

수면 의존성 운동 학습에 대한 고찰

이명희* · 이상열* · 박민철* · 배성수**

대구대학교 대학원* · 대구대학교 재활과학대학 물리치료학과**

A Review of Sleep-Dependent Motor Learning

Myoung-Hee Lee, PT, MS*, Min-Chull Park, PT, MS*,
Sang-Yeol Lee, PT, MS*, Sung-Soo Bae, PT, PhD**

*Major in Physical Therapy, Graduate School of Daegu University**

*Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Daegu University***

<Abstract>

Purpose : The objective of this study was to determine efficacy of sleep-dependent motor learning.

Methods : This is a literature study with books and internet. We searched the PubMed, Science Direct, KISS and DBpia. Key words were Sleep-dependent, motor learning, RAM and LTP.

Results : Procedural memory, like declarative memory, undergoes a slow, time-dependent period of consolidation. A process has recently been described wherein performance on some procedural task improves with the mere passage of time and has been termed "enhancement". Some studies have reported that the consolidation/enhancement of perceptual and motor skill is dependent on sleep. Specially, rapid-eye-movement(REM) sleep seems to benefit procedural aspects of memory.

Conclusion : Motor learning is very important for CNS injury patients. And also distribution of practice sessions is important because REM sleep is to benefit procedural aspects of memory consolidation.

Key Words : Sleep, Memory, Consolidation, RAM.

교신저자 : 이상열(e-mail: sjsih486@hanmail.net)

논문접수일: 2008년 6월 15일 / 수정접수일: 2008년 7월 15일 / 게재승인일: 2008년 9월 10일

I. 서론

운동학습은 어떤 움직임을 단독으로 하거나 순차적으로 할 때, 반복된 연습을 통해 이루어지고 환경과의 상호교류도 중요한 요소가 된다(Willingham, 1998). 또, 인간은 이러한 과정을 통해 얻은 숙련된 움직임으로 일상생활을 영위해 간다고 해도 과언이 아니다. 따라서 운동학습과 일상생활과의 관계는 밀접하다 할 수 있고, 기능이 완전하지 않은 환자들의 경우 이는 곧 삶의 질과도 연관된다(Hashimoto 등, 2007; Hagsten 등; 2006; Hsieh 등, 2002; Waehrens와 Fisher; 2007). 뿐만 아니라 학습에 관한 연구결과들은 교육학, 심리학, 발달학, 체육학을 비롯한 많은 학문분야의 기초 지식으로 활용되기 때문에 각 분야와 관련된 광범위한 연구들이 진행되어 왔으며(윤기운, 2006; Wulf, 2002), 특히 뇌손상으로 인지 또는 운동기능에 장애가 있어 일상생활에 불편을 겪는 환자들을 재교육하는 물리치료학에서 학습에 관한 연구들은 필수적이라 할 수 있고 많은 연구들이 이미 운동학습에 대한 언급을 하고 있다.

운동학습에 관한 연구들에서는 연속반응시간 과제(serial reaction time task), 추적과제(tracking task), 양손과제(bimanual task) 등의 다양한 과제들을 제시하고 있는데, 이러한 과제들을 학습하는 방법에 따른 효과에 많은 관심이 집중된다. 예를 들면, 과제 수행 시 시각, 청각과 같은 신호의 제시(배성수 등, 2004; Chuma 등; 2006), 또는 되먹임의 제시(Magill, 2003; Schmidt, 2005), 정신훈련(Stevens와 Stoykov, 2003; Braun 등, 2006), 구획학습과 무선학습(박지원 등, 2007), 집중학습과 분산학습(Simmons, 2007) 등이 그러한 학습방법에 포함된다. 이 중 특히 근래에 분산학습에 대한 관심이 높아지고 있으며, 이들은 분산연습이 집중연습보다 학습에 더 좋은 영향을 미친다는 결과를 보여주고 있다. 그런데 분산연습에 관한 많은 연구에서는 연습구간과 구간 사이의 휴식시간에 수면을 취한다는 공통점을 볼 수 있으며 이것은 종종 기억과 관련되어 설명된다.

따라서 본 연구에서는 운동학습의 여러 방법 중 최근 대두되고 있는 수면 의존성 학습에 대해 고찰하여 고유수용성 신경근 촉진법 등을 이용하여 운

동학습이 필요한 뇌손상 환자를 치료하는 프로그램을 만들 때 좀 더 과학적으로 접근할 수 있는 근거를 제시하고자 한다.

II. 기억과 학습

A. 기억의 개요

학습은 외부환경에서 오는 많은 정보들을 반복된 연습과 환경과의 상호 교류를 통해 효과적으로 수행하는 과정이고(Willingham, 1998) 이는 기억을 바탕으로 이루어진다. 또 기억은 지식을 정보의 특성에 따라 그에 해당하는 뇌의 영역에 입력(encording)하여 저장(restoration)하고, 특정한 상황이나 필요에 따라 이를 회상(recall)하는 신경계의 처리과정을 말한다(Kandel 등, 2000). 현재 fMRI, PET, EEG 등의 신경학적인 이미지를 볼 수 있는 방법을 이용하여 연구한 결과들은 상당한 이론적 근거를 보여주고 있으며, 이들로부터 얻은 자료를 바탕으로 운동학습이 일어나는 동안 수행능력의 향상을 뒷받침할 수 있는 신경학적 기전들을 설명하는 것이 가능해졌다.

