

십자인대 재건술 후 닫힌사슬운동과 열린사슬운동의 효과

부산가톨릭대학교 보건과학대학원 물리치료학과

권 순 복*

부산가톨릭대학교 물리치료학과

이 현 옥

Effect of Closed and Open Kinetic Chain Exercise after Cruciate Ligament Reconstruction

Kwon, Soon-bog, P.T., M.S.

Dept. of Physical Therapy, Graduate School of Health Science, Catholic University of Pusan

Lee, Hyun-ok, P.T., Ph.D.

Dept. of Physical Therapy, Catholic University of Pusan

<Abstract>

Open kinetic chain exercise has lost favour in rehabilitation after cruciate ligament reconstruction due to concerns that this exercise is harmful to the graft and will be less effective in improving function. Therefore rehabilitation has focused over the past decade on closed kinetic chain exercise. Open kinetic chain and closed kinetic chain exercises were compared for their effects on proprioception, muscle strength and knee instability in the early period of cruciate ligament reconstruction rehabilitation. The study subjects were 14 patients in 2-8weeks from cruciate reconstruction surgery(11 male, 3 female; mean age = 44.36 years). Closed kinetic chain exercise group used ball, balance pad and air cushion, to perform weightbearing exercises and the open kinetic chain exercise group used elastic rope and N-K table, to perform non-weightbearing exercises. Between tests, subjects trained 5 times per week for 2 weeks. Statistical analysis was by Wilcoxon signed rank test and Mann Whitney U test.

* 교신저자 : 부산광역시 진구 양정동 352-6번지 홍제병원 물리치료실, e-mail: happypt0070@hanmail.net

In result, this study shows that both open and closed kinetic chain exercise programs lead to an improved muscle strength and Lysholm score. But there was no improvement in proprioception at both exercises. Closed versus open kinetic chain exercise in early period of rehabilitation after cruciate ligament reconstruction surgery do not differ in their effects on knee proprioception, muscle strength and instability. But the effect of closed kinetic chain exercises was showed more improvement than open kinetic chain exercises between pre-post exercises. Therefore further study is required to assess effect of both groups in more long period.

Key Words: Cruciate reconstruction; Open kinetic chain; Closed kinetic chain; Proprioception

I. 서 론

1. 연구의 필요성

관절의 동적 안정성은 수동적(인대) 그리고 능동적(근육) 요소에 의한 조절과 감각-운동의 협력 작용으로 이루어지게 된다. 인대는 관절의 움직임을 제한하는 수동적 구조로서 관절 안정성에 중요한 역할을 할뿐만 아니라 관절의 위치 감각과 근육의 반사적 안정성을 조절하는 감각적 피드백을 제공함으로써 일차적인 기능적 안정성을 제공한다(Gomez 등, 1996). 특히 전방십자인대와 후방십자인대는 두껍고 강하며, 경골과 대퇴골 사이의 전·후 전단력에 저항하고 슬관절의 순간적인 회전 중심을 조절함으로써 관절의 안정성과 움직임에 중요한 역할을 한다(Hall과 Brody, 1998). 하지만 스포츠 활동의 증가로 이러한 슬관절 십자인대 손상이 계속적으로 증가하는 추세이다. 이러한 슬관절 인대 손상은 정상적인 관절의 움직임을 변화시켜 관절 연골과 다른 연부조직에 부하를 증가시킬 수 있고 현저한 불안정성을 초래할 수 있다.

Katayama 등(2004)과 Carter 등(1997)은 전방십자인대 손상 시 고유수용성 감각, 기능 수행 능력 그리고 대퇴사두근의 근력이 손상측 슬관절에서 유의하게 감소하였으며 감소된 고유수용성 감각은 그들의 기능적 능력 또한 감소시켰다고 보고하였으며, Wexler 등(1998)은 보행 시 경골이 대퇴골에 대해 과도하게 전방으로 이동하는 것을 보상하기 위해 슬관절의 활동이 증가하고 대퇴사두근의 활성은 억제되어진다고 보고하였다. 그리고 Clark 등(1996)은 후방십자인대 손상 또한 관절의 고유수용성 감각을 감소시키고 슬관절의 불안정성을 초래한

다고 보고하였다.

이러한 문제점을 해결하기 위한 운동치료는 손상된 인대에 좌상을 최소화하고 치료를 촉진할 수 있는 운동이 선택되어야 한다. 이를 위한 운동 중 닫힌사슬운동과 열린사슬운동에 대한 연구들이 계속적으로 진행되어지고 있다.

닫힌사슬운동은 관절의 움직임이 상호의존적이기 때문에 관절 축의 원위와 근위에서 일어나는 움직임을 예상할 수 있고 근 수축의 동원은 동적인 근육의 안정성을 위한 동시수축으로 원심성 수축이 우세하며 더 많은 관절 압박력은 전단력을 감소시켜 관절의 안정성을 제공한다. 그리고 기계적 수용기는 관절낭의 압력 변화에 민감하게 반응하므로 닫힌사슬운동 시 활동의 전 범위에서 발화 빈도가 증가되기 때문에 열린사슬운동보다 고유수용성 감각을 더 촉진한다. 반면 열린사슬운동은 관절의 움직임이 독립적이어서 움직임이 관절 축의 원위부에서 일어나며 근 수축은 구심성 수축이 우세하고 더 많은 견인력과 회전력을 발생시키고 안정성은 외부 수단에 의해 제공되어진다. 그리고 기계적 수용기의 활성이 움직이는 관절과 주위조직에서는 제한되어진다(Hall과 Brody, 1998).

이처럼 닫힌사슬운동과 열린사슬운동은 장단점을 가지고 있으나 근래에는 열린사슬운동보다 닫힌사슬운동이 권장되어지고 있다. 그 이유는 닫힌사슬운동이 좀 더 기능적 수행을 위한 과제를 포함하고(Palmitier 등, 1991; Prentice, 1994) 전방십자인대에 대한 좌상을 줄일 수 있으며(Arms 등, 1984; Beynnon과 Fleming, 1998) 슬개대퇴관절에 적은 손상을 주기 때문이다(Steinkamp 등, 1993). 그리고 닫힌사슬운동은 근육의 협응, 관절의 적합성을 증가시켜 관절의 동적 안정성과 자세 유지를 제공하며, 기능적 위치에서 점진적인 기계적

압력을 통해 연부 조직의 치유를 촉진하고(Synder-Mackler, 1996) 더 많은 고유수용성 감각을 제공할 수 있기 때문이다.

