

연속 반응시간 과제를 이용한 내재적 운동학습의 특성 연구

박지원, 홍철표

삼성서울병원 임상의학연구소

김종만

서남대학교 보건학부 물리치료학과

하현근

삼성서울병원 재활의학과 물리치료실

김연희

성균관의대 삼성서울병원 재활의학교실

Abstract

The Study of Implicit Motor Learning Using a Serial Reaction Time Task

Park Ji-won, Ph.D., P.T., Hong Chul-Pyo, B.H.Sc.

Dept. of Physical Medicine and Rehabilitation, Samsung Medical Center & Center for Clinical Medicine

Kim Jong-man, Ph.D., P.T.

Dept. of Physical Therapy, Division of Health, Seonam University

Ha Hyun-geun, B.H.Sc., P.T.

Dept. of Physical Medicine and Rehabilitation, Samsung Medical Center

Kim Yun-hee, Ph.D., M.D.

Dept. of Physical Medicine and Rehabilitation, Samsung Medical Center & Center for Clinical Medicine

Sungkyunkwan University School of Medicine

Motor skill learning can be acquired implicitly without consciousness of what is being learned. The purpose of this study was to examine the characteristics of implicit motor learning in young and elderly people using a perceptual-motor task. Forty normal young and elderly subjects participated. A modified version of the Serial Reaction Time Task (SRTT) using six blocks of twelve perceptual motor sequences was administered. The paradigm consisted of the first random sequence block followed by the four patterned blocks and another random block. In each block, the go signal consisted of an asterisk displayed in the one of the four parallel arrayed boxes in the middle of the screen. Subjects were instructed to push the corresponding response buttons as quickly as possible. Young subjects demonstrated shorter reaction times during the consecutive patterned blocks reflecting appropriate learning accomplished. Elderly subjects were able to learn a perceptual-motor task with implicit knowledge, but the performance was lower than that of the young persons. These results indicated that implicit sequence learning is still preserved in elderly adults, but the rate of learning is slower.

본 연구는 과학기술부에서 시행하는 21세기 프론티어 사업(M103KV010014-03K2201-0143)의 연구비 지원을 받았음.

통신저자: 김연희 yunkim@smc.samsung.co.kr

Key Words: Implicit motor learning; Perceptual-motor task; Response time; Serial reaction time task.

I. 서론

운동기술(motor skill)은 학습이 되었는지를 의식적으로 인식하지 않고서도 내재적으로 학습될 수 있으며 운동학습(motor learning)은 재활치료의 한 부분으로서 기술의 증진을 위하여 사용되고 있다. 이 과정에는 지각기술(perceptual skill)과 운동기술의 정제를 필요로 하며 이를 흔히 “지각-운동성 기술(perceptual-motor skill)”로 표현하고 있다(Pohl 등, 2001). 기술의 습득에는 인지처리기술 또한 중요한 역할을 한다(Newell, 1991). 지각-운동성 학습에서 인지과정이 중요하게 차지하는 부분은 학습자의 이해력과 학습자에게 제공되는 정보의 활용방법이다(Magill, 1998). 따라서 학습자에게 정보를 제공해 주는 방법인 외재적 학습방법과 전혀 정보를 제공하지 않는 내재적 학습방법 등이 사용되어 왔으며 특히 내재적 학습방법은 무엇이 학습되고 있는지 또는 학습되었는지를 전혀 의식하지 못한 채 추상적 정보를 활용하여 학습해 나가는 과정으로 운동기술의 자동화 또는 습관화에 중요한 역할을 한다(Green과 Shanks, 1993; Leonard, 1998).

기억 기능의 감소는 노인인구에서 주요 문제점들 중 하나로 여겨지고 있으며 그 결과는 학습의 어려움으로 모든 노인들에서 어느 정도 발견되고 있다(Daselaar 등, 2003). 지난 수십 년 동안 병변과 행동에 관한 연구를 살펴보면 기억은 하나의 구조가 아닌 여러 뇌 영역들의 서로 다른 부분들에 의하여 이루어진다는 증거들을 제시하여 왔다(Squire, 1986). 전형적으로 노화와 관련된 기억체계의 손상은 묘사적 기억(declarative memory) 정보를 활용하는데 어려움이 있는 것으로, 이러한 형태의 기억은 삽화적이며 사실적인 정보를 의식적으로 또는 의도적으로 기억해 내는 것으로 내측 측두엽이 주로 담당하는 것으로 알려져 왔다(Hebbs 등, 1985; Milner, 1972). 하지만 노화의 영향은 다른 학습의 형태인 절차적 기억(procedural memory)에도 비록 심각한 정도는 아니지만 어느 정도 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Raz 등, 2000; Wright과 Payne, 1985).

