靭帯に半腱様筋腱が用いられた対象は77名、半腱様筋腱および薄筋腱が用いられた対象は8名であり、測定時の術後期間は平均 $6.3 \pm 0.6$ ヶ月であった。対象には研究の趣旨を十分に説明し、同意を得て研究を実施した。なお、本研究は兵庫医療大学倫理審査委員会の承認

表1 対象の属性

男性	40名
女性	45名
平均年齢	$21.2 \pm 5.5$ 歳
平均身長	$168.7 \pm 7.4$ cm
平均体重	$60.6 \pm 8.2$ kg
平均術後期間	$6.3 \pm 0.6$ ヶ月
移植腱	
半腱様筋腱	77名
半腱様筋腱および薄筋腱	8名

を受けて実施した(承認番号第15011号)。

## 2. 測定項目

### 1) 筋力評価

筋力評価は、等速性筋力測定装置BIODEX SYSTEM 3 (BIODEX社製, USA)にて $60 \text{deg/sec}$ で手術側の等速性膝関節伸展・屈曲筋力を測定した。得られた値を体重で除した値を算出し(Nm/kg)、体重比膝伸展筋力(膝伸展筋力)、体重比膝屈曲筋力(膝屈曲筋力)を求め、得られた膝伸展・屈曲筋力からH/Q比も算出した(%)。

### 2) SLST

SLSTは30cmの高さの台から実施し、動作が可能であれば20cm、10cmとより低い台でSLSTを行った。SLSTが10cmまで可能であったものを10cm群、20cmまで可能であったものを20cm群、30cmのみ可能であった群を30cm群とした。SLSTは先行研究<sup>1,2)</sup>と同様の方法で行い、両上肢は胸の前で組み、下腿が床面に対し $70^\circ$ 前傾するよう座面位置を調整した。可能な限り反動を利用しないよう指示し、起立後3秒間静止できればその高さでのSLSTが可能と判断した。また接地した足部の位置が変化した場合、および検査側膝関節が過度に内外側に偏位し、体幹が正中位を保持できない場合は不可と判定した(図1)。

### 3) 跳躍系パフォーマンステスト

本研究では跳躍系パフォーマンステストとして、片脚で前方に3回連続で跳躍を行う3 hops test(以下、3HT)を用いた。計測は跳躍開始時の足部先端から、3回目着地時の踵接地地点の距離を3HTの値とした(図2)。3回試技を行わせ最大値を採用し、試技の間隔を十分に空け、計測値に疲労の影響がないよう配慮した。なお3HT計測時、上

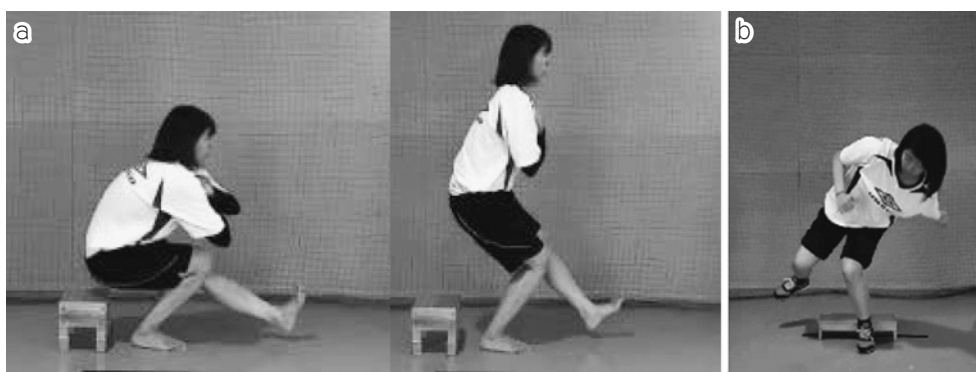


図1 Single leg standing (SLS)

完全に立ち上げられる高さを「可能」(a)、動作中のふらつきや過度に立脚側膝が内外側に偏位した場合 (b)、支持側足部の位置が変化した場合を「不可」と判定。

肢の反動の使用は許可した。

#### 4) 解析

分析項目は、SLSTの成績別に10cm群、20cm群、30cm群の3群に分け、3HTの成績および膝伸展筋力、膝屈曲筋力、H/Q比について多重比較検定(Steel-Dwass法)を用いて検討した。また3HTの成績に影響を及ぼす因子について、3HTの成績を従属変数として、膝伸展筋力、膝屈曲筋力、H/Q比を独立変数とした変数選択重回帰分析(Stepwise法)を用いて検討した。検定には統計解析ソフト(エクセル統計2012, SSRI, Japan)を使用し、有意水準は5%とした。



