

## 결과에 대한 지식의 상대적 빈도와 지연간격 유형이 운동학습에 미치는 영향 비교

김대균, 차승규  
연세대학교 보건과학대학 재활학과  
김범규, \*안수경  
서울 중앙병원 물리치료실, \*연세의료원 해부학교실  
김종만  
서남대학교 보건학부 재활학과

### Abstract

### A Study Comparing the Effects of Types of Relative Frequency and Delay Interval of Knowledge of Results on Motor Learning

**Kim Dae-gyun, Cha Seung-kyu, B.H.Sc., R.P.T.**

Dept. of Rehabilitation, College of Health Science, Yonsei University

**Kim Bum-gyu, B.H.Sc., R.P.T. \*An Soo-kyung, B.H.Sc.**

Dept. of Physical Therapy, Seoul Jungang Hospital

\*Dept. of Anatomy, College of Medicine, Yonsei University

**Kim Jong-man, M.P.H, R.P.T., O.T.R.**

Dept. of Rehabilitation, Seonam University

Several studies have evaluated the effects of types of relative frequency and delay interval of knowledge of results(KR) on motor skill learning independently. The purpose of this study was to determine more effective types of KR relative frequency and KR delay interval for motor learning. Forty-six healthy subjects (15 female, 31 male) with no previous experience with this experiment participated. The subjects ranged in age from 20 to 29 years (mean=23.9, SD=0.474). All subjects were assigned to one of four groups: a high-instant group, a high-delay group, a low-instant group, and a low-delay group. During the acquisition phase, subjects practiced movements to a target (400 mm) with either a high (83%) or low (33%) KR relative frequency, and with either an instantaneous or delayed (after 8s) KR. Four groups were evaluated on retention (after 3min and 24hr) and transfer (450 mm) tests. The major findings were as follows: (1) there were no between-group differences in acquisition and short-term retention ( $p>0.05$ ), (2) a low (33%) KR relative frequency during practice was as effective for learning as measured by both long-term retention and transfer tests, compared with high (83%) KR practice conditions ( $p<0.05$ ), (3) delayed (8s) KR enhanced learning as measured by both long-term retention and transfer tests, compared with instantaneous KR practice conditions ( $p<0.05$ ), and (4) there were no interactions between KR relative frequency and KR delay interval during acquisition, retention, and transfer phases. The results suggest that relatively less frequent and delayed KR are more effective types for motor learning than more frequent and instantaneous KR.

**Key Words** : Motor learning; Knowledge of results; Relative frequency; Delay interval.

## I. 서론

### 1. 연구의 배경

운동학습(motor learning)은 반응하는 능력에 있어서, 상대적으로 영구적인 변화로 이끄는 연습이나 경험과 관련된 일련의 과정이다(Schmidt, 1991). 초기의 시각은 학습을 성취도(performance)에 있어서의 변화에 기초가 되는 과정들과 관련된 것으로 여겼다. 따라서 연습 동안의 성취도 변화에 초점이 맞추어졌는데, 이 후 Guthrie(1952), Hull(1943), 그리고 Tolman(1932) 등은 학습과 성취도를 구분해야 한다고 했다. 그들은 초기의 시각에 대해 일부 변수가 연습기간 동안 성취도에 영향을 주었다는 것이 반드시 학습에 영향을 미쳤다는 증거가 되는 것은 아니라고 비판했다. 이러한 학습-성취도 구분 개념은 학습을 연습기간 동안이 아니라 그 보다는 기억(retention) 검사나 전이(transfer) 검사에서 평가해야 한다는 개념으로 이끌었다(Adams와 Reynolds, 1954; Schmidt, 1975; Stelmach, 1969; Schmidt, 1988). Schmidt (1988)는 습득 단계(acquisition phase)와 전이 단계(transfer phase)로 나누어 실험을 설계했다. 습득 단계는 두 가지 실험군을 서로 다르게 처리하는 연습 단계로, 각 조건들 간의 작은 차이도 면밀히 관찰되었다. 그 다음, 학습자들은 전이 단계에서 다양한 종류의 기억 혹은 전이 검사를 받았다. 이 단계에서 변수들의 임시적 효과들을 제거하기 위해 충분한 휴식이 주어지며, 군(group)들은 어떤 임시 효과들도 발생하지 않도록 하기 위해 동일하게 처리되었다.

Schmidt(1991)는 학습에 대한 초기의 시각이 학습의 다양한 기준을 고려하지 않았다고 지적했다. 그는 연습 동안의 효과적인 수행에 덧붙여, 연습으로부터의 성취도 향상이 측정될 수 있는 몇 가지 학습의 기준이 있다고 했다. 그 하나는 연습기간 동안의 성취도인데, 연습기간 동안 성취도를 증가시키는 어떤

변수들은 실제적으로 기억 검사나 전이 검사에서 더 나쁜 성취도를 보였다(Sherwood, 1988; Sparrow와 Summers, 1992; Winstein과 Schmidt, 1990). 따라서 이 기준은 학습을 위해서는 특별히 유용한 기준이 아니다. 연습의 중요한 목표는 학습된 것을 계속 유지하는 능력이며, 기억은 학습의 매우 중요한 기준이다. 이 기준에 의해 더 효과적으로 학습된 군은 기억 검사에서 가장 잘 수행하는 군이다(Winstein 등, 1994; Wulf와 Schmidt, 1989). 실생활에서, 연습된 기술들은 학습의 실질적 목표인 유사한 다른 활동들로 전이 혹은 일반화되어야 한다. 이러한 일반화 능력(generalizability) 역시 학습의 중요한 기준이다(Winstein 등, 1994). 몇몇 새로운 과제로 가장 효과적인 전이를 유발하는 조건은 가장 잘 일반화된 조건이라 할 수 있다. 장기 기억을 강화하는 조건이 반드시 일반화 능력을 강화하는 것은 아니며 그 반대도 마찬가지인데(Wulf와 Schmidt, 1989; Lee, 1983; Schmidt, 1990), 따라서 치료사는 주어진 기술이나 환자의 유형을 위해 가장 중요한 기준에 민감해야 한다. 학습의 다른 하나의 기준으로 변경된 환경(altered context)이 있다. 이 기준은 일반화 능력 기준과 연관된 것으로, 여기서의 목표는 다른 환경에서 같은 기술을 수행할 수 있도록 하는 것이다. 환경 변화는 치료를 위해 중요한 하나의 목표로 보이며, 훈련은 그것을 적용시키기 위해서 조절되어야 할 필요가 있다(Schmidt, 1991; Winstein, 1991).

운동학습(motor learning)에 영향을 미치는 중요한 결정 요소들은 다양하게 연구되어 왔다. 운동기술을 획득하는 방법으로 되먹임의 사용, 훈련의 전이, 정신적 연습, 연습하기 전의 설명, 전체 과제에 참여하기, 연습에 있어서의 다양성과 내용의 다양성 등이 사용되어 왔다. 이 중 되먹임은 두 가지 요소, 즉 내적인 요소와 외적인 요소로 나눌 수 있다(Poole, 1988; Schmidt, 1991; Winstein, 1987). 학습을 위한 되먹임의 연구는 외적 되

먹임의 하나인 결과에 대한 지식(knowledge of result, 이하 KR)에 집중되어 왔는데, 결과에 대한 지식이란 환경의 목표를 만족시키는데 있어서, 증가된, 반응 후의, 구두화할 수 있는 성공에 대한 정보를 의미한다(Schmidt, 1991; Winstein, 1987).

