creative commons

COMMONS DEED

저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:

저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.

변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 이용허락규약(Legal Code)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

Disclaimer

dCollection

체육학 박사학위논문

숙련성에 따른 리드미컬한 동조화 능력에 관한 연구

2022년 2월

서울대학교 대학원

체육교육과

남 수 미

숙련성에 따른 리드미컬한 동조화 능력에 관한 연구

지도교수 김 선 진

이 논문을 체육학 박사학위논문으로 제출함
2021년 12월

서울대학교 대학원
체육교육과
남 수 미

남수미의 박사학위논문을 인준함
2022년 1월

위 원 장 권 성 호 (인)

부위원장 박 재 범 (인)

위 원 김 형 남 (인)

위 원 고 지 현 (인)

위 원 김 선 진 (인)

국문 초록

숙련성에 따른 리드미컬한 동조화 능력에 관한 연구

남 수 미
체 육 교 육 과
서울대학교 대학원

본 연구는 무용 숙련자와 비숙련자의 리드미컬한 동조화 능력에 대해 비교 분석하고 숙련성에 따라 나타나는 타이밍 특성을 규명하는데 그 목적이 있다. 연구에 참여한 대상은 만 19세에서 39세 사이의 성인 30명으로 무용 숙련자 15명, 비숙련자 15명으로 구성되었고, 모두 오른손잡이였으며, 왼발잡이 5명 외 나머지는 오른발잡이였다. 연구참여자는 동조화 능력과 관련된 자발적 운동 템포(spontaneous motor tempo) 과제, 동기화-지속(synchronization-continuation) 과제, 템포 변화(tempo change) 과제에서 각각 손가락과 발뒤꿈치 두드리기를 수행하였다. 이때 나타나는 타이밍 정확성과 가변성을 살펴보기 위해 비동기성(asychrony), 탭 간 간격(inter-tap interval)의 평균과 표준편차를 산출하여 비교 분석하였다. 그 결과는 다음과 같다. 첫째, 무용 숙련자는 비숙련자에 비해 빠른 자발적 운동

템포를 선호하였고, 이는 손가락과 발뒤꿈치 모두 동일하게 나타났으며, 손가락 수행이 발뒤꿈치에 비해 빠른 편이었다. 그러나 집단 간 차이는 유의하지 않았다. 둘째, 동기화 과제 수행에서 나타난 비동기성은 무용 숙련자와 비숙련자 간 유의한 차이가 없었으나, 숙련자의 가변성은 전체적으로 비숙련자에 비해 낮게 나타났고, 이 차이는 빠른 리듬속도 조건에서 두드러졌다. 셋째, 지속 수행에서 비숙련자의 타이밍 정확성은 숙련자보다 낮았고, 가변성은 높게 나타났다. 정확성의 차이는 자극 간 간격이 1초 이상인 ISI=1500ms, 2000ms 조건에서 뚜렷하게 보였으나 가변성의 차이는 예상과 달리 가장 빠른 리듬속도 조건인 ISI=333ms에서 크게 나타났다. 넷째, 무용 숙련자는 비숙련자에 비해 템포 변화에 대한 민감도가 높았다. 그러나 템포 변화를 지각한 경우 ITI와 비동기성은 느린 적응을 보였고, 변화를 지각하지 못한 경우 ITI와 비동기성의 빠른 적응이 나타났다. 다섯째, 템포 변화 크기가 작은 조건에서는 ITI와 비동기성의 적응은 빠르게 나타났고 큰 조건에서는 빠른 ITI의 적응과 느린 비동기성의 적응이 나타났다. 또한, 템포 변화 시 과수정 경향이 숙련자에게서 더 크게 나타났으나 비숙련자보다 빠르게 적응하였다. 종합하면, 무용 숙련자는 비숙련자에 비해 빠른 자발적 운동 템포를 가졌고, 동기화-지속 수행 시 높은 타이밍 정확성과 낮은 가변성을 보여주었으며, 갑작스러운 템포 변화에서는 비숙련자에 비해 큰 과수정 경향을 보였으나 더 빠르게 적응하는 것을 알 수 있었다.

주요어 : 숙련성, 전문무용수, 리드미컬한 동조화, 감각운동 동기화, 자발적 운동 템포, 타이밍 정확성, 타이밍 가변성, 적응

학 번 : 2014-30521

목 차

I. 서 론 ····· 1

1. 연구의 필요성 ····· 1
2. 연구의 목적 ····· 7
3. 연구 가설 ····· 8
4. 용어의 정의 ····· 9

II. 이론적 배경 ····· 12

1. 리드미컬한 동조화 능력 ····· 12
   1) 전 생애적 관점의 발달 ····· 12
   2) 신경생물학적 기전 ····· 14
   3) 타이밍 제어 전략 ····· 16
2. 리듬과 숙련성 ····· 18
   1) 숙련성의 특성 ····· 18
   2) 리듬 기반 움직임의 숙련 ····· 21
   3) 리듬과 숙련성 연구의 동향 ····· 22
3. 무용과 숙련성 ····· 24
4. 청각-운동 동기화의 영향 요인 ····· 27

Ⅲ. 연구방법 ····· 32

1. 연구대상 ····· 32
2. 실험과제 및 도구 ····· 33
3. 실험절차 ····· 39
4. 자료분석 ····· 43
5. 통계처리 ····· 46

Ⅳ. 연구결과 ····· 48

1. 집단과 움직임 양식에 따른 SMT ····· 48
2. 동기화 수행에서 나타난 타이밍 특성 ····· 50
1) 타이밍 정확성 ····· 50
2) 타이밍 가변성 ····· 54
3. 지속 수행에서 나타난 타이밍 특성 ····· 57
1) 타이밍 정확성 ····· 57
2) 타이밍 가변성 ····· 61
4. 템포 변화에 따른 적응 특성 ····· 63
1) 템포 변화에 대한 지각적 판단 ····· 63
2) 집단, 템포 변화 지각 여부에 따른 적응 ····· 65
3) 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따른 적응 ····· 70

Ⅴ. 논의 ····· 79

1. 집단 및 움직임 양식별 선호하는 템포 ····· 79
2. 동기화 수행에서 나타난 타이밍 특성 ····· 82
3. 지속 수행에서 나타난 타이밍 특성 ····· 83

4. 템포 변화 과제에서 나타난 적응 메커니즘 ····· 85

Ⅵ. 결론 및 제언 ····· 90

참고문헌 ····· 95

Abstract ····· 110

표 목차

표 1. 연구참여자의 특성 ····· 32
표 2. 단위별 리듬 속도 구분 ····· 36
표 3. 템포 변화 크기와 방향에 따른 ISI의 변화 ····· 37
표 4. 템포 변화 과제의 조건별 특성 ····· 37
표 5. 실험도구 ····· 38
표 6. 집단과 움직임 양식에 따른 SMT ····· 49
표 7. 움직임 양식별 집단, 리듬속도에 따른 비동기성의 양수 및 음수 비율 ····· 51
표 8. 움직임 양식별 집단, 리듬 속도에 따른 기술통계량 ····· 52
표 9. 동기화 조건-손가락 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 CV_{asy}의 이원분산분석 결과 ····· 55
표 10. 움직임 양식별 집단, 리듬속도에 따른 ITI의 기술통계량 ····· 58
표 11. 지속 조건-손가락 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 평균 ITI에 대한 이원분산분석 결과 ····· 59
표 12. 지속 조건-발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 평균 ITI에 대한 이원분산분석 결과 ····· 60
표 13. 지속 조건-손가락 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 ITI의 CV에 대한 이원분산분석 결과 ····· 62
표 14. 지속 조건-발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 ITI의 CV에 대한 이원분산분석 결과 ····· 63

그림 목차

그림 1. 세 가지 실험과제 도해 ····· 33
그림 2. 손가락 두드리기 수행의 실험장면 ····· 34
그림 3. 발뒤꿈치 두드리기 수행의 실험장면 ····· 34
그림 4. 실험절차 ····· 39
그림 5. ISI와 ITI 간의 동기화 오류 도해 도해 ····· 42
그림 6. 템포 변화 과제 수행 시 나타나는 청각자극에 대한 탭 포지션 도해 ··· 45
그림 7. 집단과 움직임 양식에 따른 SMT 범주 ····· 50
그림 8. 손가락 수행의 집단, 리듬속도에 따른 비동기성 ····· 53
그림 9. 발뒤꿈치 수행의 집단, 리듬속도에 따른 비동기성 ····· 54
그림 10. 손가락 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 CV ····· 56
그림 11. 발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 CV ····· 57
그림 12. 지속 조건-손가락 수행에서 나타난 집단과 리듬속도에 따른 평균 ITI ··· ····· 59
그림 13. 지속 조건-발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 평균 ITI ·· ····· 61
그림 14. 움직임 양식에 따른 집단별 템포 변화에 대한 응답 비율 ····· 65
그림 15. 손가락 수행에서 나타난 템포변화지각 여부에 따른 집단별 평균 ITI ·· 66
그림 16. 발뒤꿈치 수행에서 나타난 템포변화지각 여부에 따른 집단별 평균 ITI ·· ····· 68
그림 17. 손가락 수행에서 나타난 템포변화지각 여부에 따른 집단별 상대적 비동기성 ····· 69
그림 18. 손가락 수행에서 나타난 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따른 평균 ITI ··· ····· 71

그림 19. 각 포지션에서 나타난 집단별 적응 지표 ····· 72
그림 20. 발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따른 평균 ITI ····· 74
그림 21. 각 포지션에서 나타난 집단별 적응 지표 ····· 75

I. 서론

1. 연구의 필요성

음악을 들으며 리듬에 맞춰 손이나 발을 까딱거리는 움직임 또는 그루브(groove)를 타는 등의 무의식적인 움직임은 인간 본연의 자연스러운 행동이다(Iversen et al., 2009; Large & Snyder, 2009; Witek et al., 2014). 이러한 리듬 기반 움직임은 인간이 수행하는 대다수의 일상생활 속 움직임에서 쉽게 찾아볼 수 있다. 예를 들어, 걷기, 뛰기, 기기, 말하기, 호흡하기, 씹기 등 주기적이고 반복적인 형태로 나타나는 움직임이 대표적이다. 이외에도 악기를 연주하는 음악가의 움직임, 음악에 맞춰 자유자재로 춤추는 무용수의 움직임 등과 같은 예술 활동, 야구나 골프에서의 스윙 움직임과 같은 스포츠 기술에서 보다 숙련된 형태의 리듬 기반 움직임을 찾아볼 수 있다. 이처럼 리듬은 인간의 삶과 밀접하게 연관되어 있으며, 리듬을 기반으로 하는 활동을 성공적으로 수행하기 위해서는 인간의 리드미컬한 동조화(rhythmic entrainment) 능력이 필수적으로 요구된다(남수미 등, 2020; Brown et al., 2006).

