

자기통제 결과지식이 무릎 관절의 열린 사슬 자세와 닫힌 사슬 자세의 고유수용성감각의 장·단기적 학습에 미치는 영향

이연철·이상열¹·박관용²

부천성가병원, ¹마산대학, ²건국대학교 충주병원

The Effect of Self-Controlled Knowledge of Result on Proprioception Learning in Knee Joint During Open and Closed Kinematic Chain Movement

Yoen-chul Lee, PT, Sang-yeol Lee, PT, MS¹, Kwan-yong Park, PT, MS²

Bucheon Holy Family Hospital,

¹Department of Physical Therapy, Masan University

²Department of Physical Therapy, Konkuk University, Chungju Hospital

<Abstract>

Purpose : The purpose of this study was to examine the effects of self-controlled knowledge of result (KR) versus the yoked KR on learning of knee joint proprioception.

Methods : Forty volunteer subjects (20 men and 20 women) were randomly assigned to each four groups: 1) self-controlled KR in open kinematic chain, 2) yoked KR in open kinematic chain, 3) self controlled KR in close kinematic chain, and 4) yoked KR in close kinematic chain. The difference between the angle of position and reproduction angle was determined as a proprioception error and measured using an angle reproduction test. The subjects in self-controlled groups were provided with feedback whenever they requested it, whereas the subjects in yoked groups were not provided with feedback. The data were analyzed using a one-way ANOVA.

Results : The proprioception errors in close kinematic chain groups decreased significantly compared with those in close kinematic chain groups($p<.05$). The proprioception errors in the self-controlled group decreased significantly compared with those in yoked groups during acquisition and retention test($p<.05$).

Conclusion : Self-controlled knowledge of result during open kinematic chain movement is considered to be a good method on motor learning.

Key Words : Close kinematic chain; Open kinematic chain; Self-controlled knowledge of result; Yoked knowledge of result.

I. 서 론

운동학습(motor learning)은 반응하는 능력에 있어서 상대적으로 영구적인 변화로 이끄는 연습이나 경험과 관련된 일련의 과정이며(Schmidt, 1991), 반복적인 연습을 통해 기술의 습득이 이루어지게 되고, 동작 자체의 세련됨을 형성하게 되는 것이다(Schmidt, 2005).

운동학습에 영향을 미치는 되먹임은 두 가지 요소로서 내재적인 피드백과 외재적인 피드백으로 나눌 수 있다(Schmidt, 1991; Winstein, 1987). 내재적 피드백은 감각적 피드백(proprioceptive feedback)을 통해서 신체의 움직임에 대한 정보(오차)를 학습자 스스로 느끼게 하는 것이다. 외재적 피드백은 운동 수행 중 또는 결과에 대한 정보를 지도자의 시범이나 언어, 영상 등과 같은 외재적 자극에 의해서 제시되는 것이다(Schmidt, 1988). 학습을 위한 피드백의 연구는 외재적 피드백의 하나인 결과에 대한 지식(knowledge of result, KR)에 집중되어 왔는데, 결과에 대한 지식이란 환경의 목표를 만족시키는데 있어서, 증가된 반응 후의 구두화 할 수 있는 성공에 대한 정보를 의미한다(Schmidt, 1991; Winstein, 1987). 결과지식은 학습자가 스스로 해야 될 과제를 찾고 자신의 반응에 대해 잘못을 수정하는 정보기능을 습득하게 하여 작업 성적이나 반응의 결과에 대한 지식을 제공함으로써 학습자의 동기를 유발시키며 학습에 대한 스스로의 내적 목표를 갖게 해서 강화를 시켜줄 수 있는 기능도 하게 되는 것이다. 또한 결과지식에 대해 선행된 연구결과로, 운동학습의 효과를 증진시켜주는 점에서 그 중요성이 점점 증대되어 가고 있다.