절차적 기억은 기술의 습득과 습관과 관련이 있으며 묘사적 기억과는 반대로 절차적 기억에 저장되어 있는 정보를 내재적이며 무의식적인 방법으로 끌어내는 운동

기술 습득의 한 부분으로, 지나친 정신집중 없이 자동적으로 수행되어 질 수 있는 학습된 행동 또는 습관으로 알려져 있다(Daselaar 등, 2003; Leonard, 1998; Squire, 1986). 최근의 연구들은 절차적 기억 정보를 활용한 운동기술의 습득에서 기저핵과 소뇌의 역할이 중요함을 보고하고 있으며(Laforce와 Doyon, 2002; Vakil 등, 2000), 노화가 진행되면서 이들 영역이 줄어든다는 보고도 있다(Gunning-Dixon 등, 1998; Matochik 등, 2000; Raz 등, 2001).

내재적 학습을 연구하기 위하여 가장 흔히 사용되어 온 패러다임 중의 하나가 Nissen과 Bullemer(1987)에 의해 개발된 연속 반응시간 과제(serial reaction time task, SRTT)이며, 이 과제에는 자극에 대해 반응하기 위하여 필요한 지각과 운동학습의 정보가 잘 반영되어 있다. 이 과제를 활용한 연구들을 살펴보면 뇌질환과 내재적 운동학습과의 관련성을 보고한 여러 연구들에서는 파킨슨병과 헌팅턴병과 같은 퇴행성 기저핵질환을 가진 환자들에서 내재적 학습이 손상 받아 있음을 보고하였고(Doyon 등, 1997; Jackson 등, 1995; Knopman과 Nissen, 1991; Pascual-Leone 등, 1993), 혈관성 소뇌질환 환자에서도 내재적 학습의 손상이 보고되었다(Gomez-Beldarrain 등, 1998; Molinari 등, 1997). 또한 내재적 운동학습에서 감각운동 영역과 보완운동 영역의 관련성이 병변 연구(lesion study)와 기능적 뇌 영상 연구(functional imaging study)를 통하여 밝혀져 왔다(Ackermann 등, 1996; Gomez Beldarrain 등, 1999; Grafton 등, 1998; Hazeltine 등, 1997). 따라서 이러한 최근의 연구들에서는 뇌 질환에 의한 내재적 운동학습의 손상 또는 내재적 운동학습에 관여하는 뇌 영역을 규명하기 위하여 SRTT를 연구의 특성에 맞게 수정하여 사용해 오고 있다.

노화가 진행되면서 내재적 운동학습에 관여하는 영역들에서 위축이 발생한다는 증거가 나와 있음에도 불구하고(Gunning-Dixon 등, 1998; Matochik 등, 2000; Raz 등, 2001) 운동학습에 노화가 미치는 영향이나 또는 이와 관련된 주제를 다룬 보고들은 드문 실정이다. Daselaar 등(2003)은 운동순서의 습득에서 젊은층과 노년층을 비교한 결과 노년층에서도 운동순서의 학습이 일어났지만 젊은 층에 비하여 학습의 정도나 능력에서

저하되고 다만 운동순서의 학습을 위해 노화와 관련된 기능적 재조직은 발생하지 않았다고 보고하였다. 하지만 이들이 사용한 SRTT 패러다임은 블록의 구성이 “무작위-순서-무작위-순서-무작위-순서-무작위” 형태로 되어 있고 기존의 연구자들이 사용해온 블록의 연속에 의한 순서적 학습의 특성을 밝힌 것이 아닌 전체 무작위 블록과 전체 순서 블록의 평균 반응시간만을 단순 비교하였기 때문에 내재적 운동학습의 특성을 충분히 반영하였다고 보기는 어려울 것이다. 따라서 본 연구에서는 내재적 운동학습의 특성을 잘 이끌어 낼 수 있도록 기존 연구들에서 활용되어 온 SRTT 패러다임을 바탕으로 연속되는 4번의 순서 블록과 첫 번째와 마지막을 무작위 블록으로 구성하였으며 이를 활용하여 젊은 층과 노년층에서의 내재적 운동학습의 특성을 연구하고자 하였다.

II. 연구방법

1. 연구대상

실험에는 본 연구의 특성을 이해하고 실험 참여에 동의한 건강한 정상성인 40명이 참여하였으며 특히 노년군의 피험자 모두 과거력에서 신경학적인 질환이나 정신질환 등의 특이할 만한 의학적 소견으로 병원 치료를 받지 않은 대상자들로 하였다(표 1).