Perry 등(2005)과 Morrissey 등(2002)은 전방십자인대 재건술 후 단한사슬운동과 열린사슬운동이 슬관절의 느슨함(laxity), 슬관절 기능적 능력 그리고 통증에 미치는 영향에 대해 연구하였고 Hooper 등(2001)은 전방십자인대 재건술 후 초기에 단한사슬운동과 열린사슬운동이 보행에 미치는 영향에 대해 연구하였다. 그리고 Erik 등(2000)은 대퇴슬개부에 통증을 가지고 있는 16명의 대상자에게 5주간 단한사슬운동과 열린사슬운동을 무작위로 실시한 결과 단한사슬운동군에서 더 좋은 결과를 얻을 수 있었다고 보고하였다.

이렇듯 단한사슬운동과 열린사슬운동의 효과를 비교하기 위해 다양한 연구들이 진행되었지만 이러한 연구에서는 단한사슬운동에 대한 운동 프로그램이 정적인 지면에서 쪼그려 앉거나 레그 프레스를 밀어 올리는 것으로 한정되어졌으며(Beynon과 Fleming, 1998; Hopper 등, 2001; Morrissey 등, 2002), 단한사슬운동이 열린사슬운동에 비해 고유수용성 감각에 대한 자극을 촉진함에도 불구하고 그에 대한 연구들이 부족한 실정이다.

2. 연구 목적

슬관절 십자인대 손상은 관절의 움직임 조절하기 위한 고유수용성 감각의 결여와 정상적인 근 활동 패턴에 변화를 초래하여 현저한 불안정성을 일으킬 수 있고 이러한 불안정성은 재손상이나 관절연골과 다른 연부조직에 부하를 증가시켜 퇴행성 변화를 유발할 수 있다. 그러므로 슬관절 십자인대 손상 후 관절의 불안정성을 회복하기 위한 적절한 치료적 중재가 필요하다.

본 연구에서는 십자인대 재건술 후 단한사슬운동과 열린사슬운동 간의 효과를 알아보기 위해 관절의 고유수용성 감각, 슬관절 굴곡근과 신전근의 근력 그리고 슬관절 불안정성의 변화를 비교하고자 한다.

3. 연구의 제한점

1) 실험 대상을 부산 시내 일개병원에 내원하는 환자로 한정하여 본 연구 결과를 모든 십자인대 손상환자에게 일반화하기에는 한계가 있다.

2) 본 연구를 진행하는 동안 대상자들에 대한 일상생

활을 통제할 수 없어 일상생활이 연구에 미치는 영향을 완전히 배제할 수 없었다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구 대상

본 연구는 부산광역시 소재한 H병원에서 슬관절 십자인대 손상으로 인대 재건술을 시행한 환자 중 본 연구의 내용을 이해하고 적극적으로 참여할 것을 동의한 사람으로서 성별, 나이 구별 없이 슬관절 십자인대 재건술 후 2-8주 이내인 자로서 다음의 조건을 만족하는 환자를 대상으로 하였다.

- 1) 슬관절 십자인대 손상으로 인해 재건술을 시행한 환자
- 2) 반대측 하지에 병리학적 병력이 없는 환자
- 3) 표준화된 수술 후 더 이상의 의학적 처치가 필요하지 않은 환자
- 4) 골절을 동반하지 않은 환자

위의 선정 기준을 근거로 선발된 환자를 대상으로 2004년 11월 1일부터 2005년 4월 30일 까지 각 대상자마다 2주간 연구를 실시하였다.

2. 연구 설계

본 연구의 대상자 선정을 위해 사전 면접 조사를 실시하여 대상자의 일반적인 특성, 고유수용성 감각의 정도, 굴곡근과 신전근의 근력 그리고 불안정성에 대한 수준을 분석하였다. 사전 조사 후 본 연구에 참여하겠다고 동의한 환자에 대하여 단한사슬운동과 열린사슬운동을 주 5회로 2주간 실시하였다. 2주간의 치료 중재가 끝난 후 재조사하여 단한사슬운동과 열린사슬운동의 효과를 비교해 보았다.

3. 연구내용 및 방법

단한사슬운동과 열린사슬운동의 효과를 비교하기 위해 운동치료 전 관절의 고유수용성 감각, 슬관절 굴곡근과 신전근의 근력 그리고 불안정성을 평가하고 2주간의 운동치료 후 재평가하였다.

1) 고유수용성 감각

본 연구에서는 고유수용성 감각을 평가하기 위해 관절의 능동적 위치 감각을 측정하였다. 대상자에게 평가의 목적과 과정을 설명 한 후 경골 원위부 외측면에 중력 각도계(Myryn goniometer, Norway)를 부착시키고 슬관절 90° 굴곡에서 중력각도계가 0°를 가리키도록 하였다. 시각적 입력을 제거하기 위해 눈을 가리며 피부의 표재성 감각 입력을 배제하기 위해 반바지를 착용하게 하였다. 시작위치는 슬관절 90° 굴곡으로 하고 목표 각도는 교육의 효과를 피하기 위해 슬관절 10-80° 굴곡으로 무작위로 선정하여 실시하였다. 대상자는 검사자가 정지를 말할 때 까지 슬관절을 천천히 신전하고 약 4초 동안 등척성으로 유지하게 하여 이때의 각도를 기억하게 하였다. 다시 시작 위치로 돌아와 7초 후 이전의 각도를 재연하도록 하였다. 유지 시간은 Stillman과 McMeeken (2001)의 연구와 동일하게 사용하였으며 이 시간은 대상자가 각도를 인지하기에 충분하고 근육의 피로가 생기지 않을 정도이다. 검사자는 목표각도와 반응각도 사이의 오차를 양측 다리 모두 3번씩 측정하고 실제 오차의 절대 값으로 비교하였다(Figure 2).

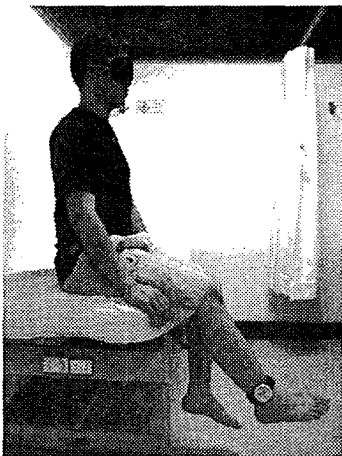


Figure 1. Position sense testing.

2) 슬관절 굴곡근과 신전근의 근력

슬관절 굴곡근과 신전근의 근력을 측정하기 위해 MicroFET2(Hoggan health Industries, Inc. USA)를 사용하였다. 대상자는 걸터앉은 자세에서 슬관절을 90° 굴곡하고 양팔은 팔짱을 끼고 척추를 곧게 펴게 하여 측정 시 상지나 골반에 의한 대상작용이 일어나지 않도록

하였다. 슬관절 굴곡근을 측정하기 위해 경골 원위부 후방 1/4지점에 MicroFET2를 대고 슬관절 굴곡에 대항하는 저항을 적용하였다. 대상자는 슬관절 굴곡에 대해 3초간 최대 등척성 수축을 유지하고 이때의 근력을 양측 모두 3회 반복 측정하여 그 평균값을 굴곡근의 근력으로 정하였다. 슬관절 신전근의 근력 또한 동일한 기구를 이용하여 경골 원위부 전방 1/4지점에서 슬관절 신전에 대한 저항을 적용하고 대상자는 3초간 최대 등척성 수축을 유지하고 이때의 근력을 양측 모두 3번씩 측정하여 평균값을 신전근의 근력으로 정하였다.

