

전방십자인대 한다발재건술의 후외측다발 재건 및 두다발재건술이 외발착지 동작 시에 경골내회전에 미치는 영향

신 충 수*†

* 서강대학교 기계공학과

Effect of Lateral and Posterior Placement of Single-Bundle and Double-Bundle ACL Reconstructions on Tibial Internal Rotation During Single-Leg Landing

Choong Soo Shin*†

* Dept. of Mechanical Engineering, Sogang Univ.

(Received September 21, 2010 ; Revised February 14, 2011 ; Accepted February 15, 2011)

Key Words: Anterior Cruciate Ligament Reconstruction(전방십자인대 재건술), Posterolateral Bundle(후외측 다발), Double-bundle Reconstruction(두다발 재건술), Knee Model(슬관절 모델), Single-Leg Landing(외발착지)

초록: 전방십자인대 부상은 스포츠 활동 중에 빈번하게 발생하며 주로 수술적 치료가 행해진다. 전방십자인대는 전내측과 후외측 다발로 구분되는데 주로 전내측 다발만 재건되는 한다발 재건술이 시술되고 있다. 후외측 다발은 경골의 내회전을 복원하는데 효과적이라는 실험 결과가 보고된 바 있지만 부상을 야기하는 역동적인 착지동작에서의 역할에 대한 연구가 필요하다. MRI 영상을 이용하여 개발된 3 차원 슬관절 모델에 인체실험 자료를 입력한 시뮬레이션으로 착지동작 시에 후외측 다발 및 두다발 재건술이 얼마나 경골의 내회전을 제어하는지 알아보았다. 본 연구는 후외측 다발 방향의 재건이 전내측 다발보다 착지동작 시에 경골 내회전을 효과적으로 감소시키며 두다발 재건술 또한 슬관절 회전 안정성을 향상시킴을 밝혔다.

Abstract: Anterior cruciate ligament (ACL) injuries are treated with surgical reconstruction. Although ACL consists of two functional bundles, only the anteromedial bundle is surgically reconstructed, and the effect of the reconstruction of the posterolateral bundle is unknown. The purpose of this study is to investigate the role of the posterolateral bundle and the effect of double-bundle reconstruction during single-leg landing. A 3D dynamic knee with various ACL reconstructed models was created using MRI, and single-leg landing motion was simulated using in-vivo human experimental data. The results showed that the lateral shift of the tibial insertion of the anteromedial bundle and the posterolateral bundle of the ACL constrain the tibial internal rotation more efficiently than a single anteromedial bundle can. In addition, double-bundle ACL reconstruction is less sensitive to inaccuracies in the tibial tunnel placement.

1. 서 론

전방십자인대(anterior cruciate ligament) 부상은 스포츠 활동 중에 빈번하게 발생하며 부상 이후에 슬관절 불안정성, 슬관절 무력감 등을 야기하고 슬관절의 퇴행성 변화를 조기에 일으키는 것으로 알려져 있다.⁽¹⁾ 전방십자인대 파열에 대한 치료방법으로 전방십자인대 재건술이 시행되고 있는데

성공률이 90%에 달하지만 장기 임상 연구 결과에 의하면 25%의 환자가 불만족스러운 결과를 호소한다.⁽²⁾ 또한 전방십자인대 재건술을 받은 환자들 의 84%가 20 년 후에 관절염이 발병되는 것으로 보고되었는데,⁽³⁾ 이는 일반인에 비해 수배 이상 높은 수치이다.⁽⁴⁾ 특히 전방십자인대 재건술을 받은 환자들의 슬관절 운동에서 경골의 내외회전(tibial axial rotation) 운동이 비정상적이며⁽⁵⁾ 변화된 슬관절의 운동은 연골에 퇴행성 변화를 발생시킨다고 알려져 있다.^(5,6)

† Corresponding Author, cshin@sogang.ac.kr
© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

현재 전방십자인대 재건술의 방법으로는 대부분 한다발 재건술(single-bundle reconstruction)이 시술되고 있는데 수술 이후에 슬관절의 전후방 안정성(anterior-posterior stability)은 복원되나 경골의 내외회전 안정성(rotary stability)은 복원되지 않는다.⁽⁷⁾ 한다발 재건술이 슬관절의 정상적인 운동을 복원하기 어려운 이유는 전방십자인대 두다발의 기능에 기인한다. 전방십자인대는 기능적으로 주로 경골의 과도한 전방전위를 방지하는 전내측다발(anteromedial bundle)과 과도한 축회전 방지에 주로 기여하는 후외측다발(posterolateral bundle)로 나뉘어지며 무릎 굽힘 각도에 따라서 각 다발에 작용하는 인장력으로서 다르다.^(8,9) 한다발 재건술은 전내측다발의 위치와 기능을 재건하여 전후방안정성을 복원하지만 경골의 축회전은 복원하지 못한다는 사체실험 결과가 보고되었다.⁽¹⁰⁾ 또한 걷기나 뛰기 운동 시에 한다발 재건술을 받은 환자의 무릎 운동은 정상상태인 반대 무릎의 운동과 비교하였을 때 경골의 전후방 변위는 유사하나 경골의 축회전은 차이가 있다고 보고되었다.⁽⁵⁾ 전방십자인대 부상 혹은 재건 환자의 일상 활동에서 나타나는 변화된 슬관절 운동은 연골의 퇴행성 변화를 조기에 일으킬 수 있으므로 전방십자인대 재건술을 통해 과도한 전후방 전이 방지와 더불어 과도한 축회전 방지 기능도 복원하는 것이 반드시 필요하다고 할 수 있다.

