

# 시열과제 운동학습 시 집중연습과 분산연습이 P300 출현시기에 미치는 영향

권용현<sup>1</sup>, 이명희<sup>2</sup>

<sup>1</sup>영남이공대학교 물리치료과, <sup>2</sup>경성대학교 이과대학 물리치료학과

## Effects of Massed and Distributed Practice on P300 Latency in a Sequential Timing Task

Yong-Hyun Kwon<sup>1</sup>, Myoung-Hee Lee<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Department of Physical Therapy, Yeungnam University College, <sup>2</sup>Department of Physical Therapy, College of Science, Kyungsoo University

**Purpose:** The purpose of this study is to use P300 latency to determine whether methods of motor learning in terms of massed and distributed practice can affect motor sequential learning in healthy adults.

**Methods:** Twenty-four healthy subjects participated in this study. They were randomly allocated into three groups: a 10 minute, a 12 hour, and a 24 hour group. In the SRT task, eight numbers were adopted as auditory stimuli. During an experiment, participants were instructed to press the matching key as quickly and accurately as possible when one of the eight numbers was presented randomly. The subjects practiced for three sessions, each of which comprised five blocks of 40 serial reaction time tasks. While they practiced during these three sessions, P300 latency was measured. The data were analyzed using ANCOVA.

**Results:** The P300 latency of Fz, Cz, and Pz decreased in all groups except for the Fz area of the 10 min group. Overall, the P300 latency of the 10 min group showed a smaller decrease compared with the 12 hr and 24 hr groups. Statistically, no significant differences in the Fz and Cz areas were observed among the three groups. The P300 latency in the Pz area of the 10 min group showed a significantly smaller decrease compared with the other groups.

**Conclusion:** These findings suggest that short-term sequential motor training can alter brain functions such as the P300 latency. We also found that better acquisition of a motor skill was obtained with distributed practice of a task than with massed practice.

**Key Words:** Motor learning, Distributed practice, P300 latency

### 1. 서론

운동 조절은 이미 습득한 움직임의 조절하는 것이라 할 수 있는 반면에 운동학습은 움직임을 습득하고 주어진 환경의

상황에 맞게 수정하는 것이라 할 수 있다.<sup>1,2</sup> 따라서 운동학습과 관련하여 일반적인 몇 가지 논점들이 발생하게 되는데 어떻게 하면 효율적으로 학습할 수 있는가, 학습된 기술을 상황에 맞게 어떻게 전이할 것인가, 마지막으로 과제를 수행할 때 어떻게 하면 더 효율적으로 단순화시킬 수 있는가 등이 그것이다. 이러한 논점들을 해소하기 위해 많은 선행연구들이 진행되어 왔는데 연구자들은 다양한 되먹임(feedback) 방법을 이용하기도 하고 되먹임의 양을 조절하기도 하였으며,<sup>3-6</sup> 연습방법을 다양하게 하고 정신훈련(mental practice)을 하는 등 여러 방법에 따른 효과를 검증하

Received Jul 14, 2014 Revised Aug 8, 2014

Accepted Aug 12, 2014

Corresponding author Myoung-Hee Lee, mhlee0317@hanmail.net

Copyright © 2014 The Korea Society of Physical Therapy

This is an Open Access article distribute under the terms of the Creative Commons Attribution Non-commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

려고 노력해 왔다.<sup>7-10</sup>

이 중 일부 선행 연구에서는 짧은 시간에 같은 형태의 연습을 많이 수행하는 집중학습(massed learning)보다 이를 혹은 그 이상에 걸쳐 여러 구간을 통해 연습하는 분산학습(distributed learning)이 파지(retention)와 전이 (transfer)에 더 효과적이라고 밝히고 있다.<sup>11,12</sup> 하지만 운동 학습에서 집중 학습보다 분산학습이 더 효과적인 이유에 대해서 명확하게 설명하는 연구는 흔하지 않으며 몇몇 연구에서 연습구간 사이 휴식을 취하는 기간 동안 발생하는 생물학적인 과정에서 기억이 강화(consolidation)된 것이라 제안 하고 있다.<sup>12-14</sup>

