

Changes of Motor Control of Distal Joint and Motor Learning in Badminton Hitting Skills According to the Visual Feedback Types (Focused on Performance Curves)

Donghwi Suh*

Department of Physical Education, College of Education, Seoul National University, Seoul, Republic of Korea

Received: March 15, 2023

Accepted: April 26, 2023

Published online: April 30, 2023

Keywords:

Striking Task
Motor Control
Distal Joint
Visual Feedback
Performance Curve



ABSTRACT

OBJECTIVES This study aims to compare the change of motor control of distal joint while badminton hitting on novice in accordance with visual feedback type.

METHODS We offered digitized graph and 3D animation of upper limb to quantitative feedback(QN) group, and qualitative feedback(QL) group respectively. Dependent variables are kinematic variable of wrist joint. 27 young men were recruited into three groups, asked to perform forehand-underclear. 20trials for pre-test, 150trials for practice, each 20trials for post-test and retention-test were progressed. After each 10trials in practice step, we offered each feedbacks to each groups. Two-way repeated ANOVA was used to investigate the results.

RESULTS Maximum extension angle of wrist joint improved more on QN than QL. Maximum flexion angular velocity of wrist joint improved more in QL than QN on early phase of learning and retention-test.

CONCLUSIONS Through this, it can be interpreted that QN has a positive effect on the motion control of the angular variable in the striking task, and QL has a positive effect on the faster improvement and retention than QN in the motor control of the angular velocity variable in the striking task. In conclusion, this study presents a new direction for the mechanism of motor control and cognitive structure for the distal joint of motor skills forming proximal-distal coordination patterns.

© The Asian Society of Kinesiology and the Korean Academy of Kinesiology

서론

건강한 삶을 영위하기 위해서는 생활체육과 스포츠활동이 권장되며[1], 그중 배드민턴은 남녀노소를 떠나 접근이 용이한 치기 기술 중 하나이다[2]. 하지만 초보자들은 배드민턴 치기를 수행할 때 원위 분절의 자유도가 근위 분절의 자유도에 비해 상대적으로 고정되어 있기 때문에[3,4] 숙련

자에 비해 원위 관절의 움직임 범위가 작다[5,6]. 따라서 비효율적인 동작으로 인해 힘의 세기와 방향이 의도와 달리 수행되어 셔틀콕을 목표한 지점으로 보내지 못하게 되고 엉성한 폼을 이루게 된다. 이와 비슷한 치기 기술인 골프 스윙의 협응 패턴을 살펴본 연구에서는 원위 관절인 손목 관절의 최대 각속도가 나타나는 시점과 크기를 살펴봤고[7], 핸드볼의 던지기나 테니스 서브, 배구 스파이크에서 나타나는 상지 관절의 운동학적 분석을 진행한 연구에서는 원위 관절의 속도와 방향에 대해 탐색했으며[8], 배드민턴 연구에서는 원위 관절인 손목 관절의 움직임이 타겟의 정확성에 영향을

*Correspondence: Donghwi Suh, Ph.D., Department of Physical Education, College of Education, Seoul National University, Seoul 08826, Republic of Korea; Tel: +82-10-4131-9808; E-mail: donghwisuh@snu.ac.kr ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6188-6958>



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

미친다고 하였다[3]. 따라서 근위 관절의 우선적인 가속 이후에 원위 관절의 가속화가 이끌어지는 움직임인 근위-원위 협응 패턴(Proximal-Distal coordination pattern)에 따라 원심성 운동인 치기 기술을 수행할 때는 근위분절에서 원위분절로의 순차적 가속이 나타나면서 결과적으로 원위 분절에서 가장 큰 속도가 나타나야 한다[9]. 초보자로 하여금 위와 같이 움직임 제어의 변화를 이끌어내기 위해서는 운동학습의 피드백이 제공되어야 한다.