운동학습에서 피드백은 수행과 학습을 증가시키는데 있어 필수적인 요소이다(Schmidt, 1988). 그러나 지금까지 수행되어진 연구들을 살펴보면 피드백에서 가장 중요하다고 할 수 있는 수행자의 역할이 거의 무시되었다. 이러한 피드백의 단점을 보완하고

자 Janelle 등(1995)은 자기 통제된 수행지식 제시방법을 고안하여 폐쇄기술에 적용해 본 결과 기존의 피드백 시스템에 문제점이 있다는 것을 발견하였다. 또한 피험자들의 요구(피드백의 빈도, 방법, 시기)가 있을 때에 결과지식을 제공함으로써 훈련의 효율성이 증가되었다고 보고하였다. 이렇듯 피험자가 원하는 시기에만 제공되는 자기통제 피드백이라 정의하였다.

그동안 물리치료의 운동 전략을 연구한 실험에서 피드백의 종류와 제공횟수, 제공방법에 따라 점감(faded) 피드백(Wulf 등, 1993), 요약 피드백(Camanhan 등, 1996; Schmidt와 Young, 1992), 평균피드백(Schmidt와 Young, 1992), 수용범위(bandwidth) 피드백(Butler 등, 1996; Lee와 Maraj, 1994), 그리고 빈도 피드백(Winstein, 1991) 등을 적용한 실험은 많았으나 이와 같은 방법들의 피드백은 제시 시기나 빈도 등에만 관심을 가졌을 뿐 운동학습에서 중요하다 할 수 있는 학습자의 능동적 참여를 이끌어 내지 못하였다. 최근 이러한 문제를 해결하기 위하여 학습자의 역할을 중요시하는 자기결정, 자기조절, 자기통제 피드백의 제공방법이 시도되고 있다(Janelle 등, 1997).

다리의 기능적인 운동은 열린 사슬, 닫힌 사슬 운동형상학(open, closed kinematic chain)으로 분류되어진다(Davies 등, 2000). 닫힌 사슬 운동과 열린 사슬 운동은 장단점을 가지고 있으나 근래에는 닫힌 사슬 운동이 권장되어지고 있다. 이는 닫힌 사슬운동이 좀 더 기능적 수행을 위한 과제를 포함하기 때문이다(Palmitier 등, 1991; Prentice, 1994). 그리고 근육의 협응, 관절의 적합성을 증가시켜 관절이 동적 안정성과 자세유지를 제공하며, 기능적 위치에서 점진적인 기계적 압력을 통해 더 많은 고유수용성 감각을 제공할 수 있기 때문이다. Trevor 등(1998)은 닫힌 사슬 운동이 열린 사슬 운동보다 무릎 관절의 재인식에 더 효과가 있다고 하였다.

따라서 본 연구는 무릎 관절에서의 열린 사슬 자

자기통제 결과지식이 무릎 관절의 열린 사슬 자세와 닫힌 사슬 자세의 고유수용성감각의 장·단기적 학습에 미치는 영향

세와 닫힌 사슬 자세에서 자기통제 결과지식으로 인한 운동학습이 고유수용성감각에 미치는 영향과 피드백 차단 후 고유수용성 감각의 학습 지속에 대해 알아보고자 실시하였다.

종아리에 각각 20cm 적용되는 것으로 엉덩 관절과 발목 관절에 영향을 미치지 않도록 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구는 H대학에 재학 중인 20대의 남녀 40명을 대상으로 열린 사슬에서 자기통제 결과지식 집단, 동반집단에 각각 10명씩 무작위로 배치하고, 닫힌 사슬에서 자기통제 결과지식 집단, 동반집단에 각각 10명씩 무작위로 배치하였다. 본 연구를 실행하기에 앞서 실험에 대한 구체적인 정보는 알려주지 않고 참가의사만을 물어본 후 설문으로 모집하였다. 피험자의 선정기준은 하지에 외과적 수술을 받지 않은 자, 신경학적 질환이 없는 자, 정신적으로 건강하고 이 실험을 이해하고 적극적으로 참여하려는 자들을 선정하고 실험 하루 전부터 과도한 운동이나 음주 등을 삼가도록 동의를 얻었다.