3) 슬관절의 불안정성

슬관절 불안정성은 Lysholm 척도(Jack과 Jan, 1982)를 사용하였다. Lysholm 척도는 슬관절 인대 수술 후 슬관절의 불안정성을 평가하기 위해 고안된 것으로 정상적인 보행 유무(5점), 체중부하의 정도(5점), 계단 오르기(10점), 쪼그려 앉기(5점), 그리고 걷기, 달리기, 점프와 같은 활동 시 불안정성(30점), 통증(30점), 부종(10점)의 정도, 그리고 대퇴부 근위축(5점)의 정도를 평가한다. 총점을 100점으로 하여 100-91: 우수, 90-82: 양호, 81-62: 보통, 61-0: 불량으로 해석되어진다.

4) 운동 프로그램

두 군 모두 각각의 운동 프로그램을 적용하기 이전에 통증과 부종을 해결하기 위한 방법으로 온열 치료 15분, 간섭파 치료 15분을 각각 적용한 후에 운동을 실시하였다. 두 군에서 각각의 운동은 10분씩 실시하고 각 운동 사이에는 1분의 휴식 시간을 두었다. 6초간의 등척성 수축을 유지하도록 하고 운동의 강도는 대상자가 견딜 수 있는 만큼 조절하여 적용하였다.

단한사슬운동군은 운동 시작 후 1주 동안에는 ① 공 위에 앉아서 슬관절에 부분적 체중 부하를 적용하는 쪼그려 앉기 훈련, ② 균형판(balance pad) 위에 서서 전·후·좌·우로 체중 이동과 쪼그려 앉기 훈련을 실시하였으며, 운동 시작 후 2주 차에서는 위와 동일한 운동과 ③ 에어 쿠션(air cushion) 위에 서서 전·후·좌·우로 체중 이동과 쪼그려 앉기 훈련을 추가하여 실시하였다.

열린사슬운동군은 운동 시작 후 1주 동안에는 ① 탄력 로프를 이용한 대퇴사두근 저항 운동, ② 탄력 로프를 이용한 슬관절근의 저항 운동을 실시하였으며, 운동 시작 후 2주 차에서는 위와 동일한 운동과 ③ N-K table에서 슬관절 신전 저항 운동을 추가하여 실시하였다.

4. 자료 처리

본 연구는 단хин사슬운동군과 열린사슬운동군 각각 7명으로 총 14명을 대상으로 하였으며 수집된 자료는 부호화한 후 자료 처리는 SPSS for 10.0 win program을 사용하여 분석하였다. 유의 수준 α 는 .05로 정하였다.

단хин사슬운동군과 열린사슬운동군의 일반적인 특성을 알아보기 위해 기술통계와 빈도 분석을 사용하였으며 두 군 간의 고유수용성 감각, 슬관절 굴곡근과 신전근의 근력, 그리고 불안정성을 비교하기 위해 Mann-Whitney U-test를 이용하였다. 그리고 각 군에서 치료 전·후의 비교는 Wilcoxon signed rank test를 이용하였다.

Ⅲ. 연구결과

1. 연구 대상자의 특성

1) 연구 대상자의 일반적 특성

연구에 참가한 대상자 중 남자가 11명이었고 여자가 3명이었다. 전체 대상자의 평균 연령은 44.36세이었고, 평균 신장은 168.50cm, 평균 체중은 69.86kg이었다. 단хин사슬운동군은 7명으로 평균 연령은 47.43세이고 평균 체중은 73.00kg이며, 평균 신장은 169.00cm이었다. 열린사슬운동군의 평균 연령은 41.29세, 평균 체중은 66.71kg, 평균 신장은 168.00cm이었다(Table 1).

Table 1. General characteristics of subjects

(N=14)

Variables	CKC (n1=7)	OKC (n2=7)
Age(yrs)	47.43±8.36	41.29±11.47
Weight(kg)	73.00±11.15	66.71±3.35
Height(cm)	169.00±7.62	168.00±6.86

Mean ± Standard deviation

CKC : closed kinetic chain

OKC : open kinetic chain

2) 연구 대상자의 병력 특성

연구에 참여한 대상자의 병력 특성은 전체 대상자 14명 중 전방십자인대 재건술을 받은 자가 11명이었고, 후방십자인대 재건술을 받은 자가 3명이었다.

단хин사슬운동군에서는 전방십자인대 재건술을 받은 자가 5명이었고, 후방십자인대 재건술을 받은 자가 2명

이었고, 수술 후 운동을 시작한 시기는 평균 21.14일이었다.

열린사슬운동군에서는 전방십자인대 재건술을 받은 자가 6명이었고, 후방십자인대 재건술을 받은 자가 1명이었으며 수술 후 운동을 시작한 시기는 평균 36.29일이었다(Table 2).

Table 2. Medical characteristics of subjects

(N=14)

Groups	ACL(No)	PCL(No)	Duration of post surgery*
CKC	5	2	21.14±15.39
OKC	6	1	36.29±24.95

* : Mean ± Standard deviation(days)

CKC : closed kinetic chain

OKC : open kinetic chain

ACL : anterior cruciate ligament

PCL : posterior cruciate ligament

2 슬관절의 고유수용성 감각의 변화

동군과 열린사슬운동군 모두에서 감소하였지만 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 3).

1) 운동 전 · 후 슬관절 고유수용성 감각의 변화

운동 후 슬관절 위치 감각의 절대 오차가 닫힌사슬운

Table 3. The change of proprioception between pre-test and post-test

(N=14)

Groups	Pre-test	Post-test	p-value
CKC	4.00±1.24	2.95±1.49	.088
OKC	3.19±.85	2.38±.55	.078

Mean ± Standard deviation (absolute error score; degree)

CKC : closed kinetic chain

OKC : open kinetic chain

2) 닫힌사슬운동과 열린사슬운동 간에 고유수용성 감각의 비교

힌사슬운동군에서 더 큰 차이를 보였으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다(p>.05)(Table 4).

운동 전 · 후 절대 오차의 차이는 닫힌사슬운동군에서 1.04°였으며 열린사슬운동군에서는 0.80°로 나타나 달

Table 4. A comparison of difference on proprioception between CKC and OKC

(N=14)

	CKC	OKC	p-value
Pre-Post test difference	1.04±1.50	0.80±1.05	.797

Mean ± Standard deviation (absolute error score; degree)

CKC : closed kinetic chain

OKC : open kinetic chain

3. 슬관절 굴곡근과 신전근 근력의 변화

운동 후 굴곡근과 신전근의 근력은 닫힌사슬운동군과 열린사슬운동군 모두에서 유의하게 증가하였다 (p<.05)(Table 5).