전내측 한다발 재건술은 경골의 과도한 축회전을 방지하지 못하기 때문에,^(11,12) 후외측 다발을 추가하여 두 개의 다발을 이용한 전방십자인대 재건술이 제시되었다. 일부 사체실험 결과에서 두다발 재건이 우수하다고 보고되고 있으나, 두다발 재건술(double bundle reconstruction)은 아직 그 방법이 정립되지 못한 상태이며, 그 예후에 관한 임상 스터디 결과도 매우 부족한 실정이다.⁽¹³⁻¹⁵⁾ 더욱이 두다발 재건술의 장점이 명확하게 밝혀지지 않았고 수술이 복잡하여 그 효용성 또한 의심되고 있다.⁽¹⁶⁾ 그러므로 한다발 재건술과 두다발 재건술의 장단점을 객관적으로 비교할 수 있는 연구가 지속적으로 필요하다.

전방십자인대의 후외측 다발은 경골 축회전을 제어하는 구조물이라고 알려져 있으며,^(8,9) 한다발 재건에서 후외측 다발만을 재건하여 회전 안정성을 복원할 수 있음이 사체실험 등을 통해 제시되었다.⁽⁸⁻¹²⁾ 그러나, 이전의 사체실험을 이용한 연구에서는 인체 동적활동에서 관측되는 것보다 낮은 수준의 준정적 하중(quasistatic loading)에 대한 반응만을 연구하였다. 그러나 경골의 전방전이(anterior

tibial translation) 시험이나 축축변위(pivot shift) 시험 등을 이용한 정적 실험(static experiment)의 결과는 전방십자인대 재건 환자의 기능적 활동 예후와 상관관계를 가지지 않는다고 알려져 있고,⁽¹⁷⁾ 전방십자인대 재건술을 원하는 환자들은 스포츠활동에 복귀하기를 원하므로, 두다발 재건술의 기능적 활동 예후를 예측하기 위해서는 동적 활동(dynamic activity)에 대한 반응을 조사하는 것이 정적 실험에 대한 반응을 시험하는 것보다 더욱 중요하다고 할 수 있다. 전방십자인대 부상은 외발착지, 감속동작 중에 많이 발생하므로, 전방십자인대에 많은 스트레인을 가할 수 있는 동적활동인 외발착지 동작에 대한 후외측다발과 두다발 재건술의 반응 연구는 수술 예후에 대한 통찰력을 높일 수 있을 것이다.

해부학적으로 전방십자인대의 후외측 다발의 경골 부착부(tibial insertion)는 전내측 다발보다 외측이면서 후방에 그 중심이 위치하고 있다(Fig. 1). 현재 시술되고 있는 대부분의 전방십자인대 재건술은 전내측 다발만을 재건하고 있으므로 경골 부착부를 외후방 방향으로 이동시킨 재건술을 연구하면 전방십자인대 전내측 다발과 후외측 다발의 역할의 차이점을 밝혀낼 수 있을 것이다.

본 연구의 목적은 다음과 같은 가설을 시험하여 전방십자인대 재건술에서 후외측 다발의 역할에 대한 통찰력을 제시하는 것이다. 1)한다발 재건술에서 경골 부착 위치의 외측 이동은 외발 착지 동작시 발생하는 경골의 최대 축회전을 감소시킨다. 2)후외측 한다발 재건술은 전내측 한다발 재건술보다 착지동작시 발생하는 경골의 최대 축회전을 감소시킨다. 3)최대 경골 축회전은 두다발 재건술을 수행했을 때 한다발 재건술보다 경골터널 위치 변화에 대해 덜 민감한 변화를 나타낸다.

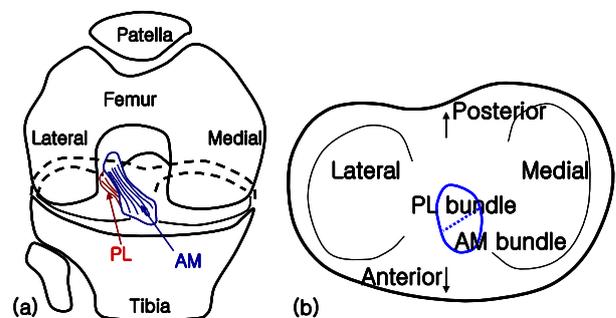


Fig. 1 (a) Front view of the knee joint at flexion: anteromedial (AM) and posterolateral (PL) bundles of the anterior cruciate ligament are shown (b) The anatomic location of insertion region of the anteromedial and posterolateral bundles is shown on the tibial plateau

