

膝前十字靭帯再建術後患者における片脚垂直跳びテストを用いた 膝伸展筋力推定式の交差妥当性

やまが整形外科 リハビリテーション科
小杉 峻 桑坪憲史 河野公昭 村橋喜代久 村橋淳一 勇島 要
田口 毅 野田英伯 渡邊和樹 鈴木実緒 佐藤絵里
やまが整形外科
山賀 寛 山賀 篤
朝日大学歯学部附属村上記念病院 整形外科
塚原隆司 河合亮輔
国際医療福祉大学 成田保健医療学部 理学療法学科
河野健一

【はじめに】

膝伸展筋力は、膝前十字靭帯（以下、ACL）再建術後における競技動作や復帰許可の指標として用いられている¹⁾²⁾。さらに等速性膝伸展筋力（以下、膝伸展筋力）は、片脚垂直跳び（以下、ジャンプ）高と相関関係が認められており³⁾、運動能力の回復や受傷前の競技レベルへ復帰するためには重要な因子であると考えられる。このようなことから、膝伸展筋力は、ACL再建術後のリハビリテーションにおいて競技動作の開始や受傷前の競技レベルへの回復において重要な指標の1つであると考えられる。トルクマシを用いた等速性筋力評価は動的な筋力の評価であることに加え、検者の技量によって計測値が変動する要因は非常に少ない⁴⁾⁵⁾ため、筋力の客観的評価として頻用されている。一方で、機器が高価であることや測定時間に長い時間を要するといった欠点がある。そのため、簡易的に膝伸展筋力を測定できる指標を明らかにすることには臨床的な意義がある。

我々は、ACL再建術後6ヶ月における膝伸展筋力はジャンプ高と高い相関関係にあることを明らかにした。さらにACL再建術後患者137名を対象とし、ジャンプ高を用いてACL再建術後6ヶ月の膝伸展筋力推定式を作成した⁶⁾。しかし、我々が作成した推定式は限られた対象から作成した評価方法であり、この対象から母集団を推定する場合には、誤差を配

慮する必要がある⁷⁾。したがって、我々が作成した推定式を臨床応用するためには、異なる対象における推定式の有用性を検討する必要がある。

そこで今回、膝伸展筋力推定式を作成した時とは異なる対象57名を対象とし、推定式の交差妥当性を明らかにすることを目的とした。

【対象と方法】

1. 対象と方法の概要

平成28年1月から29年11月の間に当院関連病院で膝屈筋腱を用いて初回ACL再建術を施行し、術後6ヶ月に測定を実施した57名とした。先行研究において筆者らが開発した膝伸展筋力推定式の交差妥当性を検討するために、開発した際の対象と本研究の対象間において推定膝伸展筋力に關与する要因の比較を行った。また、推定膝伸展筋力と実測膝伸展筋力の誤差を、相関分析とBland-Altman分析を用いて検討した。

本研究を実施するにあたり、対象者には研究の趣旨と方法について十分説明を行い、同意を得て行った。

2. 推定膝伸展筋力の算出式

推定膝伸展筋力は、ACL再建術後患者137名から作成した回帰式、 $\text{推定膝伸展筋力}(\% \text{BW}) = 68.34 + (1.55 \times \text{患側ジャンプ高}) - (0.43$

Key words: 膝前十字靭帯再建 (anterior cruciate ligament reconstruction), 筋力推定式 (Muscle strength estimation formula), 交差妥当性 (Cross validity)

×体重) - (11.29×男性:0, 女性:1) >⁶⁾を用いて, 本研究の対象である57名の推定膝伸展筋力を算出した。

3. 調査項目

1) 患者属性

患者属性として年齢, 性別, 体重を測定および診療録より収集した。体重は, オムロン体重体組成計 HBF-215F-W (オムロン株式会社, 中国) を用いて体重を測定した。

2) 身体機能, 動作能力

① 膝伸展筋力

膝伸展筋力は, BIODEX SYSTEM3 (Biodex medical inc, NY, USA) を用いて求心性等速度運動にて角速度 60deg/sec で5回測定し, 得られた最大トルク値 (ft-lbs) を体重比 (%BW) に換算した。