기억은 가장 흔히 서술기억(declarative memory)과 비서술기억(nondeclarative memory)으로 나눈다. 서술기억은 “무엇”으로 설명할 수 있는, 사실에 기인한 정보를 기억하는 것이다. 이는 다시 의미기억(semantic memory)과 일화기억(episodic memory)으로 나눌 수 있다. 의미기억은 사회에서 통용되는 일반적인 지식이고, 일화기억은 개인의 경험에 대한 기억인데, 이들 모두에는 해마(hippocampus)와 내측 측두엽(medial temporal lobe)이 관여한다(Eichenbaum, 2000). 반대로 비서술기억은 무의식적인 것으로 “어떻게”와 관련하여 기억하는 것이다. 이것은 절차기억(procedural memory)을 포함하는데 이는 동작이나 기술의 학습, 습관 등이 포함된다. 비서술기억은 서술기억과는 다르게 내측 측두엽에 덜 의존적이다.

기억은 여러 단계를 거친다. 처음에 목적을 달성하거나 동작을 수행하면서 기억이 형성되고, 뒤이어 뇌에서 이와 관련된 재조직이 일어난다. 원하는 것을 획득한 후에 일어나는 재조직 또한 몇 개의 단계를 거친다. 기억의 다음 단계를 “강화(consolidation)”라 하는데 기억강화라는 용어로 흔히 표현한다. 최

근 연구결과에 따르면 강화는 기억을 안정화(stabilization)할 뿐만 아니라 증가(enhancement)시키기도 하는데 이들은 두 개의 다른 기전을 가지고 있다(Walker, 2004). 안정화 단계는 각성동안에 일어나고, 증가 단계는 수면 동안에 일어난다는 것이다(Gais 등, 2008; Korman 등, 2007; Shea 등, 2000; Sheth 등, 2008; Walker 등, 2002; Walker 등, 2005a; Walker 등, 2005b).

B. 단기 기억의 형성

사람들이 새로운 운동기술을 처음 배울 때, 일반적으로 과제 하나하나를 확인하면서 수행하며 느린 속도로 또 많은 실수를 하면서 수행하게 된다. 그리고 많은 반복을 통해 연습하면서 수행능력을 향상한다. 이 때 동작을 수행하는 이들은 그들의 운동감각, 시각 또는 청각적인 피드백을 이용하여 동작을 평가하고 수정하는 과정을 거치기도 한다. 연습을 통해 얻어진 동작은 전형적으로 더 빠르고 더 정확하며, 더 효율적인 것으로 특징 지워 진다.

단기 적은 횟수의 연습으로 몇 분 안에 발생할 수 있는 “빠른 학습(fast-learning)”은 뇌구조에 변화를 일으키기에 그 시간이 너무 짧다. 빠른 학습 동안에 변화한 행동의 양상은 시냅스로 유리된 신경전달물질인 글루타메이트(glutamate)가 직접적인 원인으로 단순히 시냅스의 “tagging”으로 설명할 수 있고(Kandel 등, 2000), 빠른 학습이 일어난 이후 시간이 지나서야 뇌에 구조적인 변화가 일어난다(Walker, 2005b).

운동 기술을 연습할 때, 초기에는 소뇌, 기저핵, 운동피질이 참여한다(Ashe 등, 2006, Doyon 등 2002, Lehericy 등, 2005). 그러나 연습이 계속되면 시상과 같은 다른 부위에서도 참여하게 된다(Grafton 등, 1992). 어떤 연구에서는 연습을 계속하게 되면 일반적으로 피질-소뇌 네트워크에서 피질-선조 네트워크로 뇌에서 변화가 일어난다고 설명하였다(Doyon과 Benali, 2005; Doyon 등, 2002; Peigneux 등, 2006). 또한 연습을 하면 활성화되는 영역의 크기에서도 변화가 일어나게 된다(Karni 등, 1995; Classen 등, 1998).

C. 장기 기억의 형성

어떤 새로운 경험들은 몇 시간에서 며칠 동안 세

포의 구조와 기능에서 장기적인 변화를 일으킨다(Kandel 등, 2000; Weinberger, 1999). 이러한 신경학적 과정은 기술을 획득하는 동안 자극에 대한 직접적인 반응으로 시작되지만, 연습 뒤 자극이 없을 때에도 계속된다(Peigneux 등, 2006).

연습을 통해 일어난 행동의 변화는 신경원에서 단계적인 화학적 반응의 결과이다. 신경원에서 받은 자극은 DNA가 특수한 단백질을 생산하도록 신호를 보내어 새로운 단백질을 합성하게 되고 이들 단백질은 화학적으로 그리고 구조적으로 일어난 변화를 유지하고 조절하여 신경원의 구조와 기능을 변화시킨다. 이러한 변화는 과거에 있었던 자극에 대해 신경원이 더 효율적으로 반응할 수 있도록 해준다(Weinberger, 1999). 이와 같은 현상을 LTP(long term potentiation)이라하는데 LTP는 쉽게 말해서 신경원에 반복적인 자극을 주는 경우 신경연접의 반응강도가 오랜 시간 증가하는 것이라 할 수 있다. 이러한 LTP의 중요한 요소 중의 하나는 글루타메이트인데 Ca²⁺로 인해 시냅스 전 세포의 말단에 있는 소포(vesicle)에서 방출된다. 방출된 글루타메이트는 시냅스 후 세포에 있는 α-amino-3-hydroxy-5-methylisoxazole-4-propionic acid(AMPA) 수용체와 N-methyl-D-aspartate(NMDA) 수용체에 모두 결합 한다 (Groc 등, 2004). 그러나 안정막전위에서는 Mg²⁺가 AMPA 수용체를 불활성화시켜 평소에는 주로 AMPA 수용체를 통해 연접 후 전위가 발생한다. 하지만 고빈도 자극을 주었을 때 시냅스 후 세포가 탈분극하면 NMDA의 Mg²⁺가 떨어지고 수용기는 활성화되며 이 통로를 통해 Ca²⁺이 유입된다. 유입된 Ca²⁺은 AMPA 수용체의 기능이나 위치를 변화시키고 특히 고빈도 자극은 수용체의 수를 증가시킨다(Takao 등, 2005). 증가된 수용기는 더 많은 자극을 받아들이고 이러한 지속적인 과정인 LTP는 학습과 기억의 신경정보 처리과정에 깊은 관여를 한다.