운동학습에서는 시각과 청각, 또는 시각과 촉각 등의 복합 피드백이 운동학습에 효과가 있다[10]. 하지만 복합피드백을 초보자에게 제공할 때는 인지과부하가 발생할 수 있고 이는 잘못된 운동 동작을 나타낼 수 있다[11,12]. 따라서 복합피드백을 계획할 때에 주된 차원의 피드백을 어떤 유형으로 제시하는 것이 효과적인지 선행될 필요가 있다. 시각은 인간 동작에서 의존도가 높으며 수행 오류를 찾고 수정하는 과정을 가능케 한다[13]. 따라서 주된 차원인 시각 피드백의 유형을 달리하여 운동의 수행과 학습 그리고 제어의 변화를 연구할 필요가 있다. 이러한 시각피드백의 유형은 양적피드백(quantitative feedback; QN)과 질적피드백(qualitative feedback; QL)으로 분류할 수 있다[14-16]. 양적피드백이란 그래프나 표에서 수치화된 정보를 제시하는 피드백이며, 질적피드백은 등고선이나 3D 애니메이션처럼 수치화된 정보가 없이 제시되는 피드백을 뜻한다. 이렇게 다른 유형의 피드백은 과제나 학습자, 그리고 환경에 따라 이들을 인지하고 지각하는 탐색 전략이 달라지기 때문에 지각-운동 활동영역이 다르게 활성화되어 운동 수행의 품이 달라질 수 있다[17,18]. 따라서 주된 감각 정보인 시각에서 피드백의 유형을 위와 같이 분류하여 배드민턴 치기 기술에 미치는 효과를 원위 관절인 손목 관절에서 살펴본다면 학습자들이 효율적으로 운동을 학습할 수 있고, 정보의 유형이 상지의 운동 제어에 미치는 영향을 살펴 볼 수 있을 것이다. 이는 운동 제어의 기전을 연구하는데 큰 도움이 될 수 있을 것이다. 이러한 운동제어의 변화는 수행곡선과 사후검사, 파

지검사를 통해 살펴볼 수 있다. 수행곡선은 피드백을 받는 상황에서의 어떤 변인에 대한 변화를 나타내는 것이며, 사후검사는 피드백이 종료된 후 해당 변인의 상태를 측정하는 것이다. 파지검사는 피드백이 종료되고 적당한 시간이 지난 후에 해당 변인의 상태가 학습 되었는지를 측정하는 것이기 때문이다[19-21].

본 연구에서는 무선관성센서로 얻은 운동학적 정보인 상지 관절의 분절을 수치화된 그래프로 제공하는 양적피드백(QN)과 상지 관절을 3D 애니메이션으로 제공하는 질적 피드백(QL), 그리고 피드백을 제공하지 않은 통제집단 간, 그리고 검사 시점에 따른 손목 관절의 운동학적 변화를 비교하고자 한다. 이를 통해 시각에 의한 인지 정보가 치기 기술에서 원위 관절의 운동 제어에 미치는 영향과 치기 기술의 운동 수행 및 학습에 미치는 효과를 살펴보고자 한다.

연구방법

1. 연구대상

본 연구는 오른손을 주된 손으로 사용하는 20~30대의 성인 남자 27명을 모집하여 연습 스윙의 정확성에서 차이가 없도록 세 집단으로 구분하였다(Table 1). 이들은 배드민턴 수업을 수강한 경험이 없거나 6개월 미만의 운동 기간에 참여한 경험이 있는 초보자이다. 연구 참여자 중 과제 수행에 신경학적 및 정형학적 어려움이 있는 경우 연구대상에서 제외하였다. 모든 연구 과정은 연구 참여자의 자발적인 동의와 생명윤리위원회의 윤리적 지침을 준수하며 진행되었다(IRB No. 1808/003-014).

2. 실험장비 및 과제

원위 관절인 손목 관절의 각도와 각속도를 측정하기 위해서 3차원 동작 분석 장비인 무선관성센서(iSen system, STT, Spain)로 상지의 움직임을 측정했다. 이를 위해 연구 대상 상지의 각 부위(흉추1번, 상완, 전완, 손등)에 무선관성

Table 1. Characteristic of Participants.

Group	Number of men	Age(y)	Career(month)	Height(cm)
QN ^a	9	24.4±4	0.2±0.4	176.7±5.1
QL ^b	9	23.8±3	0.9±0.3	173.2±4.8
Control	9	26.9±2	0.9±0.3	176.1±5.4

^aQN: Quantitative feedback, ^bQL : Qualitative feedback

센서를 스트랩으로 부착하여 본질의 운동학적 변인을 측정했다(Figure 1). 해당 무선관성센서는 100Hz로 정보를 수집하며 카메라와 함께 iSen software 자체에서 동조(synchronization)되어 있다. 일정한 위치와 시간 간격, 동일한 궤도로 날아오는 셔틀콕을 구현하기 위해 PROMARK 셔틀머신 CT-015BK(Sakurai, Japan)을 활용했다. 위 장비는 오른쪽 서비스 라인 쪽에 6초간격으로 셔틀콕을 발사하도록 세팅하였다.