결과에 대한 지식에 대한 최근의 연구는 결과에 대한 지식의 상대적 빈도, 요약 결과에 대한 지식(summary KR), 그리고 결과에 대한 지식 지연(KR delay), 대역폭 결과에 대한 지식(bandwidth KR)과 같은 변수들의 학습 효과와 성취도에 초점이 맞추어졌다(Winstein과 Schmidt, 1990; Wulf와 Schmidt, 1989; Schmidt, 1989; Swinnen 등, 1990). 결과에 대한 지식의 상대적 빈도는 제공되는 결과에 대한 지식의 시도(trial) 백분율을 뜻하고, 요약 결과에 대한 지식은 요약 범위(summary length)라 불리는 시도의 한 조(set) 후에 제공되는 결과에 대한 지식을 의미하며, 결과에 대한 지식 지연은 반응 후 얼마간의 시간 경과 후에 결과에 대한 지식을 제공하는 것을 의미한다.

상대적 빈도에 관한 초기의 Bilodeau와 Bilodeau(1958)의 연구에서, 학습은 결과에 대한 지식의 절대 빈도와는 관계가 있지만 상대적 빈도와는 관계가 없다고 하였다. 이 실험에서는 전이와 기억 검사가 적용되지 않았기 때문에 학습-성취도의 구분이 평가되지 않았으며, 따라서 연습기간 동안의 성취도와는 관련이 있을 수 있으나 운동의 학습에는 적용하기가 힘들다(Salmoni 등, 1984). 이후에 Ho와 Shea(1978)는 결과에 대한 지식이 주어지지 않는 기억 검사와 간단한 운동 과제를 주어 결과에 대한 지식의 상대적 빈도가 운동학습에 있어서 중요한 변수라는 것을 시사했다. 상대적으로 작은 빈도수의 결과에 대한 지식은 습득 단계의 성취도는 저하시켰으나 결과에 대한 지식이 주어지지 않는 기억 검사에서는 효과적이었다. 결과에 대한 지식의 상대적 빈도와 관련된 최근의 연구(Winstein과 Schmidt, 1990)에서, Winstein은 대상자를

두 군으로 나누어 습득 단계에서 50%와 100%의 결과에 대한 지식을 주어 연습하고, 기억 검사를 5분 후와 하루 지나서 실시하였다. 연구 결과, 습득 검사와 단기 기억 검사에서는 유의한 차이가 없었지만, 장기 기억 검사에서는 50% 군이 더 효과적으로 수행하였다. 이상과 같이 결과에 대한 지식이 있을 때가 없을 때보다 학습과 그 성취도에 있어서 더 효과적이었고, 그 중에서도 상대적으로 낮은 빈도의 결과에 대한 지식을 제공하는 것이 높은 빈도로 제공하는 것보다 기억 검사에서 더욱 효과적이었다. 이는 스키마(schema)와 같은 뇌의 기억 구조 형성과 관련이 있는 것으로 Winstein은 설명한다.

유도 가설(guiding hypothesis)은 결과에 대한 지식의 결과들을 설명하기 위해 제안되었다(Salmoni 등, 1984; Schmidt 등, 1989). 본질적으로, 증가된 되먹임은 운동학습에 있어서 유익한 효과와 유해한 효과 모두를 지닌 유도적 특성을 가진 것으로 생각한다. 유익한 효과는 결과에 대한 지식이 오류를 바로잡는데 사용되고, 잠재적 성취도를 향상시키는 것이다. 그러나 오류를 확인하고 줄이는데 있어서 증가된 되먹임은 문제 해결(problem solving)과 같이 학습에 중요한 것으로 알려진 부호화, 저장, 회상 작용을 포함한 결정적인 시도시간-정보처리를 저해하고 가로막는 유해한 것으로 여겨진다(Bjork, 1988; Landauer와 Bjork, 1978; Schmidt, 1991). 따라서, 유도 가설은 상대적으로 작은 빈도의 증가된 되먹임으로 시행하는 훈련 계획이 운동기술 학습에 있어서 증가된 되먹임의 유익한 효과를 극대화하고 유해한 효과를 최소화한다고 제안한다. 나아가, 만일 증가된 되먹임의 유도적 특성이 학습에 중요한 과정들을 방해한다면, 상대적으로 더 유도적인 되먹임은 운동학습에 더 큰 유해 효과를 가질 것이다.

결과에 대한 지식의 지연 간격은 행동이 시도된 다음, 결과에 대한 지식이 주어지기까지의 시간이다(Schmidt, 1990). 이론적으로

이 간격은 운동이 기억되기 전에 정보들을 감소시키므로 운동 기억을 잊게 하기 때문에, 운동 반응과 결과에 대한 지식 사이의 긴 간격은 학습에 있어서 해롭다고 인식되어 왔다. Salmoni 등(1984)에 의하면 증가된 결과에 대한 지식의 지연 간격이 운동학습을 저하시키지 않고 오히려 향상시켰다. Swinnen 등(1990)은 최근의 연구에서 8초의 지연 간격 후와 지연 간격 없이 즉시 100% 결과에 대한 지식을 준 군간의 운동기술 학습 능력을 비교하였다. 이 실험에서, Swinnen 등은 즉각적으로 주어지는 결과에 대한 지식은 뇌가 오류를 감지하는 능력을 발달시키는 중요한 정보 처리 과정을 방해함으로써 학습의 효과를 감소시켰고, 지연 간격을 두고 결과에 대한 지식을 줄 때 학습에 효과가 있었다고 말했다. 따라서, 적당한 결과에 대한 지식의 지연 간격이 상대적으로 더 많은 반응과 과제에 대한 정보들을 처리하도록 한다고 볼 수 있다.

## 2. 연구의 의의 및 목적

물리치료의 목표 중 하나는 환자가 손상 전에 다른 방식으로 완수했던 과제를 다시금 성취하기 위해 새로운 방식으로 손상된 운동계를 사용하는 것을 학습하는 것인데, 이 과정에서 어떻게 치료 기간을 구성하고, 어떤 활동을 어떤 순서로, 그리고 어떤 상대적 분량으로 행할 것인가 하는 문제는 물리치료사가 치료 계획에 있어서 직면하는 문제들이다(Winstein, 1991). 이러한 관점에서 최근 물리치료 영역과 운동학습 영역은 매우 밀접한 관련성이 있는 것으로 인식되기 시작했고, 물리치료에서 효과적인 연습을 구상하는데 운동학습의 개념을 구체적으로 적용하게 되었다(Schmidt, 1991; Winstein, 1991). 본 연구는 이러한 맥락에서 계획되었으며, 물리치료에서 많이 사용되는 증가된 되먹임의 한 종류인 결과에 대한 지식의 제공 방법에 대한 연구를 통해 보다 효과적인 운동학습 조건을

알아보고자 한다.