2. 실험도구

1) 열린 사슬 자세에서 무릎 관절 고유수용성감각 측정도구

무릎 관절 고유수용성감각에 대한 관절 각도의 인식 차이를 알아보기 위해서 굴곡과 신전 운동을 지속적인 속도로 움직이는 Continuous Passive Motion(CPM, CPM-F08090, Smith & nephew Co., France) 장비를 이용하여 무릎 관절의 굽힘 이동 각도를 측정하였다.

2) 닫힌 사슬 자세에서 무릎 관절 고유수용성감각 측정도구

측각계가 달린 무릎 관절 보조기의 축을 넓다리부의 가쪽위관절용기에 위치시켜, 무릎 관절의 고유수용성감각에 대한 무릎 관절의 굽힘 이동 범위 각도를 측정하였다. 보조기는 무릎 관절에서 넓다리와

3. 실험방법

피험자는 맨발 상태에서 피부 수용기 입력을 최소화하기 위해 반바지를 입게 하였고, 시각적인 정보 차단을 위해서 눈가리개를 사용하였다. 또한 피험자의 측정모습을 다른 피험자들이 보지 못하게 하였다. 그리고 측정과 훈련에 비우세 측 하지를 대상으로 실시하였다. 닫힌 사슬 자세에서의 측정은 기립 자세에서 측각계가 달린 보조기를 이용하였고, 열린 사슬 자세의 측정은 바로 누운 자세에서 CPM을 이용하였다. 측정은 먼저 실험자가 피험자에게 무릎 관절 굽힘 각도 60° 이동을 지시하였고, 피험자가 무릎 관절 굽힘 각도 60°라고 느끼는 부분에서 멈추게 하고 이때 이동한 각도와 60°사이의 절대오차 값을 측정하였다. 피드백 제공은 자기통제 결과지식 집단은 피험자들이 피드백이 필요하다고 요청할 경우 피드백을 제공하였으며, 동반집단은 피험자들의 의지에 상관없이 동반집단과 짝을 이룬 자기통제 결과지식 집단이 피드백을 받는 시점에서 피드백을 제공하였다. 피험자들은 목표각도를 학습하기 위해 5회씩 4세트로 총 20회 수행하였으며, 각 세트 간에는 60초의 휴식시간이 주어졌다. 장·단기적인 운동 학습의 지속 효과를 확인하기 위해 더 이상의 피드백을 제공하지 않고 1시간 후 그리고 48시간 후 추적 검사(follow-up test)를 실시하였다.

4. 분석방법

측정된 자료는 전산 입력 후 윈도용 SPSS version 12.0을 이용하여 통계처리 하였다. 습득단계와 학습 지속 단계 각각에서 네 집단 간의 수행효과를 알아보기 위하여 일요인 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 사후검정은 LSD를 실시하였고, 통계학적 유의성 검증을 위한 유의수준 $\alpha = .05$ 로 하였다.

Table 1. Comparison of subject's characteristic

Group	YKR-OKC (mean±SE)	SCKR-OKC (mean±SE)	YKR-CKC (mean±SE)	c (mean±SE)	p
Age(year)	20.7±0.54	20.2±0.21	20.4±0.74	20.1±0.25	.912
Height(cm)	167.25±6.35	168.92±5.42	165.21±7.23	67.12±8.24	.893
Weight(kg)	62.23±7.24	60.35±9.15	64.24±5.14	63.78±4.15	.761

YKR-OKC : Yoked Knowledge of Result in Open Kinematic Chain
 SCKR-OKC : Self-Controlled Knowledge of Result in Open Kinematic Chain
 YKR-CKC : Yoked Knowledge of Result in Close Kinematic Chain
 SCKR-CKC : Self-Controlled Knowledge of Result in Cpen Kinematic Chain