LTP와 반대되는 개념으로 LTD(long term depression)를 들 수 있는데 이것도 학습된 행동을 위한 신경 연접 네트워크를 함께 조절한다고 생각된다(Waller, 2005).

신경학적인 강화가 내잠적인 과제를 학습할 때 발생한다는 증거가 조금씩 나타나고 있는데, 여러 연구에서 반복적 경두개 자기자극(repeated transc

ranial magnetic stimulation, rTMS)과 뇌직류자극(transcranial direct current stimulation, tDCS)을 이용하였다. 운동피질에 반복적인 경두개 자기자극을 적용했을 때 이는 신경원의 흥분성을 변화시켰고 이러한 변화들은 몇 시간 동안 관찰되었다. 또 연속반응과제의 내잠학습이 이루어지는 동안 인간의 일차 운동피질에 경두개 자기자극을 적용하면 과제수행 능력이 더 증진되었다는 연구가 보고되기도 했다(Nitsche 등, 2003). 이 과제에 참여한 사람들의 반응시간은 더 빨라졌고, 무작위 방법으로 훈련한 통제집단보다 더 잘 학습되었다.

D. 기억강화

기억은 명확히 구분되는 몇 단계를 거쳐, 길고 복잡한 과정을 통해 발달된다(그림 1). 기억의 초기 입력은 빠르게 진행되지만, 장기간 기억을 유지하기 위해서는 몇 시간에서 몇 년간 계속 수정되는 과정이 필요하고 이것은 곧 기억강화와 관련된다. 새로운 동작의 연습 후에 일어나는 뇌에서의 변화는 새로운 기억들을 안정화시키고 다른 자극에 의한 방해에도 크게 영향을 받지 않도록 하며(Walker 등,

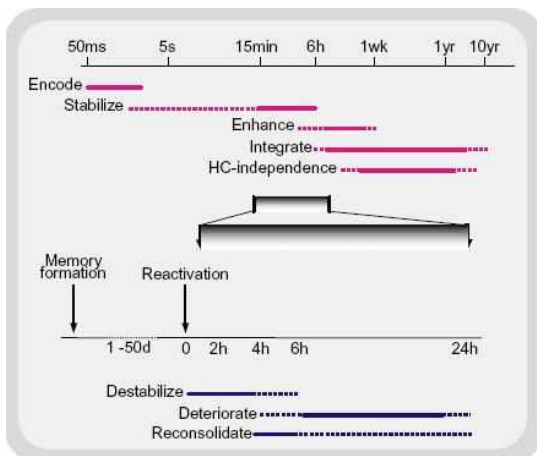


그림 1. Time course of memory processes. (Top) Memory formation and consolidation - after the initial rapid encoding of a sensory experience, the neural representation of the memory can go through a number of automatic processes, independent of rehearsal, intent, or awareness. (Bottom) Memory reactivation and reconsolidation - after stabilization is complete, reactivation of a memory can lead to its return to an unstable form. (Reproduced with permission from Stickgold, 2005).

2003), 동작을 더 효과적으로 일어나도록 하고 더욱 큰 연합된 네트워크로 기억을 통합하게 한다. 또한 이후에 일어나는 과정은 해마의 참여없이도 일화기억의 회상을 가능하게 한다. 기억재강화는 안정화가 완전히 일어난 뒤에 일어난다. 그리고 만약 이러한 재강화가 차단되었을 때, 기억퇴화가 이후에 일어날 수도 있다(Stickgold, 2005).

또한 강화는 기억을 증진시키기도 하는데 더 이상 연습을 하지 않았는데도 불구하고 수행능력은 향상된다는 것이 그 증거이다(Walker 등, 2003). 이것은 안정화를 하는 과정과는 또 다른 것이다. 두 가지 연구 결과가 그 이유를 뒷받침하는데, 첫째는 운동 순서 학습 과제를 증진하는데 걸리는 강화과정은 이전에 일어난 안정화 기간보다 최대 10배까지 계속된다는 것이고(Walker 등, 2003), 둘째는 이러한 과제 학습의 안정화는 깨어있는 6시간동안 발생하지만 증진은 오직 수면 동안에만 일어난다는 것이다(Stickgold, 2000).

최근 기억은 강화가 덜 된 단계이기 때문에 손상 받을 가능성이 크다. 그리고 기억강화는 시간이 지날수록 해마에서 신피질로 단계적으로 전이된다. 그러므로 더 오래전에 기억된 사실은 해마를 제거하여도 영향을 덜 받게 된다(McClland 등, 1995). 이러한 사실은 동물 실험에서도 입증되었는데 해마를 제거하였을 경우 최근의 기억이 단절되고, 학습을 하고 해마를 제거한 시간의 간격이 길수록 더 잘 기억을 하였다(Zola-Morgan과 Squire, 1990).