이전의 되먹임에 대한 연구들은 결과에 대한 지식을 결정하는 여러 가지 변수가 운동 학습에 미치는 독립적인 효과에 대한 것이 대부분이었으며, 결과에 대한 지식의 변수들을 결합한 연구(Winstein, 1994; Swinnen 등, 1990)들은 아직 부족한 실정이다. 물리치료에서 제공되는 결과에 대한 지식의 형태는 위의 여러 변수들을 결합한 총체적인 것이므로, 되먹임의 여러 변수들을 결합했을 때, 각각의 독립적인 효과와 더불어 상호작용에 의한 효과를 연구하여 물리치료에 적용할 수 있는 효과적인 되먹임의 유형을 결정할 필요가 있다. 따라서, 본 연구의 목적은 목표 지점에 정확히 위치하는 학습에 더욱 효과적인 상대적 빈도와 지연 간격의 유형에 대해 알아보고자 하는 것이다.

## 3. 연구의 가설

본 연구의 가설은 (1) 상대적으로 낮은 빈도의 결과에 대한 지식이 제공된 군이 높은 빈도로 제공된 군보다 기억과 전이 단계에서의 운동학습 정도가 높을 것이고, (2) 지연된 결과에 대한 지식이 주어진 군이 수행 즉시 결과에 대한 지식을 제공받은 군보다 기억과 전이 단계에서의 운동학습 정도가 높을 것이며, (3) 상대적으로 낮은 빈도의 지연된 결과에 대한 지식이 주어진 군이 높은 빈도로 수행 즉시 결과에 대한 지식이 제공된 군보다 운동학습 정도가 높을 것이다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상자

본 연구는 연세대학교에 재학 중인 만 20세에서 29세(평균=23.9세)의 성인 남녀 48명을 대상으로 하였다. 이 중 이튿날의 장기 기억 검사와 전이 검사에 불참한 두명의 대상자는 탈락되었다. 46명의 연구대상자 중 남자

는 31명(67.4%), 여자는 15명(41.7%)이었으며, 모든 대상자들은 실험의 특수한 목적에 대하여 훈련이나 검사를 받은 적이 없고, 실험 장치에 대한 사전 경험이 없었다. 대상자들의 연습 조건과 실험 조건은 확률 수표로 무작위화하여 지정하였다.

## 2. 실험설계

실험 설계는 대상자간 요소인 되먹임의 상대적 빈도와 되먹임의 지연 간격 요소로 구성되었다. 본 연구는 대상자간 요소들을 서로 교차하여 연습의 네 가지 조건으로 구성했는데 즉각적으로 제공되는 높은 빈도의 결과에 대한 지식, 지연되어 제공되는 높은 빈도의 결과에 대한 지식, 즉각적으로 제공되는 낮은 빈도의 결과에 대한 지식, 그리고 지연되어 제공되는 낮은 빈도의 결과에 대한 지식이다.

### 가. 습득 단계(acquisition phase)

습득 단계는 총 36번의 시도를 하며, 이는 여섯 번의 시도들의 여섯 블록으로 구성되었다.

1) 높은 빈도의 결과에 대한 지식이 주어지는 조건에서 대상자는 무작위화된 각각의 다른 출발점들로부터 목표 지점을 향해 움직였고, 매 여섯 번 시도의 처음 다섯 번은 움직임이 끝난 뒤 모니터를 통해 결과에 대한 지식을 받고, 매 여섯 번째 시도 후에는 측정 을 위하여 결과에 대한 지식을 받지 않았다.

2) 낮은 빈도의 결과에 대한 지식이 주어지는 조건에서 대상자는 무작위화된 각각의 다른 출발점들로부터 목표 지점을 향해 움직였고, 특별히 증가된 되먹임 시도의 비율은 첫 번째와 두 번째 블록에서는 50%, 세 번째와 네 번째 블록에서는 33%, 그리고 마지막 두 블록에서는 16%로 모니터를 통해서 결과에 대한 지식을 제공받았다.

3) 즉각적인 결과에 대한 지식이 주어지는 조건에서 대상자는 무작위화된 각각의 다른 출발점들로부터 목표 지점으로 움직인 뒤

즉시 모니터를 통해 결과에 대한 지식을 제공받았다.

4) 지연된 결과에 대한 지식이 주어지는 조건에서 대상자는 무작위화된 각각의 다른 출발점들로부터 목표 지점으로 움직인 뒤 8 초 후에 모니터를 통해 결과에 대한 지식을 제공받았다.

### 나. 기억/전이 단계(retention & transfer phase)

기억/전이 단계는 세 가지 검사로 구성되었다.

1) 습득 단계가 끝나고 3분 후에 실시하는 단기 기억 검사.

2) 24시간이 지난 후에 실시하는 장기 기억 검사.

3) 장기 기억력 검사 직후에 실시하는 전이 검사.

전이 검사를 위해서 각각의 시도를 시작할 때 대상자에게 다시 설정된 목표 지점을 보여주었다. 기억 검사와 전이 검사는 결과에 대한 지식을 제공하지 않고 여섯 번을 시도하는 두 블록으로 구성하여 실시하였다.

## 3. 실험장치 및 과제

Dynamic Cart System의 알루미늄 레일을 탁자 위에 고정한 후 레일 위에 수레를 설치하였다. 수레의 윗면에는 손잡이를 수직으로 설치하여 대상자가 잡을 수 있게 하였다. 수레의 왼쪽 옆면에는 삼차원 동작 분석기 ZEBRIS의 초음파 발생기(marker)를 부착했고, 탁자의 왼쪽에 설치된 초음파 감지판(sensor)에서 감지된 움직임 거리(mm)에 대한 정보를 컴퓨터를 통해 모니터에서 볼 수 있도록 하였다. 각기 다른 출발 지점을 위해 폭이 20 mm, 30 mm, 40 mm 되는 나무토막을 준비하였다. 대상자가 자신의 팔의 움직임과 출발점, 목표점을 보는 것을 방지하기 위해 대상자의 목 높이의 수평 가림판을 설치하였다. 시간 측정기(photogate timer)를 출발 지점과

목표 지점에 설치하여 운동 수행 시간을 측정하도록 하였다. 움직임의 준비와 시작, 결과에 대한 지식을 주는 시기 등 실험 통계의 신뢰도를 높이기 위해 전자 키보드로 신호음을 녹음하였고, 실험시 재생하여 실험 환경을 통제하였다. 과제 수행시 대상자는 수레 위의 손잡이를 잡고, -60, -20, 0, 30, 50 mm의 각기 다른 출발점들로부터 400 mm 지점에 위치한 목표점을 향해 재빨리 수평 이동하였다. 전이 검사시의 목표 지점은 450 mm 지점에 위치하도록 하였다. 출발 지점은 각 조건 내에서 무작위화하여 지정되었다. 대상자는 습득 단계에서 결과에 대한 지식의 4가지 조

건 중 한 가지를 확률 수표에 의한 무작위화를 통하여 지정 받았다. 움직임의 시간적 기준은 움직임을 800 ms 내에 마치는 것으로 하였다.

