

## 관절경적 전방 십자인대 재건술 후의 재활 치료 원칙

경북대학교 의과대학 정형외과학교실

경희수 · 김희수

### 서 론

전방십자인대 재건술의 목표는 안정된 관절과 pivot shift 현상을 제거하고, 반월상 연골을 보호하고, 관절운동범위를 유지하고, 술 후 슬개-대퇴 관절의 문제를 최소화 하도록 재활하여 수상 전의 운동수준으로 복귀시키는 것이다. 그래서 이러한 목표를 이루기 위해 재활 치료는 이식건의 치유에 과부하가 없으면서, 동시에 슬관절을 고정함으로써 오는 부작용을 최소화해야 한다.

#### 1. 역사적 배경

1917년 Groves<sup>13)</sup>는 최초로 전방 십자인대 재건 술을 시행하였고, 1963년 Jones 등<sup>16)</sup>은 슬개건 중앙 1/3을 이용하여 전방 십자인대 재건술을 시행하였다. 전방십자인대 재건술후 과거 지난 수 십년 간은 재활 시 슬관절 신전을 금지하였고, 신전 마지막에 대퇴사두근의 작용을 못하게 하였다. 그래서 술 후 슬관절 굴곡 위에서 6주간 장하지 석고 부목으로 고정하였다. 과거 전방 십자인대 수술과 관련된 잘못된 생각은 급성 손상은 즉각적인 수술이 필요하다는 것과, 술 후 초기에 슬관절 운동, 근력 강화, 일상 활동은 이식물 자체와 이식 고정물의 약화로 인하여 제한하는 것이 필요하다고 생각 하였다. 그래서 술 후 초기의 문제는 슬관절의 완전 신전을 얻을 수 없는 것과, 슬관절 굴곡 시 슬개골의 운동성 감소로 하지 조절능력의 상실, 혈관절증 및 부종 등이 있다.

1970년대 후반에는 이식건을 보호하기 위하여 완전 신전, 특히 과신전을 조기에 하는 것을 금지 하였다. 또한 이식건의 회복을 위해 술 후 6주 이상 석고 붕대 고정을 시행하였다. 술 후 이식건이 약할 때 조기 부하가 가해지면 수술이 실패 한다고 믿었다<sup>12,22)</sup>. 이식건은 술 후 초기에는 생존성이 없고, 술 후 약 3~4개월 이후에 생존성과 외력에 견딜 만 한 힘을 얻는다고 하였다. 1980년대에는 관절경적 전방십자인대 재건술을 성공적으로 시행하였으나 급성기에 수술을 하였으며, 술 전 재활등 이 시기에도 재활 치료는 확립이 되지 않았다. 그래서 1989년 이전에는 전방 슬부 동통, 슬개-대퇴 염발음, 대퇴사두근 위약, 슬관절강직 등의 많은 합병증이 보고 되었다. 최근에는 조기 재활 치료의 방향으로 변화하고

있는데 1990년에 Shelbourne 등<sup>34)</sup>은 수술적 수기의 변화가 아닌 가속화된 재활 치료로 수술후 조기에 슬관절의 완전 신전을 얻는 술 전, 술 후 재활 치료의 변화를 주장하였다. 가속화된 재활 치료의 요점은 슬관절의 완전한 신전의 조기 획득과 유지이다. 또한 Shelbourne은 가속화된 재활 치료는 이식물을 긴장시키기 보다는 실제적으로 강화시킨다고 하였다. 그래서 현재 재활치료의 목표는 손상 이전의 활동력 수준으로 회복하고 슬관절의 정상 운동범위, 힘 그리고 안정성을 회복 하는 것이다.

## 2. 이식건의 생역학적 변화

생역학적 관점에서 회복의 초기단계에서의 이식 실패는 이식건 자체가 아니라 이식고정물에서 발생한다. Lambert<sup>20)</sup>는 3주경, Huegel과 Indelicato<sup>16)</sup>는 6~8주경에 골성 혹은 섬유성 유합이 일어난다고 하였다. Kurosaka 등<sup>19)</sup>은 3~4개월에는 안정적인 견고한 유합이 일어난다고 하였다. Noyes 등<sup>23)</sup>은 14~15 mm의 골-슬개건-골이식은 정상 전방 십자인대의 175% 정도의 신연력을 가지고, 10 mm의 이식건은 125%의 신연력을 가진다고 하였다. 이식건은 생역학적 변화를 겪는데 초기에는 최대 신연강도가 감소하나, 점차적으로 강도가 증가 하게 된다<sup>9)</sup>. 초기 최대 신연강도 감소의 원인으로는 무혈성 괴사와 이식물의 혈관 재형성 과정과 재배열 인대내의 교원섬유 강도의 변화를 들 수 있다. 물리적 측면으로 정상적인 긴장 상태에서 재형성과정에서는 상당한 신연 강도의 감소를 보인다. Clancy 등<sup>9)</sup>은 10 mm의 이식건은 술 후 3개월에 정상의 57%, 6개월에 56%, 9~12개월에 87%의 신연력을 회복한다고 하였다.