2. 재료 및 방법

3 차원 동적 슬관절 및 하지 모델이 개발되었고, 사체실험을 이용하여 외발착지 동작 시에 발생하는 전방십자인대 스트레인을 측정할 수 있음이 검증되었다. 본 연구에서는 두다발 재건술과 한다발 재건술을 모사하기 위해 해부학적 정보를 기반으로 수정된 슬관절 모델을 각각 개발하였다. 착지동작 중에 발생하는 높은 수준의 하중인 지면방향 충격력(vertical impact force), 경골 내회전 모멘트(tibial internal rotation moment), 외반 모멘트(knee valgus moment)는 인체 실험에서 측정된 값을 기반으로 시뮬레이션 입력치로 정규화하여 사용하였다. 본 연구에서 개발된 다양한 전방십자인대 재건 모델을 이용하여 외발착지 동작 중에 발생하는 슬관절 운동을 해석하였다.

2.1 슬관절 및 하지 모델

3 차원 슬관절 모델의 개발 및 사체실험을 이용한 검증시험은 이전의 연구⁽¹⁸⁾에서 상세하게 기술되었으므로 본 논문에서는 간략하게 기술한다. 슬관절 모델은 사체의 시상면 자기공명영상(GE 3D-SPGR, 1.5T, FOV 140×140mm, matrix 256×256, slice thickness 1.5mm)을 이용하여 개발하였다(Fig. 2(a)). 자기공명영상의 슬라이스를 이용하여 원위부 대퇴골, 근위부 경골, 슬개골 및 연골의 외형을 세분화하고 3 차원 형상 재건을 수행한 후 동역학 해석프로그램(MSC.ADAMS, MSC.Software, Santa Ana, CA)에서 모델을 구성하였다. 슬관절 모델은 주요 인대들(전방십자인대, 후방십자인대, 내측부인대, 외측부인대)과 후방관절낭 및 슬개인대 등을 포함하고 있으며, 인대는 비선형 탄성 스프링으로 모델링되었고 강성과 선인장력(pretension) 등의 물성치는 기존 문헌자료를 이용하였다.⁽¹⁸⁻²⁰⁾ 인대의 기시부(origin)와 부착부(insertion) 위치는 자기공명영상에서 좌표를 얻어 이용하거나 뼈의 해부학적 자료를 바탕으로 결정하였다.^(16,20,21) 연골과 연골 간의 접촉력은 벌칙법(penalty method)⁽²²⁾을 이용하여 각각 대퇴슬개관절과 경대퇴관절에 사체실험 자료를 이용하여 정의하였으며,^(23,24) 최대 침습이 발생해도 뼈와 뼈 간의 접촉은 생기지 않도록 모델링하였다. 슬관절의 수동적 운동특성은 외반모멘트, 경골 내회전모멘트에 대한 강성 및 수동적 슬관절 움직임 등에 대한 시험을 통한 시뮬레이션 결과를 문헌 결과와 비교함으로써 검증되었다.⁽¹⁸⁾

외발착지 동작을 모사하기 위해 3 차원 슬관절 모델에 하지(lower extremity) 모델을 추가하여 전체 모델을 구성하였다. 슬관절 모델은 사체실험에서 쓰인 시편의 자기공명영상을 이용하여 개발되었으

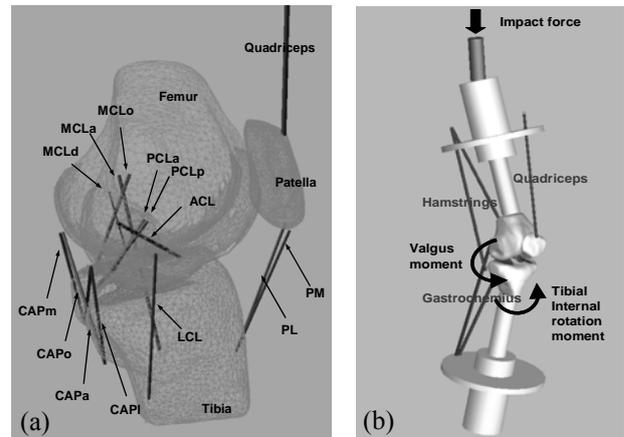


Fig. 2 (a) The knee model with multiple bundles of the ligaments: the anterior cruciate ligament (ACL); the anterior and posterior bundle of the posterior cruciate ligament (PCLa and PCLp); the lateral collateral ligament; the anterior, oblique and deep bundle of the medial collateral ligament (MCLa, MCLo, and MCLd); the medial, lateral, oblique popliteal and arcuate popliteal bundle of the posterior capsules (CAPm, CAPI, CAPo, and CAPa); and the medial and lateral patella ligament (PM and PL). (b) The knee model and lower-extremity model that simulates dynamic single-leg landing shows musculotendinous bundles (the quadriceps, medial/lateral hamstrings, and medial/lateral gastrocnemius)