사람에게서 같은 증거를 찾아볼 수가 있는데 이는 분산 연습으로 얻을 수 있는 효과로 설명이 가능하다. 많은 연구에서 한 구간에 같은 형태의 연습을 많이 수행하는 것(집중학습)보다 이틀 혹은 그 이상에 걸쳐서 여러 구간을 통해 연습하는 것(분산학습)이 더 효과적이라고 밝히고 있다(정민혜 등, 2007; Dail과 Christina, 2004; Donovan과 Radosevich, 1999; Shea 등, 2001). 이러한 현상을 볼 때, 동작 수행의 향상은 구간 안에서 일어나는 것이 아니라 구간 사이의 휴식 기간에 일어나는 것이라 할 수 있고, 여러 연구자들은 휴식을 취하는 기간에 뇌에서 신경생리적인 변화가 일어나며 이러한 변화가 숙련된 운동수행을 가능하게 한다고 설명하였다(Dail과 Christina, 2004; Shea 등, 2001; Sheworkis, 2003).

III. 수면 의존성 학습

A. 인간의 정상적인 수면형태

수면은 환경으로부터 인지적으로 이탈되어 있는, 활동하는 상태와 반대되는 개념이며 이는 환경에 대한 무반응으로 정의할 수 있다. 수면은 두 가지 형태로 나뉘는데, 이는 비렘(Non-REM, Non Rapid Eye Movement) 수면과 렘(REM, Rapid Eye Movement) 수면이다.

하루 밤의 수면을 취하는 동안에 이러한 비렘수면과 렘수면은 일정한 주기를 가지는데 이를 비렘-렘 수면 주기라 하고 하루 밤에 4-5회 반복된다. 또한 한 번의 평균 수면 주기는 90~100분 정도이다(그림 2). 비렘수면은 뇌파 자료를 근거로 다시 4단계로 나뉘는데, “수면방추”, K-복합체, 고주파수의 느린파형과 같은 특징적인 파형을 가지고 있다. 비렘수면의 4단계는 대략 수면의 깊이와 관련이 있는데, 1단계가 각성에 대해 가장 낮은 역치를 가지고 있고 4단계가 가장 높은 역치를 가지고 있다(Carskadon 등, 2005).

렘수면은 잠을 자고 있는 상태이지만 뇌파는 각성 상태와 비슷하다. 이 단계에서 꿈을 꾸면 뇌가 매우 활동적인 상태가 되고 잠을 깨면 대부분 꿈을 생생하게 기억한다(Middelkoop 등, 1996). 또한 근육긴장도는 없어지지만 안구의 빠른 움직임이 나타나기 때문에 렘수면이라 한다. 호흡은 빠르고 불규칙하며 심박수 역시 불규칙해 진다. EEG

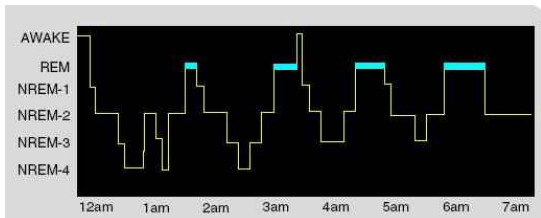


그림 2. The human sleep cycle—across the night, NREM and REM sleep cycle every 90 min in an ultradian manner, while the ratio of NREM to REM sleep shifts. During the first half of the night, stages 3 and 4 NREM(SWS) dominate, while stage 2 NREM and REM sleep prevail in the latter half of the night. EEG patterns also differ significantly between sleep stages, with electrical oscillations such as K complexes and sleep spindles occurring during stage 2 NREM, slow (0.5 - 4Hz) delta waves developing in SWS, and theta waves seen during REM.

(electroencephalogram) 상에서 쉼타리듬이 우세하며 교에서 뇌파의 침파(PGO파, ponto-geniculo-occipital waves)가 나타나 외측 슬상핵과 시각 피질로 이동된다. 렘수면의 특징이라 할 수 있는 근긴장도의 소실은 교뇌망상체의 활동으로 인한 것이고 망상척수로를 통해 γ -운동신경원에 영향을 준다. 또 시각피질에 혈류가 증가한 연구결과를 볼 때 렘수면은 멈추어 있는 상태가 아니라 활동적인 과정이라 할 수 있다(Kalia, 2006).

이와 같은 수면 단계 동안 뇌에서는 신경화학적 변화가 일어난다. 비렘수면 시, 뇌줄기와 전뇌에서 피질하 콜린계 시스템이 깨어 있을 때와 비교해서 두드러지게 덜 활성화 되고(Lydic과 Baghdoyan, 1988), 솔기핵에서의 세로토닌과 청반신경원에서의 노어아드레날린의 발화 비율 역시 감소한다(Shima 등, 1986). 렘수면 동안에는 아민계가 강하게 억제되고, 콜린계는 깨어있을 때와 비슷하거나 더 활성화된다(Marrosu 등, 1995).

과거에 수면의 목적은 휴식을 취함으로써 대사활동을 감소시키는 것이라 생각했었다. 그리고 실제로는 대사활동을 하고 있지만 뇌파의 파형은 집중할 때와 유사한 모습을 보이고 있다.