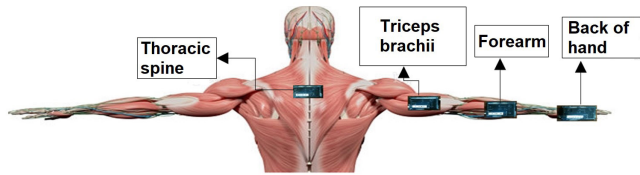


Figure 1. Attachment of Inertia Measurement Unit.

수행 과제는 연구대상이 서비스라인으로부터 2m 뒤, 코트의 중앙에 위치하는 것으로 시작했다. 이때 네트를 넘어 6초 간격으로 일정하게 날아오는 10개의 셔틀콕을 목표 지점에 포핸드-언더클리어로 타구하는 것이다. 목표 지점은 복식 서비스 엔드라인과 단식 사이드라인이 교차하는 지점이다. 포핸드-언더클리어 기술이 그 정의에 따라 높고 멀리 타구 되기 위하여 네트로부터 상대 진영 쪽으로 250cm 떨어진 위치에 높이 240cm, 길이 300cm의 가로대를 설치해 넘길 수 있도록 설명했다(Figure 2). 이는 배드민턴 언더핸드 롱서브 모델에서 사용한 가로대와 같은 규격이다[22].

사전검사와 사후검사 파지검사는 위와 같이 6초 간격으로 날아오는 10개의 셔틀콕을 2블록씩 수행하였고, 블록 간에는 2분의 휴식을 두었다. 이때는 피드백을 받지 않았으며 사후검사의 경우 학습구간이 종료된 후 24시간 뒤에 진행되었고, 파지검사의 경우 학습구간이 종료된 후 48시간 뒤에 진행됐다. 학습구간을 시작하기 전에 연구대상은 숙련자의 손목 관절이 움직이는 범위와 모습을 슬로우모션 영상으로 관찰하게 했고, 집단별로 스스로 시각피드백을 받을 수 있도록 교육하였다. 즉 손목 관절이 임팩트 직전에 크게 신전되어야 한다는 점을 관찰하고 이를 위해서 순간적으로 손목의 스냅을 이용해야 한다는 점을 교육했다. 학습구간은 3일에 걸쳐 이루어졌다. 학습구간에서는 하루에 5개의 블록을 타구하게 했다. 즉 하루에 50개씩 3일 동안, 총 150개의 스트로크를 진행하면서 집단에 적합한 피드백을 부여 받았다. QN의 경우 각 블록을 수행한 후 2분의 휴식 동안에 본인과 숙련자의 시간에 따른 상지 관절 각도 그래프를 노트북 화면

을 통해 비교하며 관찰 하였고, QL의 경우 각 블록을 수행한 후 2분의 휴식 동안에 녹화된 본인의 상지 3D애니메이션과 숙련자의 상지 3D애니메이션을 노트북 화면을 통해 비교하며 관찰하였다. 즉 피드백 집단은 3일 동안 총 150개의 스트로크에 대해 15번으로 나누어 상지 관절에 대한 시각피드백을 부여 받은 것이다. 통제집단의 경우 피드백이 제시되지 않고 두 집단과 동일한 양의 셔틀콕을 같은 방법으로 타구했다.

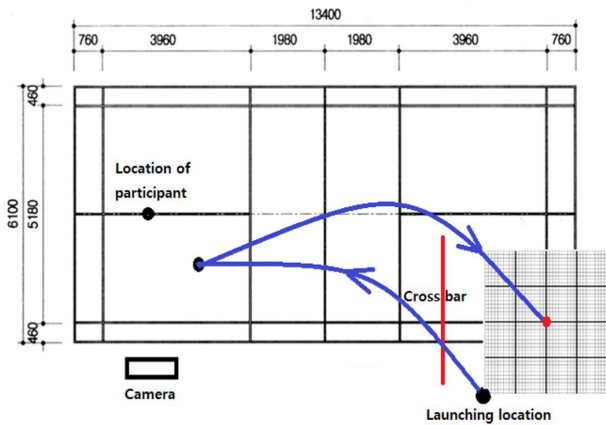


Figure 2. Badminton court and settings.