운동학습의 결과는 많은 연구에서 정확성, 자극 후 반응 시간 등으로 확인하고 있으며 이는 기억과 관련한 뇌의 기능이 변화되었기 때문에 나타나는 결과이다.<sup>15,16</sup> 하지만 현재는 다양한 연구장비의 발달로 변화된 뇌의 기능에 대한 보다 더 명확한 신경생리학적인 기전을 확인할 수 있게 되었고, 이를 입증하기 위해 연구자들은 기능적 자기공명영상(functional magnetic resonance imaging, fMRI), 경두개 자기자극(transcranial magnetic stimulation, TMS), 양전자방출단층촬영(positron emission tomography, PET) 등의 장비를 통한 여러 뇌 지도화 방법을 사용하고 있다. 또 다른 방법으로 뇌파를 측정할 수 있는데 뇌파는 대뇌피질에서 발생하는 전기적 활동을 기록하는 것으로 공간적 해상도보다 시간적 해상도에서 큰 장점을 가지고 있어 인지기능이 일어나는 시작과 동시에 과정의 측정이 가능한 방법이다.

뇌파는 전극을 표준 배열과 일치하는 두피에 부착하여 뇌의 다양한 부위에서의 전기적 활동과 그 형태를 감지하는데 일반적으로 자발뇌파(spontaneous potential, SP)와 유발뇌파(evoked potential, EP)의 성분으로 구분할 수 있다. 유발 뇌파는 특정 정보를 내포하고 있는 자극을 제시한 후 자극의 처리와 관련한 뇌의 전기적 활동만을 나타내는 파형을 말한다. 사건관련전위(event related potential, ERP)는 뇌파 중 인간의 인지기능과 관련되어 발생하는 뇌전위로서, N100, N200, P100, P300, N400, LPC (late positive component) 등의 다양한 파형이 있는데 이 중 P300은 정보처리과정에서 자극에 대한 선택적 주의력, 자극인지, 기억탐색, 불확실감의 해소 등을 반영한다.<sup>17</sup> 즉 정보처리과정이 빨리 이루어질수록 P300의 피크(peak)가 출현하는 시기가 빨라진다.

따라서 본 연구에서는 집중학습과 분산학습을 실시할 때 연습과정 중에 일어나는 학습의 효과를 기존의 효과기 전이검사에 집중하여 연구하던 형태를 벗어나 자극이 주어질 때 발생하는 단시간 내의 인지정보 처리과정을 이해할 수 있

는 사건유발전위 중 P300 출현시기의 분석을 통하여 알아 보 고자 한다. 또 이를 이용하여 임상적으로 치료사가 환자의 치료를 위해 운동학습을 프로그래밍 할 때 도움이 되고자 한다.

## II. 연구방법

### 1. 연구대상

본 연구는 대구와 경상도에 소재한 대학에 재학 중인 20대 남학생 21명을 대상으로 하였다. 이들은 연구에 참여하기 전 실험의 과정에 대한 충분한 설명을 들었으며 연구계획서를 확인한 후 자발적으로 동의하여 동의서에 서명하였다. 대상자들은 1) 신경학적 이상이 없는 자, 2) 상지, 특히 손의 근 골격계에 문제가 없는 자, 3) Edinburgh Handedness Inventory 의 주용 손 검사에서 오른손이 우성으로 판명된 자, 4) 이전에 유사한 타이밍 과제에 참여한 경험이 없는 자의 조건을 충족하는 자로 선별하였다. 또한 연습 구간 사이에 연속 반응 과제의 결과에 영향을 미칠 수 있는 움직임(예, 장시간의 컴퓨터 자판 사용, 피아노 연습 등), 음주와 다량의 카페인 섭취를 제한하였고, 평소와 다른 수면을 취할 수 있도록 하였다.