② ジャンプ高

ジャンプ高の測定は, デジタル式垂直跳び測定器ジャンプ MD (竹井機器工業社製, 日本) を用いて3回測定し最高値を採用した。方法としては, 片脚静止立位の状態から膝関節屈曲させ上肢の反動も利用し, 最大努力で垂直方向へジャンプする。安全性を考慮し, 両脚着地とした (図1)。



図1: 片脚垂直跳びテスト

片脚静止立位の状態から膝関節屈曲させ上肢の反動も利用し, 最大努力で垂直方向へ跳躍する。安全性を考慮し両脚着地とした。

4. 統計学的解析

各測定指標に対してF検定を実施し等分散の有無を確認した。また, 2つの対象における測定指標の比較は, 対応のないt検定を実施した。

ACL再建術後患者57名に対して, 我々が作成した推定式から算出した推定膝伸展筋力と実測膝伸展筋力の相関関係をPearsonの積率相関分析を用いて検討し, また, 推定膝伸展筋力と実測膝伸展筋力の差と2値の平均からBland-Altman分析を用いて系統誤差の有無を検証した。

【結果】

2つの対象間において患者属性と測定値に有意な差は認められなかった (表1)。また, 本研究の対象57名における推定膝伸展筋力と実測膝伸展筋力の相関係数は $r=0.64$ ($p<0.01$) で有意な正の相関関係が認められた (図2)。さらに, 57名における推定値の系統誤差をBland-Altman plotにて確認したところ加算誤差を認めなかった。また, Bland-Altman plotの相関係数は $r=0.35$ ($p<0.01$) であり, 推定式を開発した対象と比較し, 可視的にも統計学的にも比例誤差は増加傾向を示さなかった。 (図3)。

| | ACL 再建術後症例(n=137) | ACL 再建術後症例(n=57) | |
|--------------|-------------------|------------------|----|
| 年齢(歳) | 20.1±7.6 | 20.3±9.7 | NS |
| 性別(男/女:名) | 52/85 | 25/32 | NS |
| 体重(kg) | 61.3±11.8 | 64.0±11.4 | NS |
| 患側膝伸展筋力(%BW) | 74.1±17.5 | 76.2±17.5 | NS |
| 患側ジャンプ高(cm) | 25.4±6.1 | 25.6±6.8 | NS |