III. 결 과

1. 연구대상자의 일반적인 특성

열린 사슬 자기통제 결과지식 집단의 평균 나이는 20.2세, 평균 신장은 168.92cm, 평균 체중은 60.35kg이었다. 열린 사슬 동반집단의 평균 나이는

20.7세, 평균 신장은 167.25cm, 평균 체중은 62.23 kg이었다. 닫힌 사슬 자기통제 결과지식 집단의 평균 나이는 20.1세, 평균 신장은 167.12cm, 평균 체중은 63.78kg이었다. 닫힌 사슬 동반집단의 평균 나이는 20.4세, 평균 신장은 165.21cm, 평균 체중은 64.24kg이었다(Table 1).

Table 2. Comparison of absolute error in each group

Group	YKR-OKC (mean±SE)	SCKR-OKC (mean±SE)	YKR-CKC (mean±SE)	SCKR-CKC (mean±SE)	p
During learning	13.15±0.89	9.48±1.10	6.76±0.84	4.80±1.08	.000*
After 1 our	11.79±0.85	11.64±1.07	7.47±0.78	6.33±0.95	.000*
After 48 ours	12.18±0.86	9.73±0.77	8.09±0.78	7.14±1.08	.002*

*p<.05

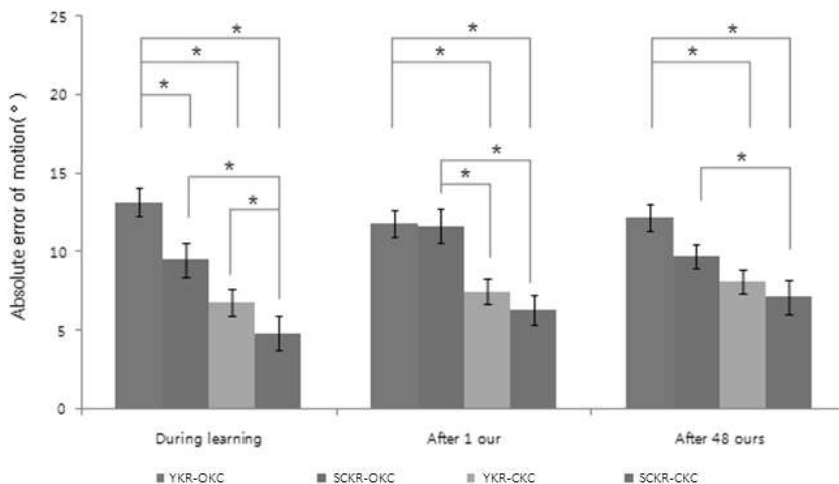


Fig 1. Comparison of absolute error in each group

2. 습득단계에서 집단 간 절대 오차의 비교

습득단계에서 네 집단의 절대오차는 통계학적인 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 사후검정 결과 열린 사슬 동반집단과 열린 사슬 자기통제 결과지식 집단, 닫힌 사슬 동반집단, 닫힌 사슬 자기통제 결과지식 집단 간에 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 또한 열린 사슬 자기통제 결과지식 집단과 닫힌 사슬 자기통제 결과지식 집단 간에 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 하지만 닫힌 사슬 동반집단의 절대 오차는 6.76 ± 0.84 , 닫힌 사슬 자기통제 결과지식 집단의 절대 오차는 4.80 ± 1.08 으로 통계학적인 차이가 있었다($p < .05$). 열린 사슬 자기통제 결과지식 집단과 닫힌 사슬 동반집단 간에 유의한 차이가 없었다($p > .05$) (Table 2)(Fig 1).