### 2. 실험방법

#### 1) 측정도구

##### (1) P300 측정도구 및 추출방법

연습시간 간격에 따른 세 번의 연습구간에서 P300 출현시기를 추출하기 위해 전산화 뇌파측정기인 QEEG-8 (LXE3208, LAXTHA Inc., 한국) 장비를 이용하여 뇌파를 측정하였다. 뇌파의 측정을 위해 International 10-20 system의 전극부착 부위를 활용하여 머리의 중심과 좌우측 뇌반구 영역 Fz, Cz, Pz, Oz, C3, C4, T7, T8의 여덟 채널을 부착하고 기준 전극(reference electrode)과 접지전극(ground electrode)을 좌우 꼭지돌기 위에 부착하여 모노폴라 방식으로 뇌파를 측정하였다. 전극은 금으로 도포된 접시형태의 디스크 전극을 사용하였으며, 디스크 전극에 뇌파전용 풀을 문혀 부착하고 거즈를 이용해 머리표면에 잘 고정되어 있도록 처치하였다. 측정된 대상자의 뇌파는 표본추출률(sampling rate) 256 Hz, 0.5-50 Hz의 통과필터, 12-bit AD 변환에 의해 컴퓨터에 저장되었다.

각 군의 P300 출현시기는 저장된 데이터를 바탕으로 소프트웨어를 이용하여 Fz, Cz, Pz영역의 사건유발전위 (ERP)를 추출하고 40개의 자극이 제시되고 난 후 발생된 각 ERP

에서 300 ms 근처 또는 이후에 처음 나타난 양의 피크를 체크하여 양의 피크가 나타난 40개의 시간을 모두 평균하여 산출하였다.

## 2) 과제 수행 및 자료 추출 방법

대상자의 자세는 컴퓨터가 놓여진 책상 앞에 앉아 의자의 높이를 조절하여 오른쪽 팔을 책상 위에 놓았을 때, 팔꿈관절이 약 90°가 되도록 조절하였다. 대상자들은 청각 신호에 맞춰 가능한 한 정확하고 빠르게 과제를 수행하도록 하였으며 팔꿈치와 손목은 되도록 움직이지 않고 최소한의 손가락 움직임으로 과제를 수행하도록 하였다.

과제 수행 방법은 연속된 40개의 신호가 제공되면 최대한 빠른 속도로 컴퓨터 키보드의 방향키를 미리 정해진 손가락으로 누르는 것이다. 40개의 연속신호는 “one”에서 “eight”까지 8개의 청각신호가 무작위로 각 5회씩 반복되어 구성되었는데, 대상자들에게 “one”과 “eight”이 들리면 두 번째 손가락으로 왼쪽 방향키를, “two”와 “seven”이 들리면 세 번째 손가락으로 위쪽 방향키, “three”와 “six”가 들리면 네 번째 손가락으로 오른쪽 방향키, 그리고 “four”와 “five”는 세 번째 손가락으로 아래쪽 방향키를 누르게 하였다. 8개 신호의 5회 반복으로 이루어진 40개의 연속된 청각신호는 하나의 블록을 구성하고, 대상자들은 5개의 블록으로 구성된 구간을 연습하였다. 각 블록 사이에는 30초의 휴식을 취하도록 하였다. 40개의 연속신호는 대상자가 키를 누르는 속도와 관계없이 1초에 하나씩 다음 신호가 제시되도록 하였고, 모든 신호는 일정한 순서를 가지지 않도록 컴퓨터 프로그램 (자극스케줄링 프로그램, LAXTHA Inc., 한국)을 이용하여 무작위로 제시되도록 하였으며 대상자들 간에는 동일한 순서의 과제가 주어지도록 하였다.

각 실험군에서 10분 군은 5개의 블록으로 이루어진 첫 구간을 연습한 후 10분 후에 두 번째 구간, 또 다시 10분 후에 세 번째 구간을 연습하였다. 또 12시간 군은 첫 구간을 연습하고 12시간 후인 다음 날 아침에 두 번째 구간, 또 12시간 후인 같은 날 저녁에 세 번째 구간을 연습하였으며, 24시간 군은 사흘간 같은 시간에 각 구간을 연습하였다.

## 3. 자료분석

Fz, Cz, Pz 영역에서의 각 군에 따른 연습구간 별 P300의 값은 기술통계를 사용하여 평균과 표준편차를 구하였고 연습시간 간격에 따른 연습구간의 P300 출현시기의 변화를 알아보기 위해 공분산분석(analysis of covariance, ANCOVA)

을 실시하였다. 또한 사후검정을 위해 Tukey를 사용하였다. 통계처리는 SPSS for window ver 19.0을 이용하였고 유의수준( $\alpha$ )은 0.05로 하였다.