2. 실험방법

피험자는 눈높이에 위치한 컴퓨터 화면을 마주 보고 앉은 상태에서 1에서 4까지의 숫자가 부착된 네 개의 버튼으로 구성된 반응 패드에 손을 올려놓도록 하였다. 피험자에게는 오른쪽 손의 손가락을 이용하여 각각의 버튼을 누르도록 지시하였다. 숫자로 구성된 버튼에서 버튼 1은 두 번째 손가락, 버튼 2는 세 번째 손가락, 버튼 3은 네 번째 손가락, 그리고 버튼 4는 다섯 번째 손가락을 이용하여 누르도록 훈련하였다. 예를 들어 “자극” 신호에 해당하는 별표(*)가 나타나면 가능한 빨리 해당 번호의 버튼을 누르는 것이다(그림 1). 자극은 화

면 중앙에 배열된 네 개의 공간 중에서 하나에만 나타나도록 하였으며 자극의 제시시간은 400 ms였다. 하나의 자극이 제시되었다가 사라진 후 다시 다른 자극이 나타나는데 걸리는 시간인 자극 간 시간(interstimulus interval)은 400 ms였으며 자극 하나당 전체 소요 시간은 800 ms이었다. 자극의 디자인 및 제시는 SuperLab Pro 2.0을 이용하였으며 화면은 검은 바탕에 자극은 흰색, 화면에서의 공간 분할은 회색선을 이용하였다. 이전 연구들에서 사용된 SRTT의 구성은 자극에 대하여 정확한 반응키를 누르지 못하면 다음 자극으로 넘어가지 않고 정확한 반응키를 눌러야 다음 자극이 제시되는 형태였으나(Pascual-Leone 등, 1995) 본 연구에서는 제시된 자극에 해당하는 번호를 정확하게 누르지 못하였어도 다음 자극으로 넘어가도록 하여 반응시간 및 반응의 정확도를 얻고자 하였다.

SRTT에서는 총 여섯 번의 블록을 수행하게 하였으며 하나의 블록에는 자극의 제시가 총 120회 이루어지도록 하였다. 블록의 구성은 첫 번째와 여섯 번째 블록은 순서의 제시가 무작위 형태로 120번의 자극이 제시되도록 하였고, 두 번째부터 다섯 번째 블록까지는 자극이 12 자리의 순서를 가지고 10회 반복이 되도록 하였으며 이 과정 동안 사용된 순서는 동일한 패턴 하나만을 제시하였다. 하지만 피험자에게는 반복되는 순서를 알려주지 않았다.

첫 번째 블록에서 피험자는 무작위로 제시되는 순서에 따라 반응하기 때문에 일정한 순서가 없다는 것을 알게 되며 두 번째 블록에서부터 자극의 제시에 순서가 있음에도 불구하고 인식을 하지 못하고 반응하게 되며 이후 진행되는 블록에서도 그 형태를 따라 진행하게 된다. 하지만 과제의 반복되는 특성을 의식적으로 인식하지 못했음에도 불구하고 피험자의 반응시간은 점진적으로 짧아지는 특성을 보이게 되는데 이렇게 반응시간의 감소 여부가 내재적, 절차적 학습의 간접적인 측정도구가 되는 것이다. 블록이 더 진행되면서 결국 피험자는 과제에서의 반복되는 순서를 인식하게 되어 예상컨대 외재적 학습 단계에 의해 학습이 이루어지는 것으

표 1. 연구대상자의 특성

(N=40)

집단	대상자 수 (남자/여자)	나이	손잡이점수	교육년수
20대	20명 (10/10)	27.6±2.1	95.0±5.6	17.3±1.1
노년군	20명 (10/10)	63.2±7.4	94.5±4.8	9.5±2.7

로 추정되며 결과는 반응시간의 지속적인 감소로 이어진다. 다만 이 시점에서 피험자가 반복 제시되는 순서가 있음을 인식하고는 있으나 그 순서의 정확한 구조를 모른다면 운동학습의 내재적 정보와 외재적 정보를 동시에 사용하고 있는 것으로 생각할 수 있으며, 실험 후 피험자가 반복된 순서를 정확하게 말할 수 있다면 완전한 외재적 운동학습이 일어난 것으로 추정할 수 있다. 하지만 본 연구에서는 반복되는 블록을 4개만 사용하여 완전한 외재적 운동학습이 아닌 내재적 운동학습의 과정을 보고자 하였으며 실험 후 피험자들로부터 얻은 순서의 나열에서 정확하게 맞춘 피험자는 아무도 없었다. 따라서 본 연구의 특성을 잘 반영한 패러다임으로 디자인 되었다. 마지막 블록에서 다시 무작위 형태로 순서가 제시되면서 피험자는 이전에 반복되던 순서에 의한 학습을 버리고 새로운 과제 순서를 따라야 하며 그 결과는 반응시간의 증가로 나타나게 된다. 즉, 마지막 반복 블록인 다섯 번째 블록과 마지막 무작위 블록인 여섯 번째 블록에서의 반응시간의 차이가 내재적 학습의 두 번째 측정도구로 사용될 수 있다(그림 1).