#### 4. 실험절차

실험에 앞서 대상자들은 실험의 목적과 수행에 대해서 녹음된 카세트 테이프를 통해 소개를 받았다. 대상자들은 오른쪽 손으로 수레 위의 손잡이를 잡고 실험 탁자 앞에 앉았다. 실험에 들어가기에 앞서, 각 대상자들은 실험 과정에 친숙해지도록 하였고, 실험에서

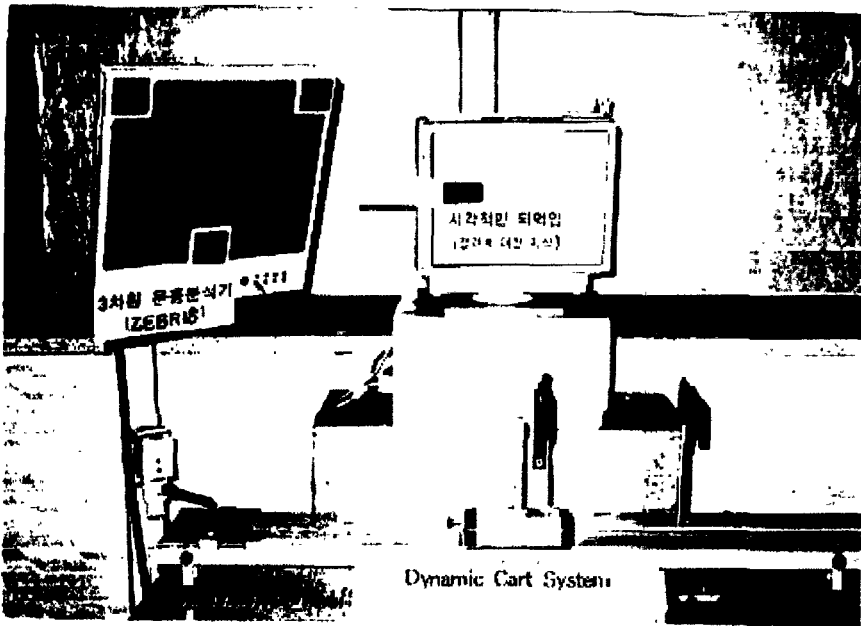


그림1. 실험 기구 및 장치

사용될 연습 목표로 수레를 이동시키는 동작을 여러 번 연습하였다. 모든 대상자들은 실험 시작시, 기억/전이 단계에서는 증가된 피어임 없이 여러 출발 지점에서 한 목표지점

향해 움직여야 한다는 것에 대한 정보를 카세트 테이프를 통해 숙지하였다. 대상자들은 각 시도에서 미리 녹음된 신호음에 따라서 목표 지점으로 움직이는 것을 준비하고 시작

하였다. 본 연구에서는 서로 다른 음조의 신호음으로 움직임의 시작과 준비를 알렸다. 시작 신호음 후에 대상자는 목표 지점으로 움직임을 시작하였고, 움직임의 시간은 시간 측정기로 측정하였는데, 만일 움직임이 800 ms 내에 이루어지지 않았을 경우, 그 시도는 무시하고 다시 시작하도록 하였다. 움직임의 시간은 그 시도가 타당한 것인지를 결정하기 위해 측정되지만, 그 값은 나중에 분석을 위해 기록하지는 않았다. 또한 수레의 움직임이 레일을 벗어난 경우도 그 시도를 무효로 하고 다시 시작하도록 하였다. 움직임을 마친 후, 대상자들은 끝 지점에서 잠시 동안 유지하도록 하였고, 이후에 준비를 알리는 신호음이 들리면 실험자가 대상자의 팔을 수레의 손잡이를 잡은 채로 다음 시도를 준비하기 위해 수레를 새로운 출발점으로 옮겨 놓았다. 시작점은 무작위화하였고, 시도간의 시간 간격은 모든 조건들을 위해 5초 동안 일정하게 유지하였다. 다음 시도의 시작은 녹음된 신호음이 다시 나타날 때였다. 각 블럭간의 휴식 시간은 30초로 모든 군이 카세트 테이프를 통해 동일하게 통제되었다.

## 5. 분석방법

명목 자료로 된 두 개의 독립변수(상대적 빈도와 지연 간격)에 따른 종속변수(오류의 절대값)의 평균의 차이를 검정하기 위해 다원 분산분석을 실시하였다. 상호작용 효과를 포함하여 두 변수의 효과를 알아보기 위해  $2 \times 2$  이요인실험계획(factorial design)으로 설계하고 분석하였다. 습득 단계를 위해서는  $2 \times 2$  ANOVA를 변수 측정값으로 절대오류 값을 사용하여 분석하였다. 이 분석은 6, 12, 18, 24, 30, 36번 째 시도의 값을 취하여 사용하였는데, 그 이유는 이들 시도가 모든 군들에서 결과에 대한 지식이 주어지지 않는 공통의 조건하에서 실시되었기 때문이다. 각각의 단기, 장기 기억 검사와 전이 검사에서는

$2 \times 2$  ANOVA를 두 개의 시도 블럭에 대해 실시하였다. 절대오류 값은 목표 지점 주위의 정확도에 대한 측정값이다. 기억 검사의 두 단계는 단기간의 효과와 장기간의 효과를 구별하기 위해 구분하여 분석하였다. 모든 F-test를 위해서 유의 수준은 0.05로 정하였고, 분석을 위해서 SPSS/PC<sup>+</sup> 통계 프로그램을 사용했다.

## III. 연구결과

### 1. 각 단계별 측정 결과

그림 2에서는 습득, 단기 기억, 장기 기억, 전이 단계에서의 군 별 절대오류(mm)의 블럭 평균을 나타내고 있다. 습득 단계에서는 높은 빈도의 즉각적인 되먹임 군에서만 절대오류의 감소를 보였다. 그리고 대체적으로 높은 빈도의 되먹임 군이 낮은 빈도의 되먹임 군보다 연습의 끝에서 작은 오류의 값을 보였다. 단기 기억 검사에서는 낮은 빈도의 되먹임이 높은 빈도의 되먹임보다 좀 더 작은 오류 값을 보였다. 그리고 장기와 전이 검사에서 결과에 대한 지식의 상대적 빈도에 있어서는 높은 빈도보다는 낮은 빈도가 그리고 지연 간격에 있어서는 수행 즉시 보다는 지연 간격이 있는 군이 더 작은 절대오류 값을 보였다. 따라서 상대적으로 낮은 빈도의 되먹임과 지연 간격이 연습에서는 성취도를 저하시키는 경향이 있지만 기억 검사와 전이 검사에서 측정된 것과 같이 학습을 촉진했다.

### 2. 습득단계

상대적 빈도와 지연 간격의 상호작용이 반응 변수 오류의 절대값에 미치는 요인의 F-값이 0.02이고 p-값이 0.88로, 상호작용에 따른 효과는 인정할 수 없었다. 각 요인의 주효과를 보면 상대적 빈도와 지연 간격의 p-값은 0.28과 0.10으로, 통계적으로 유의하지

않았다(표1).

