

原著

膝前十字靭帯再建術後のスポーツ活動レベルの相違による
体組成成分, 下肢機能の特徴

瀧川 瑞季¹⁾ 唄 大輔^{1,2)} 寺西 正貴¹⁾ 西田 千浪¹⁾ 井上 和恵¹⁾ 山田 悠莉子¹⁾
野澤 千紘¹⁾ 徳田 光紀^{1,3)} 小川 宗宏 (MD)^{2,4)}

- 1) 社会医療法人 平成記念会 平成記念病院 リハビリテーション課
- 2) 奈良県立医科大学大学院 運動器再建医学教室
- 3) 畿央大学大学院 健康科学研究科
- 4) 奈良県立医科大学 整形外科

要旨

目的：膝前十字靭帯（Anterior Cruciate Ligament：以下，ACL）再建術後6ヶ月時点でのスポーツ活動レベルの相違と体組成成分，下肢機能の特徴について明らかにすること。

方法：ACL再建術後患者17名（平均年齢18.2 ± 2.5歳，男性10名，女性7名）を対象に，術後6ヶ月の体組成成分として患側下肢の骨格筋量指標（以下，SMI）と体格指数（以下，BMI）を測定し，下肢機能として膝関節伸展筋力の健側に対する患側の割合である患健比を算出した。また患者立脚型評価としてKnee injury and Osteoarthritis Outcome Score（以下，KOOS）を測定した。そして術後6ヶ月時点でのスポーツ活動レベルをTegner Activity Level Scale（以下，TAS）にて評価し，対象者をレベル6以上のスポーツ復帰群と，レベル5以下の非復帰群に分け，各測定項目を2群間で比較検討した。

結果：患側下肢のSMIの中央値（四分位範囲）は，復帰群が2.0 kg/m²（1.9-2.1 kg/m²），非復帰群が1.7 kg/m²（1.7-1.9 kg/m²）であり，復帰群が非復帰群と比較し有意に高い値を示した（p < 0.05）。また，膝関節伸展筋力の患健比の中央値（四分位範囲）は，復帰群が93.6%（88.9-95.1%），非復帰群が71.1%（65.2-81.5%）であり，SMI同様，復帰群が非復帰群と比較し有意に高い値を示した（p < 0.01）。しかし，両群間においてBMIとKOOSの下位尺度それぞれに有意な差はみられなかった。

結論：術後6ヶ月においてスポーツ活動レベルが高い者は，SMIと下肢筋力が高いことが示唆された。

キーワード——膝前十字靭帯再建術・体組成成分・下肢機能

【はじめに】

膝前十字靭帯（Anterior Cruciate Ligament：以下，ACL）損傷はスポーツ動作において多く発生し，

スポーツ障害における膝関節疾患の60%以上を占めており最も多い¹⁾。また，ACL損傷により長期間のスポーツ競技離脱が必要となるため，スポーツ選手にとって致命的な外傷の一つである²⁾。保存的治療は基本的に選択されず，スポーツ競技への復帰を目的として，自家腱を用いた再建術が一般的に行

著者連絡先

〒634-0813 奈良県橿原市四条町 827

社会医療法人 平成記念会 平成記念病院 リハビリテーション課

著者名：瀧川 瑞季

われる³⁾。競技復帰のタイミングは、術後6ヶ月以降が望ましいとする報告が多く³⁾、その復帰基準の指標は大腿四頭筋筋力の患健比が80～90%以上とされている³⁾。過去の報告は筋力に関するものが多いが、再建術後に起こる大腿四頭筋の筋萎縮は、慢性的に筋力低下の一因になる^{4,5)}との報告もあり、スポーツパフォーマンスの低下を招く要因として考えられる。すなわち、筋力評価と同様に骨格筋量などの体組成成分を把握することは、スポーツ復帰や障害予防の観点からも重要である。