Date are mean±SD

表 1: 患者属性と測定結果

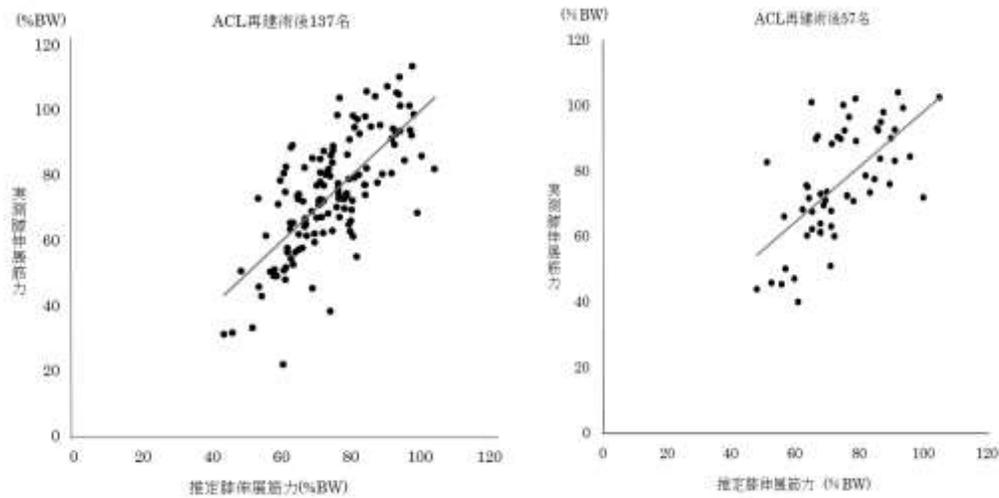


図 2: 推定膝伸展筋力と実測膝伸展筋力の相関図

ACL 再建術後患者 137 名における相関係数は 0.72, 57 名における相関係数は 0.64 であり有意に高い正の相関を認める。

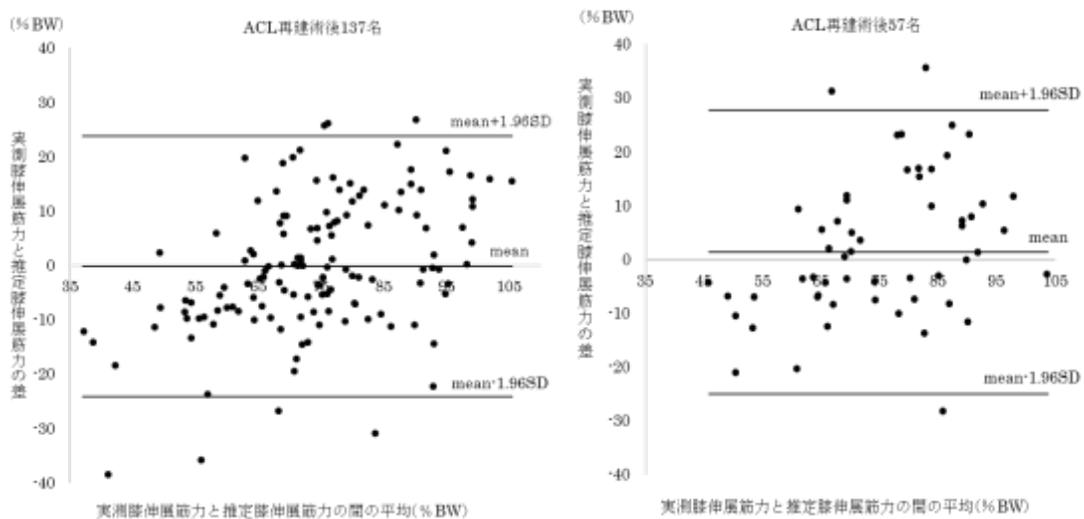


図 3: 推定膝伸展筋力と実測膝伸展筋力の Bland-Altman plot

Bland-Altman plot では, ACL 再建術後患者 137 名の相関係数は 0.44, 57 名の相関係数は 0.35 と低くなり, 可視的にも統計学的にも系統誤差 (加算誤差・比例誤差) に関して増加傾向を示さなかった。

【考察】

本研究では、膝伸展筋力の推定式を作成した時とは異なる対象 57 名を対象とし、推定式から算出した推定膝伸展筋力と実測膝伸展筋力との関係性を検討した。その結果、比較的高い相関関係を認めた。また、Bland-Altman 分析では、推定式を作成した際に確認した系統誤差の状況を比較して本研究の対象 57 名において系統誤差の増大を認めなかった。したがって、我々が作成した ACL 再建術後の膝伸展筋力推定式は、交差妥当性を有することが明らかとなった。

ジャンプの高さは踏切時の身体重心速度によって決定され⁸⁾、下肢伸展筋のパワーと関連すると報告されている⁹⁾。ACL 再建術後患者は、手術侵襲により膝関節腫脹に伴った大腿四頭筋の反射性抑制が生じ¹⁰⁾、さらに術後は膝関節の運動制限に起因した大腿四頭筋の廃用性筋萎縮が生じやすい。大腿四頭筋は II b 線維の割合が多いことに加え、筋線維が太く生理学的筋横断面積が大きい¹¹⁾¹²⁾ ため、速い筋収縮や強い筋発揮張力の産出に適した収縮特性と形態特性を有すると考えられる。このようなことから、ACL 再建術後患者におけるジャンプ高は、下肢伸展筋群の中でも大腿四頭筋との関連が強く、膝伸展筋力を推定する上で妥当な評価指標であることが示されたと考えられる。