## III. 결과

### 1. 대상자들의 일반적 특징

본 연구에 참여한 대상자는 각 군별 7명씩으로 총 21명이었으며 모두 남성이었다. 10분 군의 나이는  $21.29 \pm 0.84$ 세이고, 12시간 군의 나이는  $23.71 \pm 1.89$ 세였으며, 24시간 군의 나이는  $22.14 \pm 3.08$ 세였다. 연습시간 간격에 따른 세 군의 나이는 그룹 간의 통계적 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다( $p > 0.05$ ).

### 2. 연습 첫 구간과 세 번째 구간의 P300 출현시기의 변화

Fz, Cz, Pz 영역에서의 각 군에 따른 구간별 P300 출현시기는 다음과 같다(Table 1).

Fz 영역에서 10분 군의 첫 구간 출현시기는 평균 422.08 ms이고 세 번째 구간은 평균 433.87 ms로 11.79 ms가 늦어졌다. 12시간 군은 평균 523.71 ms에서 368.16 ms로 155.54 ms가 빨라졌으며 24시간 군은 평균 550.74 ms에서 353.64 ms로 197.11 ms가 빨라졌다. Fz 영역의 P300 출현시기는 10분 군에 비해 12시간 군과 24시간 군이 더 빨라졌지만 그룹 간 유의한 차이는 나타나지 않았다( $p > 0.05$ ). 하지만 사후 검정에서 10분 군과 24시간 군이 유의한 차이를 보였다( $p < 0.05$ ).

Cz 영역에서 10분 군의 첫 구간 출현시기는 평균 400.56 ms 이고 세 번째 구간은 평균 366.461 ms로 34.10 ms가 빨라졌다. 12시간 군은 평균 534.17 ms에서 353.32 ms로 180.85 ms 빨라졌고, 24시간 군은 494.22 ms에서 334.32 ms로 159.90 ms 빨라졌다. 그룹간 유의한 차이는 없었다( $p > 0.05$ ).

Pz 영역에서는 그룹간 유의한 차이를 나타냈는데, 10분 군에서는 평균 409.08 ms에서 392.63 ms로 16.44 ms 빨라졌고, 12시간 군에서는 평균 529.13 ms에서 353.25 ms로 175.88 ms 빨라졌으며 24시간 군은 P300 출현시기가 평균 498.31 ms에서 평균 339.45 ms로 158.85 ms 빨라진 결과를 보였다. 사후검정 결과 10분 군이 12시간 군, 24시간 군과 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다( $p < 0.05$ ).

## IV. 고찰

Table 1. Comparison of the changes of P300 latency in each group

(unit: ms)

area	group	session1	session2	session3	p
Fz	10min <sup>a</sup>	422.08 ± 56.58	420.28 ± 46.93	433.87 ± 59.68	0.11
	12hr <sup>ab</sup>	523.71 ± 73.96	433.74 ± 62.99	368.16 ± 52.81	
	24hr <sup>b</sup>	550.74 ± 57.38	473.21 ± 66.15	353.64 ± 69.90	
Cz	10min	400.56 ± 58.76	370.41 ± 54.80	366.46 ± 73.96	0.25
	12hr	534.17 ± 60.66	427.90 ± 62.89	353.32 ± 62.65	
	24hr	494.22 ± 109.45	431.74 ± 108.07	334.32 ± 84.84	
Pz	10min <sup>a</sup>	409.08 ± 99.11	392.86 ± 100.67	392.63 ± 98.76	0.02*
	12hr <sup>b</sup>	529.13 ± 83.33	419.12 ± 52.57	353.25 ± 69.65	
	24hr <sup>b</sup>	498.31 ± 91.36	437.04 ± 109.19	339.45 ± 89.76	

\*p<0.05 by ANCOVA,

Different superscript letters(a,b) denote the values that are significantly different from one another in each column.