1) 운동 전 · 후 슬관절 굴곡근과 신전근 근력의 변화

Table 5. The change of knee muscles strength between pre-test and post-test

(N=14)

Groups	Muscles	Pre-test	Post-test	p-value
CKC	Flexors	16.80±6.1	26.57±7.57	.028
	Extensors	29.47±10.65	44.76±11.15	.042
OKC	Flexors	18.85±5.82	26.28±5.72	.018
	Extensors	29.23±6.94	37.52±7.11	.018

Mean ± Standard deviation (lbs)

CKC : closed kinetic chain

OKC : open kinetic chain

2) 닫힌사슬운동과 열린사슬운동군 간에 슬관절 굴곡근과 신전근의 근력 비교

운동 전·후 슬관절 굴곡근의 근력 차이는 닫힌사슬운동군에서 9.76lbs이었고 열린사슬운동군에서는 7.42lbs로 나타나 닫힌사슬운동군에서 더 큰 차이를 보였으나 통

계학적으로 유의한 차이는 없었다. 운동 전·후 슬관절 신전근의 근력 차이는 닫힌사슬운동군에서 15.28lbs이며, 열린사슬운동군에서는 8.28lbs로 닫힌사슬운동군에서 더 큰 차이를 보였으나 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(Table 6).

Table 6. A comparison of difference on knee muscles strength between CKC and OKC (N=14)

Muscles	CKC	OKC	p-value
	Pre-Post test	Pre-Post test	
Flexors	9.76±6.94	7.42±5.68	.482
Extensors	15.28±14.69	8.28±2.57	.063

Mean ± Standard deviation(lbs)

CKC : closed kinetic chain

OKC : open kinetic chain

4. 슬관절 불안정성의 변화

힌사슬운동군과 열린사슬운동군 모두에서 운동 후에 통계학적으로 유의한 증가를 보였다(p<.05)(Table 7).

1) 운동 전·후 슬관절 불안정성의 변화

슬관절 불안정성을 평가하기 위한 Lysholm 점수는 닫

Table 7. The change of Knee instability between pre-test and post-test (N=14)

Groups	Pre-test	Post-test	p-value
CKC	21.86±16.97	46.43±9.54	.018
OKC	19.29±9.11	33.14±14.55	.018

Mean ± Standard deviation(Lysholm score)

CKC : closed kinetic chain

OKC : open kinetic chain

2) 닫힌사슬운동과 열린사슬운동 간에 슬관절 불안정성 비교

운동 전·후 Lysholm 점수의 차이는 닫힌사슬운동군

에서 24.57이었고 열린사슬운동군에서는 13.85로 나타나 닫힌사슬운동군에서 더 큰 차이를 보였으나 두 군 간에 유의한 차이는 없었다(Table 8).

Table 8. A comparison of difference on knee instability between CKC and OKC (N=14)

	CKC	OKC	p-value
Pre-Post test difference	24.57±14.61	13.85±10.62	.109

Mean ± Standard deviation(Lysholm score)

CKC : closed kinetic chain

OKC : open kinetic chain

IV. 고 찰

전방십자인대는 주행 방향이 사선이기 때문에 극단적인 모든 움직임에 저항하여 넓은 범위의 안정성을 제공하지만 이러한 특성 때문에 쉽게 손상을 입게 된다. 특히 발이 지면에 고정되어 있는 동안 과도하게 슬관절이 신전될 때 초래되어지고 이러한 기전 동안 대퇴사두근에 의해 생성되는 큰 힘은 손상의 심각성을 더욱 증가시킬 수 있다(Neumann, 2002). 그리고 전방십자인대는 대퇴골에 대한 경골의 움직임 또는 경골에 대한 대퇴골의 움직임에 의해 팽팽하게 당겨짐으로서 경골의 과도한 전방 전위, 과신전, 그리고 회전을 방지하고 슬관절의 전·후 안정성을 유지함으로써 슬관절의 정상 운동에 중요한 역할을 한다(장용우 등, 1998).

후방십자인대 또한 전·후 전단력에 저항하는 주요 구조물로서 슬관절의 수축 시 일어나는 경골의 후방 미끄러짐에 의해 팽팽하게 당겨지고 대퇴사두근이 수축되면 장력과 신장은 감소되어진다(Hoher 등, 1999). 후방십자인대 손상은 슬관절에서 일어나는 손상의 5-20%를 차지하며 가장 흔한 손상 기전은 과굴곡 상태에서 넘어지는 것이다(Clancy와 Sutherland, 1994).

본 연구에서는 십자인대 재건술 후 슬관절의 안정성에 문제를 줄 수 있는 고유수용성 감각, 슬관절 주위의 근력 그리고 불안정성을 알아보기 하였고 전·후 안정성을 분리하여 고려하지 않았으므로 전방십자인대나 후방십자인대로 제한하지 않았고, 11명의 전방십자인대 재건술을 받은 자와 3명의 후방십자인대 재건술을 받은 자를 대상으로 단한사슬운동과 열린사슬운동을 적용하였다. 대상자의 손상측과 비손상측 슬관절의 고유수용성 감각, 굴곡근과 신전근의 근력 그리고 불안정성을 비교한 결과 고유수용성 감각의 절대 오차가 손상측이 3.49° 이고 비손상측에서 $.92^\circ$ 로 손상측에서 유의하게 감소하였고 슬관절 굴곡근과 신전근의 근력 또한 손상측에서 각각 17.83lbs, 29.35lbs이고 비손상측에서 각각 32.64lbs, 45.88lbs로 손상측에서 유의하게 감소하였다. 이러한 결과는 다음의 연구들과 일치하였다.

Katayama 등(2004)은 32명의 전방십자인대 파열 환자를 대상으로 한 연구에서 위치 감각의 절대 오차가 손상측과 비손상측에서 각각 5.2° , 3.6° 로 손상측에서 유의하게 감소하였으며, 기능 수행 능력 또한 손상측이 유의하게 감소하였다고 보고하였다. Safran 등(1999)은 18명의 후방십자인대 손상자를 대상으로 한 연구에서 비

손상측과 비교해서 손상측에서 수동적인 움직임에 감지하는 운동 감각이 더 느리게 나타났으며 후방십자인대의 손상은 관절의 고유수용성 감각의 결여를 초래하고 이것은 슬관절 불안정성과 더 나아가 재 손상이나 퇴행성 변화를 초래할 수 있다고 보고하였다. 그리고 Iwasa 등(2000)은 전방 십자인대 손상 시 대퇴사두근과 슬관절근의 근력이 유의하게 감소하였다고 보고하였다.