## 3. 이식건의 생물학적 변화

전방 십자인대 재건후의 생물학적 변화는 처음에는 슬개하 지방조직과 활막, 골내막혈관을 통해 형성된 혈관이 분포된 활막에 의해 쌓여 있으나, 4~6주 후에는 이식물의 중심부 터 무혈성 괴사가 진행된다. 이식물의 활막화(synovialization)가 시작 되는 조직은 또한 내적 혈관재형성 반응의 시초가 된다. 미분화 간엽 세포로부터의 세포증식은 활액막에서부터 기원한 것으로 보인다. 혈관 재형성과정에서의 형태적, 생화학적, 생역학적 변화로 건이 인대화 변형을 한다. 형태학적인 변화는 세포의 형태 및 윤곽, 교차결합, 당단백(glycosaminoglycan) 조성이 정상 전방십자인대의 것과 비슷하게 변화한다. Amiel 등<sup>3)</sup>과 Clancy 등<sup>9)</sup>은 이식된 조직은 계속해서 생존성을 유지하고 있으며, 술 후 6개월에 섬유원세포의 수가 최대가 되고 인대화(ligamentization) 과정으로 진행한다고 했다. Arnoczky 등<sup>4)</sup>은 술 후 5개월에 혈관 재형성이 완성된다고 하였고, 1년이 될 때까지 정상 전방십자인대의 구조적, 혈관적, 조직학적 모양이 되지 않는다고 하였다. 생물학적 재형성 과정은 술 후 9개월에서 3년 혹은 그 이상의 기간이 걸려 완성된다.

Noyes 등<sup>24)</sup>은 대부분의 일상 활동이 전방십자인대의 최대 하중의 50% 정도까지 못 미친다고 하였다. 그래서 전방 십자인대 이식물은, 3개월에 집중적인 하중훈련과, 5개월에 평지에서의 조깅 훈련을 견뎌야 하고, 9개월에 최대 신연 강도를 얻어야 한다<sup>27)</sup>.

## 재활치료 시 고려해야 할 사항

재활치료 시 고려해야 할 사항으로 술 전 준비, 이식물의 고정, 조기 운동, 이식건의 긴장 감소, Closed kinetic chain과 Open kinetic chain 운동(CKC/OKC), 재활 진행 정도, 신경근육 재훈련, 관절 부종, 운동 제한, 관절 강직, 교차 효과, 수동적기계운동, 전기 근육자극 등이다<sup>7)</sup>(Table 1).

Table 1. Rehabilitation Considerations

1. Preoperative rehabilitation
2. Graft fixation
3. Early motion in an "accelerated" protocol
4. Reducing stress the ACL graft
5. Closed kinetic chain versus open kinetic chain exercise
6. Timing of rehabilitation progression
7. Neuromuscular retraining
8. Joint effusion
9. Loss of motion
10. Arthrofibrosis
11. Cross-over effect
12. Continuous passive movement (CPM)
13. Electrical muscle stimulation

### 1. 수술전 재활 준비

수술 전부터 재활 치료를 시작해야 되는데, 급성 전방 십자인대 손상 환자는 수술 전에 먼저 관절의 부종을 가라앉히고 관절 운동 범위를 정상으로 회복 하여야 한다. 또한 대퇴사두근과 슬괵근의 근력 강화 훈련을 해야 하고, 정상 보행을 회복 해야 한다. 관절의 부종은 대퇴사두근의 신경 근계통의 억제효과가 있어, 사지의 거상, 냉각 요법, 압박, 천자 흡입술 등으로 완화를 시켜야 한다.

### 2. 이식물의 고정

이식물의 고정은 최초 간섭나사를 이용하여 강하게 고정하고, 슬개건의 강한 부위인 중앙 1/3을 채취하여 조기 관절 운동 및 체중 부하를 가능하게 한다. 골터널 속에서의 유합은 3주 혹은 3~4개월에 이루어진다.

### 3. 조기 운동

Eriksson과 Huggmark<sup>10)</sup>는 5주간의 고정으로 약 40% 정도의 대퇴사두근의 위축이 발생하고, 관절 굴곡위에서 고정하였을 때 더 많은 위축이 발생한다고 하였다. 1992년 Fu 등<sup>11)</sup>은 가속화된 재활 치료에서의 관절 운동 범위의 목표를 술 후 2~3주 경에 슬관절 완전 신전(건측과 동일하게)과 8주 이내에 완전 굴곡이라고 하였다.

### 4. 이식건의 긴장 감소

재활 치료는 반드시 염증을 최소화 하고, 이식건에 과도한 하중이 작용하지 않도록 해야 한다. 일상생활에서 전방십자인대는 적은 하중, 즉 최대 인장강도의 약 20% 정도만을 받는다<sup>5,6,15)</sup>. 그리고 일상생활에서 전방십자인대의 최대 하중이 걸리는 위치로는 슬관절을 40도 굴곡 위에서 신전시 대퇴사두근을 이용한 최대 신전위치, 과신전위치, 경골의 과도 외내회전 위치, 경골에 과도한 내외전 위치 등이며 이러한 위치는 전방십자인대 재건술 후 재활시 피해야 할 위치로 생각된다<sup>6,21)</sup>.