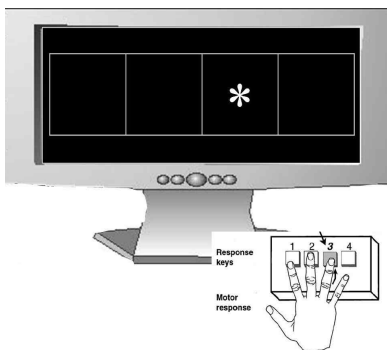


그림 1. 과제 수행방법

3. 분석 방법

자극에 대한 반응시간은 SuperLab Pro 2.0으로 얻었으며 반응의 정확도는 각 블록당 전체 자극수(120회)에서 제시된 자극에 해당하는 번호를 정확하게 누른 것을 추산하였으며, 반응시간은 자극이 제시된 시점부터 반응키를 누르는데 까지 걸린 시간으로 하였다. 각 블록에서 얻어진 120번의 반응시간 중 제시 자극과 다르게 반응을 보인 경우는 반응시간의 계산에서 제외하였으며 정확하게 반응한 모든 반응시간의 평균값을 하나의 블록의 평균 반응시간으로 구하였다. 통계처리는 윈도우용

SPSS version 12.0을 이용하였다. 통계분석은 20대와 노년층에서 운동학습 능력의 특성을 비교하기 위하여 반복측정된 분산분석(repeated measure ANOVA)을 이용하여 블록의 진행 동안 각 집단 내에서의 변화 과정과 집단간의 학습능력의 차이를 검증하고자 하였다. 블록의 반복측정 요인들은 다음의 항목들로 구분하여 측정하였다. 첫째, 반복되는 순서에 의한 내재적 및 외재적 정보의 활용 정도를 비교하기 위하여 블록 2에서 블록 5까지의 변화과정을 비교하고자 하였다. 둘째, 블록 6과 블록 5 간의 반응시간의 차이를 구하여 내재적 운동학습의 정도를 집단 내와 집단 간에서 비교하고자 하였다. 셋째, 무작위 블록에 해당하는 블록 1과 블록 6 간의 반응시간의 차이를 구하여 전반적인 학습에 의한 과제 수행력의 변화를 비교하고자 하였다.

III. 결과

1. 반복되는 순서의 학습(블록 2~5)

실험 후 모든 피험자로부터 반복된 순서에 대한 질문을 하였을 때 어떠한 패턴이 있었음을 인식한 피험자는 20대에서 85%, 노년층에서 70%였지만 그 순서를 정확하게 맞춘 피험자는 없었다. 따라서 블록 2에서 5까지의 학습과정에는 외재적 및 내재적 정보가 동시에 작용한 것으로 추정할 수 있다. 블록 1에서 블록 2의 변화는 과제에 대한 자연적인 학습이 이루어질 것으로 생각하여 분석에서 넣지 않았으며 결과에서 20대는 과제에 대한 적응으로 반응시간의 감소를 보였지만 통계적인 차이를 보이지 않았고 노년군에서는 오히려 반응시간의 증가가 일어났다($p > .05$). 블록 2에서 5까지의 반복측정에서 두 집단간의 비교에서는 블록의 반복과 더불어 두 집단의 반응시간은 상호작용을 하지 않는 것으로 나타났으며($F(3,36)=.60, p=.618$), 집단 내 반복요인인 블록의 반복수준에 대한 효과 검정에서도 두 그룹이 유의적인 차이가 없는 것으로 나타나($F(3,114)=2.14, p=.099$) 두 그룹 모두 유사한 비율로 반응시간의 감소가 일어난 것으로 추정할 수 있으며, 반응시간에 대한 집단간의 유의성 검정에서는 두 집단의 반응시간이 차이가 있는 것으로 나타났($F(3,36)=3.48, p=.026$). 각 집단별 분석에서 20대는 평균 반응시간이 35 ms 감소하여 블록이 진행될수록 반응시간의 감소가 나타나 내재적 및 외재적 정보를 잘 활용하고 있는 것으로 나타났으며($F(3,17)=13.06, p=.000$), 노년군에서는 평균 반응시