며 Fig. 2(b)와 같이 착지동작을 모사할 수 있는 하지 모델은 사체실험에서 쓰인 동일한 형상과 물성치 및 하중조건들을 사용하여 모사되었다.⁽²⁵⁾ 세 개의 근육군 즉, 사두거근(quadriceps), 내외측 장딴지근(medial/lateral gastrocnemius), 내외측 뒤넓다리근(medial/lateral hamstrings)이 사체실험에서와 동일한 강성값을 갖는 선형 스프링으로 모델링 되었다. 경대퇴관절(tibiofemoral joint)은 하중이 가해지기 전에는 근육의 초기 인장력을 이용하여 25°의 굽힘 각도를 유지하였다. 근위부 대퇴골은 구상관절과 슬라이더에 접합되어 엉덩이 관절의 자유회전과 상하방향 운동이 가능하게 모사되었다. 원위부 경골은 구상관절로 연결되어 착지 시에 자유회전이 가능한 발목관절을 모사하였다. 본 연구에 사용된 슬관절 및 하지 모델의 착지동작 시 전방십자인대 스트레인 예측 능력 및 슬관절 운동예측 능력은 사체실험 결과와 비교하여 검증되었다.⁽¹⁸⁾

2.2 한다발 및 두다발 전방십자인대 재건 모델

전내측 다발과 후외측 다발의 경골 부착부 중심은 기존 문헌에서 제시된 바와 같이 자기공명영상 자료를 기반으로 결정하였다.⁽¹⁶⁾ 한다발 재건술에 있어서 재건다발의 경골 부착위치의 외측방향 이동의 영향을 결정하기 위해 원래의 전내측다발 부

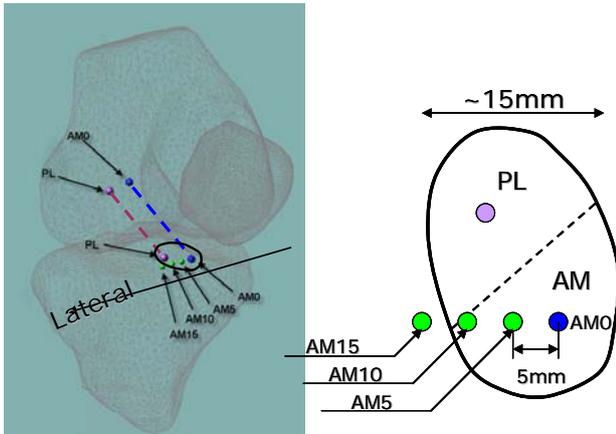


Fig. 3 The simulated various ACL reconstructions. AM0 (blue balls) represents the nominal anteromedial (AM) bundle on the tibial insertion points. AM5, AM10, and AM15 denote laterally shifted locations of the tibial tunnels. PL (the violet ball) denotes the insertions of posterolateral (PL) bundle of the ACL

착위치(AM0)를 외측으로 5mm, 10mm, 15mm 까지 이동시켜 각각 AM5, AM10, AM15 으로 명명하였다(Fig. 3). 전방십자인대의 경골 부착부는 내외측 방향으로 평균 14mm(범위: 9~18mm)의 길이와 120 mm²의 면적을 가지므로^(16,26) 외측방향 변위를 15mm 로 변화시켜 모사하였다.

또한 후외측 다발만을 이용한 한다발 재건술의 경우와 전내측 한다발 재건술과 비교하였다. 후외측 다발과 네 개의 전내측 다발(AM0, AM5, AM10, AM15)을 각각 조합하여 총 네 개의 서로 다른 두 다발 재건술을 모사하였다(Table 1). 두 다발 재건술의 각 다발의 강성은 한다발 재건술의 절반으로 설정하여 전체 강성값은 한다발 재건술과 두 다발 재건술이 동일하도록 설정하였다.

2.3 동적하중을 이용한 시뮬레이션

외발 착지 동작시 슬관절에 작용되는 높은 하중을 모사하기 위해 착지와 커팅(cutting) 동작을 수행하는 인체 실험⁽²⁷⁾에서 실제로 관측된 최대 하중을 이용하여 슬관절 및 하지 모델에 입력치로 사용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 전방십자인대에 높은 스트레인을 줄 수 있는 수준의 외반 모멘트(최대값 51Nm), 경골 내회전 모멘트(최대값 26Nm)는 성인의 평균 특성값(신장 1.75m, 체중 76.5kg)으로 정규화하였고 착지 동작 시 야기되는 지면방향의 충격력(최대값 1300N)의 조합이 슬관절에 작용하는 하중 입력치로 사용되었다. 하중이 작용하기 전에 25° 굽힘 각도를 이루고 있는 슬관절 모델에 조합된 세가지 동적 하중(외반모멘트, 회전 모멘트, 충격력)을 가하였다. 지면방향 충격

Table 1 Various simulated single-bundle (5 cases) and double-bundle (4 cases) ACL reconstructions

Single-bundle ACL reconstruction	Double-bundle ACL reconstruction
AM0	AM0 and PL
AM5	AM5 and PL
AM10	AM10 and PL
AM15	AM15 and PL
PL	