3. 자료처리 및 통계분석

모든 운동학적 데이터는 Matlab(R2017b, Mathworks, Natick, MA)을 통해 처리하였다. 손목 관절의 움직임을 분석하기 위해 사용된 무선관성센서의 데이터들은 버터워스 저역 필터(4th lower pass Butterworth filter)로 필터링 하였다. 본 실험에서 나타나는 움직임의 frequency에 대한 상한점을 설정하기 위해 FFT(Fast fourier transformations; FFT)를 이용하였다. PSD(power spectrum density)가 10Hz 미만에서 99%를 차지하고 있기 때문에 차단 주파수(cut-off frequency)를 10Hz로 설정하였다.

손목 관절의 굴곡은 (+)방향으로, 신전은 (-)방향으로 설정하였고, 해부학적 자세에서 측정된 각도는 0°이다. 스트로크 구간에서 타구 직전에 손목 관절이 최대 신전하는 각도를 최대 신전 각도로 설정하였다. 스트로크 구간에서 임팩트 순간에 나타나는 손목 관절의 최대 굴곡 각속도를 수집했다. 본 연구에서는 SPSS 23.0의 통계 프로그램을 활용하여 다음과 같은 통계 분석을 실시하였다. 집단과 검사 시점에 따른 손목 관절의 최대신전각도와 최대굴곡각속도를 비교하기 위한 검사에 이원 분산 반복 측정 분석(Two-way ANOVA with repeated measures on the second factor)과 Tukey's multiple comparisons test의 방법으로

사후검증을 실시하였다. 가설 검증을 위한 유의 수준은 .05로 하였다.

결과

1. 임팩트 직전 손목 관절의 최대신전각도(maximum extension angle of wrist joint: MEA)

집단과 검사 시점에 따른 MEA를 분석한 결과, <Figure 3>와 같이 상호작용 효과($F(10,120) = 5.747, p < .001$)가 나타났다. 또한 시점에 대한 주효과($F(5,120) = 7.276, p < .001$)와 집단에 대한 주효과($F(2,24) = 6.33, p = .006$)가 나타났다.

집단에 따른 사후검정 결과, MEA는 Day2에서 QN이 통제집단보다 유의하게 크게 신전 됐고($p < .001$), QN이 QL보다 유의하게 크게 신전 됐다($p = .046$). 또한 Day3에서는 QL이 통제집단보다 유의하게 크게 신전 됐고($p = .037$), QN이 통제집단보다 유의하게 크게 신전 됐다($p < .001$). 사후검사 시점과 파지검사 시점에서도 QL이 통제집단보다 유의하게 크게 신전 됐고(사후검사 시점: $p = .040$; 파지검사 시점: $p = .048$), QN이 통제집단보다 유의하게 크게 신전 됐다(사후검사 시점: $p < .001$; 파지검사 시점: $p < .001$).

검사 시점에 따른 사후검정 결과, MEA는 QL의 경우에는 Day3과 사후검사 시점, 파지검사 시점에서 각각 사전검사 시점보다 유의하게 크게 신전 됐다(Day3-사전검사 시

점: $p = .023$; 사후검사 시점-사전검사 시점: $p = .025$; 파지검사 시점-사전검사 시점: $p = .030$). 또한 QN의 경우 모든 시점에서 사전검사 시점에서보다 MEA가 유의하게 크게 신전 됐고(Day1-사전검사 시점: $p = .007$; Day2-사전검사 시점: $p < .001$; Day3-사전검사 시점: $p < .001$); 사후검사 시점-사전검사 시점: $p < .001$; 파지검사 시점-사전검사 시점: $p < .001$), Day3에서 MEA가 Day1에서보다 유의하게 크게 신전 됐다($p = .024$).

2. 임팩트에서 손목 관절의 최대굴곡각속도(maximum flexion angular velocity of wrist joint: MFV)

집단과 검사 시점에 따른 MFV를 분석한 결과, <Figure 4>와 같이 상호작용 효과($F(10,120) = 3.042, p = .002$)가 나타났다. 또한 검사 시점에 대한 주효과($F(5,120) = 10.75, p < .001$)는 나타났지만 집단에 대한 주효과($F(2,24) = 2.844, p = .080$)는 나타나지 않았다.