### 5. Closed kinetic chain과 Open kinetic chain 운동

Closed kinetic chain(CKC) 운동은 고관절, 족관절의 운동과 동시에 슬관절의 운동이 일어나는 형태의 운동을 말한다(Fig. 1). 예를 들면 쭈그리고 앉기 운동(minisquat), 자전거 밟기(cycling), leg press 등이 있다. 비교적 초기 대퇴사두근 강화훈련 재활 프로그램이다. 관절 압박력이 증가함에 따라서 동기 수축과, 안정성을 증가 시키고, 경골에 대하여 전방으로의 전위를 최소화 하고, 전방십자인대의 긴장을 감소 시키고, 슬개-대퇴관절의 압력을 현저히 줄이는 효과가 있고, 고유 감각 기능의 재교육 효과와, 신경-근 계통의 협조와 고유 감각을 유도 한다.

Open kinetic chain (OKC) 운동은 슬관절의 운동이 고관절과 족관절의 운동과 무관하게 이루어지는 형태의 운동이다. 예를 들면, 하퇴부 신전운동과(leg extension), 하퇴부 굴곡운동(leg curls), Kin-Com 대퇴사두근 강화운동 등이다. 전방십자인대 재활 치료의 초기단계에서는 금해야 한다. 이것은 슬관절 굴곡30도 위치에서 완전 신전위까지 구간에서 전방 십자인대 이식물에 과도한 하중이 걸린다. 그러나 30~45도 신전을 금하는 제한된 OKC 운동으로 대퇴사두근 단독 운동을 할 수 있다.

### 6. 대퇴사두근 강화운동

Quadriceps setting운동은 대퇴 사두근의 신경-근 계통의 조절 기능을 향상 시키고, 근육 위축을 막아주며, 관절 부종을 감소 시키고, 슬개골의 운동성을 향상 시키고, 슬개하

위축을 예방한다(Fig. 2). Straight leg raising 운동은 초기 전방 십자인대 재활 프로그램으로 고관절 근육의 등장성(isotonic) 운동과 동시에 대퇴 대퇴사두근의 등척성(isometric) 운동이다(Fig. 3). 사두근과 고관절 근육의 위축 및 위약을 감소 시킨다. 비 체중부하 상태에서 능동적 대퇴사두근 단독 운동(OKC)은 좋지않은 전단력이 작용한다. 전방 십자인대에 가해지는 전단력은 슬관절 30도 굴곡위에서 완전 신전위까지의 구간에서 최대로 작용한다.

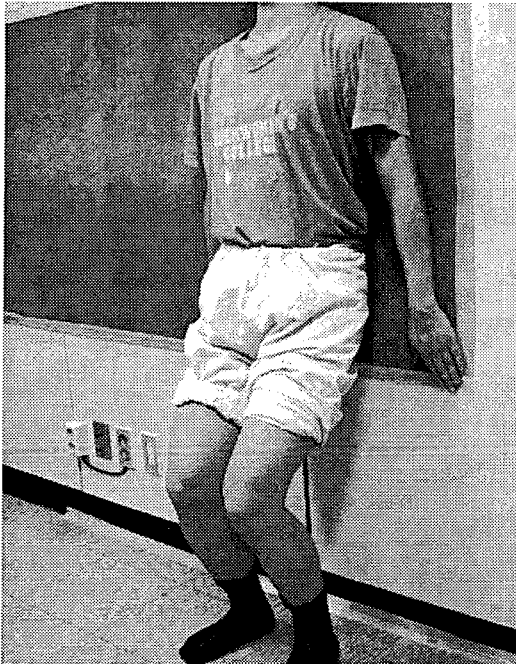


Fig. 1. Closed kinetic chain exercise. Minisquats performed against wall initially (wall sits). Patient does not flex beyond 30 degrees. These are later performed without a wall.

### 7. 재활 진행 정도

Henning 등<sup>14)</sup>은 재활 치료의 바람직한 진행 순서는, 최초에는 목발 보행을 시행하고 다음으로 정지된 상태에서의 자전거 타기, 보행, 평지에서의 가벼운 달리기, 마지막으로 평지에서의 빠른 달리기 순이라고 하였다. 술 후 첫 14일간의 5가지 목표는 첫째 완전한 슬관절 신전, 둘째 상처 치유, 셋째 대퇴사두근에의한 하지 조절력, 넷째 부종의 최소화, 다섯째 90도 정도의 슬관절 굴곡이고, 이 때 체중 부하는 환자가 할 수 있을 정도 까지는 허용한다. 슬관절 굴곡운동의 목표는 최초 2주까지는 0도에서 90도이고, 6주 경에 120도, 3개월에 완전한 전체 운동범위를 회복하는 것이다. 운동 프로그램으로 술 후 2주에 정

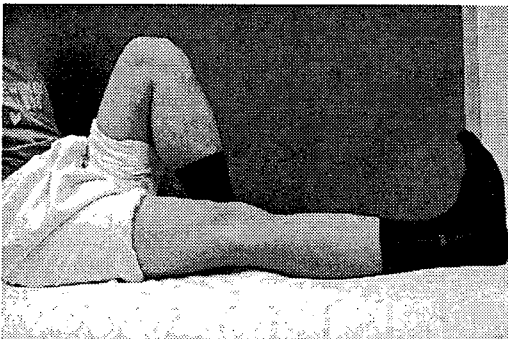


Fig. 2. Quadriceps sets.