위와 같은 문제점을 해결하기 위해 스포츠 의학과 물리치료 분야에서는 슬관절 재활에 대한 적절한 운동 도구나 프로그램에 대한 연구를 계속하고 있으며(Risberg 등, 2001; Fitzgerald, 1997; Palmitier 등, 1991), 운동의 형태와 강도는 손상된 인대나 재활의 단계에서 섬세하게 조절되어야 한다(Anthony 등, 2002).

1. 운동 프로그램

본 연구의 운동 프로그램에서 저항은 체중, 공 그리고 탄력 로프를 주로 이용함으로써 저항의 강도를 대상자가 견딜 수 있는 만큼으로 자유롭게 조절하도록 하였다. 대상자들마다 손상과 회복 정도에 차이가 있으므로 저항을 동일하게 적용하는 운동치료 보다 안전하게 운동을 할 수 있는 장점이 있다고 생각되어진다. 2주 차에 추가적으로 실시하는 운동은 1주 차에 실시하기에는 운동이 어렵거나 이식된 인대 구조물에 과도한 좌상을 초래 할 수 있다고 판단되어 2주 차부터 적용하였다.

닫힌사슬운동과 열린사슬운동을 비교한 여러 연구에서 닫힌사슬운동으로 레그 프레스 장비를 이용하거나 정적인 지면에서 쪼그려 앉기가 선택되어졌으며 열린사슬운동으로는 슬관절 신전 저항 훈련을 실시함으로써 대퇴사두근의 근력 강화에 초점을 두었다(Beynon 등, 1998; Hopper 등, 2001; Morrissey 등, 2002). 하지만 본 연구에서는 닫힌사슬운동으로 정적인 지면에서 쪼그려 앉기 대신에 균형판과 에어 쿠션 위에서 쪼그려 앉기를 적용하였다. 이러한 운동은 더 많은 기계적 수용기를 자극하고 근육의 동원을 증가시켜 대퇴사두근과 슬관절근의 근력을 효과적으로 증진시키고 동적 관절 안정성을 조절하기 위한 구심성 정보와 중추적 기전을 자극함으로써 무의식적인 운동반응이 일어나도록 한다. Beard 등(1994)은 전방십자인대 재건술을 받은 50명의 대상자에게 고유수용성감각을 위한 균형, 동적 안정성 그리고 동적 훈련을 실시하였을 때 비체중 부하의 전형적인 근력 훈련 시 보다 Lysholm 점수와 슬관절 수축 잠복시가 유

의하게 증진하였다고 보고하였다.

그리고 열린사슬운동으로 탄력 로프를 이용한 슬관절 굴곡근과 신전근의 저항 훈련을 실시하였으며, 운동 2주 차에 실시한 슬관절 신전 저항 운동에서는 환자가 최소의 저항인 1kg을 들어올릴 수 없을 때는 발목의 무게만을 사용하였다. 그 이유는 슬관절 마지막 신전에 대한 저항 운동 시 경골의 전방 전위의 증가로 인해 전방십자인대의 좌상을 초래할 수 있기 때문이다(Yack 등, 1993; Henning 등, 1985; Grood 등, 1984).

2. 관절의 고유수용성 감각

관절의 고유수용성 감각은 일반적으로 신체부위에 대한 상대적 위치와 움직임을 결정하는 관절의 위치 감각과 운동 감각과 관련이 있다. 고유수용성 감각에 기여하는 말초의 기계적 수용기들은 관절, 근육, 결합조직과 인대 조직에서 풍부하게 분포되어지고 신경근 조절, 근육 조절 그리고 관절의 안정성을 확보하고 유지하는데 중요한 되먹임의 요소로서 관절의 안정화에 중요한 역할을 한다(Voight 등, 1996). 특히 전방 십자인대에는 Type I, II, III 수용기가 풍부하게 분포되어 슬관절의 고유수용성 감각에 중요한 기여를 하는 것으로 알려져 있다(Schutte 등, 1987). 그리고 예전에는 운동 감각과 관절의 위치 감각은 관절낭과 인대에 있는 이러한 기계적 수용기에서 거의 단독적으로 참여한다고 생각하였으나(Hidetoshi와 Nakayama, 1986) 최근에는 근방추와 관절과 결합하고 있는 건의 구심성 섬유에 의한 감각적 역할의 중요성을 강조하고 있다(Skinner 등, 1986; Hutton과 Atwater, 1992). 그러므로 본 연구에서는 슬관절 십자인대의 손상으로 인한 인대, 관절 그리고 근육에 위치한 기계적 수용기의 비활성화로 초래 될 수 있는 고유수용성 감각의 변화를 알아보고자 하였다.

지금까지 고유수용성 감각을 평가하기 위한 방법으로는 움직임을 감지하는 역치를 측정하는 운동감각 검사와 수동적 그리고 능동적 위치를 재연하는 위치 감각 검사들이 사용되어졌다. Lephart 등(1997)은 이러한 검사가 수동적으로 실행되었을 때 관절수용기가 최대로 자극되어진다고 생각하였다. 하지만 이러한 검사 방법은 근방추의 수동적 신장의 효과를 배제한 검사이므로 본 연구에서는 능동적인 위치 감각 검사를 실시함으로써 관절과 근육의 수용기를 자극하고자 하였다. Harter 등(1989)은 비체중 부하에서 슬관절을 능동적으로 신전할 때 위치 감각

을 측정하였으며, Taylor 등 (1998)은 체중 부하 상태에서 능동적으로 위치 감각을 측정함으로써 더 기능적 평가를 실시하였다. 본 연구에서는 십자인대 재건술 후 초기에 한쪽 다리로 체중을 지지하는 것이 불가능하기 때문에 비체중 부하에서 위치 감각을 측정하였다.

위치 감각을 측정하는 도구에는 경사계(Dover와 Powers, 2003)나 전기 각도계(Bressel과 Larsen, 2004; Ishii 등, 2000), 등속성 역량(Janwantanakul 등, 2001), 전자기 추적 기구(Newcomer 등, 2000), 비디오 테이프 분석등이 사용되고 있으나 각자 장단점을 가지고 있다. 경사계는 간편하고 경제적이며 각도나 위치 감각을 정확히 측정할 수 있는 적당한 도구로 신뢰성이 검사간·검사자간 모두 .99라고 보고된 바 있다(Dover와 Powers, 2003). 본 연구에서는 경사계의 일종인 중력 각도계를 사용하였고 이것은 지질의 움직임과 상관없이 각도를 가리키는 침이 항상 수직하방을 향하기 때문에 일반 각도계의 배열의 잘못을 해결할 수 있고 지질의 경사를 정확히 측정할 수 있었다.