大腿の骨格筋の評価を目的とした大腿周径の測定は、臨床において骨格筋の肥大や萎縮を簡易的に評価する手段として用いられている。周径の測定は筋繊維の発達状態や身体の栄養状態を反映し、筋力と相関があるものとして考えられてきた^{6,7)}が、骨や皮下脂肪の影響、測定値の再現性などの問題点も指摘^{8,9)}されている。そこで、非侵襲的な骨格筋量の評価方法である、Baumgartnerら¹⁰⁾が定義した骨格筋量指標 (Skeletal Muscle mass Index: 以下, SMI) が、筋萎縮を評価する手段として有用ではないかと考えた。SMIは四肢骨格筋量 (kg) を身長² (m²) で除した値であり、bioelectrical impedance analysis (以下, BIA) 法による予測方程式にて推定された骨格筋量から算出することができる。SMIは身体障害やフレイルと有意な関係があるとされており^{10,11)}、サルコペニアの診断基準における骨格筋量の指標として用いられていることが多い¹²⁻¹⁴⁾が、現在までACL再建術後におけるSMIの報告は皆無であり、BIA法により測定された体組成成分とスポーツ活動レベル、下肢機能とを比較検討した研究はない。

本研究は、スポーツ復帰の目安となる術後6ヶ月時点でのスポーツ復帰の可否による体組成成分、下肢機能の特徴を明らかにすることを目的とした。

【対象および方法】

1. 対象

2019年1月～2020年3月の期間で、片側ACL

損傷に対して解剖学的2束再建術を施行された17名 (平均年齢18.2 ± 2.5歳, 男性10名, 女性7名) を対象とした。そのうち、ハムストリングス腱を用いた再建術後患者が12名、骨付き膝蓋腱による再建術後患者が5名であり、いずれも術後半年以上経過観察が可能であったものを対象とした。除外基準は反対側の膝に骨関節疾患の既往のある者、複合靭帯損傷、再々々再建術を施行された患者とした。また、対象者の元々のスポーツ活動レベルは、レクリエーションもしくは競技活動レベルであった。なお、本研究は、所属機関の倫理委員会の承諾 (H15-2) を得た上で実施し、全症例にヘルシンキ宣言に基づいて本研究の十分な説明を口頭および文書にて行い同意を得た上で実施した。

2. 方法

対象者には当院のクリニカルパスに沿ってリハビリテーションを行った。術後翌日よりリハビリテーションを開始し、術後1週に全荷重可とし、靭帯の修復を考慮しつつ膝関節の可動域拡大を図った。術後3週より荷重位での下肢筋力強化練習を段階的に実施し、術後3ヶ月よりジョギング開始、ステップやジャンプの動作練習、ダッシュは術後4ヶ月以降とし、術後6ヶ月より段階的にスポーツ復帰とした。各動作開始に関しては医師の指示のもと実施した。

本研究において、術後6ヶ月時点でのスポーツ活動レベルを調査するため、先行研究^{15,16)}にて信頼性が確認されているTegner Activity Level Scale (以下, TAS) を用い評価した。TASは、ACL損傷患者の活動レベルを定量化するために開発された評価尺度の一つであり、0から10までの11レベルの段階的なリストで、競技スポーツ活動や仕事などの日常生活活動を一つのアンケートで分類している¹⁶⁾。競技スポーツ活動は上位3つのレベル (レベル10～8) から構成される。競技およびレクリエーションのスポーツ分類はレベル7で両方とも記載され、他のレクリエーションスポーツはレベル6で記載される。レベル5～1は、活動とスポーツが共に混合し、レベル0は膝の状態により病気休暇または

身体障害がある状態を示す。レクリエーションまたは競技スポーツに参加する場合、レベル10～6であることが必要¹⁷⁾とされる。本研究では我々が日本語訳したものを使用し、過去の報告を元に復帰の基準をレベル6とし、対象者をレベル6以上の復帰群と、レベル5以下の非復帰群に分けた。

術後6ヶ月時点での測定項目は、体組成成分としてSMIと肥満指数 (Body mass index: 以下, BMI) を、下肢機能として膝関節伸展筋力を測定した。また、患者立脚型評価として信頼性が確認されている Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (以下, KOOS)¹⁸⁾ の日本語版¹⁹⁾ を使用し評価した。KOOSは、42項目からなる膝関節に特有の自己記入質問書であり、痛み (Pain:9項目)、症状 (Symptom:7項目)、日常生活活動 (ADL:17項目)、スポーツおよびレクリエーション活動 (Sports/Recreation:5項目)、そして膝関節に関する生活の質 (QOL:4項目) といった5つの別々の下位尺度で評価する。全ての項目は5段階の採点方式で0～4点で記録され、各下位尺度において、スコアを0～100点 (0は極度の膝関節の問題があることを示し、100は膝関節に全く問題がないことを示す) に換算した^{18,20)}。