표 2. 수행 결과에 따른 반응 정확도 및 반응시간의 변화

수행력	집단	블록 1	블록 2	블록 3	블록 4	블록 5	블록 6
정확도(%)	20대	95.9±2.3	97.2±2.3	97.4±1.7	95.8±4.4	94.1±5.7	94.4±4.5
	노년군	78.3±15.8	81.4±17.6	81.0±11.9	79.9±10.6	75.1±16.3	72.9±15.1
반응시간(ms)	20대	344±34	337±27	323±28	311±25	303±28	352±43
	노년군	559±57	572±66	565±75	556±75	555±64	594±71

간이 9 ms 감소하여 외재적 및 내재적 정보를 잘 활용하지 못하고 있는 것으로 나타났다($F(3,17)=.44, p=.725$) (표 2)(그림 2).

2. 무작위 순서에 의한 수행력의 차단(블록 5와 6)

블록 5에서 블록 6으로 진행되면서 반응시간의 증가는 내재적 및 외재적 정보를 이용하는 학습단계에 차단을 주어 실질적으로 학습이 일어나고 있었는지를 알 수 있다. 블록 5와 6의 반복측정에서 집단과 블록간의 상호작용은 없는 것으로 나타났으며($F(1,38)=.46, p=.502$), 집단 내 반복요인인 블록의 반복수준에 대한 효과검정에서는 두 그룹이 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다($F(1,38)=47.21, p=.000$). 반응시간에 대한 집단간의 유의성 검정에서도 두 집단의 반응시간이 차이가 있는 것으로 나타났다($F(1,38)=253.41, p=.000$). 따라서 각 집단별 분석에서 20대에서는 반응시간이 49 ms 증가하였으며($F(1,19)=33.80; p=.000$), 노년군에서는 40 ms 증가하여($F(1,19)=16.58; p=.001$) 두 군 모두 내재적 운동학습이 일어나고 있었음을 보여주고 있지만 20대가 노년군에 비하여 훨씬 효과적인 운동학습을 보여주었다(그림 2).

3. 전반적인 수행력의 변화(블록 1과 6)

두 개의 무작위 블록인 블록 1과 6사이의 차이는 전

반적인 기술의 학습을 반영하는 것으로 순서에 의한 학습에 의존하지 않고 과제 수행에 필요한 숙련도가 증가했는지를 알 수 있다. 블록 1과 6의 반복측정에서 집단과 블록간의 상호작용은 없는 것으로 나타났으며($F(1,38)=2.64, p=.113$), 집단 내 반복요인인 블록의 반복수준에 대한 효과 검정에서는 두 그룹이 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다($F(1,38)=4.89, p=.033$). 반응시간에 대한 집단간의 유의성 검정에서도 두 집단의 반응시간이 차이가 있는 것으로 나타났다($F(1,38)=265.72, p=.000$). 따라서 각 집단별 분석에서 20대에서는 반응시간이 7 ms 증가하여 과제 수행에 따른 숙련도의 증진에 별다른 영향을 보이지 않았으며($F(1,19)=1.13; p=.30$), 노년군에서도 46 ms 증가하여($F(1,19)=3.98; p=.061$) 숙련도에 별다른 영향을 보이지 않았다(표 2)(그림 2).

4. 과제의 반응 정확도

과제 수행 결과에서 나타난 과제 수행의 정확도는 모든 블록에서 20대가 평균 95.8±3.5%, 노년군에서 평균 78.1±14.5%를 보여 20대가 노년군에 비해 높은 정확도를 보였다(표 2)(그림 3). 여섯 블록에 걸친 반복측정에서 정확도는 집단과 블록 간에 상호작용이 없는 것으로 나타났으며($F(5,34)=1.41, p=.246$) 집단간의 검정에서는 유의적인 차이가 있는 것으로 나타났다($F(1,38)=45.14, p=.000$).