3. 1시간, 48시간 후 학습 효과에 따른 절대 오차의 비교

피드백 제공을 중지한 1시간 후, 네 집단의 절대오차 비교에서 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 사후검정 결과 열린 사슬 동반집단과 닫힌 사슬 동반집단, 닫힌 사슬 자기통제 결과지식 집단 간에 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 또한 열린 사슬 자기통제 결과지식 집단과 닫힌 사슬 동반 집단, 닫힌 사슬 자기통제 결과지식 집단 간에 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 하지만 닫힌 사슬 동반집단은 7.47 ± 0.78 이고 닫힌 사슬 자기통제 결과지식 집단 간에($p < .05$). 열린 사슬 자기통제 결과지식 집단과 닫힌 사슬 동반집단 간에 유의한 차이가 없었다($p > .05$).

피드백 제공을 중지한 48시간 후, 네 집단의 절대오차 비교에서 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 사후검정 결과 열린 사슬 동반집단과 닫힌 사슬 동반집단, 닫힌 사슬 자기통제 결과지식 집단 간에 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 또한 열린 사슬 자기통제 결과지식 집단과 닫힌 사슬 자기통제 결과지식 집단 간에 통계적인 유의한 차이가 있었다($p < .05$)(Table 2)(Fig 1).

IV. 고찰

고유수용성감각은 과도한 움직임으로부터 신체를 보호하고 자세를 안정화시키며 관절의 안정성, 근육의 활동성, 신체의 균형능력과 함께 신체의 기능 향상에 필요하다(Voight 등, 1996). Pai 등(1997)은 고유수용성감각이 역동적인 활동 시 관절의 안정성을 유지하는데 중요하며, 손상을 초래할 수 있는 움직임으로부터 관절을 보호하는 역할을 수행하고, 이러한 보호 및 안정화 기전의 손상으로 인하여 관절의 퇴행성 변화가 발생한다고 보고하였다. 또한 무릎 관절의 병변뿐만 아니라 고유수용성감각의 손실과 저하 때문에 보행 변수에서 비정상적인 변화가 관찰된다(Al-Zahrani와 Bakheit, 2002).

재활훈련에서 고유수용성감각의 재교육이 강조되고 있으며 재활 후에 고유수용성감각이나 운동감각이 개선이 된다고 하였다(Granger, 1990). Simmons 등(1998)운동학습방법 중 하나인 자기통제 결과지식을 이용한 4주간의 체중이동 훈련을 통하여 72세 편마비 환자의 균형조절 능력이 향상되었다고 하였다.

본 연구에서는 균형이 아닌 관절 손상 후 재활치료에서 중시되는 고유수용성감각 재교육을 위해 운동학습방법 중 하나인 자기통제 결과지식 피드백을 이용한 열린 사슬과 닫힌 사슬 운동형상학에서 무릎 관절 고유수용성감각 학습을 통해 알아보았다.

본 연구의 실험결과 습득단계 4세트에서 네 집단 간에 유의한 차이를 보였다($p < .05$). 습득단계 1세트에서는 네 집단 간에 절대오차의 차이가 없었으나, 수행횟수를 거듭할수록 무릎 관절의 각도 재현 수행능력의 향상과 함께 절대오차의 유의한 차이를 확인할 수 있었다.

Toole와 Wulf(1999)는 피드백을 통한 훈련의 효율성에 대한 실험에서 수동에 비해 능동적 훈련방식인 자기통제 결과지식이 동반 집단에 비해 효율적인 결과를 나타냈다고 하였다. Chen과 Singer(1992)는 학습자가 자기조절이나 통제 하에서 인지적 행동적 전략을 사용하는 능력은 자기 주도적 그리고 적극적인 피험자가 되게 하여 수행과 학습의 증가를 가져오게 된다고 주장하였다 또한 학습자의 요청에 의하여 주어지는 피드백은 운동이나 인지적