SMI, BMIの測定には、医療用体組成計 (mBCA515, seca株式会社) を用いた。これは、四肢の遠位より電流を供給する8点接触型電極法であり、立位姿勢で測定する複数の周波数のBIA機器である。信頼性が確認されている先行研究²¹⁾の方法に準じ、インピーダンスは、1, 1.5, 2.3, 5, 7.5, 10, 15, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 300, 500, 750, 1000 kHzの19種類の周波数で測定した。測定にあたり、アルコール綿で足底を清拭して、体組成計の指示に従って立位姿勢とした (図1)。対象者は電極の上に足を乗せ、踵は後方の、前足部は前方の電極の中心に足を配置させた²¹⁾。両側の手すりには6本の電極があり、対象者の身長に依存し、体幹と上肢の角度が約30°外転位となる位置の2本の電極を選択し、中指と環指の間で電極を分離するよ

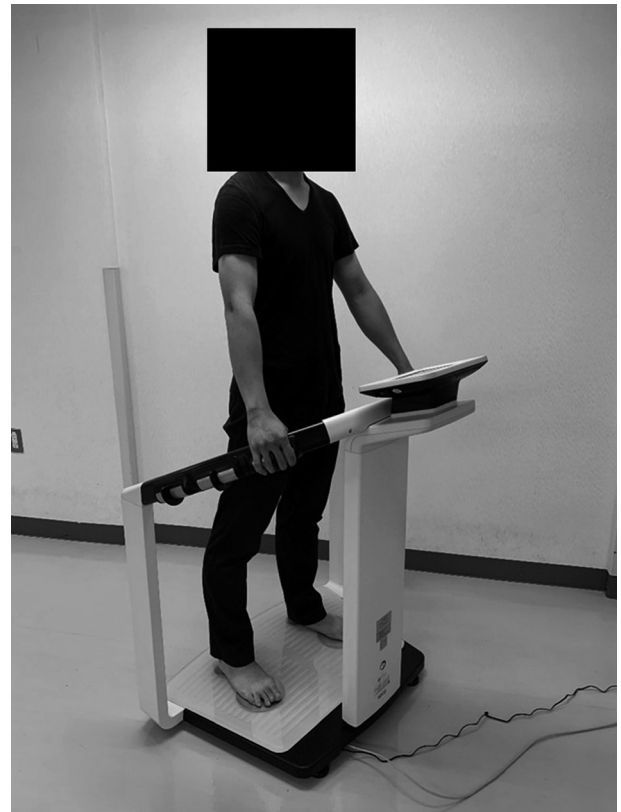


図1 医療用体組成計 (mBCA515, seca株式会社)

うに手を配置させた²¹⁾。測定は、右上肢, 左上肢, 右下肢, 左下肢, 体幹, 右半身, 左半身に区分し行った。骨格筋量の指標には、BaumgartnerらのSMI方法¹⁰⁾を採用し、患側下肢の骨格筋量 (kg) を身長² (m²) で除して正規化したSMIを算出した。BMIは、BIA法による予測方程式から算出された値を採用した。データの質を保証するため、機器は既知の較正基準を使用して毎日調整された。

膝関節伸展筋力は、両側下肢を対象にハンドヘルドダイナモメーター (μ Tas F-1, ANIMA社製) を用いて最大等尺性収縮筋力を左右2回ずつ測定し、最大値を代表値として採用、患健比 (健側に対する患側の割合) を算出した。測定方法は、信頼性が確認されている先行研究²²⁾の方法に準じ、対象者を端坐位、膝関節90度屈曲位とし、測定側の足底を床から浮かし、ハンドヘルドダイナモメーターのセンサーパッドを下腿遠位部に設置し測定した。なお、測定値の再現性を考慮して、ハンドヘルドダ