동조화는 주기성을 가진 리듬(isochronous pulse)의 속도(pace)에 신체 움직임을 일치시키고자 하는 경향으로 외부 자극(external stimulus)과 내재된 리듬(endogenous rhythm) 간의 안정된 시간적 관계를 말한다(McPherson et al., 2018; Merker et al., 2009; Rose et al., 2019). 인간이

규칙적인 리듬에 맞추어 신체 움직임을 동조화하기 위해서는 복잡한 리듬 패턴 속에서 규칙적인 박(beat)을 찾아낼 수 있어야 하고, 주기적인 운동 패턴을 생성할 수 있어야 하며, 찾아낸 박에 신체 움직임을 동기화(synchronization)할 수 있어야 한다(Chen et al., 2006; Patel & Iversen, 2014). 특히, 청각(auditory)으로 제공된 리듬은 움직임을 조절하고 동조화하는데 다른 감각보다 용이하다. 이는 청각자극이 매우 정확한 운동 반응을 생성하고(Repp, 2004), 다른 감각 양식들과 비교하여 더 빠른 반응시간(reaction time)을 보인다는(남수미 등, 2017; 이동연 등, 2021; Jose & Gideon Praveen, 2010) 이전의 연구결과로부터 확인할 수 있다. 이와 같이 청각 시스템이 가진 높은 시간적 정확도(temporal fidelity)는 운동 동조화를 촉진하는데 적합하다. 따라서 본 연구에서는 청각 시스템과 운동 시스템을 연결하여 리드미컬한 움직임 패턴을 만드는 능력을 리드미컬한 동조화로 정의하고 살펴보고자 한다.

인간의 리드미컬한 동조화 능력은 감각운동 동기화(sensorimotor synchronization, SMS) 과제를 통하여 측정할 수 있다. 예를 들어, 피험자는 메트로놈 소리, 음악, 불빛 등 주기적으로 제공되는 감각 자극에 맞추어 신체 움직임을 일치시키는 즉, 동기화하는 과제를 수행한다. 이때 발생하는 자극과 반응 사이의 비동기성(asynchrony), 반응 간의 간격(inter-response interval, IRI) 등을 분석하여 수행의 정확성이나 가변성 등을 평가한다. 이때 피험자가 시간의 경과에 따라 연속적으로 제공되는 규칙적인 리듬의 특정한 지점에 맞춰 스스로 시작한 움직임을 의도적으로 조절하는 것을 동기화(synchronization)라고 한다(Repp, 2005). 이와 관련된 선행연구의 대부분은 손가락 두드리기(finger tapping) 패러다임을 기반으로 진행되었으며, SMS 과제에서 파생된 다양한 유형의 과제들을 통하여 동조화의 특성을 규명해왔다. 대개 규칙적으로 제공되는 감각자극(청각, 시각 등)에 대한 움직임의 시간적 동기화를 살펴보는 연구들이 주를 이룬다. 예를 들어, 처음

에는 외부자극에 맞춰 움직이다가 자극의 부재에도 기존의 리듬을 유지하며 반응하는 형식의 동기화-지속(synchronization-continuation) 과제, 피험자가 선호하는(preferred) 박자로 주기적인 리듬을 생성하여 움직이는 자발적인 운동 템포(spontaneous motor tempo, SMT) 과제, 리듬의 변화(perturbation)에 적응하는 과제 등이 있다. SMT의 경우 외부 리듬이 주어지지 않기 때문에 동조화를 측정한다기 보다 개인이 가진 리드미컬한 동조화 능력의 기저가 되는 내재적인 처리과정을 반영하는 과제라 할 수 있다(McPherson et al., 2018).

리듬을 지각하고 생성하는 것은 감각운동 활동의 모든 다양한 형태에서 매우 중요한 특성으로 일상생활에서의 기본적인 움직임뿐 아니라 무용, 음악, 스포츠 등에서 요구하는 숙련된 움직임에 이르기까지 다양하게 활용되어지며(Thaut & Kenyon, 2003), 임상, 스포츠, 음악, 무용 등 여러 관련 분야에서 관심을 가지고 연구하는 주제이다. 임상에서는 파킨슨병, 뇌졸중, 보행장애, 발달장애 등 원활한 움직임에 어려움을 겪는 환자들을 대상으로 감각운동 동기화를 적용한 재활훈련이나 운동프로그램을 통하여 나타난 움직임 수행의 향상을 보고하였고(남수미 등, 2021; Jones & Jahanshahi, 2014; Rose et al., 2019), 급변하는 환경 속에서 빠르고 정확한 타이밍 능력이 중요한 스포츠 선수들에게 감각운동 동기화 훈련이 운동협응과 타이밍 향상에 긍정적인 영향을 미친다고 하였다(남수미 등, 2020; Söğüt et al., 2012; Sommer et al., 2018). 또한, 외부 리듬에 맞춰 움직임을 시간적으로 동기화하는 기술을 오랜기간 동안 지속적으로 행한 음악가나 무용수의 축적된 훈련 경험은 감각운동 동기화 기술을 촉진하고, 유지하는데 기여한다고 하였다(Bläsing et al., 2012; Repp, 2010). 이렇듯 리드미컬한 동조화에 관한 연구는 감각운동 활동을 다루는 여러 영역에서 활발하게 진행되고 있으며, 본 연구에서는 음악을 활용하여 인간의 움직임을 하나의 표현 수단으로 제공하는 형태인 무용(dance)에 초점을 맞추어 동조화를 살펴

보았다.

무용은 안무 또는 즉흥적인 방법에 의해 신체의 한 부분 혹은 그 이상이 포함된 움직임을 말하며(Bläsing et al., 2012), 시간적으로 음악 박자(musical beat)에 협응되는 구조화된 움직임 패턴을 포함한다(Su, 2016). 무용수들은 대개 음악에 맞추어 손을 올리고, 팔이나 다리를 흔들며, 전신을 움직인다. 2인 이상이 함께 춤을 출 때는 음악은 물론 파트너의 동작이나 이동 등에 자신의 움직임 타이밍을 조절하고 유지하며 맞추어야 한다. 이때 의도하지 않은 움직임들, 예를 들어, 음악 박자보다 일찍 움직이거나 늦게 움직이는 것은 춤의 리듬을 무너트리는 결과를 초래할 수 있다. 이는 전통춤, 발레, 현대무용, 스트릿댄스, 째즈댄스, 댄스스포츠 등 다양한 장르를 포함하는 춤의 공통적인 특성이다. 따라서 무용수가 외부 리듬(음악, 파트너의 움직임 등)에 맞추어 의도한대로 정확한 타이밍에 신체를 안정적으로 움직이기 위해서는 리드미컬한 동조화 능력이 매우 중요한 역할을 하며, 최종적으로 움직임을 구성하는 각 구성요소가 가진 리듬들이 조화롭게 어우러졌을 때 리드미컬한 움직임이 성공적으로 구현될 수 있다(Zehr, 2005). 이처럼 성공적인 무용 수행에 있어서 무용수의 동조화 능력은 기술적 관점에서 숙련도를 판단하는 주요한 요소 중 하나(Brown et al., 2006; Repp & Su, 2013)일 뿐 아니라 무용수의 의도를 반영한 예술적 표현을 돋보이게 하는 역할을 수행하기도 한다. 따라서 이와 관련된 정보는 무용 연구 분야에서 중요하게 다루어져야 할 것이다.

그동안 무용 분야에서 이루어진 선행연구의 대다수는 숙련된 무용수의 심폐지구력(Astrand, 1986; Clarkson et al., 1985 Wyon, 2005), 근력(Koutedakis et al., 2004), 체성분(Mišigoj-Duraković et al., 2001), 유연성(Deighan, 2005) 등과 같은 생리적 특성, 균형(Bruyneel et al., 2010; Crotts et al., 1996), 자세조절(Kilroy et al., 2016), 운동 시너지(Thullier & Moufti, 2004) 등과 같은 기능적 특성, 회상(Blasing et al., 2008) 등과 같

은 인지적 특성 등 숙련성에 기반한 무용수의 뛰어난 신체 기능에 초점을 맞추어 다양한 측면에서 연구되어왔다. 무용이 표현예술 활동인 동시에 정확한 타이밍을 요구하는 감각운동 활동임을 고려하였을 때, 상대적으로 리듬과 움직임의 동기화 그리고 숙련성과의 연관성에 대한 중요성 인식은 아직 부족해 보인다.

일반적으로 무용 교육 시 교수자는 목표과제의 동작을 시범으로 보여주고, 이후 리듬 정보를 청각적으로 제공하면서 효과적인 움직임 학습을 유도한다. 이렇듯 학습이나 훈련을 통해 하나의 무용 작품이 탄생하기까지 그 과정에서 나타나는 무용수의 타이밍 정확성과 일관성 그리고 움직임의 안정성(stability) 등은 수행의 성패를 결정하는 주요한 변인들이다(Bläsing et al., 2010; 2012). 또한, 무용수들의 오랜 무용훈련(dance training) 경험이 감각운동 동기화를 촉진하는데 긍정적인 영향을 미치고, 타이밍 관련 운동과제 수행 시 높은 수행의 정확성과 낮은 가변성이 나타남을 보고하였다(Karpati et al., 2016; Miura et al., 2011; Jin et al., 2019). 이와 관련된 선행연구를 구체적으로 살펴보면, 스트릿 댄서의 경우 초보자와 비교하였을 때 메트로놈 소리에 맞춰 무릎을 구부리거나 펴는 동작 수행 시 높은 수행의 정확성이 나타났으며(Miura et al., 2011), 사교춤 댄서의 경우 다양한 리듬속도에 따른 손가락 두드리기 과제를 더 정확하고 안정적으로 수행하였다(Jin et al., 2019). 반면, 음악가와 비교하여 무용수는 영상 속 아바타의 움직임을 모방하는 과제 수행 시 더 나은 수행력을 보여주었으나 청각-운동 동기화 과제에서는 낮은 수행력이 나타났다고 하였다(Karpati et al., 2016). 이러한 결과를 통하여 무용수가 일반적으로 음악에 맞춰 신체의 일부분 혹은 전신을 움직이는데 초점이 맞춰진 무용훈련을 오랜 기간 지속적으로 행함으로 인해 축적된 경험은 개인이 가진 타이밍 능력은 물론 특정한 감각운동 기술 즉, 청각정보에 따라 움직임을 시간적으로 동기화하는 리드미컬한 동조화 능력을 향상시키는데 기여했음을 알 수 있다.