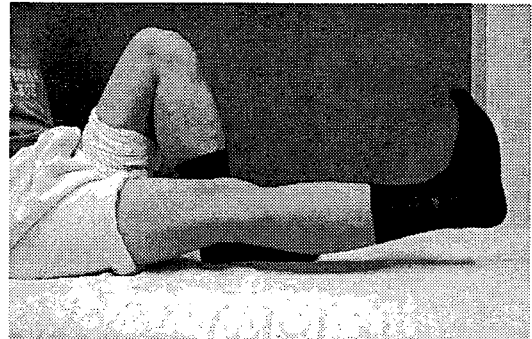


Fig. 3. Straight raise.

지된 상태의 자전거 타기, 4~6주에 계단 밟기 운동, 3개월에 달리기, 4~6개월에 점차적인 운동 복귀가 가능하고, 1년째 운동 복귀할 때는 전방십자인대 보조기를 착용 한다.

### 8. 신경근육 재훈련

전방십자인대의 기능에는 기계적인 기능(mechanical function)과 고유 감각기능(proprioceptive function)이 있다. 그 중 부상의 재발방지를 위하여 고유감각 기능이 더욱 중요한데 여기에 관련되는 것이 기계적 수용체(mechanoreceptor)이다. 이것은 인대의 표면에 위치하며 대퇴 부착부에 주로 많다고 하며 인대에 평행하게 배열하는 것으로 알려져 있다. 이것은 관절위치 감각(joint position sense) 및 관절운동의 감각(sensation of joint motion)을 탐지한다. 이것은 인대, 건, 관절막 및 근육의 감각을 활성화 시켜서 신경근육을 재교육 시킨다. 이러한 재교육은 조기의 조절된 체중부하, CKC 운동 및 수동적 cycling 등을 조기에 실시함으로 효과를 볼 수 있다. 그러나 복잡한 훈련, 민첩성 훈련 등은 재활 프로그램의 후반에 하는 것이 좋다.

### 9. 관절 부종

관절 삼출액은 전방십자인대 재건 후에 약 12% 정도에서 관찰 되며, 대퇴사두근에 대하여 억제 효과 및 근 위축의 원인이 된다. 부종 조절 방법으로는 얼음, 압박, 사지 거상, 능동적 대퇴사두근 운동, 발목 운동(ankle pump), 냉각대(cryo cuff) 등이 있다.

### 10. 운동 제한

관절운동 제한은 Fu 등<sup>11)</sup>에 의하면 굴곡구축 10도 이상, 후속굴곡 125도 미만인 경우로 정의하였으며, Irrgang 과 Harner<sup>17)</sup>는 11%, Sachs 등<sup>31)</sup>은 5도 이상 굴곡구축인 경우 24%에 달한다고 하였다. 그리고 신전장애가 굴곡장애보다 더 심각한 결과를 초래한다.

### 11. 관절 강직

관절 섬유증의 발생 위험이 있어 급성기에 전방십자인대 손상에서는 재건술을 시행하지 않고, 3주 이상 수술을 지연하여 동통이 사라지고 운동범위를 회복한 후에 시행한다.

### 12. 교차 효과

한쪽 다리의 운동으로 반대쪽 다리 강화운동이 되는 것을 교차효과(cross-over effect)라고 한다. 양측 다리 대퇴사두근 강화훈련으로 약 30%가량의 효과를 더 얻을 수 있다.

### 13. 수동적기계운동

Continuous passive motion(CPM)기계는 1970년 Salter 등<sup>33)</sup>이 처음 도입한 것으로, 슬관절 운동 및 운동 범위향상을 위한 부드러운 운동 방법이다(Fig. 4). 이것은 관절 연골에 영양을 공급하고, 관절내 유착과 관절 강직을 막으며, 초기에 조절된 하중을 이식건에 부여하는 역할을 한다. 장단점으로 Noyes 등<sup>25)</sup>은 슬관절의 부종 증가 없고, 불안정성과 불안정성으로 인한 관절 삼출액의 증가 없이 관절 운동범위를 증가시킬 수 있다고 하였고, O' Driscoll 등<sup>26)</sup>은 관절내의 혈액 및 삼출액의 제거를 촉진 시킨다고 하였고, Salter 등<sup>32,33)</sup>은 관절 고정으로 인한 해로운 영향에 반하여 관절내 유착을 방해하고, 관절 연골에 영양 공급을 개선 하는 효과가 있다고 하여 그 사용을 찬성 하였다. 그러나 Rosen 등<sup>29)</sup>은 기계의 조절이 부적절하고, 부정확하게 환자에게 설치될 수 있고, 과간 절흔에서 반복되는 피로에 의해서 이식건에 손상을 줄 수 있다는 가능성과, CPM은 항상 슬관절 신전 말단부에서 완전 신전을 할 수 없기 때문에, 슬관절의 굴곡 구축 혹은 신전 장애가 발생할 수 있다는 것, 아무 이득도 손해도 없이 경제적인 부담만 된다는 이유를 들어서 CPM기기의 사용을 반대 하였다.