イナモーターのセンサーパッドはベルトを用いて固定した。測定の際に膝窩部の圧迫による疼痛を回避するため、同部位に折り畳んだバスタオルを敷いた。体幹は垂直位を保つように指示し、両上肢は体幹前方で組ませ、測定中は体幹の過度な後傾や殿部がベッドより浮かないように留意した。また、測定中はセンサーパッドのずれを防止するため検者が前方でパッドを固定した。測定間隔はそれぞれ30秒以上とし、疲労や学習効果の影響を排除するため、必ず事前に1、2回の練習を行い、測定順序はランダムとした。測定結果は第三者である記録者により記録され、測定終了時まで対象者および検者に知らせないことにより、先入観に基づく測定バイアスを排除した。検者は本研究に先立って、測定方法に習熟するため練習を行った。

分析方法としては、2群間の基本属性（年齢、身長、体重）、患側下肢のSMI、BMI、膝関節伸展筋力の患健比、KOOSの下位尺度（Pain, Symptom, ADL, Sports/Recreation, QOL）の比較をMann-

WhitneyのU検定を用いた。そして、2群間において性別の割合に有意な差があったかを検討するためにFisherの正確検定を用いた。解析にはSPSS 18.0J for Windows (SPSS Japan Inc.)を用い、有意水準は5%とした。

【結果】

対象者全体と各群の属性、各項目の測定結果の比較を表1に示す。年齢、身長、体重、BMI、KOOSの下位尺度には、両群間で有意な差を認めなかった。性別の割合に関しては、復帰群の男性は7名、女性は2名、非復帰群の男性は3名、女性5名であり、Fisherの正確検定の結果から、性別の割合においても有意な差を認めなかった。しかし、患側下肢のSMIの中央値（四分位範囲）は、復帰群が2.0kg/m² (1.9-2.1 kg/m²)、非復帰群が1.7 kg/m² (1.7-1.9 kg/m²)であり、復帰群が非復帰群と比較し有意に高い値を示した (p < 0.05)。また、膝関節伸展筋力の患健比の中央値（四分位範囲）は、復帰群が

表1 対象者の属性と各項目の測定結果の比較

	全体(n=17)	復帰群(n=9)	非復帰群(n=8)	p値
年齢(歳) ¹⁾	18(17-20)	18(17-20)	19(16-19)	0.48
性別(名) ²⁾	男性:10, 女性:7	男性:7, 女性:2	男性:3, 女性:5	0.15
身長(cm) ¹⁾	170.0(164.0-171.0)	170.0(164.0-172.0)	167.5(163.0-170.3)	0.50
体重(kg) ¹⁾	65.9(60.7-74.9)	65.7(61.5-74.9)	67.4(64.9-70.9)	0.49
再建韧带(名)	ハムストリングス腱:12, BTB:5	ハムストリングス腱:7, BTB:2	ハムストリングス腱:5, BTB:3	
半月板複合損傷(名)	MM:4, LM:1, MM・LM:4, intact:8	MM:2, LM:1, MM・LM:0, intact:6	MM:2, LM:0, MM・LM:4, intact:2	
受傷前のTAS(score) ¹⁾	7.0(7.0-7.0)	7.0(7.0-8.0)	6.5(5.8-7.0)	<0.01
術後のTAS(score) ¹⁾	6.0(5.0-6.0)	6.0(6.0-6.0)	5.0(3.8-5.0)	<0.01
患側下肢SMI(kg/m ²) ¹⁾	1.9(1.7-2.0)	2.0(1.9-2.1)	1.7(1.7-1.9)	0.02
BMI(kg/m ²) ¹⁾	23.3(21.5-26.9)	24.2(22.9-26.9)	23.0(21.2-24.9)	0.73
膝関節伸展筋力の患健比(%) ¹⁾	84.2(73.8-94.8)	93.6(88.9-95.1)	71.1(65.2-81.5)	<0.01
KOOS(score) ¹⁾				
Pain	91.7(86.1-97.2)	94.4(86.1-97.2)	90.3(85.4-97.9)	0.85
Symptom	85.7(75.0-89.3)	85.7(82.1-89.3)	87.5(72.3-90.2)	0.65
ADL	98.5(98.5-100.0)	100.0(98.5-100.0)	98.5(98.2-98.9)	0.44
Sports/Recreation	80.0(75.0-90.0)	90.0(75.0-90.0)	80.0(63.8-86.3)	0.15
QOL	75.0(68.8-81.3)	81.3(68.8-81.3)	75.0(68.8-76.6)	0.67

BTB : bone・patellar tendon・bone, MM : medial meniscus, LM : lateral meniscus, TAS : Tegner Activity Level Scale, SMI : Skeletal muscle mass Index, BMI : Body mass index, KOOS : Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score, ADL : Activities of Daily Living, QOL : Quality of Life.