이처럼 그동안 선행연구에서 다양한 연구방법을 통하여 리드미컬한 동조화 능력을 연구하였음에도 불구하고 여전히 제한점이 존재한다. 첫째, 현재까지 소개된 리드미컬한 동조화에 관한 대부분의 선행연구는 음악가를 대상으로 한 연구가 주를 이루고 있다(Aschersleven, 2002; Drake et al., 2000; Scheurich et al., 2020; Thompson et al., 2015). 그러나 음악가의 음악훈련이 악기를 연주하는 등의 움직임을 통해 리듬을 생성하는데 집중되어 있다는 것을 고려한다면, 음악가를 대상으로 한 연구 결과를 통하여 무용수에 적용한다거나 무용 수행에서 발생하는 타이밍과 관련된 여러 현상을 설명하기에는 부족하다고 생각된다.

둘째, 무용수를 대상으로 한 리드미컬한 동조화 관련 선행연구의 다수는 손가락 혹은 전신 움직임(무릎)에 한해 연구되어져 왔다. 물론 무용 수행의 대부분이 전신 움직임을 포함하고 있으나 새로운 무용 동작을 학습하거나 움직임 순서(movement sequence)를 습득할 때에는 상·하체 혹은 손과 발의 움직임을 구분하여 수행하는 경우가 일반적이다. 따라서 서로 다른 반응기(손, 발)에서 나타나는 타이밍 메커니즘이 공유되는지, 각각의 시스템이 독립적으로 시간을 맞추는지에 대한 규명이 요구된다.

셋째, 선행연구의 실험과제에서 제시되는 템포의 범위는 60초 이내의 밀리세컨드(millisecond, ms) 단위가 주로 사용되어왔다. 그러나 하나의 무용작품에는 빠른, 느린, 보통 등 다양한 템포의 리듬이 조화롭게 구성되어 있다. 서양의 댄스음악은 200-1500ms 사이의 템포가 주를 이루고, 특히, 440-460ms의 범주에 집중되어 있으며(van Noorden & Moelants, 1999), 한국 전통무용에서 사용되는 국악의 템포 범주는 이보다 넓다. 실제로 무용수는 자신의 의도를 외적으로 표현하기 위해 보다 넓은 범주의 리듬을 활용하여 춤을 춘다. 따라서 1초 이하 밀리세컨드 단위의 움직임은 실제 무용 동작을 수행하는데 소요되는 시간과는 거리가 멀고, 매우 짧은 시간 내의 움직임을 다루고 있기 때문에 초(second) 단위 간격의 움직임을 살펴

볼 수 있도록 템포 범주의 확장이 필요하다.

교육뿐 아니라 무용 연구의 주요 목표는 학습 과정을 효율적으로 단축시키거나 재능을 가진 사람들이 그들의 능력을 효과적으로 펼칠 수 있게끔 하는 것이다. 따라서 본 연구에서는 자발적 운동 템포, 동기화-지속, 템포 변화 등 다양한 조건의 실험과제에서 청각자극의 템포 범위를 확대하고, 손과 발의 움직임을 비교하여 무용 숙련자의 리드미컬한 동조화 능력에 대한 정량적 자료를 제공하고자 한다. 이를 통해 일반 성인의 타이밍 능력의 특성을 규명하고, 고도로 훈련된 무용수의 리드미컬한 동조화 특성에 대한 정보를 제공하며, 무용 등과 같은 리듬 기반의 움직임 교육에 있어서 효율적인 타이밍 훈련 전략을 이끌어내는 데에 중요한 역할을 할 수 있다는 것에 이 연구의 의의와 필요성이 있다 할 수 있겠다.

2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 일반 성인(비숙련자)과의 비교를 통해 숙련된 신체 움직임에서 나타나는 리드미컬한 동조화 능력의 특성을 규명하여 인간이 청각 정보에 반응하여 발생시키는 타이밍 능력을 정량화하고 이를 통하여 청각 정보를 활용하여 정확한 움직임을 발생시키는 다양한 영역에 적용할 수 있는 기초자료를 확보하고자 한다. 이와 같은 연구목적을 달성하기 위해 다음과 같은 세부 목표를 설정하였다.

첫째, 자발적 운동 템포 과제를 통하여 집단과 움직임 양식에 따라 나타나는 선호하는 템포의 특성을 규명하고자 한다.

둘째, 동기화-지속 과제를 통하여 청각자극의 유무에 따라 나타나는 집

단과 리듬속도 그리고 움직임 양식에 따른 타이밍 특성을 규명하고자 한다.

셋째, 템포 변화 과제를 통하여 집단, 템포 변화의 지각 여부, 템포 변화의 특성에 따라 나타나는 적응의 특성을 규명하고자 한다.

3. 연구가설

본 연구의 목적을 달성하기 위해 다음과 같은 연구가설을 설정하였다.

1) 자발적 운동 템포는 집단과 움직임 양식에 따라 차이가 있을 것이다.
   ① 숙련자의 자발적 운동 템포는 비숙련자에 비해 느릴 것이다.
   ② 손가락 두드리기 수행의 자발적 운동 템포는 발뒤꿈치에 비해 느릴 것이다.

2) 동기화 수행에서 나타난 집단과 리듬속도에 따른 타이밍 정확성(asynchrony)은 차이가 없으나 가변성(CV_{asy})은 차이가 있을 것이다.
   ① 숙련자의 타이밍 가변성은 비숙련자에 비해 낮게 나타날 것이다.
   ② 느린 리듬속도 조건의 타이밍 가변성은 상대적으로 빠른 리듬속도에 비해 높게 나타날 것이다.

3) 지속 수행에서 나타난 집단과 리듬속도에 따른 타이밍 정확성(ITI)과 가변성(CV_{ITI})은 차이가 있을 것이다.
   ① 지속 수행에서 나타난 숙련자의 타이밍 정확성은 비숙련자에 비해 높게 나타나고, 타이밍 가변성은 낮게 나타날 것이다.

② 빠른 리듬속도 조건의 타이밍 정확성은 상대적으로 느린 리듬속도에 비해 높게 나타날 것이다.

③ 느린 리듬속도 조건의 타이밍 가변성은 상대적으로 빠른 리듬속도에 비해 높게 나타날 것이다.

4) 템포 변화의 지각 여부가 동기화 적응 능력에 영향을 미칠 것이다.

① 템포 변화를 지각한 조건에서 ITI의 느린 적응, 비동기성의 빠른 적응이 나타날 것이다.

② 템포 변화를 지각하지 못한 조건에서 ITI의 적응 속도는 빠를 것이나 비동기성의 적응은 느릴 것이다.

5) 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따라 동기화 적응 능력은 차이가 있을 것이다.

① 숙련자의 ITI 및 비동기성의 적응은 비숙련자에 비해 빠를 것이다.

② 템포 변화 크기가 클수록 ITI의 적응이 더 빠르고 안정적이고, 비동기성의 적응은 느리게 나타날 것이다.

③ 템포 변화가 정적 방향(positive condition)인 조건에서 나타난 ITI의 적응이 더 빠르고 안정적이며, 비동기성의 적응도 보다 빠르게 나타날 것이다.

4. 용어의 정의

본 연구에서 주로 사용된 용어와 그에 대한 개념은 다음과 같다.

1) 리드미컬한 동조화 능력(rhythmic entrainment ability)

동조화는 두 개 이상의 진동자(oscillator)가 빈도(frequency), 국면(phase)에 있어서 동시에 움직이게 되는 것이다. 즉, 리드미컬한 동조화 능력은 주기성을 가진 리듬(isochronous pulse)의 속도(pace)에 신체 움직임을 일치시키고자 하는 경향으로 외부 자극(external stimulus)과 내재된 리듬(endogenous rhythm) 간의 안정된 시간적 관계를 말한다(McPherson et al., 2018; Merker et al., 2009; Rose et al., 2019). 본 연구에서는 청각 시스템과 운동 시스템을 연결하여 리드미컬한 움직임 패턴을 만드는 능력으로 정의하였으며, 이와 관련된 세 가지 실험과제를 통하여 개인이 가지고 있는 리드미컬한 동조화 능력의 특성을 살펴보았다.

2) 감각운동 동기화(sensorimotor synchronization, SMS)

감각운동 동기화는 외부 환경으로부터 제공된 청각, 시각 등의 감각 정보를 통하여 지각된 리듬에 리드미컬한 운동 패턴(rhythmic motor pattern) 즉, 규칙적이고 반복적인 리드미컬한 움직임을 생성하여 일치시키는 것을 말한다(Patel, 2006; Repp & Su, 2013). 인간의 리드미컬한 동조화 능력은 감각운동 동기화 과제를 통하여 측정할 수 있으며, 본 연구에서는 다양한 감각 정보 중 청각에 초점을 맞추어 주기적으로 제공되는 메트로놈 소리로부터 지각된 박자(perceptual beat)에 맞추어 신체 움직임을 일치시키는 것을 감각운동 동기화로 정의하였다.

3) 비동기성(asynchrony)

청각자극의 제시 시점과 이에 상응하는 연구참여자의 손 혹은 발을 사용한 탭(tap) 간에 나타난 시간 차이를 말한다. 본 연구에서는 비동기성을 청각-운동 동기화 과제 수행 시 나타나는 청각자극 간 간격(inter-stimulus interval, ISI)과 탭 간 간격(inter-tap interval, ITI) 사이에서 나타나는 시

간 차이로 정의하고, asynchrony의 부호(+, -)통하여 기준이 되는 자극의 이전 혹은 이후에 반응하였는지 파악하였다. asynchrony가 음수인 경우 자극보다 앞서 반응한 것이며, 양수인 경우 자극보다 늦게 반응한 것이다. 또한, 비동기성의 절대값을 통하여 오류의 크기를 측정하였다.

4) 타이밍 정확성(accuracy)

본 연구에서는 타이밍 정확성을 청각자극의 여부에 따라 비동기성의 절대값(absolute asynchrony)과 평균 ITI를 통해 측정하였다. 청각자극이 주어진 실험과제는 청각자극과 탭 간의 시간 차이 즉, 비동기성의 절대값을 통해 두드리기 수행의 정확한 정도를 살펴보았다. 청각자극이 부재된 경우에는 ITI의 평균값으로 목표한 ISI와 비교하여 목표지점과 반응의 일치 정도를 파악하였다.