오랜 기간 동안 많은 연구들은 운동학습의 효율성을 높이기 위해 다양하게 체계적 연습방법을 고안해 왔지만 아직 연습전략과 기억에 관한 관계는 여전히 연구의 대상이 되고 있다. 이에 본 연구에서는 시열반응과제를 이용한 집중학습과 분산학습 시 시간적 해상도가 높은 뇌파를 측정하여 Fz, Cz, Pz 영역에서 사건유발 전위를 추출하고 그 중 자극을 인지하는 시간을 의미하는 P300의 출현시기를 분석한 결과를 바탕으로 더 효과적인 운동학습 방법을 제안하고자 실시되었다. 연구 결과 분산학습을 실시한 군에서 집중학습을 한 군에 비해 P300 출현시기가 더 많이 단축된 것을 알 수 있었다. 특히 Fz 영역과 Pz 영역에서 10분 간격으로 집중학습을 한 군에 비해 24시간 간격으로 분산학습을 한 군에서 유의한 출현시기의 단축을 발견할 수 있었다.

이러한 결과는 연습을 수행한 시간 사이에 쉬는 시간의 역할 때문이라 할 수 있는데 아무런 활동을 하지 않은 기간에 새로운 기억과 관련된 신경망이 재조직되고 재조직된 새로운 신경망이 강화되는 과정이 일어나기 때문이다.<sup>18</sup> 피아노치기 과제를 이용한 한 선행연구는 간단한 악보를 대상자들의 비우세수로 연습하게 하였는데 5분 간격으로 집중 연습한 군보다 6시간과 24시간 간격으로 분산 연습을 한 군에서 정확도와 속도가 더 빨라지는 결과를 확인하였다.<sup>18</sup> 또 동적균형 과제와 키를 누르는 단순 과제를 수행하게 한 연구에서도 20분 간격으로 2구간을 집중하여 연습한 군보다 24시간 간격을 두고 2구간을 분산 연습한 군에서 파지검사를 했을 때 더 좋은 결과를 확인하기도 하였다.<sup>19</sup> 본 연구에서도 24시간의 시간을 제공받은 군은 연습을 통해 학습된

정보가 뇌에서 병합되고 강화되는 과정을 충분히 촉진할 수 있었으므로 이것이 긍정적인 효과를 준 것으로 생각된다. 하지만 연습기간 사이에 단지 10분밖에 주어지지 않은 군의 경우 이러한 뇌의 활동이 일어날 시간이 부족하여 과정이 진행되지 못했던 것이라 할 수 있다. 이와 유사한 결과를 도출하며 운동학습과 관련하여 기억강화를 입증하는 연구들이 진행되어 왔는데,<sup>20,21</sup> 특히 연습이 끝난 후 일정 시간이 경과한 뒤 기능적 자기공명영상을 이용하여 연구한 결과 새로운 뇌영역에서 활성화되는 것을 관찰한 연구는 활동을 하지 않는 시간에 기억강화가 일어난다는 것을 입증하고 있다.<sup>22</sup> 분산학습은 수행하는 과제의 종류, 과제의 난이도에 상관 없이 운동학습에 효과가 있다는 것도 입증되어 있다.<sup>11,12,18</sup> 이 또한 기존 정보와 새로운 정보가 통합하는 과정인 기억 강화(memory consolidation)가 일어나 습득된 정보가 잊혀지지 않고 기억체계 내에 장기적으로 보유되기 때문이며 이는 곧 기억의 안정성이 증가되었다고 이해할 수 있다.

사건관련전위(ERP)의 여러 파형 중 P300은 자극제시 후 250 ms에서 800 ms 사이에 나타나는 양의 피크로서 집중과 기억처리과정에 관련이 된다.<sup>23-25</sup> P300은 일반적이지 않은 자극에 대해 큰 양의 진폭을 나타내는데 진폭이 클수록 인지와 집중의 활동이 큰 것이고 출현 시기가 짧을수록 인지하는 시간이 짧다고 할 수 있어 학습이나 기억과 관련해 많은 연구들이 이루어지고 있다.<sup>26,27</sup> P300은 다시 P3a와 P3b로 나눌 수 있는데 P3a는 주로 새롭게 나타난 자극 또는 맥락에서 벗어난 독특한 자극에 주의를 기울일 때 나타나는