図2 3 hops test (3HT)  
片脚で前方に3回連続跳躍を行い、開始線から3回目の着地点の距離を計測した。

## 結果

SLSTの成績について、10cm群は38名(男性18名, 女性20名), 20cm群は26名(男性13名, 女性13名), 30cm群は21名(男性9名, 女性12名)であり、属性について3群間で有意差は認められなかった(表2)。SLSTの成績別による3HTの成績は、10cm群では $631.1 \pm 45.0$ cm, 20cm群では $563.9 \pm 33.7$ cm, 30cm群では $521.0 \pm 45.1$ cmであり、3群間で有意な差が認められ( $p < 0.01$ )、より低い台からSLSTが可能なおおよそ3HTの成績は高値であった(図3)。膝伸展筋力は10cm群で $1.96 \pm 0.1$ Nm/kg, 20cm群で $1.99 \pm 0.1$ Nm/kg, 30cm群で $2.00 \pm 0.2$ Nm/kgとなり、3群間で有意な差は認められなかった。膝屈曲筋力は10cm群で $1.29 \pm 0.1$ Nm/kg, 20cm群で $1.12 \pm 0.1$ Nm/kg, 30cm群で $1.00 \pm 0.1$ Nm/kgとなり、3群間で有意な差が認められ( $p < 0.01$ )、より低い台からSLST

表2 SLSTの成績別による対象の属性

	10cm群 38名 男性18名, 女性20名	20cm群 26名 男性13名, 女性13名	30cm群 21名 男性9名, 女性12名
平均年齢	20.8 $\pm$ 4.7歳	21.4 $\pm$ 3.7歳	21.2 $\pm$ 5.9歳
平均身長	169.2 $\pm$ 6.8cm	170.1 $\pm$ 5.3cm	166.2 $\pm$ 4.9cm
平均体重	58.7 $\pm$ 3.5kg	62.6 $\pm$ 7.9kg	60.7 $\pm$ 8.9kg
術後期間	6.4 $\pm$ 0.2ヶ月	6.2 $\pm$ 0.5ヶ月	6.2 $\pm$ 0.2ヶ月