5) 타이밍 가변성(variability)

본 연구에서는 타이밍 가변성을 청각자극의 여부에 따라 비동기성과 ITI의 변동계수(coefficient of variation, CV)를 통해 측정하였다. 이 값은 두드리기 수행 시 나타난 수행의 일관된 정도를 나타내는 지표로 각 변인의 표준편차를 평균으로 나누어 산출한다.

6) 무용 숙련자(dance expert)

본 연구에서는 무용과 관련된 전문교육을 꾸준히 받아 온 즉, 무용훈련 경험이 최소 15년 이상이고, 국내 직업무용단에서 최소 3년 이상 활동한 경력을 가지고 현재도 활발하게 무용 활동에 참여하고 있는 사람을 무용 숙련자라 정의하였다.

II. 이론적 배경

1. 리드미컬한 동조화 능력

1) 전 생애적 관점의 발달

외부자극에 대한 신체 움직임의 시간적 동조화는 일상생활의 기능적 측면에서 매우 중요하다. 걷기, 뛰기, 말하기, 씹기 등과 같이 일정한 시간 간격에 맞춰 동작이 반복적으로 이루어지는 형태가 대표적인 예이다. 이처럼 일상생활을 영위하기 위한 기본적인 움직임뿐 아니라 골프나 야구에서의 스윙 등과 같은 스포츠 기술, 피아노 연주나 발레, 한국무용 등의 예술 활동 등에서도 운동기술을 수행할 때 외부자극에 맞추어 움직임의 타이밍을 일치시키는 리드미컬한 동조화 능력이 요구된다(남수미 등, 2020; Clayton et al., 2005). 특히, 숙련된 무용수나 음악가들은 이러한 능력이 놀라운 단계까지 도달한다. 이는 다른 동물과 구별되는 인간의 고지능적 행동으로 주기적인 리듬에 대한 신체 움직임의 동조화는 만 2세 이후에야 가능하며(Kotz et al., 2018; Patel, 2006; Provasi & Bobin-Bègue, 2003), 연령의 증가에 따라 향상된다(Drewing et al., 2006; McAuley et al., 2006; Thompson et al., 2015).

이와 관련된 선행연구들은 규칙적인 메트로놈 소리에 맞춰 손가락을 두드리는 과제(finger tapping task)를 통해 집중적으로 연구되어왔다. 외부 리듬에 신체 움직임을 맞추는 능력은 유아기에 나타나기 시작하여(Smoll,

1975; Provasi & Bobin-Bègue, 2003; van Noorden & DeBruyn, 2009) 성인기에 이르기까지 점차 향상된다(Drake et al., 2000; McAuley et al., 2006). van Noorden와 De Bruyn(2009)은 만 3-11세 아동 600명을 대상으로 빠르기가 다른 음악에 맞추어 손가락 태핑 과제를 수행하게 하였다. 그 결과, 3세 아동의 경우 제시되는 청각자극의 템포에 적응하지 못하고 이에 상관없이 보통 500ms(2Hz)의 속도로 반응하였고, 이 속도에서 가장 정확한 태핑 반응을 보였다. 4세 이후에는 손가락 태핑의 가변성이 감소하고, 동기화가 가능한 리듬의 속도 범위가 더 넓어졌다(Kirschner & Tomasello, 2009). 이처럼 만 4-5세 아동의 청각-운동 동기화 능력은 상대적으로 성인과 비교하여 많이 떨어졌고, 만 6-7세에는 보다 향상되었으며, 만 15-23세에 가장 낮은 반응의 가변성을 보였다(Drewing et al., 2006; Thompson et al., 2015). 하지만 노인기에 이르러서는 다시 정확성이 감소하는 경향을 보여준다(Krampe et al., 2005; Salthouse, 2000; Thompson et al., 2015). 이러한 패턴은 연령이 증가할수록 감소하는 인지나 운동기능의 일반적인 궤적과 맥락을 같이 한다. 일반적으로 노인의 경우, 운동 시 수행의 정확성이나 최대 속력의 감소 등의 특징이 나타난다(Krampe, 2002).

앞서 살펴본 선행연구에서처럼 만약 노화로 인해 뇌의 생체 시계(central clock)가 영향을 받는다면, 리드미컬한 동조화 과제 수행 시 노인의 타이밍 가변성은 증가해야 한다. 그러나 일부 다른 선행연구들에서는 성인과 건강한 노인들 사이에서 가변성의 차이가 나타나지 않았다고 보고하고 있다(Duchek et al., 1994; Drewing et al., 2006; Greene & Williams, 1993). 아마추어 피아니스트로 구성된 성인과 노인집단 모두 태핑하는 간격이 늘어날수록 수행의 가변성이 체계적으로 증가하는 경향을 나타내었다(Krampe et al., 2001). 또한, 노인 음악가의 경우 비음악가와 비교하여 연령 증가로 인한 청지각(auditory perception) 능력의 감소 경험이 적고(Zendel, & Alain, 2012), 소리에 대한 신경 반응의 일치성도 높았다(Parbery-Clark et

al., 2012). 따라서 음악훈련(musical training)을 통해 리드미컬한 동조화 능력의 향상이 가능하다고 하였다(Chen et al., 2008; Repp, 2010; Scheurich et al., 2020). 국내에서는 초등학생을 대상으로 악기 교육 경험에 따른 청각-운동 동조화 능력의 차이를 비교하였다. 그 결과, 학년이 높을수록 청각자극에 대한 태핑 반응의 정확도가 높아졌고, 3, 4학년의 경우 악기 교육 여부에 따라 집단 간 유의한 차이가 나타났다(이경면 & 이윤상, 2019).

정리하면, 전 생애적 관점에서 외부 리듬에 맞추어 신체 움직임을 일치시키는 능력의 변화를 발달적 측면에서 살펴본 결과, 연령의 변화에 따라 다른 양상이 나타났다. 여기에는 음악, 무용, 체육 등과 같이 리듬기반 움직임을 포함하는 개인의 훈련 경험이 영향을 미칠 수 있으며, 이러한 특성을 구체적으로 구별할 수 있는 연구가 요구된다.

2) 신경생물학적 기전

음악에 맞춰 춤을 춘다고 가정해보자. 이러한 리듬기반 움직임을 수행하기 위해서는 박자 추출(beat extraction), 운동 주기성(motor periodicity), 청각-운동 동조화와 같은 하위 구성요소들이 기본적으로 요구된다(Clayton et al., 2004; Kotz et al., 2018). 다시 말해, 규칙적인 리듬에 맞춰 신체 움직임을 동조화하기 위해서는 복잡한 리듬 패턴 속에서 규칙적인 박(beat)을 찾아낼 수 있어야 하고, 주기적인 운동 패턴을 생성할 수 있어야 하며, 찾아낸 박에 신체 움직임을 맞출 수 있어야 한다(Chen et al., 2006; Patel & Iversen, 2014; Ravignani et al., 2017).

신경학적 측면에서 청각-운동 동조화를 설명하면, 소리 신호와 주기적인 외부 청각 신호는 뇌줄기의 망상체를 통해 대뇌피질과 척수로 동시에 보내지고, 그물척수 신경로(reticulospinal pathways)를 통하여 하위운동신경원으로 이동하여 근육의 수축 속도를 조절하게 된다. 이러한 일련의 과정을

통하여 청각 신호와 신체의 움직임 간의 동기화가 효과적으로 유도된다(Felix et al., 2011).

리드미컬한 움직임의 타이밍에 대한 신경학적 메커니즘을 다룬 연구에서는 피험자에게 단순한 청각 리듬에 맞춰 손가락을 태핑하는 과제를 수행하게 하고 기능적 자기공명 영상법(functional Magnetic Resonance Imaging, fMRI)을 통해 그 결과를 살펴보았다. 일반적으로 움직임 타이밍은 일차감각운동영역(primary sensorimotor area), 소뇌(cerebellum), 전운동피질(premotor cortex), 보조운동영역(supplementary motor area, SMA), 상측두회(superior temporal gyrus), 기저핵(basal ganglia) 등의 영역과 연관되어 있고(Jäncke et al., 2000; Mayville et al., 2002; Thaut, 2003), 특히 상측두회, 전운동피질, 복측부 전전두엽 피질(ventrolateral prefrontal cortex)이 청각자극에 따른 운동 반응의 동조화에 핵심 구조라 하였다(Chen et al., 2009; Kung et al., 2013). 또한, 움직임 순서(sequence)의 시간적 주기성에 의존하는 지각적 타이밍의 경우 소뇌와 신선조체(striatum) 영역의 활성화가 나타났다고 보고하였다(Ivry & Schlerf, 2008). 이는 리듬을 지각하고 박자를 추출하여 움직임을 생성하는데 있어서 기저핵, 소뇌 등의 피질하(subcortical) 영역과 대뇌피질(cortical)을 포함하는 운동 영역이 중요한 역할을 한다는 것을 의미한다(Nozaradan et al., 2017).

기저핵과 보조운동영역은 상대적으로 긴 시간 간격(second)을 가진 타이밍 수행 시 중요한 역할을 하는 반면, 소뇌의 경우 상대적으로 짧은 시간 간격(millisecond)을 가진 운동 타이밍을 조절할 때 중요하다고 하였다(Buhusi & Meck, 2005). 1초 이하의 시간 간격을 가진 연속적인 운동의 생성은 자동적으로 이루어진다. 이는 millisecond 단위의 범위 내에서 이루어지는 운동 타이밍 수행 시 인지적 조절에 포함되는 뇌 영역의 낮은 활성도로 짐작할 수 있다(Lewis & Miall, 2003). 또한, 상대적으로 빠른 박자(600ms)와 비교하여 느린 박자(1500ms)에서는 기저핵, 전운동영역, 보조운

동영역, 시상(thalamus) 등 뇌 영역의 활성화가 서로 감소하였다(McAuley et al., 2012).

이처럼 손가락 태핑과 같은 단순한 운동과제의 수행 속에는 복잡한 신경학적 메커니즘이 존재한다. 이를 통해 리듬 지각 및 움직임 타이밍의 중요한 기본적인 특성이 밝혀졌음에도 불구하고 무용훈련에 의한 효과나 춤 움직임 등과 같이 보다 복잡한 과제에도 적용 가능한지는 아직 불명확하다.

3) 타이밍 제어 전략

외부 리듬에 대한 신체 움직임의 동기화는 연속적(continuous) 또는 불연속적(discontinuous) 과제의 특성에 따라 사건기반 타이밍(event-based timing)과 발생적 타이밍(emergent timing) 전략으로 구분된다.