B. 수면-의존성 기억과정

훈련 후 수면-각성 단계에는 어떤 변화가 일어난다. Smith와 Rose가 실시한 설치류 실험에서는, 모리스 수중미로에서 훈련한 쥐의 경우 발판이 보이지 않는 환경에서 훈련한 그룹과 발판이 보이는 환경에서 훈련한 그룹 모두에서 훈련 후 렘수면이 증가한 것으로 관찰되었다(Smith와 Rose, 1996). 또한 이들은 훈련을 끝낸 두 그룹 모두에서 렘수면을 박탈한 뒤 같은 수행을 하게 한 결과, 보이지 않는 발판을 사용한 그룹의 경우 그 수행시간이 유의하게 증가하는 것을 관찰하였으며 발판을 볼 수 있는 환경에서 훈련한 그룹은 수면을 박탈해도 수행시간에서의 차이를 보이지 않았다. 두 가지 조건의 학습 방법은 다른 신경기전을 보인다. 발판이 보이지 않는 그룹은 해마-의존적인 학습을 하였고, 발판이 보이는 그룹은 해마에 독립적이고 선조에서 많은 관여를 하였다(Packard와 Mcgaugh, 1992). 이상에서 살펴본 것과 같이, 훈련 후 렘수면이 증가한 것과 훈련 후 해마-의존성 기억 과제에서 렘수면

박탈에 대한 민감성을 종합해 보면 램수면이 해마 기능의 중요한 조절자임을 알 수 있다.

장기기억에 관한 분자적 기전을 살펴보면 단백질 합성, 단백질 키나아제 A (protein kinase A: PKA) 가 아주 중요하게 훈련 후 단백질 합성이나 PKA의 억제제를 주사한 경우와 램수면 박탈은 비슷한 결과를 보인다(Graves 등, 2001). 이는 수면 박탈이 단백질합성을 포함하는 특수한 분자경로를 억제하는 작용을 하는 것으로 보이며 수면은 기억 강화 동안에 새로운 유전인자의 발현을 유도하는 경로를 촉진한다고 볼 수 있다.

램수면 동안에 해마에서 아세틸콜린(Acetylcholine)이 현저하게 증가하고, 이러한 사실은 램수면이 해마기능을 조절한다는 것을 증명한다(Marrosu 등, 1995). 아세틸콜린은 크게 니코틴 수용체(nicotinic receptor)와 무스카린 수용체(Muskarin receptor)의 두 가지 수용체에 작용한다. 이 중, 무스카린 신호기전은 기억에 특히 중요하다. 스코폴라민(scopolamine)과 같은 무스카린 길항제(muscarinic antagonist)를 훈련 후 즉시 그리고 일정시간이 지난 뒤 투여했을 때, 맥락 공포 조건화 현상이 손상되었기 때문이다(Rudy, 1996).

또한 모리스 수중 훈련 후 램수면을 박탈한 쥐에서 아세틸콜린이 감소하고 공간기억 역시 떨어진 결과를 봤을 때, 콜린성 신호기전이 수면박탈 후 이러한 과정을 조절한다고 볼 수 있다.

각성주기 동안 해마에서의 증가된 콜린성 활성은 해마에 정보를 입력하고 저장하는 것을 촉진한다. 반면에 비램수면 동안 최소한의 콜린성 활성은 해마에서 신피질로 기억을 이동시킨다(Marshall과 Born, 2007). 대조적으로 서술기억의 강화는 니코틴 길항제나 무스카린 길항제를 주입하여 콜린성 활성을 차단한 후에 각성 상태에 있는 사람에게서 증가된다(Rasch 등, 2006).

램수면 동안에, 해마에서 콜린성 물질들은 증가하고 세로토닌성 물질들은 감소하는데 이러한 물질들에 대한 민감성은 해마 의존적인 장기기억 강화에 영향을 준다. 또한 PKA의 활성(Abel 등, 1997)과 NMDA 수용기 역시 해마에서 일어나는 장기기억 과정에 중요한 영향을 미치는데, 특히 NMDA 수용기는 Ca^{2+} 에 의해 활성화되는 아데닐 싸이클라제(adenyl cyclase, AC)를 통해 PKA에 영향을

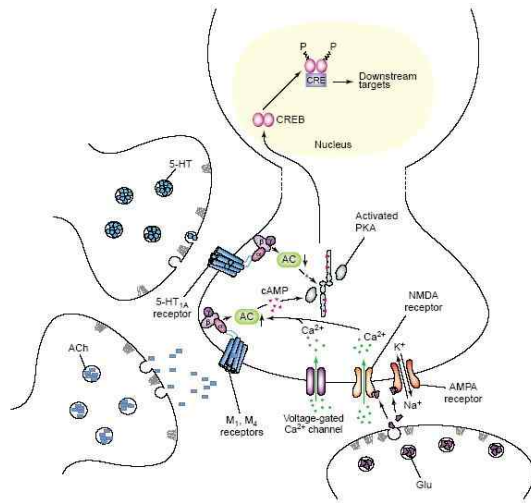


그림 3. A possible molecular model for the influence of REM sleep on the protein kinase A signaling pathway and hippocampus-dependent long-term memory.

줄 수 있다. 무스카린 수용기는 M1, M4와 같은 어떤 하위 형태가 AC를 자극하여 기억과정에 영향을 주고, 5-HT_{1A}세로토닌 수용기는 많은 AC 활성화에 부적으로 연결된다. 그러나 램수면 동안에 해마에서 5-HT가 감소하므로 AC 활성의 세로토닌성 억제 는 오히려 줄어들게 되며 이는 결과적으로 AC 활성을 증가시켜 기억을 강화하는데 참여하게 된다고 볼 수 있다(그림 3).