력은 대퇴골 원위부에 작용하여 착지 동작을 모사하게 하였고 외반모멘트와 경골 내회전 모멘트는 슬관절에 작용시켰다. 동적 시뮬레이션에서 슬관절의 운동은 해석 프로그램(MSC.ADAMS)에 내재된 해석기의 묵시적 방법(implicit method)을 이용하여 계산하였다. 주어진 하중 입력에 의해 슬관절은 굴신운동을 하며 착지동작을 모사하는데 이때 슬관절의 3 차원 동적 운동이 계산된다. 본 시뮬레이션에서 충격력과 외반 모멘트, 경골 내회전 모멘트 등이 주어진 입력치이며 모델에 이용된 슬관절은 제약이 없어서 6 자유도 운동이 가능한 모델로 실제 인체 슬관절과 유사한 운동을 나타낼 수 있게 개발되었다. 모사된 착지동작 동안 발생하는 최대 경골 내회전 값을 측정하여 주요 결과로 나타내었다.

3. 결 과

전방십자인대 재건 다발의 경골 부착부위가 외측으로 이동함에 따라 외발 착지동작 시에 발생하는 최대 경골 내회전은 비선형적으로 감소하였다 (Fig. 4(a)). 특히 원래의 경골부착위치(AM0)에서 최초 5mm 외측으로 이동한 AM5 로 재건수술을 모사하였을 때 가장 급격한 최대 회전각도 변화가 관측되었다.

경골의 최대 내회전은 한다발 전내측인대 재건술의 원래위치에서 최대 15mm 이동함에 따라 대략 3°정도 감소하였다(Fig. 4(a)). 후외측 다발만을 이용한 한다발 재건술을 모사한 슬관절 모델은 전내측 다발만을 이용하여 한다발 재건술을 한 경우보다 착지 동작 시에 경골의 최대 내회전을 2.3° 감소시키는 것으로 나타났다(Fig. 4(a)).

두 다발 재건술을 이용한 네 가지 경우에서는 착지동작 시에 최대 경골 내회전이 17.2°에서 18.0° 사이로 나타났으며 이 수치는 한다발 전내측인대 재건의 경우보다 평균적으로 2.2° 최대 경골 내회전을 감소시킨 수치이다. 네 가지 두 다발 재건 모델의 최대 경골 내회전을 비교하면 최대 0.8°의 차이를 나타내어 서로 간에 많은 차이를 보이지 않았다(Fig. 4(b)).

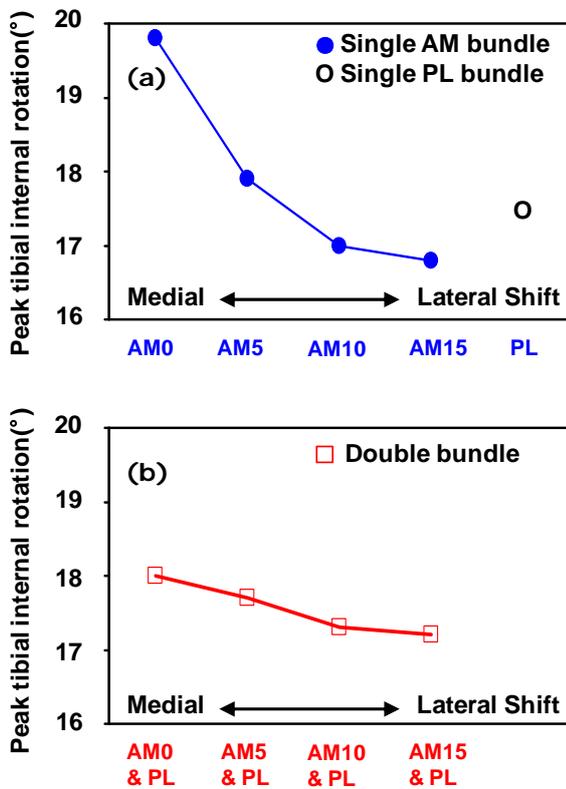


Fig. 4 (a) The peak tibial internal rotation in single anteromedial (AM) bundle reconstructed knee (blue, ●) and single posterolateral (PL) bundle reconstructed knee (black, ○). The effect of lateral shift of tibial insertion on restraining the tibial internal rotation was large initially, but it decreased nonlinearly. (b) The peak tibia internal rotation in double-bundle ACL reconstructed knee (red, □). The peak tibial internal rotation varied within 1° for all four cases of double-bundle ACL reconstructions

4. 고찰

본 연구에서는 전방십자인대 재건술에서 재건인대의 경골 부착부 위치의 변화가 착지동작 시 발생하는 경골 최대 내회전을 제어하는데 있어서 어떠한 영향을 미치는지, 슬관절을 포함한 3차원 하지 모델에 인체실험 자료를 입력한 시뮬레이션을 통해 밝혀내었다.