본 연구에서는 닫힌사슬운동군과 열린사슬운동군 모두 운동 전·후 위치 감각의 절대 오차가 감소하였으나 통계학적으로 유의하지 않았으며 두 군 간에도 운동 전·후 차이가 각각 1.04°와 .80°로 닫힌사슬운동군에서 크게 나타났지만 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 50명의 전방십자인대 파열 환자를 대상으로 4주간 표준화된 운동치료를 실시한 Carter 등(1997)의 연구와 동일한 결과를 보였다. 하지만 Reider 등(2003)은 전방십자인대 재건술 후 표준화된 재활 프로그램을 적용한 후 3개월 내지 6개월 후에 측정한 고유수용성 감각이 손상측과 비손상측 모두에서 유의하게 증가하였다고 보고하였으며, Iwasa 등(2000)도 전방십자인대 재건술 후 9개월 이상부터 고유수용성 감각이 점진적으로 증진되었으며 수술 후 안정성의 증진은 고유수용성 감각의 회복을 촉진한다고 보고하였다. 이러한 연구들과 비교했을 때 본 연구에서 실시한 2주의 운동 기간은 슬관절의 고유수용성 감각의 결여를 회복시키기에는 부족하여 운동치료에도 불구하고 증진되지 않았다고 생각되어진다. 그러므로 차후 시간 경과에 따른 닫힌사슬운동과 열린사슬운동의 효과를 규명하는 것이 필요하다고 생각되어진다.

3. 슬관절 굴곡근과 신전근의 근력

슬관절의 굴곡근과 신전근의 근력은 3초 동안의 최대

등척성 수축시 나타나는 최대 근력으로 Hand-held dynamometer(이하 HHD)인 MicroFET2를 사용하였다. HHD 도구는 검사자간 그리고 검사간 신뢰도가 각각 $r = .89$, $r = .97$ 로 신뢰도가 높은 것으로 나타났으며 (Bohannon, 1986; May 등, 1997), HHD는 사용이 간편하고, 휴대하기가 편리하여 등척성 근력을 측정하기에 유용한 도구로 널리 사용되어지고 있다(Noreau와 Vachon, 1998).

본 연구에서 십자인대 재건술 후 굴곡근과 신전근의 근력은 단한사슬운동군에서 전·후 차가 각각 9.76lbs와 15.28lbs로 유의하게 증진하였으며 열린사슬운동군에서 또한 굴곡근과 신전근의 전·후 차가 각각 7.42lbs와 8.28lbs로 유의하게 증가하였다. 하지만 두 군 간에는 단한사슬운동군이 더 큰 차이를 보였지만 유의하지는 않았다. Hooper 등(2001)의 연구에서도 전방십자인대 재건술 후 단한사슬운동과 열린사슬운동을 6주간 실시한 후 계단을 오를 때와 내려 갈 때의 슬관절 신전근의 모멘트가 두 군 간에 유의한 차이를 보이지 않았으며, Erik 등(2000)의 연구에서도 슬개대퇴부 통증을 위한 5주간의 열린사슬운동과 단한사슬운동 시 두 군 간에 대퇴사두근과 슬괵근의 근력에 유의한 차이를 보이지 않았다.

하지만 Wilk 등(1996)은 쪼그려 앉기, 레그 프레스 그리고 슬관절 신전 저항 운동 시 대퇴사두근과 슬괵근의 근전도 활성도를 비교한 연구에서, 대퇴사두근은 88° 에서 102° 굴곡으로 쪼그려 앉기를 할 때 최대 토크를 발생시켰으며, 슬괵근 또한 쪼그려 앉기 운동 중 80° 에서 58° 로 신전할 때 가장 높게 나타났고 레그 프레스와 신전 저항 운동 시 슬괵근은 최대 등척성 수축의 10% 정도만 활성화되었다고 보고하였다. Rafael 등(1998)의 연구에서도 이와 동일한 결과를 보고하였다. 이러한 연구 결과가 단한사슬운동이 열린사슬운동 보다 슬관절 굴곡근과 신전근의 근력을 더 증가시킬 수 있다는 것을 보여주지만 본 연구와 Erik 등(2000)의 연구에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 슬관절 십자인대 재건술 후 초기에는 90° 이상의 쪼그려 앉기 훈련을 적용하기가 어렵고 완전 체중부하 훈련을 실시하는 것이 불가능하기 때문이라 여겨진다. 그리고 단한사슬운동 동안 대퇴사두근의 약증이 있을 때 고관절과 발목관절에서의 다른 근육들이 보상적으로 작용하기 때문이라고 생각되어진다. 하지만 슬관절 신전근에서 단한사슬운동과 열린사슬운동 간에 전·후의 차이가 단한사슬운동에서 더 크게 나타나는 경향을 보여 차후 시간 경과를 두고 비교하는 것이 필요

하다고 생각되어진다.

4. 슬관절 불안정성

슬관절 인대 수술 후 불안정성에 대한 증상을 점수화하기 위한 척도에는 Larson 척도(Larson, 1974), Tegner activity rating 척도(Tegner 등, 1984), 그리고 Lysholm 척도(Lysholm과 Gillquist, 1982)등 여러 가지가 개발되어져왔다. 본 연구에서는 그 중 다른 척도보다 임상적으로 불안정성에 대한 기능적 손상을 평가하기에 적합한 Lysholm 척도를 사용하였다. 이것은 정상적인 보행이 가능한지(5점), 체중부하의 정도(5점), 계단 오르기(10점), 쪼그려 앉기(5점), 그리고 걷기, 달리기, 점프와 같은 활동 시 불안정성(30점)이나 통증(30점), 부종(10점)의 정도, 그리고 대퇴부 근위축(5점)의 정도를 평가한다. 총점을 100점으로 하여 100-91: 우수, 90-82: 양호, 81-62: 보통, 61-0: 불량으로 해석되어진다.

본 연구에서 단한사슬운동군에서 운동 전·후 Lysholm 점수의 차이가 24.57이었으며 열린사슬운동군에서는 운동 전·후 Lysholm 점수의 차이가 13.85로 나타나 두 군 모두에서 유의한 증가를 보였으며, 두 군 간에는 단한사슬운동군에서 더 많은 증가를 보였지만 유의하지는 않았다. 그러므로 슬관절 십자인대 재건술 후 초기에 Lysholm 척도의 점수는 운동의 유형에 따라 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다. Hooper 등(2001)의 연구에서도 전방십자인대 재건술 후 6주간 단한사슬운동과 열린사슬운동을 실시하였을 때 두 군 간에 Lysholm 점수와 Tegner 점수 모두 유의한 차이를 보이지 않았다. 그리고 Bynum 등(1995)의 연구에서 또한 단한사슬운동군과 열린사슬 운동군 사이에서 운동 전·후의 Lysholm 점수가 유의한 차이를 보이지 않았지만 재활의 마지막 단계에서 Lysholm 점수가 91점 이상 되는 사람이 단한사슬운동군에서 97%였으며 열린사슬운동군에서는 80%로 유의하게 증가하였고 단한사슬운동군에서 더 초기에 정상적인 일상생활과 스포츠 활동에 참가할 수 있었다고 보고하였다. 이것은 훈련 프로그램 수행에 있어 하지 근육의 체중 부하 운동은 많은 기능적 과제 동안에 필요한 여러 근육군의 협을 활동에 의해 이루어지기 때문이다(Fitzgerald, 1997). 본 연구에서도 두 군 간에 유의한 차이는 보이지 않았지만 전·후의 차이가 단한사슬운동군에서 더 크게 나타났으므로 차후 시간 경과에 따른 변

화의 추이를 보아야 할 것으로 생각되어진다.