平均値 $\pm$ 標準偏差

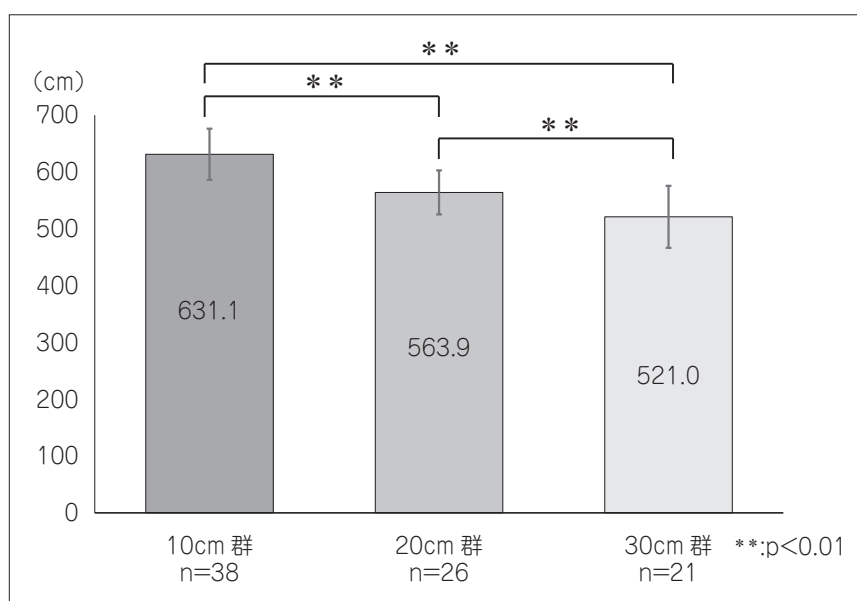


図3 SLSの成績別による3HTの結果  
より低い台からSLSが可能であった対象ほど3HTも高値であった。

表 3 SLST の成績別による膝伸展筋力, 膝屈筋力, H/Q 比

	膝伸展筋力 (Nm/kg)			膝屈筋力 (Nm/kg)			H/Q 比 (%)	
10cm 群	1.96 ± 0.1	n.s.	n.s.	1.29 ± 0.1	**	**	65.5 ± 2.4	**
20cm 群	1.99 ± 0.1			1.12 ± 0.1			56.3 ± 3.1	
30cm 群	2.00 ± 0.2	n.s.		1.00 ± 0.1	**		50.1 ± 4.6	**

平均値 ± 標準偏差

\*\* : p < 0.01  
n.s. : 有意差なし

表 4 変数選択重回帰分析の結果

	偏回帰係数	標準誤差	標準化係数	95% 信頼区間	有意水準	VIF
定数	190.95	73.26		44.84 ~ 337.06	p < 0.001	
H/Q 比	5.97	0.60	0.76	4.77 ~ 7.17	p < 0.001	1.01

R = 0.77 R<sup>2</sup> = 0.59

が可能な群ほど高値であった。H/Q 比については 10cm 群で 65.5 ± 2.4%, 20cm 群で 56.3 ± 3.1%, 30cm 群で 50.1 ± 4.6% となり, 3 群間で有意差が認められ (p < 0.01), より低い台から SLST が可能な群ほど高値であった (表 3)。変数選択重回帰分析の結果, 3HT の成績に影響を及ぼす因子として H/Q 比が抽出された (表 4)。

### 考 察

本研究では, 荷重位における下肢運動機能評価として用いられる SLST と跳躍系パフォーマンステストの一つである 3HT の成績の関係性, また 3HT の成績に影響を及ぼす因子について検討した。その結果, より低い台から SLST が可能な対象ほど 3HT の成績は良好で, さらに膝屈筋力, H/Q 比も高値であった。また, 3HT の成績に影響を及ぼす因子として H/Q 比が抽出された。

我々は健常膝および ACL 再建例を対象に SLST の成績と膝関節筋力の関係について検討し, 十分な膝伸展筋力を有していても膝屈筋力が低い対象はより低い台から立ち上がることができず, SLST の成績には膝伸展筋力のみならず膝屈筋力も影響することを報告した<sup>1,2)</sup>。本研究においても SLST の成績を 3 群に分け膝伸展筋力, 膝屈筋力, さらに H/Q 比について検討した結果, 膝伸展筋力は 3 群間で有意な差は認められず, いずれも体重比膝伸展筋力は約 2.0 の値となっていた。山本ら<sup>5)</sup>は, スポーツ復帰の条件として体重

比膝伸展筋力は 1.0 以上必要であると報告しており, 本研究の対象は十分な膝伸展筋力を有していたと考えられる。一方, より低い台から立ち上がることができない対象の膝屈筋力は低く, 膝伸展・屈筋力の比率を表す H/Q 比も低値となっていた。さらに, より低い台から SLST が可能な対象ほど 3HT の成績も良好であり, SLST の成績と 3HT の成績に関係性が見出された。この結果から, SLST のみならず荷重位における下肢運動能力には膝屈筋力も影響すると考えられる。

荷重位における膝関節屈筋であるハムストリングスの作用について, Isear ら<sup>6)</sup>は, スクワット動作における下肢の筋活動について検討し, ハムストリングスは大腿四頭筋に対する counterforce として膝関節の安定性に作用すること, さらにスクワット中のハムストリングスの筋活動は, 膝関節屈曲角が増大するほど大きくなると報告している。立ち上がり初期と 3HT 着地時では, 膝関節屈曲位を保持するため膝関節伸筋に強い収縮が起こり, 膝関節では大腿骨に対する脛骨の前方剪断力が発生すると考えられる。この力に対して膝関節屈筋が抑制的に作用し, 立ち上がり動作では上方への重心移動, 3HT では踏み切り動作への移行を行いやすくしていると推察される。また Blaimont ら<sup>7)</sup>は, 荷重位におけるハムストリングスの活動は膝関節屈曲 0-60° までの範囲では大腿四頭筋の共同筋になりうると報告しており, 立ち上がり後期と 3HT 踏み切り時において, 大腿四頭筋とともに