ただし、推定式を作成した時と比較し本研究の対象 57 名では、推定値と実測値の相関係数がわずかに低値を示した。推定式作成時と本研究では、対象の患者属性（年齢、性別、体重）に有意差は認められなかった。したがって、患者属性以外の要因が影響し、推定値と実測値の相違が大きくなったと考えられる。その要因として、ACL 再建術後の膝伸展筋力は、術前の筋力と相関し、また、スポーツ活動レベルが高い者ほど術後の筋力の回復は良好とされている¹³⁾。さらに、バレーボール選手におけるジャンプ高は、競技レベルの高さが影響すると報告されている¹⁴⁾。つまり、推定式作成時のサンプルと本研究の対象者間における術前筋力や術前競技レベル、さらには競技特性の相違が、ジャンプ高や膝伸展筋力の成績に影響を与え相関係数がやや低下したと考えられる。

今回の研究により、我々が作成した推定式は、交

差妥当性を有することが明らかとなった。患者属性、測定時期、リハビリテーションプロトコルがある程度一致している場合には、膝伸展筋力はジャンプ高を用いた推定式によって評価できることが確認された。今後、ACL 再建術後の筋力回復に与える他の因子について検討し、独立変数を調整しさらに予測精度の高い推定式を作成する必要性があると示唆された。

【結語】

我々が作成したジャンプテストを用いた ACL 再建術後 6 ヶ月における膝伸展筋力推定式の交差妥当性を検証した。推定式を作成した時とは異なる対象においても推定式の有用性が示され、交差妥当性が明らかとなった。

【文献】

- 1) 黒田良祐, 松下雄彦, 木田晃弘, ほか. 膝 ACL 損傷—半腱様筋腱を用いる手術—. 臨床スポーツ医学 2011; 28: 1377-1385.
- 2) 佐藤正裕, 加賀谷善教, 関屋昇, ほか. 膝前十字靭帯再建術後におけるジョギング開始指標の検討. 体力科学 2010; 59: 281-290.
- 3) 小杉峻, 河野公昭, 村橋喜代久, ほか. 膝前十字靭帯再建術後の片脚垂直跳びテストの有用性. 東海スポーツ傷害研究会会誌 2016; 34: 1-4.
- 4) 奈良勲, 岡西哲夫. 筋力. 東京: 医歯薬出版株式会社; 2007. 87-111.
- 5) 仁賀定雄. 膝関節の筋力—アイソキネティックマシンの利用—. 計測と制御 1992; 31: 383-390.
- 6) 小杉峻, 桑坪憲史, 河野公昭, ほか. 膝前十字靭帯再建術後における片脚垂直跳びテストを用いた筋力推定式の有用性. 東海スポーツ傷害研究会会誌 2017; 35: 43-45.
- 7) 足立堅一. 統計学超入門. 東京: 篠原出版新社; 2007. 137-144.
- 8) 深代千之. 跳躍動作のバイオメカニクス 跳躍の仕組み. 体育の科学 2007; 57: 492-499.
- 9) 横澤俊治, 熊川大介, 荒川裕志, ほか. 立幅跳踏切動作中の下肢関節パワーと等速性最大筋力との関係に関するバイオメカニクス的研究. 体

- 育学研究 2016 ; 61 : 173-184.
- 10) JON T. Hopkins JT, CHRISTOPHER D. INGERSOLL, B. ANDREW KRAUSE, et al. Effect of knee joint effusion on quadriceps and soleus motoneuron pool excitability. Med Sci Sports Exerc 2011 ; 33 : 123-126.
 - 11) 金子公宥, 福永哲夫. バイオメカニクス 身体運動の科学的基礎. 東京: 株式会社杏林書院; 2011. 217-238.
 - 12) 小林公一. ヒト大腿四頭筋の筋線維構成について. 昭和会誌 1991 ; 51(2) : 186-196.
 - 13) 堤康次郎, 水田博志, 中村英一, ほか. 膝屈筋腱を用いた前十字靭帯再建術後の膝伸展筋力の回復について. 整形外科と災害外科 2002;51(2) : 287-290.
 - 14) 村本名史, 栗田泰成, 高根信吾, ほか. 大学女子バレーボール選手における跳躍高および等速性膝関節筋力の関係. バレーボール研究 2014 ; 16(1) : 1-6.