5. 임상적 의의

지금까지 여러 연구자들에 의해 십자인대 손상 시 초래 될 수 있는 문제점과 이를 해결하기 위한 방법들이 다양하게 연구되었다. 특히 전방십자인대 손상은 관절의 고유수용성 감각의 결여, 대퇴사두근 근력 약화 그리고 관절의 불안정성을 초래하여 능동적인 신전 마지막 범위의 상실, 불충분한 보행, 관절 연골의 마모를 유발할 수 있다. 그러므로 십자인대 손상 후 통증의 감소뿐만 아니라 기능적 활동에 필요한 고유수용성 감각과 근력의 회복이 동반되어야 한다. 이를 회복하기 위한 운동치료 중 운동학적 측면에서 전방십자인대와 후방십자인대의 생체역학을 고려하여 이식된 인대에 좌상을 최소화하고 치유를 촉진할 수 있는 운동이 선택되어야 한다.

본 연구의 결과로 볼 때 닫힌사슬운동과 열린사슬운동은 통계학적으로 유의한 차이가 없었지만 모든 요소에서 닫힌사슬운동이 효과적인 경향을 보였다. 그러므로 관절의 전·후 전단력을 최소화하면서 고유수용성 감각, 슬관절 굴곡근과 신전근의 근력 그리고 기능적 능력을 증가시키는 운동으로 닫힌사슬운동이 권장되어야 한다고 생각한다.

V. 결 론

본 연구에서는 슬관절 십자인대 재건술 후 닫힌사슬운동과 열린사슬운동 간의 효과를 비교하기 위해 고유수용성 감각, 슬관절 굴곡근과 신전근의 근력 그리고 관절의 불안정성의 변화를 알아보았다. 그 결과는 다음과 같다.

1. 고유수용성 감각은 두 운동 간에 차이가 없었다.
2. 슬관절 굴곡근과 신전근의 근력은 닫힌사슬운동과 열린사슬운동 모두에서 증가하였으나 두 운동 간에는 차이가 없었다.
3. 슬관절의 불안정성을 측정하기 위한 Lysholm 점수는 닫힌사슬운동과 열린사슬운동 모두에서 증가하였으나 두 운동 간에는 차이가 없었다.

결론적으로 슬관절 십자인대 재건술 후 닫힌사슬운동과 열린사슬운동이 유의한 차이를 보이지 않았지만 2주

간의 운동에서 닫힌사슬운동이 열린사슬운동 보다 모든 요소에서 증가되는 경향을 보였으므로 향후 연구에서는 장기간의 닫힌사슬운동과 열린사슬운동의 치료적 중재에 대한 연구가 필요하다고 생각되어진다.

< 참 고 문 헌 >

장용우, 최경수, 권영기: 전방십자인대 슬후 등속성 운동의 대퇴위 근력 및 근비대에 미치는 영향. 대한스포츠의학회지, 16, 16-17, 1998.

Anthony I. B., Leslie W. C., Don T. K.: Electromyographic analysis of single-leg closed chain exercises : Implication for rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. J Athl Train, 37(1), 13-18, 2002.

Arms S. W., Pope M. H., Johnson R. J.: The biomechanics of anterior cruciate ligament rehabilitation and reconstruction. Am J Sports Med, 12, 8-18, 1984.

Beard D. J., Dodd C. A., Trundle H. R., et al: Proprioception enhancement for anterior cruciate ligament deficiency : A prospective randomised trial of two physiotherapy regimes. J Bone Joint Surg Br, 76, 654-659, 1994.

Beynon B. D., Fleming B. C.: Anterior cruciate ligament strain in-vivo : A review of previous work. J Biomech, 31, 519-525, 1998.

Bohannon R. W.: Test-retest reliability of hand-held dynamometry during a single session of strength assessment. Phys Ther, 66(2), 206-209, 1986.

Bressel E., Larsen B. T.: Ankle joint proprioception and passive mechanical properties of the calf muscle after an achilles tendon rupture : A comparison with matched controls. Clin Biomech, 19(3), 284-289, 2004.

Bynum E. B., Barrack R. L., Alexander A. H.: Open versus closed chain kinetic exercise after anterior cruciate ligament reconstruction : A prospective randomized study. Am J Sports Med, 23(4), 401-406, 1995.