검사 시점에 따른 사후검정 결과, MFV는 QL의 경우에는 모든 시점에서 사전검사 시점에 비해 MFV가 유의하게 크게 향상됐고(Day1-사전검사 시점: $p < .001$; Day2-사전검사 시점: $p = .024$; Day3-사전검사 시점: $p = .029$); 사후검사 시점-사전검사 시점: $p = .006$; 파지검사 시점-사전검사 시점: $p < .001$), QN의 경우에도 모든 시점에서 사전검사 시점에 비해 MFV가 유의하게 크게 향상됐다(Day1-사전검사 시점: $p < .001$; Day2-사전검사 시점: $p < .001$; Day3-사전

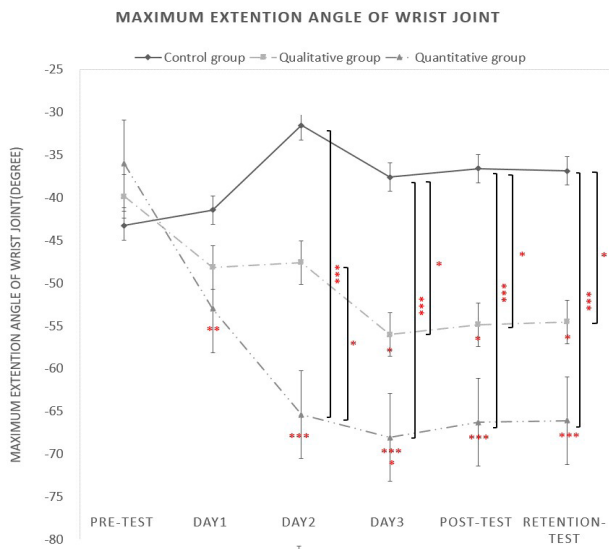


Figure 3. Results of MEA.

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

A horizontal * indicates a significant difference from the pre-test, and in the case of Day3, the * at the bottom indicates a significant difference from Day1.

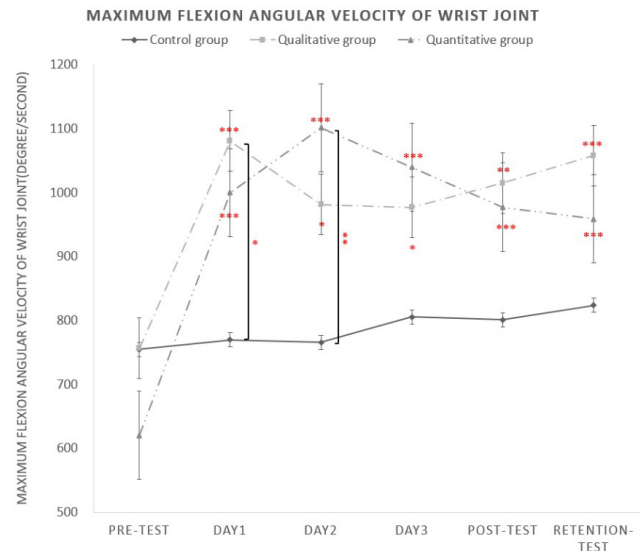


Figure 4. Results of MEA.

* $p < .05$, ** $p < .01$, *** $p < .001$

* A horizontal * indicates a significant difference from the pre-test.

검사 시점: $p < .001$); 사후검사 시점-사전검사 시점: $p < .001$;
파지검사 시점-사전검사 시점: $p < .001$).