후외측 인대로만 재건한 한다발 재건술의 경우 현재 수행되고 있는 전내측 한다발 재건의 경우보다 외발착지 시에 발생하는 경골의 최대 내회전을 감소 시켰다. 본 연구 결과는 전방십자인대의 후외측 인대가 경골 내회전을 제한하는데 효과적이라는 이전의 사체실험의 연구결과와 일치한다.^(8,28) 전방십자인대의 후외측 다발의 경골 부착부의 중심은 전내측 다발의 중심보다 외측에 위치하고 있

다. 그러므로 본 연구를 통해서 재건인대의 해부학적 경골 부착위치의 외측이동이나 후외측 다발만을 이용한 재건술이 착지운동 시 발생하는 경골의 최대 내회전을 효과적으로 제한한다는 것을 확인할 수 있었다. 경골의 내회전은 전방십자인대에 인장력을 야기하므로⁽²⁹⁾ 최대 경골 내회전이 감소되면 재건된 전방십자인대에 인장력이 적게 작용될 것이라고 유추할 수 있다. 한다발 재건술에 있어서 인대 부착위치를 외측 방향으로 이동시키는 효과가 3°가량 최대 경골 내회전을 감소시키는 것을 확인할 수 있었다. 3° 정도의 회전은 관절내의 기계적 수용체(mechanoreceptor)에 의해 회전 불안정성을 감지할 수 있는 양의 회전이며⁽³⁰⁾ 슬관절의 회전운동 변화를 일으킬 수 있는 회전이라고 알려져 있다. 그러므로 부착부의 외측이동을 통해 3° 정도 경골 최대 내회전을 감소시키는 것은 의미 있는 개선이라고 할 수 있겠다.

본 연구에서는 외발 착지동작을 모사하기 위해서 슬관절의 굽힘각도가 25°를 전후로 움직이는 운동으로 모사되었다. 슬관절의 굽힘각도가 40° 미만에서 움직일 시에는 본 연구 결과에서처럼 후외측 다발이 경골의 내회전을 효과적으로 제한할 수 있고, 또한 경골의 전방 전이도 효과적으로 제한할 수 있다. 하지만 후외측 다발만을 이용하여 한다발 재건술을 수행한 경우에 높은 굽힘각도, 즉 60° 이상에서 슬관절이 정상적인 운동을 보이지 않으며 전내측 다발이 인장력을 받는 역할을 수행한다고 보고되었다.⁽¹²⁾ 슬관절은 최대신전(0° 굽힘)에서부터 높은 굽힘각도까지 움직임을 제공해야 하므로 두 개의 기능적 다발 즉, 후외측 다발뿐만 아니라 전내측 다발이 상호보완적 역할을 하기 위해서 필요하다고 하겠다.

본 연구에서는 한다발 재건술과 두다발 재건술의 특성을 비교하였다. 네 가지로 조합된 두다발 재건술은 착지동작 시에 현재 주로 시술되는 전내측 한다발 재건술보다 경골 최대 내회전을 효과적으로 제한하는 것으로 나타났으며 네 가지 경우에 있어서 경골 최대 내회전은 서로 0.8°미만의 차이를 나타내었다. 반면 한다발 재건술에 있어서 경골의 최대 내회전은 경골 부착부위의 외측이동에 대해 3°가량의 차이를 보여주었다. 본 시뮬레이션의 결과를 보면 두다발 재건술은 재건인대의 경골 부착위치에 따라 경골 최대 내회전 변화가 민감하지 않음을 알 수 있는데 이를 통해 두다발 재건술이 경골부착위치의 부정확한 시술에 대해서도 보다 강건한 결과를 나타낼 수 있음을 유추할 수 있

다. 이것은 한다발 재건술이 부정확한 위치나 방향으로 시술되었을 때는 잘못 재건된 전방십자인대가 민감하게 회전 복원성에 영향을 미치지만, 두다발 재건술이 부정확하게 시술되었을 때는 두다발이 상호보완적 역할을 하므로 부정확한 위치 선정에 대하여 강건한 반응을 보일 것이라고 생각할 수 있다.

전방십자인대 재건술의 목표는 슬관절의 안정성과 기능을 복원하여 본래의 정상적인 슬관절 운동이 가능하게 함에 있다.⁽¹³⁾ 부차적으로 본 연구에서 보여진 두다발 재건술이 경골의 최대 내회전을 감소시키고 정상적인 운동을 하게 함은 비정상적인 슬관절운동의 반복이 연골의 퇴행성변화를 가져오는 것을 방지하고자 함에 있다. 왜냐하면 슬관절 부상 이후의 비정상적인 슬관절 운동은 퇴행성 관절염을 조기에 가져오는 위험인자로 여겨지고 있기 때문이다.^(6,31) 그러므로 슬관절의 안정성 회복과 더불어 일상생활이나 스포츠 활동 시에 정상적인 슬관절 운동을 복원시킬 수 있는 수술방법의 선택이 필요하다. 본 연구의 결과는 두다발 재건술 혹은 후외측 다발 복원이 슬관절의 회전불안정성 복원에 기여할 수 있음을 보여주었다. 두다발 재건술에 의해 한다발 재건술보다 효과적인 경골의 내회전 제어가 가능하다면 수술 후의 슬관절 운동이 보다 정상적으로 제어될 수 있고 이를 통해 연골의 조기 퇴행성 변화를 방지하는데 기여하리라 생각된다.