C. 수면-의존성 학습에 관한 연구들

연습을 통해 얻어진 새로운 기억이 깨어있는 시간동안 안정되었다 하더라도, 기억 강화의 과정은 강화와 관련된 증가의 과정에서 수면동안에 계속된다. 연습 후 밤에 수면을 취하는 동안 더 많은 기억이 뇌에서 다듬어지고 이는 수면동안에 숙련된 수행을 할 수 있는 결과를 가져다준다(Cohen 등, 2005; Korman 등, 2003; Stickgold 등, 2000; Walker 등, 2003). 뿐만 아니라 낮잠과 학습과의 관계에 대해 보고에서는 90분 정도의 낮잠 후에 운동 수행 능력이 향상되었다고 하였다(Korman, 2007; Mednick 등, 2003). 이들은 같은 기간 동안 깨어있는 군에 비교해 수행능력이 향상된 것을 보아 수면기간 동안 기억강화와 관련된 특별한 과정이 일어난다고 하였다. 그 외에도 많은 연구들에서

연습을 하고난 뒤 수면 전보다 수면 후에 더 빠르고 더 정확하게 동작을 수행하는 것을 발견할 수 있었다(Dorfberger 등, 2007; Kuriyama 등, 2004; Walker 등, 2002).

fMRI를 이용한 최근 연구들은 운동학습 후에 수면을 취했을 때, 뇌에서 수면 의존성 신경생리적인 변화가 나타난다는 것을 확인했다. Fischer 등(2005)은 훈련 동안의 운동 수행 시 나타나는 뇌활성도와 훈련이 끝난 후 검사 시 나타나는 뇌활성도 그리고 수면 후 검사 시 뇌활성도가 다르다고 보고하였다. 수면 후에 나타나는 뇌활성도에 차이가 있다는 것은 운동 과제에 대한 해부학적인 재조직화 뿐만 아니라 다른 부위로 기억이 전이되었다는 것을 의미한다(Fischer 등, 2005; Walker 등, 2005). Fischer 등(2005)은 손가락대립 연속 두드리기 과제를 이용해 운동학습을 하였는데 훈련 후 수면을 취한 대상자들에서 전전두영역, 일차운동영역, 전운동영역의 뇌활성도가 감소한 것을 확인하였다. 반면에 훈련 후 첫날 수면을 취하지 못한 대상자들은 훈련기간과 파지 시 뇌활성도에 변화가 없었고 둘째 날 수면을 취했음에도 불구하고 역시 변화가 없었다. 이러한 변화는 수행정확도에서도 볼 수 있었다. 이들은 이런 결과를 토대로 훈련 후 바로 이어진 수면기간 동안에 뇌가 적절한 수행을 위해 불필요한 정보들을 제거하고 따라서 줄어든 뇌활성 영역으로 재조직화 되어 더욱 효율적인 숙련된 움직임 하게 된다고 주장하고 있다.

Donovan과 Radosevich(1999)는 63개의 연구를 분석 하였는데 분산학습의 정도가 학습을 강화한다고 보고하였다. 특히 매우 복잡한 과제를 수행할 때 보다 조금 더 쉬운 과제를 수행할 때 이런 경향이 더 강하다고 하였으나 그 후, Shea 등(2000)과 Dail과 Christina(2004)의 연구에서 이들이 4단계로 분류한 과제의 난이도 중 어려운 과제에 속하는 균형 과제에서도 분산학습이 더 효과적이라고 밝혔고 Simmons와 Duke(2006)의 연구에 따르면 피아노를 치는 복잡하고 높은 집중력을 요구하는 어려운 과제를 수행했을 때도 분산된 연습이 수행력을 향상시켰다고 하였다.

반면에 Dail과 Christina(2004), Donovan과 Radosevich(1999), 그리고 Shea 등(2001)의 연구들은 하루 밤을 지나는 휴식기간을 제시하여 그 효

과에서 차이를 검정하였는데, 이는 수면과 관련이 있다고 주장하고 있다.

IV. 결 론

학습은 적절한 결과를 얻기 위해 여러 분야에서 연구되고 있다. 특히 뇌손상을 가진 환자들에게 효과적인 재교육을 하기 위해서는 물리치료분야에서도 필수적이라 할 수 있으며 효율적인 학습을 하기 위해서 물리치료사는 환자들에게 여러 가지 방법의 연습을 하도록 하는데 그 방법과 효과가 매우 다양해 적절한 연습방법을 선택하기란 여간 어려운 일 이 아니다.

학습과 기억은 뇌의 구조와 기능의 변화 즉 재조직의 과정을 거쳐 일어난다. 그리고 수면 의존성 학습과 기억강화는 이러한 과정을 조절하며 수면 동안에 일어나는 재조직의 많은 예들이 현재 보고되고 있다.

환자들의 기능 증진을 위해 연습의 형태는 매우 중요하다 할 수 있으며, 수면 의존성 학습에 관한 연구는 재교육을 위한 프로그램을 계획할 때 좋은 자료가 될 수 있을 것이라 생각된다.

참 고 문 헌

박지원, 권용현, 이미영. 운동학습 시 무선연습과 구획연습에 따른 뇌 활성화 차이 연구. 한국스포츠리서치. 8(5):469-480, 2007.

배성수, 최인수, 김상수. 고유수용성 신경근 촉진법의 치료접근 전략. 고유수용성신경근촉진법. 2(1): 49-57, (2004).

윤기운. 암묵 운동학습에 관한 연구동향 분석. 코칭 능력개발지. 8(4):15-29, 2006

홍승봉, 주은연. 정상 수면(normal sleep)과 수면장애 환자의 진찰. 1(1): 2004.