復帰群と非復帰群間の比較。中央値(四分位値 25-75%)で表記。1)Mann-WhitneyのU検定。2)Fisherの正確検定。

93.6% (88.9-95.1%), 非復帰群が71.1% (65.2-81.5%) であり, SMI 同様, 復帰群が非復帰群と比較し有意に高い値を示した ($p < 0.01$)。

【考察】

本研究は, スポーツ復帰の目安となる術後6ヶ月時点で, スポーツ復帰群と非復帰群の2群に分類し, 体組成成分と下肢機能の特徴を分析した。その結果, 復帰群が非復帰群と比較して, 下肢筋力だけでなく, SMI においても有意に高値を示した。現在までに, 再建術後のスポーツ復帰基準に関して筋力に関するものが多く見受けられる。また, 再建術後の患側下肢の筋萎縮は臨床現場でよく経験するが, その評価方法は大腿周径の患健側の比較が一般的であり, BIA 法により測定し定量化された体組成成分が, スポーツ活動レベルや下肢機能とどのように関連するか明らかではなかった。よって本研究の結果から, 筋力評価と同様に骨格筋量などの体組成成分を把握することが, スポーツ復帰や障害予防の観点からも重要であると示唆された。

SMI に関して, 先行研究¹⁰⁻¹⁴⁾ではサルコペニアの評価に用いられることが多く, 若年でまたスポーツ競技に参加している方を対象にした報告は皆無であった。ACL 再建術後の体組成成分に関する報告では, 術後6~7ヶ月でBMIが高値の群は正常群に比べて有意に膝関節伸展筋力の患健比が低いといった報告²³⁾がある。しかしながら, 本研究結果ではBMIに有意差がなく, 患側下肢のSMIのみに有意差を認めた。BMIは肥満度を表す指標として国際的に用いられている体格指数であり, 骨格筋量以外の関連因子の状態も反映されている。一方SMIは, 得られた骨格筋量を身長で正規化し算出する。そのためBMIでは評価できない骨格筋量のみを評価するSMIを用いることで, ACL再建術後のスポーツ復帰に特化した評価の質が高まることを示唆された。

膝関節伸展筋力の患健比に関しては, 幾多の先行研究においてスポーツ復帰基準の重要な因子として報告されているが^{3,24)}, 等速性筋力テストでの測定

が多く, 大腿四頭筋やハムストリングスの患健比の推奨範囲は80~90%以上と述べられている³⁾。測定方法が等尺性筋力テストでの報告としては, 術後6ヶ月での膝関節伸展筋力の患健比が87.35%以上の者はそれ未満の者と比べて, 競技復帰率が約8倍であったと述べられており, 臨床的なカットオフ値としての有用性も示唆されている²⁵⁾。本研究の復帰群の膝関節伸展筋力の患健比の中央値(四分位範囲)は, 93.6% (88.9-95.1%) と復帰基準の推奨範囲を満たしており, スポーツ復帰が可能なレベルと考えられ, 本研究の結果は先行研究を支持する結果となった。

本研究の限界として, 対象者が17名と少なく, 術後6ヶ月時点でのスポーツ活動レベルの相違による体組成成分や下肢機能の特徴を十分に反映できていなかった可能性が考えられる。また, スポーツ競技別や受傷前の個々のパフォーマンスレベルに分けて検討もできていないため, 競技特異性を比較することができていない。さらに, 合併症として半月板損傷に関して検討出来ておらず, その影響も考慮出来ていない。今後は対象者数を増やし, 性別や競技種目, 競技レベルを考慮した上で, 術後6ヶ月だけでなく術後の回復過程における体組成成分や下肢機能が, スポーツ復帰にどのような影響を与えるか検討する必要がある。

【結論】

本研究は, スポーツ復帰の目安となる術後6ヶ月時点で, スポーツ復帰群と非復帰群の2群に分類し, 体組成成分と下肢機能の特徴を分析した。結果, 復帰群は非復帰群と比較し, 患側下肢のSMIと膝関節伸展筋力の患健比が有意に高値を示した。術後6ヶ月においてスポーツ活動レベルが高い者は, 患側下肢のSMIと下肢筋力が高いことが示唆された。