먼저, 사건기반 타이밍 전략의 예를 들어 보자. 규칙적인 리듬에 맞춰 반복적으로 정확하게 손가락을 태핑하는 과제의 경우 손가락이 탭하기 위해 지면에 닿았다 떨어지게 된다. 이처럼 운동 반응이 반복적이고 불연속적일 때 위와 같은 불연속 구간은 하나의 사건이 되고, 이를 토대로 수행자는 체내시계(internal clock)를 통해 리듬 자극에 따른 반응의 간격을 인지적으로 명확하게 구분할 수 있게 된다. 따라서 성공적인 동작 간의 규칙적인 리듬을 유지하기 위해서는 시간을 기록하는 처리과정이 수반되고, 부적 자기상관 값(negative autocorrelation values)으로 나타난다(Wing & Kristofferson, 1973). 이는 타이밍 오류의 즉각적인 보상을 반영하는 것이 아니라 규칙적인 리듬을 생성하는 pacemaker의 낮은 가변성을 나타낸다. 이를 예측 타이밍(predictive timing) 혹은 사건기반 타이밍 전략이라 말한다. 반면, 운동 타이밍의 기준점 역할을 할 수 있는 움직임 궤적를 따라 발생하는 시각, 촉각 또는 운동감각적 사건이 없는 연속적인 움직임 조건에서의 타이밍은 발생적이라 말한다(Zelaznik et al., 2002).

리드미컬한 동조화 능력의 측정은 실험실 상황에서 메트로놈 소리 등과

같은 청각자극에 맞추어 손가락을 태핑하는 과제를 주로 활용해왔다. 이를 통한 운동 활동(motor activity)은 시간적 가변성을 보여주고, 청각자극과 그에 상응하는 탭 반응 간의 시간 차이를 일으킨다. 이를 동기화 오류(synchronization error) 혹은 비동기성(asynchrony)이라 일컫는다. 이러한 동기화 오류의 발생은 소리가 귀를 통해 뇌에 입력되고 다시 신호를 보내 손가락을 움직이게까지 하는 시간이 소요되기 때문이다(Fraisse, 1980). 일반적으로 규칙적인 청각자극에 대한 손가락 태핑 수행 시 수행자는 처음에 자극이 제시된 시점보다 늦게 반응하게 된다. 그러나 주기적으로 반복되는 리듬에 대한 예측이 가능해지고 이로 인해 점차 자극의 제시 시점보다 약 20-50ms 정도 먼저 반응하게 된다. 따라서 동기화 오류값은 음수가 되며, 이를 negative mean asynchrony(NMA)라 지칭한다(Aschersleben, 2002; Dunlap, 1910). 이러한 현상은 리듬속도 단서의 예측 가능한 반복으로 인해 청각자극의 제시 시점보다 반응이 선행하는 예측 전략(predictive strategy)을 사용하여 개인이 움직임 타이밍을 조절한다는 기전을 지지한다(Aschersleben & Prinz 1995; Dione & Delevoye-Turrell, 2015; Wing & Kristofferson, 1973).

청각자극에 일치하게끔 움직임을 정확하게 동기화하고 유지하기 위해서는 비동기성에 대한 감각정보를 기반으로 오류를 수정(error correction)하는 과정이 요구된다(Repp & Keller, 2004). 만약 이러한 과정이 생략된다면, 시간적 변동(temporal variance)은 점차 축적되고, 예상한 바와 같이 청각자극에 대한 탭은 목적과 방향을 상실한 채 표류할 것이다. 오류 수정은 연속적으로 동기화하거나 불연속적으로 오류를 정정하는 두 가지 형태로 구분된다: phase correction, period correction. Phase correction은 이전의 시간 정보를 바탕으로 각각의 탭 타이밍의 자동적 적응을 말한다. Period correction은 리드미컬한 동작의 특정한 기간(duration)이 내적으로 변하는 것을 말하며, 이는 인지적 조절 아래 이루어진다. 주기적인 템포의 연속에

서 템포 변화에 대한 지각적 알아차림은 period correction에서 필수적이고, 이를 향상시키는 역할을 한다. 반면, phase correction은 동기화 오류 혹은 타이밍 동요(perturbation)의 지각적 탐지에서 독립적이다. 다시 말해, 변화한 템포의 크기가 알아차리기 힘들 정도로 작은 경우 ITI는 느린 적응 패턴을 보여주고, 템포의 변화 크기가 클수록 ITI가 빠르게 적응하는 것을 볼 수 있다. 이때 목표지점에서 멀리 벗어나는(overshoot) 경향을 볼 수 있는데 이는 period와 phase correction이 동시에 발생하였다는 것을 의미한다. 반면, 템포의 변화를 지각하지 못한 경우 주로 phase correction만 발생할 수 있으며, 이때에는 목표지점에서 지나치게 멀어지지 않고 ITI의 적응이 발생한다. 이는 ITI의 적응이 적어도 period correction 없이도 발생할 수 있다는 점에서 중요하다. 이처럼 period correction은 phase correction과는 다르게 템포 변화를 지각하는지에 대한 여부와 과제에 대한 주의 요구의 민감성에 영향을 받는다. 또한, 연구참여자가 템포 변화에 반응하지 않고 기존 템포를 유지하면서 탭할 것을 지시받았을 때 그들은 phase가 아닌 period를 완벽하게 억제할 수 있다. 이러한 결과는 period가 적어도 어느 정도는 높은 수준의 인지적 기능인 반면, phase는 주로 낮은 수준의 자동적 처리과정이라는 것을 확인할 수 있다. 의도적인 period 조정은 예측과 모든 종류의 준주기적인 타이밍 패턴의 생성을 바탕으로 한 처리과정일 가능성이 높다. 그러나 phase는 SMS에 특수하고 전적으로 반응한다.

2. 리듬과 숙련성

1) 숙련성의 특성

한 개인이 어떤 기술을 오랜 시간에 걸쳐 충분히 연습하고, 이를 올바르게 가르칠 수 있다면, 우리는 이러한 사람을 숙련되었다고 표현하거나 전

문가라고 일컫는다. 운동기술(motor skill) 영역에서 전문가에 대한 지식의 대부분은 엘리트 선수, 무용수, 음악가와 밀접하게 연관되어 있다. 이들은 서로 다른 분야인 것처럼 보이지만 기술 수행(skill performance) 영역에 있어서는 일부 비슷한 특성을 가지고 있다(Magill & Anderson, 2021).

일반적으로 기술의 숙련(expertise)을 결정하는 요인은 개인의 신체적 특성, 재능, 지식, 기술 수준 등 매우 다양하다. 선행연구에 따르면, 인지적 관점에서 초보자(novice)와 비교하여 숙련자(expert)는 더 빠르고 정확하게 패턴을 인식하고, 적은 오류로 문제를 해결하는 능력과 우수한 단기(short term) 및 장기(long term) 기억력을 가지고 있으며, 자기 스스로 모니터링하는 기술이 뛰어나다(Glaser & Chi, 2014). 또한, 다이내믹한 환경에서 제공된 정보의 의미와 자신의 의사결정 및 동작 수행에 따른 결과를 추론하는 기술, 장해물(disturbance)에 반응하기보다 예방적 차원에서 예측하는 기술 등을 가지고 있고, 새로운 정보를 더 빠르고 완벽하게 받아들인다(Cellier et al., 1997). 이외에도 스포츠에서 운동 숙련자는 미리 동작을 계획하고 상대편의 동작을 예측하는데 뛰어나고, 필수적인 운동학적 정보를 지각하는 능력, 일관되고 적합한 움직임 패턴을 생성하는 능력을 소유하고 있으며, 자동화된 방법(automatic fashion)을 통하여 적은 노력으로 움직임 수행이 가능하다고 하였다(Abernethy et al., 1994; Starkes & Ericsson, 2003; Tan, 1997).

이처럼 숙련성은 다른 사람을 능가하는 특성이기 때문에 단편적인 측면에서 설명하기보다는 다차원적 관점에서 이해되어야 한다. 이와 관련하여 Starkes와 Allard(1993)는 생리적(physiological), 기술적(technical), 인지적(cognitive), 정서적(emotional)인 4가지 영역을 움직임 숙련의 요인으로 언급하였다.

생리적 숙련은 무산소적 순발력, 유산소적 용량, 근섬유의 형태와 분포, 신체 구조와 분절의 크기, 유연성, 그리고 전체적으로 보여지는 신체의 미

적인 측면을 포함한다(Kenny et al., 2008). 이러한 요소들은 지속적인 연습과 훈련에 의해 향상될 수 있지만 그 한계는 선천적으로 타고나는 유전적인 특성에 의해 결정된다(Reilly et al., 2000). 또한, 생리적 숙련은 다른 분야와는 다르게 무용이나 체육에서의 수행에 대한 고유한 속성이라 할 수 있다.

기술적 숙련은 감각운동적 협응을 의미하며, 보다 세련되고 효율적인 움직임 패턴을 생성하는 것을 말한다. 일반적으로 움직임의 기술적 측면은 움직임의 숙련 정도를 평가할 수 있는 하나의 주요한 요인이며, 무용에서는 표현의 예술성, 미적 가치 등과 같은 질적인 요소와 더불어 평가된다. 개인이 타고난 유전적 특성에 의해 제한적인 생리적 숙련과 다르게 기술적 숙련은 오랜 시간에 걸친 연습과 학습에 의해 기능적 발전을 가져올 수 있으며, 시간이 지날수록 더욱 효율적이고, 자동화되어 진다.

인지적 숙련은 전술적 기술(tactical skill)과 의사결정 능력(decision-making ability)으로 나누어 진다. 전술적 기술은 수행의 전문성을 위한 필수조건으로 무용에서는 안무를 떠올리거나 복잡하고 어려운 동작을 효율적으로 수행하기 위한 전략 기술 등이 대표적인 예이다. 의사결정 능력은 주변 환경으로부터 다양한 정보를 탐색, 적절한 단서의 추출, 패턴의 인식을 포함하며, 반응의 속도와 정확성을 결정하는 요인이다.

정서적 숙련은 정서적 조절(emotional regulation)과 심리적 기술(phychological skill)로 나누어진다. 정서적 조절은 수행의 성공이나 실패로 인해 갖게 되는 기쁨, 즐거움, 슬픔, 당황 등의 정서를 효과적으로 조절하는 능력을 말한다. 심리적 기술은 동기, 목표 설정 전략, 자신감, 긍정적 태도 등과 같은 수행의 심리적 측면을 포함한다.

이와 같이 한 개인이 어떤 분야에서 숙련되었다는 것은 앞서 설명한 모든 요소들을 갖추는 것은 물론 위 네 가지 영역 간의 상호작용을 통해 이루어진다.