Abel T, Nguyen PV, Barad M, Deuel TA, Kandel ER, Bourtschouladze R. Genetic demonstration of a role for PKA in the late phase of LTP and in hippocampus-based long-term memory. Cell. 7:88(5):615-26, 1997.

Ashe J, Lungu OV, Basford AT, Lu X. Cortical control of motor sequences. Curr

- Opin Neurobiol. 16(2):213–21, 2006.
- Braun SM, Beurskens AJ, Schack T, Wade DT. The effects of mental practice in stroke rehabilitation: a systemic review. *Arch Phys Med Rehabil*, 87(6): 842–852, 2006.
- Carskadon MA, Dement WC. Normal human sleep: an review. In: Kryger MH, Roth T, Dement WC, editors. *Principles and practice of sleep medicine*. Philadelphia: Elsevier; 13–23, 2005.
- Chuma T, Faruque Reza M, Ikoma K, Mano Y. Motor learning of hands with auditory cue in patients with Parkinson's disease. *J Neural Transm*, 113:175–185. 2006.
- Classen J, Liepert J, Wise SP, Hallett M, Cohen LG. Rapid plasticity of human cortical movement representation induced by practice. *J Neurophysiol*. 79(2):1117–23, 1998.
- Cohen DA, Pascual-Leone A, Press DZ, Robertson EM. Off-line learning of motor-skill memory: A double dissociation of goal and movement. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 102(50):18237–18241. 2005.
- Dail TK, Christina RW. Distribution of practice and metacognition in learning and long-term retention of a discrete motor task. *Res Q Exerc Sport*. 75(2):148–55. 2004.
- Donovan JJ, Radosevich DJ. A Meta-Analytic Review of the Distribution of Practice Effect: Now You See It, Now You Don't. *Journal of applied psychology*. 84(5):795–805. 1999.
- Dorfberger S, Adi-Japha E, Karni A. Reduced susceptibility to interference in the consolidation of motor memory before adolescence. *PLoS ONE*, 2(2):e240. 2007.
- Doyon J, Benali H. Reorganization and plasticity in the adult brain during learning of motor skills. *Curr Opin Neurobiol*. 15(2):161–7. 2005.
- Doyon J, Song AW, Karni A, Lalonde F, Adams MM, Ungerleider LG. Experience-dependent changes in cerebellar contributions to motor sequence learning. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 22:99(2):1017–22. 2002.
- Eichenbaum H. A cortical-hippocampal system for declarative memory. *Nat Rev Neurosci*. 1(1):41–50. 2000.
- Fischer S, Nitschke MF, Melchert UH, Erdmann C, Born J. Motor memory consolidation in sleep shapes more effective neuronal representations. *Journal of Neuroscience*, 25(49):11248–11255. 2005.
- Gais S, Koster S, Sprenger A, Bethke J, Heide W, Kimmig H. Sleep is required for improving reaction times after training on a procedural visuo-motor task. *Neurobiology of Learning and Memory*, In Press. 2005.
- Grafton ST, Mazziotta JC, Presty S, Friston KJ, Frackowiak RS, Phelps ME. Functional anatomy of human procedural learning determined with regional cerebral blood flow and PET. *J Neurosci*. 12(7):2542–8. 1992.
- Graves L, Pack A, Abel T. Sleep and memory: a molecular perspective. *Trends Neurosci*. 24(4):237–43. 2001.
- Hashimoto K, Higuchi K, Nakayama Y, Abo M. Ability for basic movement as an early predictor of functioning related to activities of daily living in stroke patients. *Neurorehabil Neural Repair*. 21(4):353–367. 2007.
- Hagsten B, Svensson O, Gardulf A. Health-related quality of life and self-reported ability concerning ADL and IADL after hip fracture: 2006.
- Hsieh C L, Sheu CF, Hsueh IP, Wang CH. Trunk control as an early predictor of comprehensive activities of daily living function in stroke patients. *Stroke*, 33(11):