### 14. 보조기

재활 치료시 사용되는 보조기로는 관절의 굴곡 및 신전을 제한 함으로써 운동과 보호의 역할을 하는 것이다. 전후방으로의 안정성은 없어 조절해둔 각도 이상으로 약 15~20도 더 신전 된다. 수술적 혹은 보존적 치료를 받고있는 손상된 슬관절에 대하여 보호된 조절된 운동을 허용한다. 그러나 그 유용성에 대해서는 논란이 많고, 저 부하에서는 효과적 이지만 고 부하에서는 효과가 거의 없다고 한다.

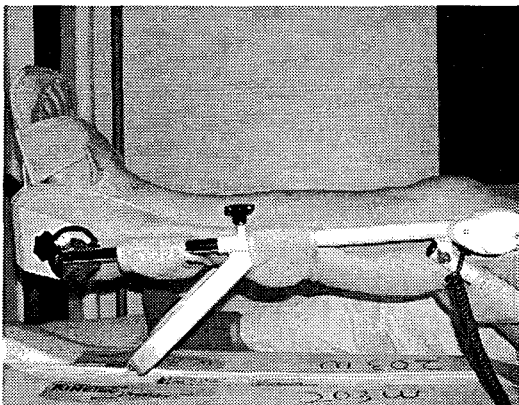


Fig. 4. Continuous passive motion machine.

### 15. 요약

요약하면 최근 재활프로그램의 핵심은 1) 조기 관절운동 및 체중부하, 2) 조기 부종 감소, 3) 이식물에 과도한 부하 금지 (조기에 과도한 OKC운동의 금지), 4) 조기 슬괘근 운동으로 역동적 관절 안정과 이식물의 부하 감소, 5) 고유 감각 기능 훈련 및 신경-근육 계통 재교육, 6) 근육 강화 훈련, 7) 조기의 CKC운동의 시행, 8) 운동 특이적 민첩성 훈련, 9) 유산소 심혈관 훈련, 10) 기준에 의한 보조기 치료,

11) 기준에 의한 단계적 진행, 12) 기준에 의한 운동 복귀이다<sup>7)</sup>(Table 2). Rubenstein 등<sup>30)</sup>과 Shelbourne 등<sup>35)</sup>은 환자의 나이와 활동도, 요구정도를 고려해서 환자를 선택하고, 수술 전에 재활 치료를 통하여 관절 운동범위와 대퇴사두근의 근력을 얻은 다음, 환자가 육체적으로나 정신적으로 준비가 될 때까지 수술을 연기 할 것과, 술 후 정기적인 방문으로 재활 치료를 지도 해주고, 장기 추시 할 것을 주장 하였다.

**Table 2.** Principles of most current protocols

1. Initiation of early ROM and wt bearing
2. Early edema control
3. Avoidance of excessive stress to the graft (avoiding excessive early open-chain exercise)
4. Early hamstring strengthening to provide dynamic joint stability and to decrease strain on the graft
5. Proprioceptive retraining and neuromuscular reeducation
6. Muscle strengthening & conditioning
7. Incorporation of closed kinetic chain exercise
8. Sports-specific agility training
9. Aerobic cardiovascular training
10. A bracing algorithm
11. Criteria-based progression from on level to the next
12. Criteria-based return to athletic activity

#### 4단계 가속 재활 프로그램 (Accelerated rehabilitation program)

Shelbourne과 Nitz<sup>34)</sup>의 조기 슬관절 신전, 체중부하, CKC 등의 4단계 재활 프로그램을 소개하면 다음과 같다(Table 3). 1단계: 인대 손상 후부터 전방 십자인대 재건술까지는 관절 운동 범위의 회복과 부종의 감소, 수술 후 재활치료에 대한 이해, 수술에 대한 마음의 준비, 수술일정에 맞춰서 학교, 직장, 가족의 일정을 조정. 2단계: 수술 후 첫 2주간은 관절을 완전 신전하며, 상처 치유, 능동적 대퇴사두근의 운동으로 하지 조절, 부종의 감소, 100도 이상의 슬관절 굴곡(Fig. 5). 3단계: 술 후 3주에서 5주까지 정상 보행 회복, 완전 굴곡 회복, 슬관절 굴곡, 계단 오르기, 하퇴부 거상, leg press, 자전거 타기 등의 운동 강화, 운동 특이적 활동 강화(Fig. 6). 4단계: 술 후 5주 말부터 완전한 재활 치료 시까지이며 이 기간 동안은 근육강화가 충분한 상태라면 좌우로 뛰는 운동, 줄넘기, 가벼운 조깅을 할 수 있고, 운동 특이적 활동과 재활 정도에 따라서 경쟁적인 운동도 가능하다.