성분이라고 알려져 있다.<sup>28</sup> 반면 P3b는 자극의 물리적 특징보다는 정서적 특징, 즉 자극 자체가 가지는 정서와 각성에 의한 정서편향을 반영하는 파형으로 설명할 수 있다. 예를 들면 공포에 관한 자극처럼 각성이 높은 자극은 더 큰 파형을 나타내게 된다. 또 다른 연구자들은 초기 지각 이후 주의유지(sustained attention), 평가(evaluation), 의사결정(decision-making), 기억의 부호화(memory encoding)와 같은 정교한 인지적 처리와 정서조절(emotional modulation) 기능을 반영한다고 하였다.<sup>24,28</sup> 이 중 P3a가 주로 Fz, Cz, Pz 영역에서 관찰되는 파형이며 새로운 자극에 대한 반응이므로 본 연구에서 이와 같은 영역에서 P300을 살펴보고자 한다.

운동학습에 따른 뇌기능의 변화를 관찰한 선행 연구를 살펴보면 초기 학습 동안 두정엽-전전두엽-그물망(parieto-prefrontal network)에서 강한 신경원의 활성화를 보였고 자극 후 68~430 ms 에서는 두정엽, 보조운동영역, 전운동영역 등에서 증가된 신경원의 활성화를 볼 수 있다고 하였다.<sup>29</sup> 또 다른 연구에서 학습초기에는 전두엽, 후외측 전전두엽, 전-보조영역이 활성화 되었고, 후기에는 두정엽, 두정간구(intraparietal sulcus) 등에서 활성화 되었다.<sup>30</sup> 이러한 영역들은 본 연구에서 학습을 수행하는 마지막 구간에서 P300 출현시기의 변화를 보인 Fz, Cz, Pz 영역과 일치하는 영역으로 이러한 영역들이 운동학습에 참여한다고 설명할 수 있다. 또 Pz 영역에서 P300 출현시기가 분산학습을 한 군에서 유의하게 짧아진 것과 같은 의미라고 할 수 있다.

본 연구는 기존에 많은 연구들이 운동학습과 관련하여 공간적 해상도가 높은 측정방법으로 그 효과를 입증해 왔지만 시간적 해상도가 높은 사건유발전위를 이용하여 분산학습의 효과를 확인하기 위해 실시되었고 그 결과 연습구간 사이에 시간간격을 두고 실시하는 분산학습에서 연습 사이의 휴식시간이 기억과정에 중대한 영향을 주어 집중학습보다 더 학습의 효과보다 좋은 것으로 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로, 움직임의 재교육이 필요한 환자들에게 운동학습의 효과를 높이기 위해 운동치료 프로그램을 계획할 때, 한 가지 과제로 구성된 프로그램을 하루에 집중 연습하여 완성하는 것 보다 다양한 과제로 구성된 프로그램을 여러 날에 걸쳐 연습하도록 하는 것이 더 효과적이라고 제안한다.

## 참고문헌

1. Seidler RD, Purushotham A, Kim SG, et al. Cerebellum activation associated with performance change but not motor

learning. *Science*. 2002;296(5575):2043-6.

2. Shumway-Cook A, Woollacott MH. *Motor Control: Translating Research into Clinical Practice*. 3rd ed, Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2007:22.

3. Kwon YH, Lee MH. Comparison of Motor Skill Acquisition according to Types of Sensory-Stimuli Cue in Serial Reaction Time Task. *J Korean Soc Phys Ther*. 2014;26(3):191-5.

4. Lee MH, Kim MC, Park JT. Analysis of Motor Performance and P300 during Serial Task Performance according to the Type of Cue. 2013;8(2):299-305.

5. Ahn MH, Park KD, You YY. The Effect of Feedback on Somesthetic Video Game Training for Improving Balance of Stroke Patients. *J Korean Soc Phys Med*. 2012;7(4):401-9.

6. Ji SG, Nam GW, Kim MK, et al. The Effect of Visual Feedback Training Using a Mirror on the Balance in Hemiplegic Patients. *J Korean Soc Phys Med*. 2011;6(2):153-63.

7. Park JW, Kwon YH, Lee MY. Different Brain Activations between Random and Blocked Practice in Motor Learning. *Journal of Korea Sport Research*. 2007;18(5):469-80.