- 2626–2630. 2002.
- Kalia M. Neurobiology of sleep. *Metabolism*. 55(10 Suppl 2):S2–6. 2006.
- Kandel ER et al. *Principles of Neural Science*(4th edn). McGraw–Hill. 2000.
- Karni A, Tanne D, Rubenstein BS, Askenasy JJ, Sagi D. Dependence on REM sleep of overnight improvement of a perceptual skill. *Science*. 29;265(5172):679–82. 1994.
- Korman M, Doyon J, Doljansky J, Carrier J, Dagan Y, Karnil A. Daytime sleep condenses the time course of motor memory consolidation. *Nature Neuroscience*, 1(9), 1206–1213. 2007.
- Korman M, Raz N, Flash T, Karni A. Multiple shifts in the representation of a motor sequence during the acquisition of skilled performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(21): 12492 - 12497. 2003.
- Kuriyama K, Stickgold R, Walker MP. Sleep-dependent learning and motor-skill complexity. *Learning & Memory*, 11(6):705–713. 2004.
- Lehéricy S, Benali H, Van de Moortele PF, Péligrini-Issac M, Waechter T, Ugurbil K, Doyon J. Distinct basal ganglia territories are engaged in early and advanced motor sequence learning. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 30;102(35) :12566–71. 2005.
- Lydic R, Biebuyck JF. Sleep neurobiology: relevance for mechanistic studies of anaesthesia. *Br J Anaesth*. 72(5):506–8. 1994.
- Marshall L, Born J. The contribution of sleep to hippocampus-dependent memory consolidation. *Trends Cogn Sci*. 11(10):442–50. 2007.
- Marrosu F, Portas C, Mascia MS, Casu MA, Fà M, Giagheddu M, Imperato A, Gessa GL. Microdialysis measurement of cortical and hippocampal acetylcholine release during sleep-wake cycle in freely moving cats. *Brain Res*. 13;671(2):329–32. 1995.
- Mednick, S., Nakayama, K., Stickgold, R. Sleep-dependent learning: A nap is as good as a night. *Nature Neuroscience*, 6(7), 697–698. 2003.
- Middelkoop HA, Smilde-van den Doel DA, Neven AK, Kamphuisen HA, Springer CP. Subjective sleep characteristics of 1,485 males and females aged 50–93: effects of sex and age, and factors related to self-evaluated quality of sleep. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*. 51(3):M108–15. 1996.
- Nitsche MA, Schauenburg A, Lang N, Liebetanz D, Exner C, Paulus W, Tergau F. Facilitation of implicit motor learning by weak transcranial direct current stimulation of the primary motor cortex in the human. *J Cogn Neurosci*. 15;15(4):619–26. 2003.
- Packard MG, McGaugh JL. Double dissociation of fornix and caudate nucleus lesions on acquisition of two water maze tasks: further evidence for multiple memory systems. *Behav Neurosci*. 106(3):439–46. 1992.
- Peigneux P, Orban P, Balteau E, Degueldre C, Luxen A, Laureys S, Maquet P. Offline persistence of memory-related cerebral activity during active wakefulness. *PLoS Biol*. 4(4):e100. 2006.
- Rasch BH, Born J, Gais S. Combined blockade of cholinergic receptors shifts the brain from stimulus encoding to memory consolidation. *J Cogn Neurosci*. 18(5):793–802. 2006.
- Rudy JW. Scopolamine administered before and after training impairs both contextual and auditory-cue fear conditioning. *Neurobiol Learn Mem*. 65(1):73–81. 1996.
- Shea CH, Wright DL, Wulf G, Whitacre C. Physical and observational practice afford unique learning opportunities. *J Mot Behav*. 32(1):27–36. 2000.
- Sheth BR, Janvelyan D, Khan M. Practice makes imperfect: restorative effects of sleep

- on motor learning. *PLoS ONE*. 2;3(9):e3190. 2008.
- Shima K, Nakahama H, Yamamoto M. Firing properties of two types of nucleus raphe dorsalis neurons during the sleep-waking cycle and their responses to sensory stimuli. *Brain Res*. 10;399(2):317-26. 1986.
- Simmons AL. Effect of Practice Variability and Distribution of Practice on Musicians' Performance of a Procedural Skill. Unpublished Doctoral Dissertation, University of Texas at Austin. USA. 2007.
- Simmons AL, Duke RA. Effects of Sleep on Performance of a Keyboard Melody. *Journal of Research in Music Education*, 54, 257-269, 2006.
- Smith C, Rose GM. Posttraining paradoxical sleep in rats is increased after spatial learning in the Morris water maze. *Behav. Neurosci*. 111, 1197 - 1204. 1997.
- Smith C, Rose GM. Evidence for a paradoxical sleep window for place learning in the Morris water maze. *Physiol Behav*. 59(1):93-7. 1996.
- Smith CT, Conway JM, Rose GM. Brief paradoxical sleep deprivation impairs reference, but not working, memory in the radial arm maze task. *Neurobiol Learn Mem*. 69(2):211-7. 1998.
- Stevens JA, Stoykov MEP. Using Motor Imagery in the Rehabilitation of Hemiparesis. *Arch Phys Med Rehabil*, 84(7):1090-1092. 2003.
- Stickgold R. Sleep-dependent memory consolidation. *Nature*. 437:1272-8. 2005.
- Stickgold R, James L, Hobson JA. Visual discrimination learning requires sleep after training. *Nature Neuroscience*, 3(12):1237-1238. 2000.
- Waehrens EE, Fisher AG. Improving quality of ADL performance after rehabilitation among people with acquired brain injury. *Scand J Occup Ther*, 14(4):250-257. 2007.
- Walker MP, Stickgold R, Alsop D, Gaab N, Schlaug G. Sleep-dependent motor memory plasticity in the human brain. *Neuroscience*, 133:911-917. 2005a.
- Walker MP. A refined model of sleep and the time course of memory formation. *Behavioral and Brain Sciences*, 28(01):51-64. 2005b.
- Walker MP. Issues surrounding sleep-dependent memory consolidation and plasticity. *Cell Mol Life Sci*. 61(24):3009-15. 2004.
- Walker M, Brakefield T, Hobson JA, Stickgold R. Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation. *Nature*, 425(6958): 616-620. 2003.
- Walker MP, Brakefield T, Morgan A, Hobson JA, Stickgold R. Practice with sleep makes perfect: Sleep-dependent motor skill learning. *Neuron*, 35, 205-211. 2002.
- Weinberger DR. Cell biology of the hippocampal formation in schizophrenia. *Biol Psychiatry*. 15;45(4):395-402. 1999.
- Wulf G, McConnel N, Gartner M, Schwarz A. Enhancing the Learning of Sport Skills Through External-Focus Feedback. *Journal of motor behavior*. 34(2):171-182. 2002
- Willingham DB. A neuropsychological theory of motor skill learning. *Psychol Rev*, 105, 558-584. 1998.
- Zola-Morgan SM, Squire LR. The primate hippocampal formation: evidence for a time-limited role in memory storage. *Science*. 12;250(4978):288-90. 1990.