2) 리듬 기반 움직임의 숙련

리듬을 지각하고, 지각된 리듬에 맞춰 움직임을 생성하는 것은 다양한 감각운동 활동에서 나타나는 공통된 특성으로 걷기, 말하기 등의 일상생활을 영위하기 위한 기본적인 움직임뿐 아니라 무용, 음악, 스포츠 등과 같은 숙련된 기술을 요구하는 여러 영역에서 다양하게 활용되어 진다(남수미 등, 2020; Brown et al., 2006).

리듬 기반 움직임에 있어서 동기화는 외부 환경과 주어진 과제의 요구에 대하여 신체를 적절한 시기에 목표한 위치로 움직이거나 외부자극에 맞추어 신체의 일부분 또는 사지 움직임의 시간적 협응을 말하며. 이는 수행의 성패를 결정하는데 주요한 요인으로 숙련성을 판단하기 위해 필수적으로 고려된다(Brown et al., 2006; Repp & Su, 2013). 다시 말해, 축구에서의 공 차기, 골프나 야구에서의 스윙과 같은 스포츠 기술, 음악가의 악기 연주나 무용수의 춤과 같은 예술 활동에서 성공적으로 움직임을 수행하기 위해서는 외부자극에 대하여 정확한 타이밍에 신체 움직임을 일치시키는 능력이 요구된다. 이때 타이밍은 리듬과 템포에 의해 많은 영향을 받는다(김선진 & 김수연, 2011).

리듬은 어떤 물체의 운동 법칙에 의해 규칙적이고 반복적으로 만들어내는 시간적, 공간적 궤적을 말하고, 템포는 동작을 수행하는데 걸리는 전체 소요시간에 대한 속도를 의미한다. 움직임을 정확하고 안정적으로 수행하기 위해서는 리듬과 템포를 고려한 움직임 협응이 이루어져야 한다. 움직임 수행 시 어떠한 심리적, 물리적 현상에 의해 템포가 깨지면, 시간적 순서에 따라 동작이 이루어져야 하는 리듬이 무너지고, 이는 타이밍 유지에 부정적인 영향을 미쳐 결과적으로 수행 실패의 원인이 될 수 있다(김선진, 2014). 따라서 타이밍이 요구되는 과제의 성공적인 성취를 위해서는 시간의 흐름 속에서 외부자극에 적합한 리듬과 템포를 선택하여 안정적으로 움

직임의 시간적 협응을 이루어져야 한다. 이를 좋은 수행의 기준으로 볼 때 리듬과 움직임의 동기화 그리고 숙련성은 스포츠는 물론 무용, 음악, 연극과 같은 예술 분야에서도 중요하게 인식되어 온 문제이다.

리듬 기반 움직임의 대표적인 예로 무용이 표현 예술활동인 동시에 리듬, 외부자극에 대한 동기화, 움직임 협응 등의 통합을 요구하는 감각운동 활동임을 고려하였을 때 리듬에 따른 신체 움직임의 시간적 동조화는 무용의 기능적 측면에서 숙련성을 결정하는 지표로 여겨질 뿐 아니라 무용수의 의도를 반영한 예술적 표현을 돋보이게 하는 역할을 수행하기도 한다.

따라서 무용 수행에 대한 보다 심도 깊은 이해를 위해서는 감각정보에 따른 움직임의 리듬, 숙련도에 따른 동기화 능력, 협응 차원에서의 움직임의 시간적 동조화 등과 관련된 정량적 자료를 통한 이해가 요구된다.

3) 리듬과 숙련성 연구의 동향

리듬 기반 움직임과 숙련성은 무용뿐 아니라 음악이나 스포츠 등의 분야에서도 다루고 있는 연구주제로 각 분야에서 다양한 방법으로 연구가 진행되어왔다. 특히, 청각 정보에 대한 움직임의 시간적 협응 기술은 다이내믹 시스템 접근에서 상변이(phase transition) 패러다임과 같은 맥락에서 연구되어져 왔다.

다이내믹 시스템 이론에서 중요하게 다루어지는 협응은 사지의 움직임 간 혹은 환경적 정보(청각, 시각 등의 자극)와 움직임 간의 시·공간적 조직화(spatiotemporal organization)를 말한다(Kelso, 1984). 이와 관련된 초기 연구는 양 손가락의 리드미컬한 움직임 과제를 통하여 진행되었다. Kelso(1984)의 연구에서 피험자는 특정한 속도로 오른쪽과 왼쪽의 검지를 반대 위상(anti-phase) 패턴으로 리드미컬하게 움직인다. 이와 같은 상태에서 움직임 속도를 점차 빠르게 한 결과, 어느 순간에 갑자기 손가락 움직임이 같은 위상(양손의 검지가 동시에 펴지고 굽혀지는 형태; in-phase) 패

턴으로 변화하였다. 이처럼 움직임 속도의 변화에 따라 새로운 조건에 적합한 움직임 형태로 갑작스럽게 전환되는 상변이 현상은 손가락과 같은 신체 일부분의 움직임들 간뿐 아니라 다양한 형태의 움직임, 예를 들어, 리드미컬한 사지간 협응(Byblow et al., 1994; Fujii et al., 2010), 사지내 협응(Kelso & Zanone, 2002), 개인간 협응(Timmers et al., 2020; Schultz & Palmer, 2019) 등에서도 적용되었으며, 이는 전신 움직임, 청각정보와 움직임(Miura et al., 2011, 3013) 사이에서도 발생할 수 있다.

대부분의 숙련성 연구가 그렇듯이 리듬과 숙련성 관련 선행연구는 초보자와 숙련자의 비교를 통해 주로 이루어졌다. 예를 들어, 무용을 학습한 경험이 적은 초보자, 무용 전문교육 및 훈련을 꾸준히 받은 숙련자를 대상으로 한 연구를 말한다. 이러한 초보자-숙련자 비교 접근은 높은 수준의 기량을 가진 숙련자의 특성을 파악하고, 숙련성을 촉진하고 발전시키기 위한 효율적이고 효과적인 학습법 혹은 교수법을 규명하기 위한 하나의 방법으로 적용되어 다양한 연구결과를 보고하고 있다.

무용 분야에서는 숙련된 무용수의 심폐지구력(Astrand, 1986; Clarkson et al., 1985 Wyon, 2005), 근력(Koutedakis et al., 2004), 체성분(Mišigoj-Duraković et al., 2001), 유연성(Deighan, 2005) 등과 같은 건강체력 수준, 균형(Bruyneel et al., 2010; Crotts et al., 1996), 자세조절(Kilroy et al., 2016), 운동 시너지(Thullier & Moufti, 2004) 등과 같은 운동제어 능력, 회상(Blasing et al., 2008) 등과 같은 인지적 특성 등 무용 숙련자의 특성 및 무용 수행에 영향을 미칠 수 있는 요소들에 관심을 두고 연구가 진행되어 왔다.

일반적으로 무용 교육 시 교수자는 목표과제의 동작을 시범을 통하여 먼저 보여주고, 이후 음악이나 카운트 등의 리듬 정보를 청각적으로 제공하면서 효과적인 움직임 학습을 유도한다. 이처럼 움직임 학습에 있어서 리듬과 같은 청각 정보가 움직임의 타이밍 정보를 제공하는 주요한 요소임에

도 그 중요성에 대한 인식은 아직 부족해 보인다.

3. 무용과 숙련성

여러 예술 활동 중 하나인 무용은 비언어적 신체 움직임들의 연속(sequences)으로 이루어진 목적을 달성하기 위한 리드미컬한 인간의 표현 활동이다(Hanna, 1987). 숙련된 무용수는 자신의 의도와 감정에 따라 높은 수준의 조직화된 방법으로 움직임을 협응하는 능력을 가지고 있다. 이처럼 무용에서의 움직임은 무용수의 의도를 드러내는 표현적 활동일 뿐 아니라 신체 여러 분절들 간의 조화로운 협응으로 나타나는 리드미컬한 기능적 활동이다. 특히, 무용이 가지는 특성 중 리듬과 협응은 무용의 숙련성을 판단하는데 주요한 요소로 고려된다.

무용의 신체 움직임을 기계에 빗대어서 설명해보자. 신체의 근력, 심폐지구력, 체성분, 유연성 등과 같은 무용수의 건강체력 수준을 반영하는 생리학적 특성이 하드웨어적 요인이라면, 움직임의 정확성, 안정성, 타이밍, 협응성 등의 기능적 특성은 소프트웨어적 요인이다. 무용에 있어서 움직임 수행의 질적인 면을 향상시키기 위해서는 소프트웨어의 역할이 중요하다.

일반적으로 숙련된 무용수(skilled dancer)는 비숙련자와는 다른 두드러진 특성을 지닌다. 무용숙련 분야에서는 이를 구별하는 것이 무엇인지 규명하는 연구가 주를 이룬다. 무용 숙련자는 비숙련자와 비교하여 우수한 균형능력(Bruyneel et al., 2010; Crotts et al., 1996; Goloomer et al., 1999)과 뛰어난 자세조절(posture control) 능력을 가지고 있고(Kilroy et al., 2016; Rein et al., 2011; Schmit et al., 2005), 동적 균형 과제 수행 시 시각보다 자기수용감각(proprioception) 정보에 의존한다고 하였다(Golomer & Dupui, 2000; Hugel et al., 1999; Jola et al., 2011). 이러한 결과들은 긴

시간 동안 지속된 무용훈련(dance training)에 의한 영향으로 해석되고 있다.

매우 복잡하고 까다로운 동작을 큰 어려움 없이 수행하는 것은 숙련된 무용수의 특성 중 하나이다. 무용 숙련자는 비숙련자에 비해 복잡한 움직임 수행 시 운동 시너지(motor synergy)를 통해 관련된 관절이나 근육들의 움직임을 효율적으로 제어하고(Lepelley et al., 2006; Thullier & Moufti, 2004; Wilson et al., 2004), 더 안정적이고 일관된 협응 패턴을 유지하는 것으로 나타났다(김선진 & 김수연, 2010). 이처럼 숙련된 무용수는 운동 시너지를 최적화하는 전략을 사용하여 신체 내 에너지 비용의 효율적 감소, 움직임 정확성의 증가를 통해 수행 목표를 성취한다.