기술에 효과적인 학습전략을 생성한다고 하였다 (Jenelle 등, 1995; Jenelle 등, 1997). Wulf 등(2001)은 스키 시뮬레이터를 통한 운동학습의 효과분석에서 자기통제 결과지식 집단이 동반 결과지식 집단보다 스키 동작의 효율성을 증가시켰다고 보고하였다. 이는 자기통제 피드백을 사용함으로써 피험자들이 훈련에 능동적으로 참여하게 되고 훈련에 대한 인지력이 향상되었기 때문이라고 생각하였다. 본 연구의 사후검정 결과에서도 모든 운동형상학에서 자기통제 결과지식 집단군이 동반집단군에 비해 절대오차가 유의하게 감소한 것으로 보아 피험자에 의해 일방적으로 피드백을 주어지는 경우보다는 자신의 통제 하에서 전략적으로 피드백을 주어지는 것이 효과적인 방법이라 판단된다.

닫힌 사슬 훈련은 열린 사슬 훈련보다 고유수용성감각 및 운동감각 되먹임을 제공한다(Lephart 등, 1997). 또한 외적으로 부과된 무게에 대해 근방추나 관절수용기가 자극을 더 받고 고관절과 발목관절의 감각 수용기에서 수입성 정보들이 무릎 관절에서 통합되어 고유수용성감각을 보다 활성화시킬 수 있다. Hogan(2001)은 기능적인 닫힌 사슬 운동형상학 시 체중부하 자세에서 최대 구심성 입력(maximum afferent input)이 무릎 관절의 각도 제형성 실험에서 좋은 수행 결과가 나왔다고 하였다. 본 연구결과에서도 동반집단군과 자기통제 결과지식 집단군 모두 열린 사슬 운동형상학 보다 닫힌 사슬 운동형상학에서 절대오차가 유의하게 감소하였다. 이와 같은 결과를 보면 닫힌 사슬 운동형상학이 열린 사슬 운동형상학보다 고유수용성감각 인식면에서 더 효과적인 방법이라 판단된다.

열린 사슬 자기통제 결과지식 집단과 닫힌 사슬 동반 집단의 비교에서 습득단계 1세트 보다 절대오차는 감소하였지만 두 집단 간의 유의한 차이는 없었다. 즉, 두 집단 모두 고유수용성감각의 학습을 보였으며 비슷한 학습효과를 보였다고 생각된다.

관절 손상 재활치료 중에 체중지지 자세와 같은 닫힌 사슬 자세를 할 수 없는 상황에서는 자기통제 결과지식 피드백을 이용하면 닫힌 사슬 자세에서 얻을 수 있는 효과가 나타나므로 열린 사슬에서도 고유수용성감각 재교육을 실시 할 수 있다.

자기통제 결과지식이 운동학습에 미치는 영향을 알아보기 위한 단기 파지검사에서 네 집단 간에 절대오차는 유의한 차이가 있었다($p < .05$). 습득단계 4 세트에서 보다 절대오차는 증가하였으나 사후검정 결과, 열린 사슬 운동형상학과 닫힌 사슬 운동형상학에서 절대오차가 자기통제 결과지식 집단군이 유의하게 작았다. 이는 단기 파지검사에서 자기통제 결과지식 집단군이 고유수용성감각 학습에 효과적인 결과를 보였다.

장기 파지검사에서는 닫힌 사슬과 열린 사슬 운동에서 자기 통제 집단과 동반 집단 간에 의미있는 차이를 보였다($p < .05$). 이는 같은 조건에서 닫힌 사슬과 열린 사슬 운동이 장기적인 학습 능력에서도 차이가 난다는 것을 의미한다.