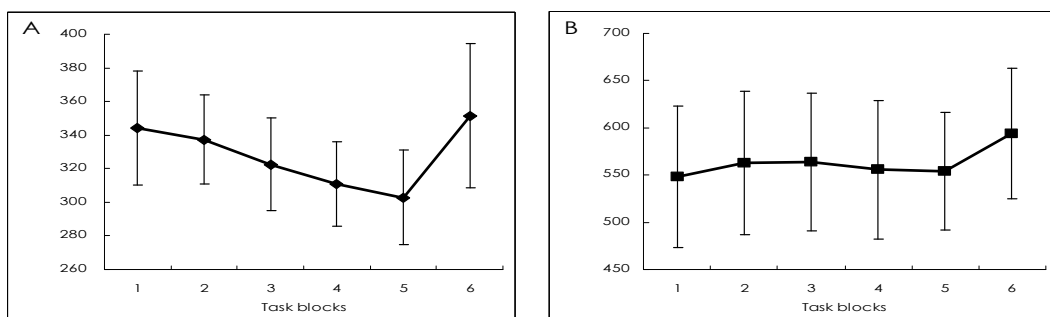


그림 2. 운동학습 과정에서 나타난 20대(A)와 노년군(B)의 반응시간의 변화

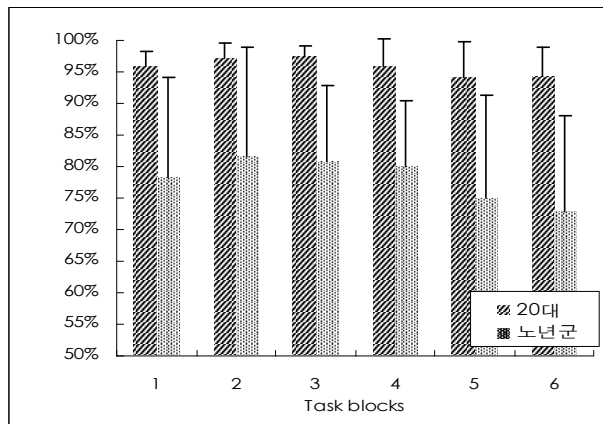


그림 3. 20대와 노년군에서의 반응 정확도의 비교

IV. 고찰

본 연구에서는 SRTT에서 얻어진 반응시간을 활용하여 다음과 같은 3가지 측면을 분석하여 결과를 얻었다. 첫째, 자극과 반응에서 반복되는 순서의 존재는 주의력을 통한 예측 가능한 방향을 제공하고 운동반응을 자동화시키는 고리 역할을 하기 때문에 지속적인 반응시간의 감소로 이어지게 하였다. 둘째, 마지막 순서 블록과 무작위 블록 사이에서 나타난 반응시간의 차이는 순서에 의한 내재적 학습의 여부를 잘 반영하였다. 셋째, 순서가 없이 무작위로 제시되는 첫 번째 무작위 블록과 여섯 번째 무작위 블록의 차이는 과제에 필요한 기술의 습득을 의미하는 것으로 전반적인 숙련도의 증가를 보기 위하여 이용되었다. 특히 첫 번째와 두 번째의 결과는 본 연구에서 가설로 세운 내재적 운동학습 여부를 검증하기 위하여 디자인된 것으로 설명할 수 있다.

운동기술의 습득에서 일부 연구자들은 젊은층이 노년층에 비하여 다소 높은 습득력을 보인다고 주장하였고(Daselaar 등, 2003; Wright와 Payne, 1985), 반면 두 층이 별다른 차이를 보이지 않는다는 보고도 있어 왔다(Howard와 Howard, 1989). 이러한 상반된 보고들에서 알 수 있듯이 결국 운동기술의 학습에서 나이 차이에 따른 수행능력의 차이는 가늠하기 매우 어렵다는 것이다. 최근의 기능적 뇌 영상 결과들에서도 이와 유사한 결과들을 보여 주고 있다. 일부 연구자들은 운동학습과 관련된 동일한 인지과제를 수행하는데 있어서 노년층의 경우 젊은층이 사용하는 기능적 신경망과는 다른 경로를 사용하고 있음을 보고하고 있으며 이러한 특징을 일

부 감소된 뇌 영역의 활동을 다른 영역들을 활용하여 보상하기 위한 결과로 나타난 것으로 설명하고 있다(Cabeza, 2001; Grady, 1998). 이러한 결과는 노화가 진행되면서 운동학습에 필요한 뇌 영역의 축소가 중요하게 생각되며 행동적 수준의 변화라기보다는 신경기능 수준에서의 변화가 더 큰 작용을 하는 것으로 추정할 수 있다. 반면 Daselaar 등(2003)은 운동순서의 습득에서 젊은층과 노년층을 비교한 결과 운동순서의 학습을 위하여 노화와 관련된 기능적 재조직은 발생하지 않았다고 보고하였다. 하지만 이들이 사용한 SRTT 패러다임은 앞서 언급한 듯이 전체 무작위 블록과 전체 순서 블록의 평균 반응시간만을 단순 비교하였기 때문에 내재적 운동학습의 특성을 충분히 반영하였다고 보기는 어려울 것이다. 이처럼 여러 결과들에서 조금은 다른 특성들을 보이고 있지만 일반적 견해는 젊은층과 노년층 모두 내재적 운동학습이 일어나지만 학습의 정도나 능력에서는 노년층이 젊은층에 비해 상대적으로 느리거나 낮다는 결론에는 일치하고 있다. 본 연구의 결과에서도 20대가 노년군에 비하여 내재적 정보를 이용한 운동학습 능력이 더 뛰어난 것으로 나타났으며 특히 과제에 대한 반응시간에서 노년군이 20대에 비하여 처리시간이 느리게 나타나 노화에 의한 시공간 주의력의 감소 또는 운동반응 능력의 저하를 보여 준 것으로 생각된다.