Table 3. Accelerated rehabilitation program<sup>24)</sup>

1. Phase I: Time of injury-ACL recon.
  - 1) Regaining full ROM
  - 2) Resolve swelling
  - 3) Review postoperative rehabilitation program
  - 4) Mental preparation for surgery
  - 5) Organize school, work and family schedules for elective ACL reconstruction
2. Phase II: 1st 2weeks after surgery
  - 1) Obtain full hyperextension
  - 2) Allow wound healing
  - 3) Maintain active quadriceps leg control
  - 4) Decrease swelling
  - 5) Achieve more than 100o of knee flexion
3. Phase III: POD 3wks to 5wks
  - 1) Resume a normal gait pattern
  - 2) Obtain full flexion
  - 3) Increase knee bends, step-ups, calf raises, leg press, stair master, bicycle
  - 4) Begin sport-specific activities
4. Phase IV: end of 5th wks~ knee is fully rehab.
  - 1) If strength is adequate, start lat shuffles, carioca, jumping rope, light running program
  - 2) Continue sport-specific activities and return to competition as rehabilitation progress allows

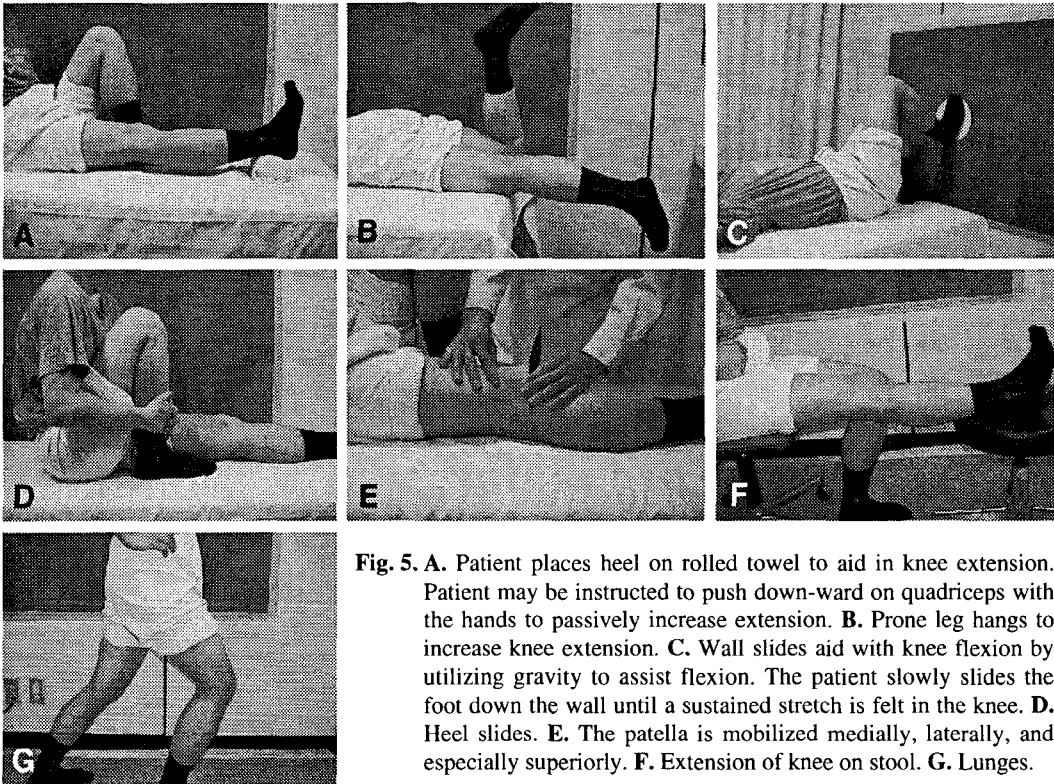
Table 4. Criteria for return to sports<sup>28)</sup>

1. Full ROM
2. No joint effusion
3. Isokinetic test quadriceps strength: 80~90%
4. Isokinetic test hamstring strength: 85~90%
5. One-leg hop test: 85% compared uninjured leg
6. Minimum 9 months after surgery