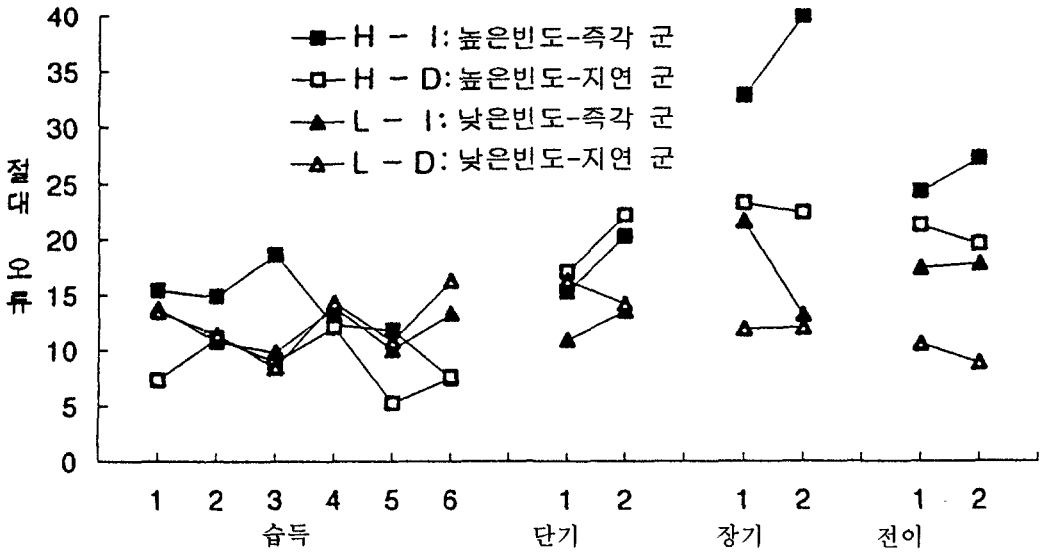


그림2. 습득, 단기기억, 장기기억, 전이 단계의 군 별 절대오류의 블록 평균(단위:mm)

표1. 습득 단계의 측정 결과에 대한 분산분석표

변동요인	평방합	자유도	평방평균	F-값	Prob.
주효과	180.18	2	90.09	2.06	0.14
상대적빈도	53.51	1	53.51	10.22	0.28
지연간격	126.67	1	126.67	2.90	0.10
상호작용	1.06	1	1.06	0.02	0.88
합계	2017.83	45	44.84		

### 3. 단기 기억 검사

단기 기억 검사에서 p-값이 0.43으로 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 없었다. 상대적 빈도와 지연 간격의 주효과(p>0.05)도 모두 통계적으로 유의하지 않았다(표2).

표2. 단기 기억 검사의 측정 결과에 대한 분산분석표

변동요인	평방합	자유도	평방평균	F-값	Prob.
주효과	343.96	2	171.98	1.05	0.36
상대적빈도	141.52	1	141.52	0.86	0.36
지연간격	202.44	1	202.44	1.22	0.27
상호작용	104.61	1	104.61	0.64	0.43
합계	7343.11	45	163.18		



#### 4. 장기 기억 검사

상호작용 효과에 대한 p-값은 0.98로 통계적으로 유의한 상호작용 효과는 없었다. 장

기 기억 검사에서 상대적 빈도와 지연 간격의 주효과 모두  $p < 0.05$ 로 통계적으로 유의했다 (표3)

표3. 장기 기억 검사의 측정 결과에 대한 분산분석표

변동요인	평방합	자유도	평방평균	F-값	Prob.
주효과	2483.84	2	1241.92	6.08	0.01
상대적빈도	1402.77	1	1402.77	6.87	0.01
지연간격	1081.07	1	1081.07	5.30	0.03
상호작용	0.12	1	0.12	0.01	0.98
합계	11057.46	45	245.72		

#### 5. 전이 검사

두 변수간의 상호작용에 대한 p-값은 0.81로써 통계적으로 유의하지 않았다. 따라서 전이 검사에서도 두 변수간의 상호작용은

없는 것으로 간주할 수 있다. 전이 검사에서 변수들의 주효과는  $p < 0.05$ 로 통계적으로 유의했다(표4).

표4. 전이 검사의 측정 결과에 대한 분산분석표

변동요인	평방합	자유도	평방평균	F-값	Prob.
주효과	1150.82	2	525.41	4.83	0.01
상대적빈도	533.60	1	533.60	4.48	0.04
지연간격	617.22	1	617.22	5.18	0.03
상호작용	7.19	1	7.19	0.06	0.81
합계	6159.75	45	136.88		

### IV. 고찰

#### 1. 실험설계에 대한 고찰

본 연구는 결과에 대한 지식의 상대적 빈도와 지연 간격이 목표 지점 선정 학습에 미치는 주 효과와 상호 효과를 알아보기 위해 두 대상자간 요소를 교차하여 반복 측정된  $2 \times 2$  이요인실험계획(factorial design)으로 설계되었다. 반복 측정에 의한 실험 설계

는 학습에 의한 효과(learning effect)와, 이월 효과(carry-over effect), 그리고 피로에 의한 영향이 있는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 반복 측정에 의한 효과들을 최소화하기 위해 출발 지점을 무작위화하여 변화시켰고, 각 시도간에 5초의 간격을 두었으며, 시도들의 블록간에 30초의 휴식 시간을 대상자에 제공했다. 그러나 이러한 방법들이 반복 측정에 의한 효과를 완전히 제거했다고는 볼 수 없기에, 분

석 과정에서 각 조건간의 반복 측정에 의한 주효과와 두 요소와의 상호 효과를 살펴보았어야 했다. 본 연구에서는 통계 처리와 분석의 어려움 때문에, 분석 과정에서 반복 측정에 의한 효과를 고려하지 못했다. 따라서 앞으로의 연구에 있어서는 대상자내 요인인 반복 측정 요소가 반드시 고려되어 반복 측정에 의한 효과는 물론 대상자간 요인과의 상호 작용 효과도 분석되어야 할 것이다.

학습 정도를 평가하는 기준에 대한 여러 연구들(Hagman, 1983; Sherwood, 1988; Sparrow와 Summers, 1992; Winstein과 Schmidt, 1990)에서 연습기간 동안의 성취도는 실제로 학습을 위해서는 특별히 유용한 기준이 아니며, 오히려 학습된 것을 계속 유지하는 능력, 즉 기억과 연습된 기술들을 유사한 다른 활동으로 전이하거나 일반화하는 능력을 보다 중요한 학습의 기준으로 삼고 있다. 본 연구는 학습과 성취도를 구분하기 위해 Schmidt(1988)가 제안한 습득 단계와 기억/전이 단계로 나누어 설계되었다. 그 이유는 일부 연습기간 동안의 변수가 습득 단계의 성취도에 영향을 주었다는 것이 반드시 학습에 영향을 미쳤다는 증거가 될 수 없기 때문이다(Adams와 Reynolds, 1954; Schmidt, 1975; Stelmach, 1969; Schmidt, 1988). 최근, 물리치료 영역의 운동학습과 관련된 연구들은 이러한 운동학습의 최신 개념들을 학습 정도를 평가하는데 적용하고 있지만, 아직도 많은 연구들이 훈련 당시의 성취도나 몇 초 혹은 몇 분 후의 단기 기억만을 학습에 대한 기준으로 삼고 있으며, 학습-성취도 구분에 대한 개념이 혼동되어 있는 실정이다. 따라서 학습과 관련된 물리치료 영역의 연구는 학습에 대한 초기의 시각에서 탈피하여, 학습과 성취도를 정확히 구분하고 학습의 기준을 연습 동안의 성취도에서 기억이나 일반화 능력 혹은 변화된 환경으로 발전시켜야 할 것이다.