にハムストリングスの共同収縮が生じていると推察できる。このようにSLSTと3HTでは動作に求められる膝関節屈筋の機能に類似性があり、SLSTと3HTの成績に相関性が認められた要因であると考えられる。

また本研究では、3HTの成績に影響を及ぼす因子としてHQ比が抽出された。hop testはACL再建例の下肢運動能力を評価する有用な方法であると報告されている<sup>8,9)</sup>。しかし、hop testに影響を及ぼす因子について、Wilkら<sup>10)</sup>や小柳<sup>11)</sup>はhop testの成績には膝伸展筋力が影響をすると報告し、吉矢ら<sup>12)</sup>は動作に対する恐怖心が影響すると報告している。さらにTegnerら<sup>13)</sup>は筋トルクと動作能力の関連は低いと報告しており、先行研究では一定の見解は得られていない。相澤ら<sup>14)</sup>は膝関節屈筋が跳躍動作に及ぼす影響について検討し、連続した跳躍動作で減速期には股関節伸展筋力と膝屈曲筋力による安定化機能が必要であり、股関節伸展、膝関節屈曲両方に作用するハムストリングスの筋力は連続したジャンプ動作では重要であると報告している。本研究の結果から、H/Q比が高い対象は3HTにおいても安定した着地動作が可能となり、さらに踏み切り時にも股関節伸展、膝関節伸展が連動し、強い踏み切り動作が行え、3HTの成績も高くなったものと推察される。したがって、跳躍系パフォーマンス能力にも膝伸展筋力に相応した膝屈曲筋力が影響することが考えられ、ACL再建例の下肢運動能力にはH/Q比の回復も重要な因子になりうることを示唆された。

本研究はSLSTと3HTの成績の関係性について検討したものであり、それぞれの成績に影響する筋力以外の要因については十分に検討できていない。また、3HTの成績にはH/Q比が関係していたが、本研究では等速性筋力測定機器を使用し、角速度60°、膝関節屈曲90°位から0度までの膝関節伸展・屈曲筋力を測定し、得られたpeak torqueで検討した。跳躍動作では高速度での等速性筋力が影響することも考えられ、これらの点が限界点である。また、動作中の筋活動や活動のタイミングや膝関節以外の部位の筋力、下肢および体幹のアライメントなど、より多角的な検討が必要になると考えられる。

## 結 語

ACL再建例を対象に、SLSTと3HTの成績および膝関節筋力の関係性、3HTの成績に影響を及ぼす因子について検討した。その結果、より低い台からSLSTが可能な対象ほど3HTの成績は高値であり、さらにSLSTの成績に関わらず膝伸展筋力は高値であったが、より低い台から立ち上がれない対象は膝屈曲筋力、H/Q比は低値であった。また3HTの成績に影響を及ぼす因子としてH/Q比が抽出された。本研究の結果から、SLSTと3HTには相関性が認められ、SLSTは荷重位における下肢運動機能を簡便に評価できる方法であると考えられる。さらに3HTの成績にはH/Q比が影響を及ぼす因子として抽出されたことから、荷重位における下肢運動機能には十分な膝伸展筋力に相応した膝屈曲筋力が必要になることが示唆された。

## 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) 上池浩一, 森 孝久, 藤岡宏幸, 吉矢晋一, 川口浩太郎. 片脚立ち上がり動作における膝屈曲筋力の重要性. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2016; 24: 415-420.
- 2) 上池浩一, 森 孝久, 藤岡宏幸, 吉矢晋一, 川口浩太郎. 膝前十字靭帯再建術施行例における片脚立ち上がり能力と膝関節周囲筋の筋力の関連について. 日本臨床スポーツ医学会誌. 2018; 26: 66-73.
- 3) 伊藤浩充, 丸山孝樹, 木田晃弘, 古賀友弥, 佐浦隆一, 黒坂昌弘, 水野耕作, 市橋則明. 前十字靭帯再建術後患者における膝関節安定性評価と膝屈伸筋力評価および片脚跳躍能力評価の臨床意義について. 理学療法学. 1996; 23: 59-65.
- 4) 嶋田誠一郎, 佐々木伸一, 武村啓住, 奥村康弘, 和田 真, 馬場久敏, 井村慎一. 前十字靭帯再建患者に対する片脚跳躍能力の運動学的評価. 日本臨床バイオメカニクス学会. 1998; 19: 169-172.
- 5) 山本利春. 膝前十字靭帯損傷後のアスレティックリハビリテーションにおける等速性筋力の評価と特異性. 昭和医会誌. 2000; 60: 69-79.
- 6) Isear, JA, Erickson, JC, Worrell, TW. EMG analysis of lower extremity muscle recruitment patterns during an unloaded squat. Medicine & Science in