무용 숙련자는 복잡한 움직임 순서를 효율적으로 학습하고 회상하는 능력이 뛰어나다. 무용 움직임 순서의 회상 능력은 비구조적 움직임 순서와 비교하여 구조적일수록 향상된다. 이와 관련된 선행연구를 살펴보면, 숙련된 무용수의 회상 수행 능력은 현대무용보다 발레 순서에서 유의하게 향상되어 나타났고(Jean et al., 2001), 비숙련자에 비해 무용 숙련자는 무용이 아닌 의미없는 움직임 순서를 학습할 때 장기 기억 속 다른 움직임과 결속하는 인지적 표식(cognitive marker)을 사용하여 순서를 회상하는데 오랜 시간이 걸렸으나(Smyth & Pendleton, 1994), 안무적으로 구조화된 움직임 순서의 경우 더 나은 수행력을 보였다(Starkes et al., 1987). 이러한 결과를 통해 무용 숙련성에 있어서 장기 기억의 순서 형성이 관련 정보를 활성화하는데 요구되는 인지적 노력을 감소하는데 중요한 역할을 하며, 이는 움직임 숙련성의 중요한 인지적 특성이라고 제안하였다(Blasing et al., 2008; Schack & Tenenbaum, 2004).

무용은 시간적으로 음악 박자(musical beat)에 협응되는 구조화된 움직임 패턴을 포함한다(Su, 2016). 무용수들은 대개 음악에 맞추어 손을 올리고, 팔이나 다리를 흔들며, 전신을 움직인다. 춤을 출 때 음악의 박자보다

일찍 움직이거나 늦게 움직이는 것은 춤의 리듬을 무너트리는 결과를 초래할 수 있다. 따라서 춤 움직임에 있어서 음악과 같은 외부 리듬에 맞춰 신체 움직임을 동기화하는 능력은 매우 중요하다. 이와 관련된 선행연구를 살펴보면, 무용훈련 경험이 감각운동 동기화(sensorimotor synchronization)를 촉진하였고(Karpati et al., 2016; Miura et al., 2013; Jin et al., 2019), 초보자와 비교하여 스트릿 댄서의 경우 리듬에 맞춰 무릎을 구부리는 동작을 수행하였을 때 높은 수행의 정확성이 나타났으며(Miura et al., 2011; 2013), 사교춤 댄서의 경우 다양한 리듬속도에 따른 손가락 태핑 과제를 더 정확하고 안정적으로 수행하였다고 보고하였다(Jin et al., 2019). 또한, 음악가와 비교하여 무용수는 영상 속 아바타의 움직임을 모방하는 과제 수행 시 더 나은 수행력을 보여주었으나 청각-운동 동기화 과제에서는 낮은 수행력이 나타났다(Karpati et al., 2016). 이처럼 무용 숙련자의 특성을 규명하기 위한 연구들은 무용수의 뛰어난 신체 기능에 초점을 맞추어 생체역학, 운동제어(motor control), 지각 및 인지적 측면에서 다양하게 묘사되고 있다.

무용이 표현성과 더불어 음악에 대한 움직임의 시간적 동기화, 전신의 협응 등의 요소들이 복합적으로 어우러져 완성된다는 것을 주목하였을 때 향후 무용과 숙련성에 관한 연구는 무용 숙련자가 가지는 뚜렷한 특성을 규명하여 이를 성취하는데 요구되는 하위요소들을 탐색할 뿐 아니라 이 요소들 간의 상호작용 효과와 더불어 이러한 능력을 촉진 및 발달시켜 높은 수준에 이를 수 있도록 하기 위한 과학적으로 정량화된 자료를 제공해야 한다. 나아가 이러한 기초연구를 바탕으로 개인차에 대한 연구 즉, 동일한 조건에서 발생하는 수행의 차이를 밝혀내어 실제 교육현장에서 고려해야 할 정보를 제공할 필요가 있다.

4. 청각-운동 동기화의 영향 요인

청각자극에 대한 리드미컬한 움직임의 동기화는 감각양식(sensory modality), 리듬, 템포, 리듬 관련 훈련 경험, 움직임 양식 등 다양한 요인들에 영향을 받는다.

일반적으로 운동기술 학습에 영향을 미치는 주요 감각정보는 시각으로 알려져 있으나 이는 과제의 특성에 따라 다르게 나타날 수 있다. 예를 들어, 공간적 지각 능력을 요구하는 과제의 경우 시각정보가 중요한 역할을 하지만, 시간적 지각 능력을 요구하는 리듬이나 타이밍 과제의 경우 청각정보가 더 중요한 역할을 담당한다(Jäncke et al., 2000; Repp, 2008). 선행연구에 따르면, 감각운동 동기화 과제 수행 시 움직임의 정확성을 촉진하는데 시각 정보의 효과는 미미한(Patel et al., 2005; Repp & Penel, 2004) 반면, 청각 정보가 중요한 역할을 한다고 하였다. 파킨슨병(Parkinson's disease), 뇌졸중(stroke) 등 움직임 장애 환자를 대상으로 한 연구에서 청각자극의 사용하여 재활훈련을 실시한 결과, 걷기의 속도, 협응 등이 향상되었다(McIntosh et al., 1997; Whitall et al., 2000). 또한, 개인의 음악훈련 여부와 상관없이 시각보다 청각자극에 대한 동기화 수행 시 낮은 태핑 가변성이 나타났고(Repp, 2005), 시각자극과 비교하여 청각자극이 제시되었을 때 태핑의 정확성과 안정성이 높게 나타났으며(Hove et al., 2013; Repp, 2003; Repp, 2005), 청각과 시각자극이 동시에 제공되었을 때 가장 좋은 동기화가 나타났다(Iversen et al., 2015; Repp & Penel, 2004). 정리하면, 움직임의 시간적 동기화에 있어서 단일 감각자극 제공 조건에서는 청각이 시각보다 우세하였고, 다중 감각자극 제시 시 더 나은 수행력을 보여주었다. 이는 감각운동 동기화 과제 수행 시 감각 정보의 유형이나 제시 조건에 따른 의존성이 높다는 것을 의미한다.

움직임의 속도는 다이내믹 시스템 이론에서 수행의 정확성과 가변성에 영향을 미치는 제어변수(control parameter)이다. 예를 들어, 메트로놈 소리에 맞춰 반복적으로 손가락 두드리기 과제 수행 시 청각자극의 빠르기에 변화를 주었을 때 움직임의 수행 속도가 빨라지거나 느려지게 되면 기존에 유지하던 시간 간격의 조화가 무너지거나 변화를 일으켜 새로운 방식의 적응이 요구된다. 리듬 수행과 연관된 적응의 방식으로 제안되어 온 주요 가능성 중 하나는 협응구조의 변화다(Haken et al., 1985; Kelso, 1984).

일반적으로 인간은 약 200-1,800ms의 범위에서 정확하게 박자를 지각할 수 있고(Fraisse, 1982), 약 400-1,200ms의 시간 간격에서 강한 박자감(sense of beat)을 보여준다(Patel & Iversen, 2014). 따라서 이 범위를 벗어난 리듬 기반 움직임에서 높은 정확성을 기대하기는 어렵다(Repp & Su, 2013). 그러나 이 범위 내에서도 상대적으로 짧은 시간 간격과 긴 시간 간격 간의 지각적 차이가 존재한다. 피험자들에게 다양한 리듬속도의 주기적인 청각정보를 제공하고 박자 간 간격의 길이를 판단하도록 하였을 때 상대적으로 빠른 리듬(시간 간격은 250-400ms)에서는 과대 추정하는 반면, 느린 리듬(시간 간격은 600-1,800ms)에서는 과소 추정하는 경향이 있었다(Vos & Ellerman, 1989).

손가락 태핑 실험에 있어서 가장 선호하는 박자는 1.5-2.5Hz(박자 간 간격 400-700ms)이다(Drake et al., 2000; London, 2012; Repp, 2013). 여기에는 걷기 등의 이동운동 수행 시 선호하는 빈도(2Hz 이하)도 포함된다(Leman et al. 2013). 댄스음악의 경우에는 340-640ms의 사이의 박자가 주를 이루고, 이 범위 내에서 평균값은 463ms, 중간값은 451ms으로 특히, 440-460ms의 박자 범위에 집중되어 있었다(van Noorden & Moelants, 1999).

빠른 리듬속도에 있어서 동기화 역치(synchronization threshold)의 범위는 음악적으로 훈련된 경우 150-200ms으로 보고되었으며(Repp, 2003;

2005), 높은 수준의 음악가의 경우 100ms의 시간 간격으로 제공되는 리듬에 동기화할 수 있다고 하였다(Fujii et al., 2009; Pressing & Jolley-Goger, 1997). 손가락 두드리기 과제 수행 시 움직임을 조절할 수 있는 템포는 200ms을 기준으로 하고, 보통 200-300ms 사이를 transition zone으로 여기며, 200ms보다 빠른 간격에서는 청각정보를 지각하는데 약한(weak) 동기화가 나타났다(van Noorden & Moelants, 1999; Wing & Kristofferson, 1973).

자기조절(self-paced) 움직임인지 혹은 자극유도(stimulus-driven) 움직임인지에 따라 운동을 제어하는 두 가지 방식이 존재한다. 검지를 펴는 움직임(index finger extension)과 발뒤꿈치를 올리는 움직임(heel raising)을 동시에 수행하였을 때 발의 움직임은 손의 움직임 보다 선행되었다. 반면, 청각자극에 상응하는 움직임을 하였을 때는 발의 반응보다 손가락 반응이 항상 앞섰다. 이는 중앙 운동 명령(central motor command)이 두 조절기(effector)에 동시에 보내졌지만 원심성 통로(efferent pathways)의 전도 시간 차이를 반영하는 것이라 하였다(Billon, 1996; Paillard, 1948).

청각-운동 동기화를 다룬 선행연구의 대부분은 숙련된 음악가와 음악과 관련된 경험이 적은 비숙련자, 그리고 무용수를 대상으로 진행되었다. 이 연구들에서 일관적으로 나타난 결과는 음악이나 무용의 훈련 경험이 동기화 수행을 촉진한다는 것이다(Jin et al., 2019; Krause et al., 2010; Miura et al. 2016; Repp & Su, 2013; Scheurich et al., 2020). 대게 음악훈련의 경우 움직임을 통해 소리를 생성하는데 집중되어 있는 반면, 무용훈련의 경우 일반적으로 소리에 맞춰 전신을 움직이는데 초점을 맞추고 있다. 그러나 무용과 음악 모두 훈련에 있어서 감각운동 통합의 중요성, 예술적 구성요소, 정량화가 가능한 훈련 과정 등과 같은 공통점을 가지고 있다(Karpati et al., 2016). 이러한 훈련은 각 분야에서 숙련되기까지 오랜 기간 동안 지속적으로 행해지고, 이렇게 축적된 경험은 특정한 감각운동 기

술 즉, 외부 리듬에 따라 움직임을 시간적으로 동기화하는 기술 수행을 촉진하는데 기여했을 것으로 생각된다.