## 2. 실험방법에 대한 고찰

본 연구는 결과에 대한 지식의 상대적 빈도에 있어서, Winstein 등(1994)이 그들의 실험에서 사용한 33%와 83%의 상대적 빈도를 채택하여 결과에 대한 지식을 제공했다. Bilodeau와 Bilodeau(1958)는 10%, 25%, 33%, 100% 빈도를 사용했고, Winstein과 Schmidt(1990)는 33%, 100% 조건의 실험과 50%, 100% 조건의 실험을 행했다. Wulf와 Schmidt(1989)는 67%와 100%를, Sparrow와 Summers(1992)는 33%와 100% 조건을 사용했다. 본 연구에서 결과에 대한 지식의 상대적 빈도로 33%와 83%를 사용한 이유는 물리치료와 같은 임상에서 33%와 83% 조건은 10%나 100% 조건에 비해 실제로 많이 적용될 수 있는 빈도이며, 특히 습득 단계에서 각 블럭의 마지막 시도를 되먹임이 제공되지 않는 공통 시도(common trial)로 하여 동일한 조건에서 성취도를 측정하기 위해서였다.

낮은 빈도의 결과에 대한 지식을 제공하는데 있어서, Wulf와 Schmidt(1989), Winstein과 Schmidt(1990), Winstein 등(1994)은 습득 단계에서 상대적으로 낮은 빈도의 결과에 대한 지식을 제공하는 방법으로 감소되는 되먹임 계획을 사용했다. 본 연구에서도 습득 단계에서 33% 군에게 되먹임을 제공할 때, 50%, 33%, 16%로 감소되는 되먹임 (faded feedback) 계획을 사용했다. 그 이유로써, Nicholson과 Schmidt(1990)는 감소되는 되먹임 계획이 높은 빈도의 되먹임이 초래하는 학습자-의존상태와 같은 효과를 감소시킨다고 하였고, 다른 실험에서 50%와 역-50% 감소되는 되먹임을 사용하여 되먹임 제공의 계획 수립이 한 역할을 담당한다고 제안했다.

Dyal(1966), Dyal 등(1965), Swinnen(1987)은 습득 단계에서 움직임의 수행 즉시와 짧은 몇 초의 지연 간격을 두어 결과에 대한 지식을 제공하였고, Swinnen 등(1990)은 결과에 대한 지식을 제공하는 지연 간격을 수행 즉시와 8초 후로 결정하여 실험했다. 본 연구에서

는 Swinnen 등(1990)이 사용한 방법을 채택하여 수행 즉시와 8초 후에 되먹임을 제공했는데, 그 이유는 먼저 기존의 많은 연구들에서 사용되는 보편 타당한 방법으로 가장 효과적인 결과를 얻었던 방법이기 때문이었다.

본 연구에서는 종속 변수로 절대오류(mm)를 사용하였다. 절대오류(absolute error)는 목표 지점으로의 정확도에 대한 측정이고, 절대상수오류(absolute constant error)는 목표 지점 주위의 편위에 대한 측정이며, 절대변수오류(absolute variable error)는 목표 지점 주위의 산포도에 대한 측정이다(Schutz, 1979). Hagman(1983)은 움직임의 정확도를 측정하기 위해 습득 단계와 기억 단계에서 절대오류를 종속 변수로 사용하였다. Sparrow와 Summers(1992)는 절대오류와 절대상수오류, 그리고 절대변수오류 모두를 사용했고, Winstein 등(1994)은 습득 단계에서는 절대오류를 사용하고, 기억 단계와 전이 단계에서는 절대상수오류와 절대변수오류를 종속 변수로 사용했다. 본 연구에서 습득 단계와 기억/전이 단계 모두 절대오류를 종속 변수로 사용한 이유는 결과 분석에 있어서의 어려움과, 학습 성취도를 측정함에 있어서 목표 지점으로의 정확도만을 기준으로 하고자 했던 때문이다. 여기에 본 연구의 제한점이 있는데, 그것은 정확도만이 연습과 학습의 성취도를 평가하는 측정 기준은 될 수 없으며, 각 측정값의 편위와 산포도 또한 매우 중요한 기준임을 고려하지 못한 것이다. 앞으로의 연구에서는 절대오류와 절대상수오류, 그리고 절대변수오류가 모두 고려되고 분석되어야 할 것이다.

Sparrow와 Summers(1992)는 되먹임의 상대적 빈도에 대한 실험에서, 연습과 검사시 출발점을 일정하게 한 경우와 5개의 출발점을 무작위로 변화시켜 좀더 어려운 과제를 부여한 경우의 학습에 대한 효과를 기억 단계에서 비교하였다. 출발점을 일정하게

한 실험에서, 기억 검사에서 군간에 유의한 차이가 나지 않았지만, 출발점을 달리한 실험에서는 유의한 차이를 보였다. Winstein 등(1994)도 되먹임의 유형에 따른 운동학습에 대한 실험에서 여덟 개의 다른 출발 지점에서 목표 지점으로 움직임을 수행하도록 하였다. 본 연구에서는 Sparrow와 Summers가 그들의 실험에서 사용한 5개의 출발점(-60, -20, 0, 30, 50 mm)을 무작위화하여 지정하였는데, 그 이유는 일정한 출발점에서 연습하고 검사할 때에 반복에 의한 학습 효과가 증가하고, 뇌의 오류 발견 능력이 상대적으로 감소하는 것으로 추측되기 때문이다(Adams, 1971).

본 연구에서는 대상자에게 실험에 대한 소개와 실험에 익숙해지도록 하는 사전 연습 과정을 미리 카세트 테이프에 녹음하여 들려줌으로써 대상자가 이를 따라 연습하고 실험 과정을 이해하도록 하였다. 그 이유는 모든 대상자가 실험에 대해 동일하게 노출되도록 하고 같은 조건에서 같은 양의 사전 연습을 행하도록 하여, 사전 노출의 차이에 의한 다른 효과를 제거하기 위해서였다. 또한 본 연구에서는 습득 단계와 기억/전이 단계에서 움직임의 준비와 시작, 그리고 되먹임 제공 간격을 서로 다른 신호음을 녹음해서 들려주어 실험을 통제했다. 그 이유는 구두 지시의 음색과 음조의 변화에 따른 되먹임 효과를 제거하고, 모든 대상자에게 동일한 통제 환경을 제공하여 대상자간 차이를 최대한 줄이기 위함이었다.