향후 자기통제 결과지식을 이용한 학습에 대한 연구에서는 습득단계에서 학습이 장기적으로도 효과를 보일 수 있도록 습득단계에서의 세트 수를 규정하여야 할 것이다. 이와 더불어 장기 파지검사 시간도 규정하여 장기적 학습의 정의가 내려지는 시간을 명확하게 설정하여야 할 것이다. 또한 학습과 관련된 성취도를 정확히 구분하면서 학습의 기준을 연습 동안의 기억, 일반화 능력 혹은 변화된 환경으로 발전시킨 연구들이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구는 자기통제 결과지식이 운동 학습에 미치는 영향에 대해 알아보기 위하여 실시되었다. 운동형상학에 따라 무릎 관절 고유수용성감각 학습에 미치는 영향을 알아보기 위하여 실시하였다. 연구는 H대학교에 재학 중인 20대 남녀 40명을 대상으로 실시하였다. 자기통제 결과지식의 학습효과를 알아보기 위하여 동반 집단을 설정하여 비교하였으며 무릎 관절 고유수용성감각 학습 효과를 알아보기 위하여 단기 파지검사는 1시간 후, 장기 파지검사는 48시간 후에 파지검사를 실시하였다. 자기통제 결과지식은 정상인의 무릎 관절 고유수용성감각 학습에 효과적인 것으로 나타났다. 습득단계, 단기 파지검사 그리고 장기 파지검사 모두에서 무릎 관절 고유

수용성감각 학습에 효과를 보였다. 빠른 학습과 학습 효과를 장시간 유지하기 위해서는 닫힌 사슬 운동을 자기 통제 하에서 하는 것이 가장 적합한 것으로 생각된다. 관절 손상 환자재활에서 고유수용성감각 재교육이 강조되고 있는데 차후 관절 손상 환자에게 재활을 위한 물리치료에서 운동학습의 하나인 자기통제 결과지식 고려한 고유수용성감각 학습에 대한 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- Altman R, Asch E, Bloch D et al. Development of criteria for the classification and reporting of osteoarthritis. *Arth Rheum.* 1986; 29:1039-49.
- Al-Zahrani KS, Bakheit AM. A study of the gait characteristics of patients with chronic osteoarthritis of the knee. *Disabil Rehabil.* 2002;24(5):275-80.
- Baker V, Bennell K, Stillman B et al. Abnormal knee joint position sense in individuals with patello-femoral pain syndrome. *J Orthopaed Res.* 2002;20:208-14.
- Barrack RL, Skinner HB, Cook SD et al. Effect of articular disease and total knee arthroplasty on knee joint position sense. *J Neurophys.* 1983;50: 684-7.
- Birmingham TB, Kramer JF, Inglis JT et al. Effect aneoprene sleeve on knee joint position sense during sitting open kinetic chain and supine closed kinetic tests. *Am Orth Society for Sports Med.* 1998;26: 562-6.
- Butler M, Reeve T, Fischman M.. Effects of the instructional set in the bandwidth feedback paradigm on motor skill acquisition. *Tes Q Exerc Sport.* 1996;67(3):355-9.
- Camahan H, Vandervoort A, Swanson L. The influence of summary knowledge of results and aging on motor learning. *Tes Q Exerc Sport.* 1996;67(3):280-7.
- Chen D, Singer R. Self-regulation and cognitive strategies in sport participation. *Int Sport Psychol.* 1992;23:277-300.
- Davies GJ, Horch KW. Cappel L et al. The scientific and clinical rationale for the integrated approach to open and closed kinetic chain rehabilitation. *Orthop Phys Ther Clin North Am.* 2002;247:9-16.
- Felson DT, Zhang, Hannan MT et al. The incidence and natural history of knee osteoarthritis in the elderly. *Arth Rheum.* 1995;38:1500-5.
- Granger CV. Health accounting f- unctional assessment of long term patient. In: Kottke FJ, Lehmann JF, eds. *Krusen's Handbook of Physical Medicine and Rehabilitation* (4th ed). Philadelphia, WB saunders. 1990:270-367.
- Heiderscheit BC, Rucinski TJ. Biomechanical and physiologic basis of closed kinetic chain exercise in the upper extremities. *Orthop Phys Ther Clin North Am.* 2000;9:209-1.
- Horn TS, Yark HJ. The effect of weight bearing on knee position sense. *Phys Ther.* 2003;9:479-84.
- Hogan N. The influence of age on weight-bearing joint reposition sense of the knee. *Exp Brain Res.* 2001;136:400-6.
- Janelle CM, Barba D, Frehlich S et al. Maximizing performance effectiveries through videotape replay and a self-controlled learning environment. *Res Q Exerc Sport.* 1997;68:269-79.
- Janelle CM, Kim J, Singer RN. Subject-controlled performance feedback and learning of a closed motor skill. *Perceptual and Motor Skills.* 1995; 81:627-4.
- Jordan J, Luta G, Renner J et al. Knee pain and knee osteoarthritis severity in self-reported task specific disability: the Johnst on Country Osteoarthritis Project. *J Rheumatol.* 1997;24: 1344-9.
- Lee T, Maraj B. Effects of bandwidth goals and bandwidth knowledge of results on motor learning. *Res Q Exerc Sport.* 1994;65(3):244-9.
- Lee HM. Evolution of knee proprio- ception after