내재적 운동학습과 관련된 영역들은 양측 두정 및 전두 영역, 보완운동영역, 소뇌, 그리고 기저핵 등으로 알려져 있으며 추가적으로 중측두시각 영역(middle temporal visual area)의 활성이 보고되어 있다. 추적과 관련된 운동학습의 과정에서 중측두시각 영역에서 나온 신호들은 다양한 피질과 피질하 영역들을 거쳐 소뇌로

전달되며 소뇌에서는 이 정보들을 뇌간(brainstem)에 있는 안구운동경로(oculomotor pathway)로 전달하는 것으로 알려져 있다. 중측두시각영역은 추적과제를 이용한 운동학습에서 안구의 추적운동(smooth pursuit eye movement)을 담당하는 중요 영역으로서 변화하는 과제를 빠르게 추적함으로써 운동 반응시간을 촉진한다(Chou와 Lisberger, 2002). 결국 SRTT 수행 동안 피험자는 4개의 공간 영역에서 움직이는 목표 자극을 시각적으로 추적해야 하며 이 영역에서 관찰된 학습관련 활성화는 안구운동의 순서 습득에서 중요한 역할을 하는 것으로 생각할 수 있을 것이다. 이러한 관점에서 SRTT를 이용한 운동학습의 과정에는 과제 수행을 위하여 대단위 신경망이 사용되는 것으로 생각할 수 있으며, 노화로 인한 이 영역들의 구조적 변화나 기능적 활성의 감소가 과제에 대한 추적을 느리게 하였고 그 결과 다소 느리거나 낮은 학습 능력을 보이는 것으로 설명할 수 있을 것이다.

V. 결론

본 연구에서는 노화에 따른 내재적 운동학습의 특성을 연구하기 위하여 20대와 노년군을 대상으로 여섯 블록으로 구성된 SRTT를 수행하도록 하였다. 연구 결과 노년군은 20대에 비해 내재적 및 외재적 정보를 잘 활용하지 못하는 것으로 나타났지만 블록 5와 6에서 나타난 반응시간의 증가로 미루어 두군 모두 내재적 운동학습이 일어났음을 보여 주었다. 다만 노년군은 20대에 비하여 학습의 정도와 능력에서 저하되어 있는 것으로 생각된다. 운동순서와는 상관없이 두 번의 무작위 블록에서 과제 수행에 따른 운동기술의 증진 정도를 비교한 결과 두군 모두 별다른 차이를 보이지 않아 자연적인 운동기술의 습득은 발생하지 않은 것으로 추정된다. 본 연구의 결과 수정된 SRTT 패러다임이 내재적 운동학습의 특성을 잘 반영하는 것으로 생각되며 추후 기능적 뇌 영상기법들을 활용한 연구에서 내재적 운동학습의 특성을 연구하는데 도움을 줄 수 있을 것으로 생각된다.

인용문헌

Ackermann H, Daum I, Schugens MM, et al. Impaired procedural learning after damage to the left supplementary motor area (SMA). *J Neurol*