본 연구는 장기 기억 검사와 전이 검사를 위해 대상자가 이틀간 내왕해야 했다. 이 과정에서 대상자의 개인적 일정으로 인해 두 명의 탈락자가 생겼으며, 습득 단계로부터 24시간 후에 장기 기억 검사를 하는 것으로 계획했으나 정확히 지켜지지 않았다. 또한, 오전 11시부터 오후 9시까지 실험이 진행됨으로 인해 시간적 환경에 따른 대상자간 주의 집중 정도에 차이가 있었다. 앞으로의 실험에서는 본 연구에서 통제할 수 없었던 위와 같은 사항들을 고려하여 설계되어야 할 것이다.

### 3. 실험결과에 대한 고찰

습득 단계와 단기 기억 검사에서 상대적 빈도에 대한 주효과는 유의하지 않았다( $p > 0.05$ ). Winstein과 Schmidt 등(1990)의 연구에서도 습득 단계에서는 되먹임의 상대적 빈도와 형태가 운동학습의 성취도에 큰 영향을 미치지 않았다. 그들은 그 이유를 매 여섯 번의 시도 중 마지막 시도에서는 오류가 거의 없었기 때문이라고 설명한다. 장기 기억 검사에서 상대적 빈도( $p < 0.05$ )는 유의한 차이가 있었는데, 높은 빈도의 군보다 상대적으로 낮은 빈도의 군에서 오류의 값이 적음을 보였다. 이는 되먹임의 상대적 빈도의 감소는 비록 연습에서의 성취도는 저하시키는 경향이 있지만 기억 검사에서 측정된 것과 같이 학습을 촉진했다. 연습 시 33%의 되먹임 조건은 상대적으로 높은 84% 되먹임 조건보다 되먹임이 없는 기억 검사에서 유리했다. 전이 검사에서도 상대적으로 적은 빈도의 되먹임을 준 군에서 높은 빈도의 군보다 절대오류의 평균값이 작았다.

습득 단계와 단기 기억 검사에서 결과에 대한 지식의 지연 간격은 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다( $p > 0.05$ ). 그러나 장기 기억 검사와 전이 검사에서 지연 간격은 통계적으로 유한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). Schmidt에 의하면 이 지연 간격은 행동이 수행된 후 결과에 대한 지식이 주어지기 전까지의 시간이다. Swinnen 등(1990)은 그들의 연구에서 즉각적으로 주어지는 되먹임은 뇌가 오류를 감지하는 능력을 발달시키는 중요한 정보처리 과정을 방해함으로써 학습의 효과를 감소시키고, 행동이 수행된 후 지연되어 결과에 대한 지식이 주어질 경우 운동학습에 효과가 있었다고 말하였다. 그러므로 운동 수행 후 결과에 대한 지식이 주어질 때 적당한 지연 간격이 더 많은 반응과 과제에 대한 정보들을 처리한다고 볼 수 있다.

습득 단계, 단기, 장기 기억 검사와 전이

검사에서의 상호작용의 효과는 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ). 습득 단계와 단기 기억 검사에서는 주효과에 대한 유의한 차이가 없었지만 학습의 기준이 될 수 있는 장기 기억 검사와 전이 검사에서는 상대적 빈도와 지연 간격의 주효과가 있는 것으로 나왔다. 상호작용의 효과가 없는 것으로 볼 때, 장기 기억과 전이 검사에 있어서 수행의 정확도를 판단하는 절대오류에 차이가 있는 것은 되먹임의 상대적 빈도의 효과와 지연 간격의 효과가 가산되어 나타나기 때문이라고 볼 수 있다. 그 이유는 상대적 빈도의 특성과 지연 간격의 유무가 다른 조합을 이룬다 하여도 상승 효과나 감소 효과(상호작용의 효과)가 없기 때문이다.

Schmidt(1991)는 되먹임이 연습기간 동안 적어도 두 가지 분명한 역할을 하는 것으로 말한다. 첫째는, 긍정적 역할로 연습기간 동안 학습자가 오류를 벗어나서 정확한 반응 패턴으로 안내하는 것이고, 둘째로, 되먹임은 학습에서 몇몇 부정적 역할을 하는 것으로 보이는데, 그것은 기억 검사에서 수행하는 능력을 저하시키는 것이다. 되먹임의 유의한 측면은 수십 년간 인식되어 왔다(Bilodeau, 1958). 확실히, 되먹임은 학습자에게 무엇이 틀렸는지를 말해 주고 다음 번에는 어떻게 움직임을 교정해야 하는지를 가르쳐 주는 지시적 역할과 특히 지루한 과제나 긴 연습에서 정신차리고 동기 부여된 상태를 유지하는 활력을 북돋우는 기능이 있다. 이것은 특히 물리치료에 있어서 중요한 것인데, 그 이유는 되먹임이 연장되고 어려운 연습기간을 더 흥미롭게 만들 수 있고, 환자가 더 열심히 더 오랜 시간 노력하는 결과를 초래할 수 있기 때문이다. 되먹임은 확실히 연습기간 동안의 성취도에 있어서는 효과적이다. 현실적인 난제는 그 효과가 일시적이고 순간적인 것일 수 있으며, 그 결과 연습기간 동안 받은 이익이 기억 검사까지 남아 있지 못할 수도 있다는 것이다. 더 중요하게는, 높은 빈도의 되먹임의 이러한 효과들이 효과

적인 장기 기억 능력에 필수적인 정보처리 활동을 방해하는 부작용을 하나 이상 제공해서 실제적으로 학습 과정을 저해시킬 수 있다는 것이다(Schmidt 등). 따라서 운동학습에 있어서 되먹임의 긍정적인 효과와 부정적인 효과를 잘 고려하여 운동학습을 극대화할 수 있는 환경을 만드는 것을 고려해야 한다.

몇 년 전까지만 해도, 운동학습 영역의 연구는 물리치료와는 완전히 별개의 분야로 여겨졌고, 또 완전히 분리되어 연구가 진행되었다. 그러한 현상은 물리치료에서도 마찬가지였다. 그러나 최근 몇 년간, 두 영역간의 유사성을 인식하게 되면서 많은 교류와 협력이 진행되어 왔다. 본 연구는 이러한 맥락에서 계획되었지만, 연구 대상이 정상인이었던 점과 운동 과제가 물리치료에서 큰 의미를 지니지 못했던 점, 그리고 대상자의 연령층이 20세에서 29세까지의 젊은이들이었던 점 등은 본 연구의 제한점이라 할 수 있겠다. 본 연구에서는 정상인을 대상으로 했을 때, 상대적으로 낮은 빈도로 어느 정도의 지연 간격 후에 제공되는 결과에 대한 지식이 기억과 전이를 기준으로 한 학습에 있어서 높은 빈도로 수행 즉시 제공된 경우보다 더 효과적이었다. 이러한 결과를 물리치료에 적용하기 위해서는 연구 대상을 젊은 정상인이 아닌 물리치료를 받는 다양한 연령의 환자로 설정하여 연구해야 했다. 또한 수행 과제도 단순한 목표 지점으로의 운동이 아니라 치료기간 동안의, 환자가 필요로 하는, 의미있는, 그리고 실생활에 유용한 운동 과제로 선정되었어야 했다. 앞으로의 연구에서는 이와 같은 본 연구의 제한점들을 고려하여, 물리치료에 실질적으로, 그리고 직접적으로 적용 가능한 실험을 계획해야 할 것이다.