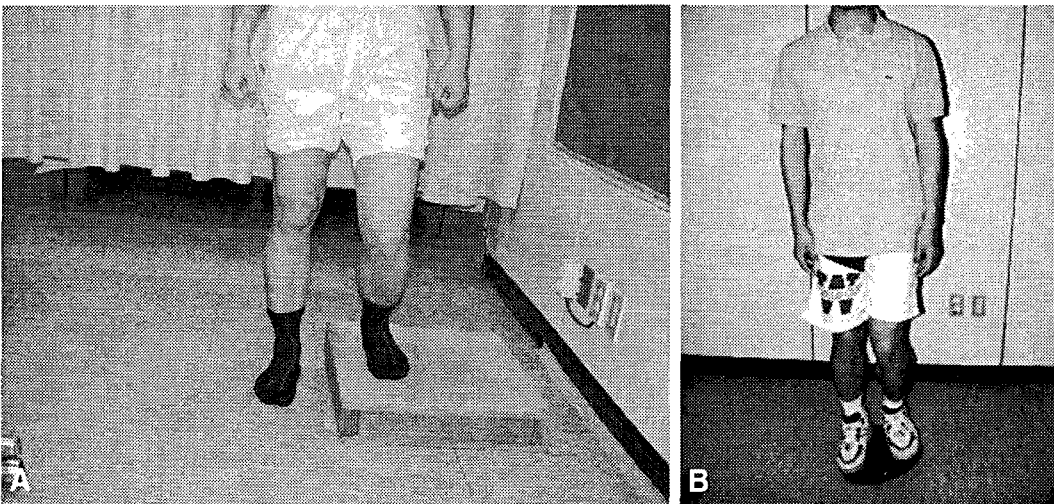
운동 복귀의 기준은 1) 관절 운동의 완전 회복, 2) 관절 부종 해소, 3) 대퇴사두근의 등속성 근력 검사상 정상의 80~90%, 4) 슬괵근의 등속성 근력 검사상 정상의 85~90%, 5) 한발로 뛰는 검사상 반대쪽 건강한 다리의 85%, 6) 최소 술 후 9개월 경과, 7) KT-1000 검사상 수술 직후와 변화 없을 때 등이다<sup>28)</sup> (Table 4).

## 결 론

결론적으로 전방십자인대 재건술은 수술 전에 재활 치료를 통하여 관절 운동범위와 대퇴



**Fig. 5.** **A.** Patient places heel on rolled towel to aid in knee extension. Patient may be instructed to push down-ward on quadriceps with the hands to passively increase extension. **B.** Prone leg hangs to increase knee extension. **C.** Wall slides aid with knee flexion by utilizing gravity to assist flexion. The patient slowly slides the foot down the wall until a sustained stretch is felt in the knee. **D.** Heel slides. **E.** The patella is mobilized medially, laterally, and especially superiorly. **F.** Extension of knee on stool. **G.** Lunges.



**Fig. 6.** **A.** Lateral step-ups. Patient stands on a stable stair step. The operated leg is bent slowly, lowering the opposite foot to the floor. Return to the standing position. **B.** Proprioception with BAPS board.

사두근의 근력을 얻은 다음, 환자가 육체적으로나 정신적으로 준비가 될 때까지 수술을 연기 하고, 수술 후 재활 치료에서 슬관절의 완전신전과 closed kinetic chain 운동을 강조하며 수술 후 정기적인 방문으로 재활 치료를 지도 해주고 장기 추시 해야 하는 것이 중요하다.

## References

- 1) Amiel D, Kleiner JB, Roux RD, Harwood FL and Akeson WH: The phenomenon of "ligamentization": anterior cruciate ligament reconstruction with autogenous patellar tendon. J Orthop Res, 4(2):162-172, 1986.
- 2) Amiel D, Harwood FL, Woo SL-Y and Akeson WH: Immobilization effect on collagen turnover in the medial collateral ligament: a comparison between a nine-and twelve-week immobilization period. Clin Orthop, 172-265, 1983.
- 3) Amiel D, Woo SL-Y, Harwood FL and Akeson WH: The effect of immobilization on collagen turnover in connective tissue: a biochemical-biomechanical correlation. Acta Orthop Scand. 53(3):325-32, 1982.
- 4) Arnoczky SP, Tarvin GB and Marshall JL: Anterior cruciate ligament replacement using patellar tendon. An evaluation of graft revascularization in the dog. J Bone Joint Surg, 64(Am):217-224. 1982.
- 5) Beynnon BD, Fleming BC, Johnson RJ, Nichols CE, Renstrom PA and Pope MH: Anterior cruciate ligament strain behavior during rehabilitation exercises in vivo. Am J Sports Med, 23:24-34, 1995.
- 6) Beynnon BD, Fleming BC, Pope MH and Johnson RJ: The measurement of anterior cruciate ligament strain in vivo. In Jackson DW, Arnoczky SP, Woo SL-Y, Frank CB and Simon TM ed. The Anterior Cruciate Ligament. Current and Future Concepts. New York, Raven Press: 101-111, 1993.
- 7) Brotzman SB and Head P: Anterior cruciate ligament. In: Brotzman SB ed. Clinical Orthopaedic Rehabilitation. St Louis, Mosby: 184-243, 1996.
- 8) Clancy WG Jr, Narechania RG, Rosenberg TD, Gmeiner JG, Wisnefske DD and Lange TA: Anterior and posterior cruciate ligament reconstruction in rhesus monkeys. J Bone Joint Surg, 63(Am):1270-1284, 1981.
- 9) Clancy WG Jr, Nelson DA, Reider B and Narechania RG: Anterior cruciate ligament reconstruction using one-third of the patellar ligament, augmented by extra-articular tendon