5. 결 론

본 연구의 결과는 한다발 재건술에서 재건인대의 경골 부착부의 외측 이동이나 혹은 후외측 다발 재건이 외발 착지동작 시에 발생하는 최대 경골 내회전을 감소시켜 정상적인 슬관절 운동을 복원하는데 도움이 된다는 것을 밝혔다. 또한 두다발 재건술은 전내측 다발 만을 재건하는 한다발 재건술보다 최대 경골 내회전을 감소시킬 수 있으며, 그 재건위치가 다소 부정확해도 한다발 재건술보다는 슬관절 운동 변화에 덜 민감하게 영향을 준다는 것을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2010 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업이며(No. 2010-005704), 2009 년도 서강대학교 교내연구비 지원에 의한 연구입니다(No. 200910041.01).

참고문헌

- (1) Kannus, P. and Jarvinen, M., 1989, "Posttraumatic Anterior Cruciate Ligament Insufficiency as a Cause of Osteoarthritis in a Knee Joint," *Clinical Rheumatology*, Vol. 8, No. 2, pp. 251~260.
- (2) Aglietti, P., Buzzi, R., Giron, F., Simeone, A. J. and Zaccherotti, G., 1997, "Arthroscopic-Assisted Anterior Cruciate Ligament Reconstruction with the Central Third Patellar Tendon. A 5-8-Year Follow-up," *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy*, Vol. 5, No. 3, pp. 138~144.
- (3) Maletius, W. and Messner, K., 1999, "Eighteen- to Twenty-Four-Year Follow-up After Complete Rupture of the Anterior Cruciate Ligament," *The American Journal of Sports Medicine*, Vol. 27, No. 6, pp. 711~717.
- (4) Roos, E. M., 2005, "Joint Injury Causes Knee Osteoarthritis in Young Adults," *Current Opinion in Rheumatology*, Vol. 17, No. 2, pp. 195~200.
- (5) Georgoulis, A. D., Papadonikolakis, A., Papageorgiou, C. D., Mitsou, A. and Stergiou, N., 2003, "Three-Dimensional Tibiofemoral Kinematics of the Anterior Cruciate Ligament-Deficient and Reconstructed Knee During Walking," *The American Journal of Sports Medicine*, Vol. 31, No. 1, pp. 75~79.
- (6) Wilson, D. R., McWalter, E. J. and Johnston, J. D., 2008, "The Measurement of Joint Mechanics and Their Role in Osteoarthritis Genesis and Progression," *Rheumatic Diseases Clinics of North America*, Vol. 34, No. 3, pp. 605~622.
- (7) Chouliaras, V., Ristanis, S., Moraiti, C., Stergiou, N. and Georgoulis, A. D., 2007, "Effectiveness of Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament with Quadrupled Hamstrings and Bone-Patellar Tendon-Bone Autografts: an in vivo Study Comparing Tibial Internal-External Rotation," *The American Journal of Sports Medicine*, Vol. 35, No. 2, pp. 189~196.
- (8) Woo, S. L., Abramowitch, S. D., Kilger, R. and Liang, R., 2006, "Biomechanics of Knee Ligaments: Injury, Healing, and Repair," *Journal of Biomechanics*, Vol. 39, No. 1, pp. 1~20.
- (9) Yagi, M., Wong, E. K., Kanamori, A., Debski, R. E., Fu, F. H. and Woo, S. L., 2002, "Biomechanical Analysis of an Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction," *The American Journal of Sports Medicine*, Vol. 30, No. 5, pp. 660~666.
- (10) Woo, S. L., Kanamori, A., Zeminski, J., Yagi, M., Papageorgiou, C. and Fu, F. H., 2002, "The Effectiveness of Reconstruction of the Anterior Cruciate Ligament with Hamstrings and Patellar Tendon. A Cadaveric Study Comparing Anterior Tibial and Rotational Loads," *Journal of Bone and Joint*