【利益相反】

本研究に関連した開示すべき利益相反はない。

【文献】

- 1) Daniel DM, et al.: Instrumented measurement of anterior laxity of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 67: 720-726, 1985.
- 2) Boden BP, et al.: Mechanisms of anterior cruciate ligament injury. *Orthopedics* 23: 573-578, 2000.
- 3) Barber-Westin SD, et al.: Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy* 27: 1697-1705, 2011.
- 4) Krishnan C, et al.: Factors explaining chronic knee extensor strength deficits after ACL reconstruction. *J Orthop Res* 29: 633-640, 2011.
- 5) Williams GN, et al.: Quadriceps weakness, atrophy, and activation failure in predicted noncopers after anterior cruciate ligament injury. *Am J Sports Med* 33: 402-407, 2005.
- 6) 松澤正・他：理学療法評価学。金原出版株式会社，東京，pp26-33, 2012.
- 7) RA Williams, et al.: The effect of electrical stimulation on quadriceps strength and thigh circumference in meniscectomy patient. *J Orthop Sports Phys* 8(3): 143-146, 1986.
- 8) 香川雅春・他：形態の測定方法。理学療法 22(1): 21-28, 2005.
- 9) 測上信夫・他：周径の信頼性—筋力と周径の関係—。理学療法学 17(3): 242-246, 1990.
- 10) Baumgartner RN, et al.: Epidemiology of sarcopenia among the elderly in New Mexico. *Am J Epidemiol* 147: 755-763, 1998.
- 11) Kim KM, et al.: Differences among skeletal muscle mass indices derived from height-, weight-, and body mass index-adjusted models in assessing sarcopenia. *Korean J Intern Med* 31: 643-650, 2016.
- 12) Sanada K, et al.: A cross-sectional study of sarcopenia in Japanese men and women: reference values and association with cardiovascular risk factors. *Eur J Appl Physiol* 110: 57-65, 2010.
- 13) Frisoli A Jr, et al.: Severe osteopenia and osteoporosis, sarcopenia, and frailty status in community-dwelling older women: results from the Women's Health and Aging Study (WHAS) II. *Bone* 48: 952-957, 2011.
- 14) Looker AC: Dysmobility syndrome and mortality risk in US men and women age 50 years and older. *Osteoporos Int* 26: 93-102, 2015.
- 15) Tegner Y, et al.: Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res* 198: 43-49, 1985.
- 16) Barber-Westin SD, et al.: Rating of Athletic and Daily Functional Activities after Knee Injuries and Operative Procedures. *Noyes' Knee Disorders: Surgery, Rehabilitation, Clinical Outcomes*: e48-e56, 2010.
- 17) Hambly K: The use of the Tegner Activity Scale for articular cartilage repair of the knee: a systematic review. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19: 604-614, 2011.
- 18) Roos EM, et al.: The Knee injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS): from joint injury to osteoarthritis. *Health Qual Life Outcomes* 1: 64, 2003.
- 19) Nakamura N, et al.: Cross-cultural adaptation and validation of the Japanese Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS). *J Orthop Sci* 16(5): 516-523, 2011.
- 20) Roos EM, et al.: Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score (KOOS)—development of a self-administered outcome measure. *J Orthop Sports Phys Ther* 28: 88-96, 1998.
- 21) Thurlow S, et al.: Effects of procedure, upright equilibrium time, sex and BMI on the

- precision of body fluid measurements using bioelectrical impedance analysis. *Eur J Clin Nutr* 72: 148-153, 2018.
- 22) 加藤宗規・他: ハンドヘルドダイナモメーターによる等尺性膝伸展筋力の測定—固定用ベルトの使用が検者間再現性に与える影響—. *総合リハ* 29: 1047-1050, 2001.
- 23) Hsu WH, et al.: Effect of high body mass index on knee muscle strength and function after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendon autografts. *BMC Musculoskelet Disord* 19: 363, 2018.
- 24) Osteras H, et al.: Isokinetic muscle strength after anterior cruciate ligament reconstruction. *Scand J Med Sci Sports* 8: 279-282, 1998.
- 25) Burland JP, et al.: Clinical Outcome Measures and Return-to-Sport Timing in Adolescent Athletes After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Athl Train* 53(5): 442-451, 2018.