- Neurosurg Psychiatry*. 1996;60(1):94-97.
- Cabeza R. Cognitive neuroscience of aging: Contributions of functional neuroimaging. *Scand J Psychol*. 2001;42(3):277-286.
- Chou IH, Lisberger SG. Spatial generalization of learning in smooth pursuit eye movements: Implications for the coordinate frame and sites of learning. *J Neurosci*. 2002;22(11):4728-4739.
- Daselaar SM, Rombouts SA, Veltman DJ, et al. Similar network activated by young and old adults during the acquisition of a motor sequence. *Neurobiol Aging*. 2003;24(7):1013-1019.
- Doyon J, Gaudreau D, Laforce R, et al. Role of the striatum, cerebellum, and frontal lobes in the learning of a visuomotor sequence. *Brain Cogn*. 1997;34(2):218-245.
- Gomez Beldarrain M, Grafman J, Pascual-Leone A, et al. Procedural learning is impaired in patients with prefrontal lesions. *Neurology*. 1999;52(9):1853-1860.
- Gomez-Beldarrain M, Garcia-Monco JC, Rubio B, et al. Effect of focal cerebellar lesions on procedural learning in the serial reaction time task. *Exp Brain Res*. 1998;120(1):25-30.
- Grady CL. Brain imaging and age-related changes in cognition. *Exp Gerontol*. 1998;33(7-8):661-673.
- Grafton ST, Hazeltine E, Ivry RB. Abstract and effector-specific representations of motor sequences identified with pet. *J Neurosci*. 1998;18(22):9420-9428.
- Green RE, Shanks DR. On the existence of independent explicit and implicit learning systems: An examination of some evidence. *Mem Cognit*. 1993;21(3):304-317.
- Gunning-Dixon FM, Head D, McQuain J, et al. Differential aging of the human striatum: A prospective MR imaging study. *Am J Neuroradiol*. 1998;19(8):1501-1507.
- Hazeltine E, Grafton ST, Ivry R. Attention and stimulus characteristics determine the locus of motor-sequence encoding. A pet study. *Brain*. 1997;120(Pt 1):123-140.

- Hebben N, Corkin S, Eichenbaum H, et al. Diminished ability to interpret and report internal states after bilateral medial temporal resection: Case HM. *Behav Neurosci.* 1985;99(6): 1031-1039.
- Howard DV, Howard JH, Jr. Age differences in learning serial patterns: Direct versus indirect measures. *Psychol Aging.* 1989;4(3):357-364.
- Jackson GM, Jackson SR, Harrison J, et al. Serial reaction time learning and Parkinson's disease: Evidence for a procedural learning deficit. *Neuropsychologia.* 1995;33(5):577-593.
- Knopman D, Nissen MJ. Procedural learning is impaired in Huntington's disease: Evidence from the serial reaction time task. *Neuropsychologia.* 1991;29(3):245-254.
- Laforce R, Doyon J. Differential role for the striatum and cerebellum in response to novel movements using a motor learning paradigm. *Neuropsychologia.* 2002;40(5):512-517.
- Leonard CT. *The neuroscience of human movement.* St. Louis: Mosby-Year Book, Inc., 1998: 204-205.
- Magill RA. 1997 McCloy research lecture: Knowledge is more than we can talk about: Implicit learning in motor skill acquisition. *Res Q Exerc Sport.* 1998;69(2):104-110.
- Matochik JA, Chefer SI, Lane MA, et al. Age-related decline in striatal volume in monkeys as measured by magnetic resonance imaging. *Neurobiol Aging.* 2000;21(4):591-598.
- Milner B. Disorders of learning and memory after temporal lobe lesions in man. *Clin Neurosurg.* 1972;19:421-446.
- Molinari M, Leggio MG, Solida A, et al. Cerebellum and procedural learning: Evidence from focal cerebellar lesions. *Brain.* 1997;120(Pt 10):1753-1762.
- Newell KM. Motor skill acquisition. *Annu Rev Psychol.* 1991;42:213-237.
- Nissen MJ, Bullemer P. Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cogn Psychol.* 1987;19:1-32.
- Pascual-Leone A, Grafman J, Clark K, et al. Procedural learning in Parkinson's disease and cerebellar degeneration. *Ann Neurol.* 1993;34(4): 594-602.
- Pascual-Leone A, Grafman J, Hallett M. Procedural learning and prefrontal cortex. *Ann N Y Acad Sci.* 1995;769:61-70.
- Pohl PS, McDowd JM, Filion DL, et al. Implicit learning of a perceptual-motor skill after stroke. *Phys Ther.* 2001;81(11):1780-1789.
- Raz N, Gunning-Dixon F, Head D, et al. Age and sex differences in the cerebellum and the ventral pons: A prospective MR study of healthy adults. *Am J Neuroradiol.* 2001;22(6):1161-1167.
- Raz N, Williamson A, Gunning-Dixon F, et al. Neuroanatomical and cognitive correlates of adult age differences in acquisition of a perceptual-motor skill. *Microsc Res Tech.* 2000;51(1): 85-93.
- Squire LR. Mechanisms of memory. *Science.* 1986;232(4758):1612-1619.
- Vakil E, Kahan S, Huberman M, et al. Motor and non-motor sequence learning in patients with basal ganglia lesions: The case of serial reaction time (srt). *Neuropsychologia.* 2000;38(1):1-10.
- Wright BM, Payne RB. Effects of aging on sex differences in psychomotor reminiscence and tracking proficiency. *J Gerontol.* 1985;40(2):179-184.