- Surgery. American Volume*, Vol. 84-A, No. 6, pp. 907~914.
- (11) Loh, J. C., Fukuda, Y., Tsuda, E., Steadman, R. J., Fu, F. H. and Woo, S. L., 2003, "Knee Stability and Graft Function Following Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Comparison Between 11 O'clock and 10 O'clock Femoral Tunnel Placement.," *Arthroscopy*, Vol. 19, No. 3, pp. 297~304.
- (12) Yamamoto, Y., Hsu, W. H., Woo, S. L., Van Scyoc, A. H., Takakura, Y. and Debski, R. E., 2004, "Knee Stability and Graft Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Comparison of a Lateral and an Anatomical Femoral Tunnel Placement," *The American Journal of Sports Medicine*, Vol. 32, No. 8, pp. 1825~1832.
- (13) Tashman, S., Kopf, S. and Fu, F. H., 2008, "The Kinematic Basis of ACL Reconstruction," *Operative Techniques in Sports Medicine*, Vol. 16, No. 3, pp. 116~118.
- (14) Yasuda, K., Kondo, E., Ichiyama, H., Tanabe, Y. and Tohyama, H., 2006, "Clinical Evaluation of Anatomic Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Procedure Using Hamstring Tendon Grafts: Comparisons Among 3 Different Procedures," *Arthroscopy*, Vol. 22, No. 3, pp. 240~251.
- (15) Zelle, B. A., Brucker, P. U., Feng, M. T. and Fu, F. H., 2006, "Anatomical Double-Bundle Anterior Cruciate Ligament Reconstruction," *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, Vol. 36, No. 2, pp. 99~108.
- (16) Harner, C. D. and Poehling, G. G., 2004, "Double Bundle or Double Trouble?" *Arthroscopy*, Vol. 20, No. 10, pp. 1013~1014.
- (17) Kocher, M. S., Steadman, J. R., Briggs, K. K., Sterett, W. I. and Hawkins, R. J., 2004, "Relationships Between Objective Assessment of Ligament Stability and Subjective Assessment of Symptoms and Function After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction," *The American Journal of Sports Medicine*, Vol. 32, No. 3, pp. 629~634.
- (18) Shin, C. S., Chaudhari, A. M. and Andriacchi, T. P., 2007, "The Influence of Deceleration Forces on ACL Strain During Single-Leg Landing: A Simulation Study," *Journal of Biomechanics*, Vol. 40, No. 5, pp. 1145~1152.
- (19) Shelburne, K. B. and Pandey, M. G., 1997, "A Musculoskeletal Model of the Knee for Evaluating Ligament Forces During Isometric Contractions," *Journal of Biomechanics*, Vol. 30, No. 2, pp. 163~176.
- (20) Yu, C. H., Walker, P. S. and Dewar, M. E., 2001, "The Effect of Design Variables of Condylar Total Knees on the Joint Forces in Step Climbing Based on a Computer Model," *Journal of Biomechanics*, Vol. 34, No. 8, pp. 1011~1021.
- (21) Garg, A. and Walker, P. S., 1990, "Prediction of Total Knee Motion Using a Three-Dimensional Computer-Graphics Model," *Journal of Biomechanics*, Vol. 23, No. 1, pp. 45~58.
- (22) Lotstedt, P., 1982, "Mechanical Systems of Rigid Bodies Subject to Unilateral Constraints," *SIAM Journal on Applied Mathematics*, Vol. 42, No. 2, pp. 281~296.
- (23) Nam, E. K., Makhsous, M., Koh, J., Bowen, M., Nuber, G. and Zhang, L. Q., 2004, "Biomechanical and Histological Evaluation of Osteochondral Transplantation in a Rabbit Model," *The American Journal of Sports Medicine*, Vol. 32, No. 2, pp. 308~316.
- (24) Oni, O. O. and Morrison, C. J., 1998, "The Mechanical Quality of Osteophytes," *Injury*, Vol. 29, No. 1, pp. 31~33.
- (25) Withrow, T. J., Huston, L. J., Wojtyls, E. M. and Ashton-Miller, J. A., 2006, "The Relationship Between Quadriceps Muscle Force, Knee Flexion, and Anterior Cruciate Ligament Strain in an in Vitro Simulated Jump Landing," *The American Journal of Sports Medicine*, Vol. 34, No. 2, pp. 269~274.
- (26) Siebold, R., Ellert, T., Metz, S. and Metz, J., 2008, "Tibial Insertions of the Anteromedial and Posterolateral Bundles of the Anterior Cruciate Ligament: Morphometry, Arthroscopic Landmarks, and Orientation Model for Bone Tunnel Placement," *Arthroscopy*, Vol. 24, No. 2, pp. 154~161.
- (27) Chaudhari, A. M. and Andriacchi, T. P., 2006, "The Mechanical Consequences of Dynamic Frontal Plane Limb Alignment for Non-Contact ACL Injury," *Journal of Biomechanics*, Vol. 39, No. 2, pp. 330~338.
- (28) Kanamori, A., Woo, S. L., Ma, C. B., Zeminski, J., Rudy, T. W., Li, G. and Livesay, G. A., 2000, "The Forces in the Anterior Cruciate Ligament and Knee Kinematics During a Simulated Pivot Shift Test: A Human Cadaveric Study Using Robotic Technology," *Arthroscopy*, Vol. 16, No. 6, pp. 633~639.
- (29) Markolf, K. L., Burchfield, D. M., Shapiro, M. M., Shepard, M. F., Finerman, G. A. and Slaughterbeck, J. L., 1995, "Combined Knee Loading States That Generate High Anterior Cruciate Ligament Forces," *Journal of Orthopaedic Research*, Vol. 13, No. 6, pp. 930~935.
- (30) Ferrell, W. R., Gandevia, S. C. and McCloskey, D. I., 1987, "The Role of Joint Receptors in Human Kinaesthesia when Intramuscular Receptors Cannot Contribute," *The Journal of Physiology*, Vol. 386, pp. 63~71.
- (31) Brandt, K. D., Braunstein, E. M., Visco, D. M., O'Connor, B., Heck, D. and Albrecht, M., 1991, "Anterior (Cranial) Cruciate Ligament Transection in the Dog: A Bona Fide Model of Osteoarthritis, not Merely of Cartilage Injury and Repair," *The Journal of Rheumatology*, Vol. 18, No. 3, pp. 436~446.