논의

본 연구는 시각피드백의 유형이 배드민턴 치기 기술에서 원위 관절인 손목 관절의 운동제어 변화에 미치는 영향을 살펴보았다. 임팩트 직전에 나타나는 손목 관절의 최대신전각도는 숙련자의 경우 약 -87.01° 이기 때문에 수치화된 그래프로 손목 관절의 각도를 시각피드백으로 부여 받은 QN이 학습구간 중에 QL보다 숙련자와 가까운 방향으로 유의한 향상이 있다고 볼 수 있다. 사후검사 시점과 파지검사 시점에서 QN과 QL의 손목 관절 최대신전각도는 유의한 차이가 없었지만 양적피드백을 부여 받은 QN이 여전히 더 큰 향상이 있었음을 알 수 있다. 또한 손목 관절 최대신전각도의 집단과 검사 시점에 대한 상호작용효과를 해석하면 다음과 같다. 양적피드백을 부여 받은 경우는 질적피드백을 부여 받은 경우에 비해 연습의 초기 구간인 Day1과 Day2에서 빠른 향상이 있지만, 연습의 후기 구간인 Day3와 사후검사 시점, 그리고 파지검사 시점에서는 그 향상의 정도가 적거나 유지되는 경향이 보인다고 할 수 있다. 이는 연습이 지속되더라도 인지 구조에 따라 운동 기억의 처리과정에 의해 나타날 수 있는 현상이다[23]. 즉 운동 기억에 영향을 주는 시각 정보의 형태가 달라서 시각-운동 활동영역이 다르게 활성화되기 때문에 QL집단과 QN 집단간 손목 관절의 움직임에 차이가 있었으며[17], 본 연구에서 진행한 치기 기술에서의 운동 기억은 검사 시점에 따라 손목 관절의 움직임이 다른것으로 해석할 수 있었다. 기억은 그 기간에 따라 감각기억, 단기기억 그리고 장기기억으로 나뉘어지는데[24], 본 연구의 경우 운동 수행 후 피드백을 받을 때 까지 약 1분에서 2분이 소요되었기 때문에 연습 구간의 경우 단기기억이 적용되고, 파지검사 시점에서는 장기기억이 적용된다고 할 수 있다[25]. 본 연구의 결과에 따라 원위 관절의 각도에 대한 수치 정보는 운동 제어의 메커니즘과 관련한 운동 기억에 있어서 단기기억이 빠르게 형성되고 장기기억으로 학습될 수 있다는 것을 발견했다. 하지만 원위 관절의 각도에 대한 이미지 정보는 운동 제어의 메커니즘과 관련한 운동 기억에 있어서 단기기억으로의 형성 과정이 양적 정보에 비해 느리며, 해당되는 단기기억은 장기기억으로 학습되었다. 따라서 양적 정보는 질적 정보에 비해서 학습자들이 원위 관절의 각도 변인에 대해 그 움직임을 제어하는데 있어서 효율적이

다. 이는 20~30대 성인 남자의 경우 이미지보다 수치화된 정보가 관절의 각도라는 움직임을 제어하는 시각-운동 활동 영역이 효과적이며 운동기억에 긍정적인 영향을 미친다고 해석할 수 있다[18]. 하지만 이는 연구대상의 특징에 한정된 것이기 때문에 시각 정보의 형태는 성별, 국가, 연령에 따라 다른 영향을 미칠 수도 있고 이에 대한 추후 연구가 필요할 것으로 사료 된다.

임팩트에서 나타나는 손목 관절의 최대굴곡각속도는 숙련자의 경우 약 $1232.10^\circ/\text{sec}$ 였기 때문에 피드백을 부여 받은 집단들만 숙련자와 가까운 방향으로 유의한 향상이 나타났다. 또한 손목 관절 최대굴곡각속도의 집단과 검사 시점에 대한 해석은 다음과 같다. 질적피드백을 부여 받은 집단은 학습 초기 구간에서 손목 관절 최대굴곡각속도의 향상이 빠르게 나타나지만, 학습 후기 구간에는 감소하고, 사후검사 시점과 파지에 이르러서는 양적피드백을 부여 받은 집단보다 향상되는 경향이 있었다. 구체적으로 살펴보면 질적 피드백 집단의 경우 Day1에서만 통제집단에 비해 유의한 향상이 있었기 때문에 운동 수행의 변화는 나타났지만, 파지검사 시점에서는 집단 간에 차이가 없었다. 하지만 파지검사 시점에서 질적피드백 집단의 각속도는 사전검사 시점에서 질적피드백 집단의 각속도에 비해 유의하게 향상했기 때문에 치기 기술의 학습이 나타났다고 할 수 있다. 양적 피드백 집단의 경우 Day2에서만 통제집단에 비해 유의한 향상이 있었기에 운동 수행의 변화는 뒤늦게 나타났지만, 파지검사 시점에서 집단 간에 차이가 없었다. 하지만 파지검사 시점에서 양적피드백 집단의 각속도는 사전검사 시점에서 양적피드백 집단의 각속도에 비해 유의한 향상이 있었기 때문에 치기 기술의 학습이 나타났다고 할 수 있다. 또한 손목의 최대굴곡각속도에 대한 검사 시점과 집단에 따른 상호작용효과를 해석하면 다음과 같다. 질적피드백 집단의 경우 연습구간에서 각속도에 대한 운동 수행의 향상이 빠르게 나타나지만 다시 운동 수행이 저하되다가 파지검사 시점에서 다시 향상하는 모습을 보이는 U자 형태의 수행곡선을 나타낸다. 하지만 양적피드백 집단의 경우 운동 수행의 향상이 느리게 나타난 후, 파지검사 시점까지 운동 수행 및 학습이 저하되는 역U자 형태의 수행곡선을 나타낸다.