- transfers. *J Bone Joint Surg*, 64(Am):352-359, 1982.
- 10) Eriksson E and Haggmark T: Comparison of isometric muscle training and electrical stimulation supplementing isometric muscle training in the recovery after major knee ligament surgery. A preliminary report. *Am J Sports Med*, 7:169-171, 1979.
  - 11) Fu FH, Woo SL-Y and Irrgang JJ: Current concepts for rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*, 15:270-278, 1992.
  - 12) Grood ES, Suntay WJ, Noyes FR and Butler DL: Biomechanics of the knee-extension exercise. Effect of cutting the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg*, 66(Am):725-734, 1984.
  - 13) Groves EWH: Operation for the repair of the cruciate ligaments. *Lancet*, 2:267, 1917.
  - 14) Henning CE, Lynch MA and Glick KR Jr: An in vivo strain gage study of elongation of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*, 13:22-26, 1985.
  - 15) Holden JP, Grood ES, Korvick DL, Cummings JF, Butler DL and Bylski-Austrow DI: In vivo forces in the anterior cruciate ligament: direct measurements during walking and trotting in a quadruped. *J Biomech*, 27(5):517-526, 1994.
  - 16) Huegel M and Indelicato PA: Trends in rehabilitation following anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Sports Med*, 7:801-811, 1988.
  - 17) Irrgang JJ and Harner CD: Loss of motion following knee ligament reconstruction. *Sports Med*, 19(2):150-159, 1995.
  - 18) Jones KG: Reconstruction of the anterior cruciate ligament. A technique using the central one-third of the patellar ligament. *J Bone Joint Surg*, 45A:925-932, 1963.
  - 19) Kurosaka M, Yoshiya S and Andrish JT: A biomechanical comparison of different surgical techniques of graft fixation in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 15:225-229, 1987.
  - 20) Lambert KL: Vascularized patellar tendon graft with rigid internal fixation for anterior cruciate ligament insufficiency. *Clin Orthop*, 172:85-89, 1983.
  - 21) Lewis JL, Lew WD and Markolf K: The measurement of anterior cruciate ligament loads: direct methods. In Jackson DW, Arnoczky SP, Woo SL-Y, Frank CB and Simon TM ed. *The Anterior Cruciate Ligament. Current and Future Concepts*. New York, Raven Press: 95-100, 1993.
  - 22) Lindahl O and Movin A: The mechanics of extension of the knee-joint. *Acta Orthop Scand*, 38:226-234, 1967.
  - 23) Noyes FR, Butler DL, Grood ES, Zernicke RF and Hefzy MS: Biomechanical analysis of

- human ligament grafts used in knee-ligament repairs and reconstructions. *J Bone Joint Surg*, 66(Am):344-352, 1984.
- 24) Noyes FR, Grood ES, Butler DL and Malek M: Clinical laxity tests and functional stability of the knee: biomechanical concepts. *Clin Orthop*, 146:84-89, 1980.
- 25) Noyes FR, Mangine RE and Barber S: Early knee motion after open and arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 15:149-160, 1987.
- 26) O' Driscoll SW, Kumar A and Salter RB: The effect of continuous passive motion on the clearance of a hemarthrosis from a synovial joint. An experimental investigation in the rabbit. *Clin Orthop*, 176:305-311, 1983.
- 27) O' Meara PM, O' Brien WR and Henning CE: Anterior cruciate ligament reconstruction stability with continuous passive motion. The role of isometric graft placement. *Clin Orthop*, 277:201-209, 1992.
- 28) Paulos LE and Stern J: Rehabilitation after anterior cruciate ligament surgery. In Jackson DW, Arnoczky SP, Woo SL-Y, Frank CB and Simon TM ed. *The Anterior Cruciate Ligament. Current and Future Concepts*. New York, Raven Press: 381-395, 1993.
- 29) Rosen MA, Jackson DW and Atwell EA: The efficacy of continuous passive motion in the rehabilitation of anterior cruciate ligament reconstructions. *Am J Sports Med*, 20:122-127, 1992.
- 30) Rubinstein RA Jr, Shelbourne KD, VanMeter CD, McCarroll JR, Rettig AC and Gloyeske RL: Effect on knee stability if full hyperextension is restored immediately after autogenous bone-patellar tendon-bone anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 23:365-368, 1995.
- 31) Sachs RA, Daniel DM, Stone ML and Garfein RF: Patellofemoral problems after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 17(6):760-765, 1989.
- 32) Salter RB, Hamilton HW, Wedge JH et al.: Clinical application of basic research on continuous passive motion for disorders and injuries of synovial joints: a preliminary report of a feasibility study. *J Orthop Res*, 1(3):325-342, 1984.
- 33) Salter RB, Simmonds DF, Malcolm BW, Rumble EJ, MacMichael D and Clements ND: The biological effect of continuous passive motion on the healing of full-thickness defects in articular cartilage. An experimental investigation in the rabbit. *J Bone Joint Surg*, 62(Am):1232-1251, 1980.
- 34) Shelbourne KD and Nitz P: Accelerated rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 18:292-299, 1990.

- 35) Shelbourne KD, Wilckens JH, Mollabashy A and DeCarlo M: Arthrofibrosis in acute anterior cruciate ligament reconstruction. The effect of timing of reconstruction and rehabilitation. *Am J Sports Med*, 19:332-336, 1991.