- arthroscopic ACL reconstruction using bone-patellar-tendon-bone graft. *J Med Sci.* 1998;18:425-42.
- Lee HM, Liao JJ, Cheng, CK et al. Evaluation of shoulder proprioception following muscle fatigue. *Clin Biomech.* 2003;18:843-7.
- Lephart SM, Woolacott DM, Rozzi SL, et al. Proprioception of the ankle and knee. *Sports Med.* 1998;25: 149-55.
- Pai YC, Rymer WZ, Chang RW et al. Effect of age and osteoarthritis on knee proprioception. *Arthritis Rheum.* 1997;40(12):2260-5.
- Palmitier RA, An KN, Scott SG et al. Kinetic chain exercise in knee rehabilitation. *Sports Med.* 1991; 11(6):402-13.
- Prentice WE. *Closed Kinematic Exercise: Rehabilitation*(2nd ed). techniques in sports medicine. London, Mosby. 1994;98-107.
- Schmidt RA. Motor learning principles for physical therapy. In: Lister M. II *Step Contemporary Management of Motor Control Problems.* Alexandria, Va: Foundation for Physical Therapy Inc. 1991;49-64.
- Schmidt RA. *Motor Control and Learning* (4th ed), Champaign, IL: Human Kinetic Publishers. 2005.
- Schmidt RN. *Motor control and learning: A behavioral emphasis* Champaign: IL: Human Kinetics Publishers. 1988.
- Simmons RW, Smith K, Erez E et al. Balance retraining in a hemiparetic patient using center of gravity feedback: A single-case study. *Percept Mot Skills.* 1998;87:603-9.
- Taylor RA. Knee position error detection in closed and open kinetic chain tasks during concurrent cognitive distraction. *J Sports Phys Ther.* 1998; 23:81-9.
- Voight ML, Hardin JA, Blackburn TA et al. The effects of muscle fatigue on and the relationship of arm dominance to shoulder proprioception. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1996;23:348-52.
- Winstein CJ. Motor learning considerations in stroke rehabilitation. In: Duncan PW, Badke MB, eds. *Stroke Rehabilitation: The Recovery of Motor Control.* Chicago. Year Book Medical Publishers Inc. 1987; 109-34.
- Wulf G, Schmidt RA, Deubel H. Reduced feedback frequency enhances generalized motor program learning but not parameterization learning. *Exp Psychol Learn Mem Cogn.* 1993;19(5):1134-50.
- Wulf G, Clauss A, Shea CH et al. Benefits of self-controlled in dyad practice. *Research Quarterly for Exercise and Sport.* 2001;72(3):299-303.
- Wulf G, Toole T. Physical assistance devices in complex motor skill learning: Benefits of a self-controlled practice schedule. *Res Q Exerc Sport.* 1999;70:265-72.