8. Lee MY, Park RJ, Nam KS. The effect of implicit motor sequence learning through perceptual-motor task in patients with subacute stroke. *J Korean Soc Phys Ther*. 2008;20(3):1-7.

9. Choi JH, Lee MY. The Effect of Cross-Education in Nondominant Arm with Normal Adult. *J Korean Soc Phys Ther*. 2011;23(2):31-6.

10. Kim JS, Lee KH, Bae SS. Mechanism and Application Methodology of Mental Practice. *J Korean Soc Phys Ther*. 2003;15(2):75-84.

11. Chung MH, Song YG, Park JH. The Effects of Massed and Distributed Practice on the Learning and Effector Transfer in a Sequential Timing Task. *Korean Journal of Sport Psychology*. 2007;18(3):193-213.

12. Dail TK, Christina RW. Distribution of Practice and Metacognition in Learning and Long-Term Retention of a Discrete Motor Task. *Res Q Exerc Sport*. 2004;75(2):148-55.

13. Shewokis PA. Memory consolidation and contextual interference effects with computer games. *Percept Mot Skills*. 2003;97(2):581-9.

14. Pauwels L, Swinnen SP, Beets IA. Contextual interference in complex bimanual skill learning leads to better skill persistence. *PLoS One*. 2014 24;9(6):e100906.

15. Park MC, Bae SS, Kwon YH. Change of activation of the supplementary motor area in motor learning: an fMRI case study. *J Korean Soc Phys Ther*. 2011; 23(2):85-90.

16. Kwon YH, Chang JS, Kim CS. Changes of Cortical Activation Pattern Induced by Motor Learning with Serial Reaction Time Task. *J Korean Soc Phys Ther*. 2009; 21(1):65-71.

17. Polich J. Neuropsychology of P300. In Luck SJ, Kappenman ES. *Handbook of event-related potential components*, Oxford, Oxford University Press. 2010:10-11.

18. Simmons AL. Effect of Practice Variability and Distribution of

- Practice on Musicians' Performance of a Procedural Skill, Texas University, Dissertation of Doctorate Degree, 2007.
19. Shea CH, Lai Q, Black C, et al, Spacing practice sessions across days benefits the learning of motor skills, *Human Movement Science*. 2000;19(5):737–60.
  20. Balas M, Roitenberg N, Giladi N, et al. When practice does not make perfect: well-practiced handwriting interferes with the consolidation phase gains in learning a movement sequence, *Exp Brain Res*. 2007;178(4):499–508.
  21. Walker MP, Brakefield T, Hobson JA, et al. Dissociable stages of human memory consolidation and reconsolidation, *Nature*. 2003;425(6958):616–20.
  22. Shadmehr R, Holcomb HH. Neural correlates of motor memory consolidation, *Science*. 1997;277(5327):821–5.
  23. Hsieh S. The lateralized readiness potential and P300 of stimulus-set switching. *Int J Psychophysiol*. 2006;60(3):284–91.
  24. Olofsson JK, Nordin S, Sequeira H, et al. Affective picture processing: an integrative review of ERP findings, *Biol Psychol* 2008;77(3):247–65.
  25. Polich J. Updating P300: an integrative theory of P3a and P3b, *Clin Neurophysiol* 2007;118(10):2128–48.
  26. Curran T. Effects of attention and confidence on the hypothesized ERP correlates of recollection and familiarity, *Neuropsychologia*. 2004;42(8):1088–106.
  27. Curran T, Friedman WJ. ERP old/new effects at different retention intervals in recency discrimination tasks, *Brain Res Cogn Brain Res*. 2004;18(2):107–20.
  28. Foti D, Hajcak G, Dien J. Differentiating neural responses to emotional pictures: evidence from temporal-spatial PCA, *Psychophysiology*. 2009;46(3):521–30.
  29. Praeg E, Esslen M, Lutz K, et al. Neuronal modifications during visuomotor association learning assessed by electric brain tomography, *Brain Topogr*. 2006;19(1-2):61-75.
  30. Sakai K, Hikosaka O, Miyauchi S, et al. Transition of brain activation from frontal to parietal areas in visuomotor sequence learning, *J Neurosci*. 1998;18(5):1827-40.