## V. 결론

본 연구는 목표 지점에 정확히 위치하는 운동학습에 있어서 더욱 효과적인 결과에 대한 지식의 상대적 빈도와 지연 간격의 유형에 대해 알아보려고 연세 대학교에 재학 중인 만 20세에서 29세(평균=23.9세)의 성인 남녀 48명을 대상으로 하여 실험하였다. 결과는 다음과 같다.

1. 습득 단계에서 상대적 빈도와 지연 간격의 상호작용은 없었다( $p > 0.05$ ). 상대적 빈도와 지연 간격의 주효과 역시, 통계적으로 유의하지 않았다( $p > 0.05$ ).

2. 단기 기억 검사에서도 통계적으로 유의한 상호작용 효과가 없었다( $p > 0.05$ ). 상대적 빈도와 지연 간격의 주효과도 모두 통계적으로 유의한 차이가 없었다( $p > 0.05$ ).

3. 장기 기억 검사에서 통계적으로 유의한 상호작용 효과는 없었다( $p > 0.05$ ). 그러나 상대적 빈도와 지연 간격의 주효과는 통계적으로 유의했다( $p < 0.05$ ). 즉 상대적으로 낮은 빈도의 되먹임 군이 높은 빈도의 되먹임 군보다, 그리고 지연되어 되먹임을 준 군이 수행 즉시 되먹임을 준 군보다 운동학습에 효과가 있었다.

4. 전이 검사에서 역시 두 변수간의 상호작용에 대한 효과는 통계적으로 유의하지 않았다( $p > 0.05$ ). 전이 검사에서 변수들의 주효과는 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p < 0.05$ ). 즉 상대적으로 낮은 빈도의 되먹임 군이 높은 빈도의 되먹임 군보다, 그리고 지연되어 되먹임을 준 군이 수행 즉시 되먹임을 준 군보다 운동학습에 효과가 있었다.

이상과 같은 결과로 볼 때, 운동학습에 있어서 상대적으로 적은 빈도와 약간의 지연 간격 후에 제공되는 결과에 대한 지식이 높은 빈도와 수행 즉시 제공되는 결과에 대한 지식보다 기억과 전이에서 더 유의한 유형의 되먹임이다.

## 인용문헌

- 박동권. 실험계획법. 자유아카데미. 1995:81-178.
- 이동우. 보건 통계학방법. 4판. 신광 출판사. 1992.
- 이충휘, 권혁철. 고급물리치료 I. 현문사. 1995:11-37.
- Adams JA, Reynolds B. Effects of shift in distribution of practice conditions following interpolated rest. *J Exp Psychol.* 1954;47:32-36.
- Adams JA. A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior.* 1971;3:111-149.
- Bilodeau EA, Bilodeau IM. Variable frequency knowledge of results and the learning of a simple skill. *J Exp Psychol.* 1958;55:379-383.
- Bjork RA. Retrieval practice and the maintenance of knowledge. In: Gruneberg MM, Morris PE, Sykes RN, eds. *Practical Aspects of Memory, II.* New York, NY: John Wiley & Sons Inc; 1988:396-401.
- Hagman JD. Presentation- and test- trial effects on acquisition and retention of distance and location. *J Exp Psychol.* 1983;9:334-345.
- Ho L, Shea JB. Effects of relative frequency of knowledge of results on retention of a motor skill. *Percept Mot Skills.* 1978;46:859-866.
- Hull CL. *Principles of Behavior.* New York, NY: Appleton-Century-Crofts; 1943.
- Guthrie ER. *The Psychology of Learning.* New York, NY: Harper & Row, Publishers Inc; 1952.
- Landauer TK, Bjork RA. Optimum rehearsal patterns and name learning. In: Gruneberg MM, Morris PE, Sykes RN, eds. *Practical Aspects of Memory.* San Diego, CA: Academic Press Inc; 1978: 625-632.
- Salmoni AW, Schmidt RA, Walter CB. Knowledge of results and motor learning: Review and critical reappraisal. *Psychol Bull.* 1984;3:355-386.
- Schmidt RA. A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychol Rev (Washington).* 1975;82:225-260.
- Schmidt RA. *Motor Control and Learning: A Behavioral Emphasis.* 2nd ed. Champaign Ill. Human Kinetic: Publishers Inc; 1988.
- Schmidt RA, Young DE, Swinnen SP, Shapiro DC. Summary knowledge of results for skill acquisition: Support for the guidance hypothesis. *J Exp Psychol.* 1989;15:352-359.
- Schmidt RA. Motor learning principles for physical therapy. In: Lister M, ed. *II Step Contemporary Management of Motor Control Problems.* Alexandria, Va: Foundation for Physical Therapy Inc; 1991:49-64.
- Sparrow WA, Summers JJ. Performance on trials without knowledge of results(KR) in reduced relative frequency presentation of KR. *J Mot Behav.* 1992; 24:197-209.
- Stelmach BE. Efficiency of motor learning as a function of intertrial rest. *Research Quarterly.* 1969;40:198-202.
- Swinnen SP, Schmidt RA, Nicholson DE, Shapiro DC. Information feedback for skill acquisition: Instantaneous knowledge of results degrades learning. *J Exp Psychol.* 1990;16:706-716.

- Tolman EC. Purposive Behavior of Animals and Men. New York, NY Century; 1932.
- Umphred DA. Neurological Rehabilitation. 3rd ed. St. Louis, MO: Mosby-Year Book Inc; 1995:86-99.
- Winstein CJ. Motor learning considerations in stroke rehabilitation. In: Duncan PW, Badke MB, eds. Stroke Rehabilitation: The Recovery of Motor Control. Chicago, Ill. Year Book Medical Publishers Inc; 1987:109-134.
- Winstein CJ, Schmidt RA. Reduced frequency of knowledge of results enhances motor skill learning. J Exp Psychol. 1990;16:677-691.
- Winstein CJ. Designing practice for motor learning: Clinical implications. In: Lister M, ed. II Step Contemporary Management of Motor Control Problems. Alexandria, Va: Foundation for Physical Therapy Inc; 1991:65-76.
- Winstein CJ. Knowledge of results and motor learning: Implications for physical therapy. Phys Ther. 1991;71:140-164.
- Winstein CJ, Pohl PS, Lewthwaite R. Effects of physical guidance and knowledge of results on motor learning: Support for the guidance hypothesis. Research Quarterly. 1994;65:316-323.
- Wulf G, Schmidt RA. The learning of generalized motor programs: Reducing the relative frequency of knowledge of results enhances memory. J Exp Psychol. 1989;15:748-757.