- Carter N. D., Jenkinson T. R., Wilson D., et al: Joint position sense and rehabilitation in the anterior cruciate ligament deficient knee. *Br J Sports Med*, 31(3), 209-212, 1997.
- Clancy W. G., Sutherland T. B.: Combined posterior cruciate ligament injuries. *Clin Sports Med*, 13, 629-647, 1994.
- Clark P., MacDonald P. B., Sutherland K.: Analysis of proprioception in the posterior cruciate ligament deficient knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 4(4), 225-227, 1996.
- Dover G., Powers M. E.: Reliability of joint position sense and force reproduction measures during internal and external rotation of shoulder. *J Athl Train*, 38(4), 304-310, 2003.
- Erik W., Roeland L., Johan B., et al: Open versus closed kinetic chain exercise for patellofemoral pain. *Am Orthop Sports Med*, 28(5), 687-694, 2000.
- Fitzgerald G. K.: Open versus closed kinetic chain exercise : Issues in rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstructive surgery. *Phys Ther*, 77, 1747-1754, 1997.
- Gomez B. E., Martine-Moreno E., Munuera L.: Segmental sensory innervation of the anterior cruciate ligament and the patellar tendon of the cat's knee. *Acta Orthop Scand*, 67, 545-552, 1996.
- Good E. S., Suntay W. J., Noyes F. R.: Biomechanics of the knee extension exercise : Effect of cutting the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg Am*, 66(A), 725-734, 1984.
- Hall C. M., Brody L. T.: Therapeutic exercise : Moving toward function. Washington, Lippincott Williams & Wilkins, 449-455, 1998.
- Harter R. A., Osterning L. R., Singer K. M.: Instrumented Lachman tests for the evaluation of anterior laxity after reconstruction of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surgery Am*, 71(A), 975-983, 1989.
- Henning C. E., Lynch M. A., Glick K. R.: An in vivo strain gage study of elongation of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med*, 13, 22-26, 1985.
- Hidetoshi I., Nakayama A.: Dynamic joint control training for knee ligaments injuries. *Am J of Sports Med*, 14(4), 309-315, 1986.
- Hoher J., Vogrin T. M., Woo S. L., et al: In situ forces in the human posterior cruciate ligament in response to muscle loads : A cadaveric study. *J Orthop Res*, 17(5), 763-768, 1999.
- Hooper D. M., Morrissey M. C., King J.: Open and closed kinetic chain exercises in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*, 29(2), 167-174, 2001.
- Hutton R. S., Atwater S. W.: Acute and chronic adaptation of muscle proprioceptors in response to increased use. *Sports Medicine*, 14(6), 406-421, 1992.
- Ishii K., Terajima K., Terajima S., Matsueda M.: Joint proprioception in the elderly with and without hip fracture. *J Orthop trauma*, 14(8), 542-545, 2000.
- Iwasa J., Ochi M., Adachi N., et al: Proprioceptive improvement in knees with anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin Orthop Relat Res*, 381, 168-176, 2000.
- Jack L., Jan G.: Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med*, 10(3), 150-154, 1982.
- Janwantanakul P., Magarey M. E., Jones M. A.: Variation in shoulder position sense at mid extreme range of motion. *Arch Phys Med Rehabil*, 83, 840-844, 2001.
- Katayama M., Higuchi H., Kimura M., et al: Proprioception and performance after anterior cruciate ligament rupture. *Int Orthop*, 28(5), 278-281, 2004.
- Larson R.: Rating sheet for knee function : Disease of knee joint. Edinburgh, Churchill

- Livingstone, 29, 1974.
- Lephart S. M., Pincevero D. M., Giraldo J. L., et al: The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am J of Sports Med*, 25(1), 130-137, 1997.
- Lysholm J., Gillquist J.: Evaluation of knee ligament surgery results with special emphasis on use of a scoring scale. *Am J Sports Med*, 10(3), 150-154, 1982.
- May L. A., Burnham R. S., Steadward R. D.: Assessment of isokinetic and hand-held dynamometer measures of shoulder rotator strength among individuals with spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil*, 78(3), 251-255, 1997.
- Mikkelsen C., Werner S., Eriksson E.: Closed kinetic chain alone compared to combined open and closed kinetic chain exercises for quadriceps strengthening after anterior cruciate ligament reconstruction with respect to return to sports : A prospective matched follow-up study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 8(6), 337-342, 2000.
- Morrissey M. C., Drechsler W. I., Morrissey D., et al: Effects of distally fixated versus nondistally fixated leg extensor resistance training on knee pain in the early period after anterior cruciate ligament reconstruction. *Phys Ther*, 82(1), 35-43, 2002.
- Neumann D. A.: *Kinesiology of the musculoskeletal system : Foundations for physical rehabilitation*. American, Mosby, 449-451, 2002.
- Newcomer K., Edward R., Laskowski.: Repositioning error in low back pain. *Spine*, 25, 245-250, 2000.
- Noreau L., Vachon J.: Comparison of three methods to assess muscular strength in individuals with spinal cord injury. *Spinal cord*, 36(10), 716-723, 1998.
- Palmitier R. A., An K. N., Scott S. G., et al: Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sports Med*, 11(6), 402-413, 1991.
- Perry M. C., Morrissey M. C., King J. B., et al: Effect of closed versus open kinetic chain knee extensor resistance training on knee laxity and leg function in patients during the 8-to 14-week post-operative period after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 28, 2005.
- Prentice W. E.: *Closed kinetic chain exercise : Rehabilitation techniques in sports medicine*. 2nd, London, Mosby, 98-107, 1994.
- Rafael F. E., Glenn S. F., Nigel Z., et al: *Biomechanics of the knee during closed kinetic chain and open kinetic chain exercises*. American Sports Medicine Institute, Birmingham, 556-569, 1998.
- Reider B., Arcand M. A., Diehl L. H., et al: Proprioception of the knee before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*, 19(1), 2-12, 2003.
- Risberg M. A., Mork M., Jenssen H. K., et al: Design and implementation of a neuromuscular training program following anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther*, 31(11), 620-631, 2001.
- Safran M. R., Allen A. A., Lephart S. M., et al: Proprioception in the posterior cruciate ligament deficient knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 7(5), 310-317, 1999.
- Schutte M. J., Dabiezies M. L., Zimmy M. L., et al: Neural anatomy of the anterior cruciate ligament. *J Bone Joint Surg*, 66(A), 1072-1076, 1987.
- Skinner H. B., Wyatt M. P., Hodgdon J. A.: Effect of fatigue on joint position sense in the knee. *J Orthop Res*, 4, 112-118, 1986.
- Snyder-Mackler L.: Scientific rationale and physiological basis for the use of closed kinetic chain exercise in the lower extremity. *J Sport Rehabil*, 5, 2-12, 1996.
- Steinkamp L. A., Dillingham M. F., Markel M.

- D.: Biomechanical considerations in patellofemoral joint rehabilitation. *Am J Sports Med*, 21, 438-444, 1993.
- Stillman B. C., McMeeken J. M.: The role of weightbearing in the clinical assessment of knee joint position sense. *Aust J Physiother*, 47, 247-253, 2001.
- Taylor R. A., Marshall P. H., Dunlap R. D., et al: Knee position error detection in closed and open kinetic chain tasks during concurrent cognitive distraction. *J Orthop Sports Phys Ther*, 28(2), 81-87, 1998.
- Tegner Y., Lysholm J., Gillquist J., et al: Two-year follow-up on conservative treatment of knee ligament injuries. *Acta Orthop Scand*, 55, 176, 1984.
- Voight M. L., Hardin J. A., Blackburn T. A.: The effects of muscle fatigue on the relationship of arm dominance to shoulder proprioception. *J Orthop Sports Phys Ther*, 23, 348-352, 1996.
- Wexler G. H., Hurwitz D. E., Bush-Joseph C. A.: Functional gait adaptations in patients with anterior cruciate ligament deficiency over time. *Clin Orthop*, 348, 166-175, 1998.
- Wilk K. E., Escamilla R. F., Fleisig G. S., et al: A comparison of tibiofemoral joint forces and electromyographic activity during open and closed kinetic chain exercises. *Am J Sports Med*, 24(4), 518-527, 1996.
- Yack H. J., Collins C. E., Whieldom T. J.: Comparison of closed and open kinetic chain exercise in the anterior cruciate ligament deficient knee. *Am J Sports Med*, 21(1), 49-54, 1993.