- Sports & Exercise. 1997; 29: 532-539.
- 7) Blaimont, P, Kellin, P, Alameh, M, Elegen, PV. The Function of Hamstrings: A pathogenic hypothesis of femoropatellar osteoarthritis. In: Müller, W, Hackenbruch, W, eds. Surgery and Arthroscopy of the Knee. Berlin: Springer-Verlag; 56-57, 1986.
  - 8) Noyes, FR, Barber, SD, Mangine, RE. Abnormal lower limb symmetry determined by functional hop tests after anterior cruciate ligament rupture. Am J Sports Med. 1991; 19: 513-518.
  - 9) Barber, SD, Noyes, FR, Mangine, RE, McCloskey, JW, Hartman, W. Quantitative assessment of functional limitations in normal and anterior cruciate ligament-deficient knees. Clin. Orthop. 1990; 255: 204-214.
  - 10) Wilk, KE, Romaniello, WT, Soscia, SM, Arrigo, CA, Andrew, JR. The relationship between subjects knee scores, isokinetic testing, and functional testing in the ACL-reconstructed knee. J Orthop Sports Phys. 1994; 20: 60-73.
  - 11) 小柳磨毅. 前十字靭帯損傷に見られた機能障害と動的評価の必要性. 理学療法学. 1998; 15: 155-158.
  - 12) 吉矢晋一, 黒坂昌弘, 村津裕嗣, 水野耕作, 伊藤浩充. 前十字靭帯再建例における下肢の機能的運動能力の評価. 日本リウマチ・関節外科学会誌. 1996; 15: 207-210.
  - 13) Tegner, Y, Lysholm, J, Lysholm, M. A performance test to monitor rehabilitation and evaluate anterior cruciate ligament injuries. Am J Sports Medicine. 1986; 14: 156-159.
  - 14) 相澤高治, 松田雅弘. 切り替えしジャンプ動作と股・膝関節屈伸筋力との関連性についての検討. 理学療法科学. 2013; 28: 547-550.

---

(受付：2018年1月5日，受理：2018年5月21日)

## The relationship between the results of single leg standing test and jump performance test of anterior cruciate ligament reconstruction cases

Kamiike, K.\*<sup>1</sup>, Mori, T.\*<sup>1</sup>, Fujioka, H.\*<sup>2</sup>  
Yoshiya, S.\*<sup>3</sup>, Kawaguchi, K.\*<sup>2</sup>

\*<sup>1</sup> Orthopedic Surgery Tsubasa Clinic

\*<sup>2</sup> Department of Physical Therapy, School of Rehabilitation, Hyogo University of Health Sciences

\*<sup>3</sup> Department of Orthopedic Surgery, Hyogo College of Medicine

**Key words:** anterior cruciate ligament reconstruction, single leg standing test, performance test

**[Abstract]** We analyzed the relationship between the outcomes of the single leg standing test (SLST) and the three hops test (3HT), and identified factors affecting the results of 3HT in 85 cases after unilateral anterior cruciate ligament reconstruction. Isokinetic knee extension and flexion muscle strength were measured and the Hamstrings/Quadriceps ratio (H/Q ratio) was calculated. The 3HT was measured during three times continuous jumping with one leg forward. SLST was evaluated using pedestals of three heights (30 cm, 20 cm, 10 cm). The subjects were classified into three groups based on the results of SLST. High performance subjects in the 3HT were able to perform SLST at the lower pedestal. The muscle strength of knee flexion and H/Q ratio in the groups of subjects who were able to perform SLS at the lower pedestal were high compared with those who were able to perform SLS at the higher pedestal. H/Q ratio was detected as a factor that influences 3HT. SLST was also valid, like 3HT, to evaluate lower extremity function after ACL reconstruction, and knee flexion strength may affect lower extremity function.