종합하면 수치화된 양적 정보는 각도 변인에 대한 원위 관절의 운동제어가 효과적이지만, 각속도 변인에 대해서는 질적 정보가 원위 관절의 운동제어에 대한 단기기억으로의 형성이 상대적으로 빠르게 나타나고, 장기기억으로의 형성에도 상대적으로 효과적이었다고 볼 수 있다. 반면 수치화

된 양적 정보는 각속도 변인에서 질적 정보 집단에 비해 단기기억으로의 형성이 비교적 느리고, 파지검사 시점으로 갈수록 목표했던 원위 관절의 제어를 하지 못하여 장기기억으로의 형성에서 상대적으로 불리한 모습을 볼 수 있었다. 이는 시각피드백의 유형이 지각과 인지의 정도를 다르게 할 수 있다는 점에서 선행연구와 일치한다[26, 27]. 따라서 학습을 위한 피드백의 유형은 선행연구와 같이 인지구조를 고려하여 구성되고 적용되어야 할 것이다[28-30]. 즉 기억의 종류에 따라 효과적인 피드백 전략을 제공해야 하며, 단기기억이 장기기억으로 전환될 수 있도록, 양적피드백과 질적피드백을 효과적으로 제공해야 할 것이다[24]. 차후의 연구에서는 이들이 시간에 따라 복합적으로 구성된 피드백의 효과를 비교해볼 필요가 있을 것이다.

결론 및 제언

본 연구에서 시각피드백의 유형에 따라 배드민턴 치기기술에서 원위 관절인 손목 관절의 운동 제어 변화를 살펴본 결과, 수치화된 정보인 양적피드백을 시각적으로 부여했을 때, 손목의 각위치 제어가 효과적으로 향상되지만, 질적피드백을 제공할 때는 손목의 각속도 제어가 빠르게 향상되는 것을 알 수 있었다. 또한 연습구간과 사후검사, 파지검사 시점까지의 상호작용을 살펴보면 손목 관절의 각속도 제어는 질적피드백이 향상의 정도가 효과적인 것을 알 수 있다. 이는 시각으로 받아들이는 운동학적 변인에 대한 인지정보가 그 형태를 달리 할 때 치기 기술에서 원위 관절인 손목 관절의 제어에 미치는 영향이 다르다는 것을 시사한다. 결론적으로, 본 연구는 근위-원위 협응 패턴을 이루는 운동기술의 원위 관절에 대한 운동제어와 인지구조의 메커니즘에 대해 새로운 방향을 제시하였고, 이를 통해 시각피드백의 유형이 운동학습이나 운동 재활의 목적에 맞게 적재적소에 활용되어 움직임 교육의 현장에 효율적으로 적용되도록 추후 다양한 측면을 고려한 접근이 필요할 것이다.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

- Jung HJ, Won YS. The Effect of Leisure Sports Participation Motive of Retired Male Elderly on Re-socialization and Happiness of Life. *The Korean Society for The Study of Physical Education*. 2020; 15(3):209-20.
- Kim BS. Analysis of Women's Badminton Double-Final Match in Olympic Game. *Journal of Korean Physical Education Association for Girls and Women*. 2002; 16(1):13-22.
- Sakurai S, Ohtsuki T. Muscle activity and accuracy of performance of the smash stroke in badminton with reference to skill and practice. *Journal of Sports Sciences*. 2000; 18(11):901-14.
- Lee GH, Lim BO. Muscle Activities of the Brachioradialis and Extensor Carpi Radialis Longus According to the Type of Backhand Stroke in Badminton. *Korean Journal of Sport Medicine*. 2020; 38(1):37-42.
- Song YG, Ju MD. A Comparative Kinetic Analysis of Men's High School on Smash Motions between Badminton Players and Common Students. *The Journal of Institute of School Health & Physical Education*. 2012; 19(1):65-90.
- Oh CH, Choi SN, Jeong IS. Kinematic Analysis of the Badminton Drop-shot Motion. *Korean Journal of sport Biomechanics*. 2005; 15(1):221-35.
- Ferdinands RE, Kersting UG, Marshall RN. A twenty-segment kinematics and kinetics model for analysing golf swing mechanics. *Sports Technology*. 2013; 6(4):184-201.
- Whiteside D, Elliott B, Lay B, Reid M. A kinematic comparison of successful and unsuccessful tennis serves across the elite development pathway. *Human Movement Science*. 2013; 32(4):822-35.
- Putnam CA. A segment interaction analysis of proximal-to-distal sequential segment motion patterns. *Medicine and science in sports and exercise*. 1991; 23(1):130-44.
- Sigrist R, Rauter G, Marchal-Crespo L, Riener R, Wolf P. Sonification and haptic feedback in addition to visual feedback enhances complex motor task learning. *Experimental brain research*. 2015; 233:909-25.
- Sigrist R, Rauter G, Riener R, Wolf P. Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor

- learning; a review. *Psychonomic bulletin & review*. 2013; 20:21-53.
12. Orrell AJ, Eves FF, Masters RS. Motor learning of a dynamic balancing task after stroke: implicit implications for stroke rehabilitation. *Physical therapy*. 2006; 86(3):369-80.
 13. Dobson V, Mayer DL, Lee CP. Visual acuity screening of preterm infants. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*. 1980; 19(12):1498-505.
 14. Oviatt S, Coulston R, Lunsford R. When do we interact multimodally? Cognitive load and multimodal communication patterns. In *Proceedings of the 6th international conference on Multimodal interfaces*. 2004, p 129-136.
 15. Kilduski NC, Rice MS. Qualitative and quantitative knowledge of results: effects on motor learning. *The American journal of occupational therapy*. 2003; 57(3):329-36.
 16. Magill R, Anderson D I. *Motor learning and control*. New York, USA. McGraw-Hill Publishing. 2010, p 115-117.
 17. Newell K M, McDonald P V. Learning to coordinate redundant biomechanical degrees of freedom. In *Interlimb coordination*. Academic Press. 1994, p 515-536.
 18. Massion J. Movement, posture and equilibrium: Interaction and coordination. *Progress in Neurobiology*. 1992; 38(1):35-56.
 19. van Gorp M, Roebroek ME, Swan Tan S, de Groot V, Gorter J W, Smits DW. Activity performance curves of individuals with cerebral palsy. *Pediatrics*. 2018; 142(5).
 20. Bentley DJ, Newell J, Bishop D. Incremental exercise test design and analysis: implications for performance diagnostics in endurance athletes. *Sports medicine*. 2007; 37:575-86.
 21. Christina B, Alpenfels E. Influence of attentional focus on learning a swing path change. *International Journal of Golf Science*. 2014; 3(1):35-49.
 22. Scott M G, French E. *Measurement and Evaluation in Physical Education*. Dubuque, Iowa, USA. Wm. C. C. Brown Company Publishers. 1959, p 156.
 23. Kantak SS, Winstein CJ. Learning–performance distinction and memory processes for motor skills: A focused review and perspective. *Behavioural brain research*. 2012; 228(1):219-31.
 24. Cho JY. Educational Applications of Cognitive Sciences Discoveries about Learning/Memory. *The Journal of Elementary Education*. 1998; 12(2):5-27.
 25. Brashers-Krug T, Shadmehr R, Bizzi E. Consolidation in human motor memory. *Nature*. 1996; 382(6588):252-5.
 26. Rhoads MC, Da Matta GB, Larson N, Pulos S. A meta-analysis of visual feedback for motor learning. *Athletic insight*. 2014; 6(1):17.
 27. Eldridge M, Saltzman E, Lahav A. Seeing what you hear: Visual feedback improves pitch recognition. *European Journal of Cognitive Psychology*. 2010; 22(7):1078-91.
 28. Kim K, Kim DS. The Effects of Modality of Text and Timing of Information Presentation on Cognitive Load, Effectiveness and Efficiency in Web Based Learning. *The Koreans Society for Educational Technology*. 2004; 20(4):111-45.
 29. Schack, Thomas, Franz Mechsner. Representation of motor skills in human long-term memory. *Neuroscience letters*. 2006; 391(3):77-81.
 30. Dagnall, Munley, Parker. Memory aberrations, transliminality, and delusional ideation. *Perceptual and motor skills*. 2008; 106(1):67-75.