기량이 뛰어난 무용수의 움직임 기술은 전신을 사용하는 큰 움직임뿐 아니라 손이나 발 등 신체의 일부분만을 사용하는 상대적으로 작은 움직임 모두를 아우른다. Kelso와 Zanone(2002)은 새로운 사지내 협응 패턴(interlimb coordination pattern)의 학습 후 이 학습 효과가 훈련되지 않은 다른 신체(예: 상지)에 전이되는 운동 반응기(motor effector) 사이에 나타나는 학습 효과의 전이(transfer)를 언급하였다. 따라서 손이나 발 등의 신체 말단(distal) 부분의 움직임 동기화 시 나타나는 수행의 패턴이 전신 움직임을 활용한 이전 연구(Miura et al., 2011; 2013)에서의 결과와 일치하는지 살펴볼 필요가 있다.

따라서 앞서 설명한 모든 요인들은 높은 수준의 기량을 가진 숙련된 무용수가 두드리는(tapping) 움직임을 수행하는 동안 나타나는 동기화 오류뿐 아니라 춤을 추는 동안에도 매우 주요한 영향을 미칠 것으로 기대한다.

III. 연구방법

본 연구에서는 전문적인 무용훈련 경험이 적은 일반 성인과 무용 숙련자를 대상으로 리드미컬한 동기화와 관련된 세 가지 실험과제를 활용하여 손가락과 발뒤꿈치 두드리기 수행의 정확성 및 가변성에 어떠한 차이가 나타나는지 살펴보았다. 이를 위한 연구대상, 실험과제 및 도구, 실험 절차, 자료 분석, 통계처리의 구체적인 내용은 다음과 같다.

1. 연구대상

본 연구에는 신경학적, 신체적, 인지적, 정신적으로 이상이 없는 만 19세에서 39세 사이의 성인 총 30명(남: 9명, 여: 21명)이 참여하였다. 이들 중 5명(비숙련자 집단: 3명, 숙련자 집단: 2명)은 세 가지 실험과제의 발뒤꿈치 두드리기에 참여하지 않았기 때문에 손가락 두드리기에 대한 데이터만 수집 및 분석하였다. 비숙련자 집단은 과거에 무용, 음악 등에 대한 전문적인 교육 경험이 적고, 현재 취미로 악기를 연주하거나 춤을 즐기지 않는 대상자로만 구성되었고, 숙련자 집단은 모두 한국무용 전공자로 최소 3년에서 최대 10년 이상 국내 직업무용단에서 활동하고 있는 전문무용수를 포함하였다. 모든 연구참여자는 오른손잡이였으며, 왼발잡이 5명 외 나머지는 오른발잡이였다. 실험 전 모든 연구참여자에 대한 청각-운동 타이밍 과제에 영향을 줄 수 있는 신경적, 정형적, 인지적 이상 유무를 파악하였고, 실험과제에 대한 설명이 이루어진 후 연구 참여 동의서에 서명을 받았다. 실험 참여 중 연구대상자에게 신체적 이상이 발생하거나 피로를 느낄 경우에

는 충분한 휴식을 제공하였으며, 연구대상자가 원한다면 실험 참여를 중단할 수 있도록 조치하였다. 연구참여자의 특성은 <표 1>과 같다.

표 1. 연구참여자의 특성

		novice (Mean±SD)	expert (Mean±SD)
total		30	
N		15	15
gender	male	7	1
	female	8	14
age		34.2±3.9	32.2±4.0
height(cm)		173.1±6.1	167.9±4.5
weight(kg)		72.0±10.8	52.8±3.9
music-related experience period(month)		17.0±17.6	112.3±107.3
dance-related experience period(month)		0.6±1.7	255.2±67.3
career as a professional dancer	3~4y	-	2
	5~7y		6
	more than 10y		7

2. 실험과제 및 도구

1) 실험과제

본 실험은 ① 자발적 운동 템포 과제, ② 동기화-지속 과제, ③ 템포 변

화 과제 총 세 개로 구성되었다(그림 1). 모든 실험과제는 두드리기(tapping) 수행으로 진행된다. ① 자발적 운동 템포 과제에서는 ITI를 측정하여 숙련자와 비숙련자의 움직임 양식별 선호하는 템포를 규명하고, ② 동기화-지속 과제에서는 자극과 반응 간의 비동기성과 ITI를 측정하여 타이밍 정확성을, 비동기성의 변동계수를 측정하여 수행의 가변성을 평가한다. ③ 템포 변화 과제에서는 ITI, 비동기성을 측정하여 템포 변화에 대한 적응 메커니즘을 살펴본다. 이러한 실험과제는 궁극적으로 숙련자와 비숙련자의 일반적인 동조화 능력을 평가하기 위한 것이다.

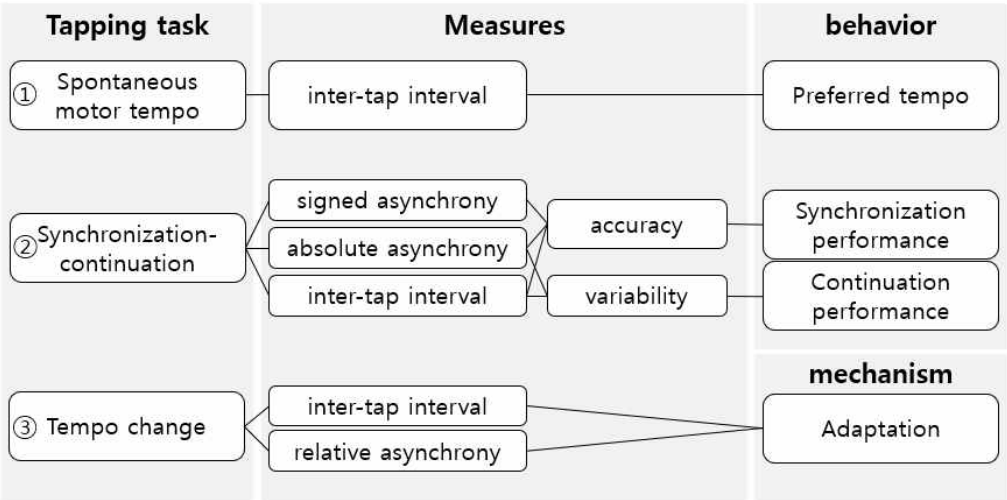


그림 1. 세 가지 실험과제 도해

연구참여자는 각각의 과제별로 움직임 양식에 따라 손가락 두드리기(finger tapping), 발뒤꿈치 두드리기(heel tapping)를 모두 수행하였다. 손가락 두드리기 수행 시 연구참여자는 테이블 앞 의자에 앉아 비우세 손을 테이블 위에 편하게 올려놓고, 우세 손(dominant hand)의 검지(index finger)를 사용하여 키패드의 '5' 숫자키를 두드린다. 우세 손의 검지를 제외한 나머지 손가락은 키패드를 잡고 있거나 접고 있는 등 연구참여자가

실험과제를 최대한 성공적으로 수행할 수 있는 위치에 놓도록 권하였고, 시선은 앞을 보도록 지시하였다(그림 2). 발뒤꿈치 두드리기 수행 시 연구참여자는 손가락 수행 때와 마찬가지로 의자에 앉은 상태에서 양팔을 테이블 위 혹은 무릎 위에 올려놓고 시선은 앞을 향한 채 선호하는 발(preferred foot)의 뒤꿈치로 바닥에 고정되어 있는 키패드의 '5' 숫자키를 두드린다(그림 3). 이때 연구참여자는 숫자키 두드리는 소리를 통해 피드백을 받을 수 있다. 실험과제별 구체적인 내용은 아래와 같다.

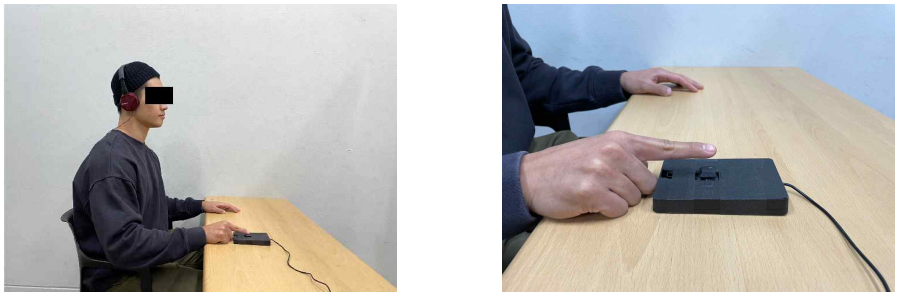


그림 2. 손가락 두드리기 수행의 실험장면

그림 3. 발뒤꿈치 두드리기 수행의 실험장면

① 자발적 운동 템포(spontaneous motor tempo) 과제

자발적 운동 템포 과제를 수행하기에 앞서 인터페이스의 영향을 최소화

하기 위해 연구참여자에게 손가락 혹은 발뒤꿈치를 사용하여 각각 자신이 가장 선호하는(편안하고 자연스러운) 속도로 책상 위나 바닥을 두드려보게 한 다음 실제 실험을 진행하였다. 손가락 두드리기 수행 시 책상 위를 두드렸을 때와 동일한 속도로 최대한 규칙적으로 키패드의 숫자키를 태핑하도록 하였으며, 발뒤꿈치 두드리기 수행 시에도 바닥을 두드렸을 때와 동일한 템포로 키패드의 숫자키를 두드리도록 하였다. 움직임 양식에 따라 두드리는 동작을 각각 31번(총 30개의 시간 간격)씩 2회 반복 수행하였다 (Jin et al., 2019; MaAuley et al., 2006).

② 동기화-지속(synchronization-contunuation) 과제

연구참여자는 헤드폰을 착용한 후 주기적인 메트로놈 소리에 맞춰 키패드의 숫자키를 태핑하고, 이어서 청각자극이 부재된 상태로 이전의 태핑 속도를 유지하며 종료 신호음이 제시될 때까지 가능한 최대한 정확하게 두드리는 동작을 반복적으로 수행한다. 연구자는 연구참여자에게 시작 신호와 함께 제시되는 메트로놈 소리에 일치하게끔 최대한 정확하게 손 혹은 발을 사용하여 두드리는 동작을 종료음이 들릴 때까지 반복적으로 수행하도록 지시하였다. 이때 하나의 시행에서 제공되는 메트로놈 소리는 총 62개로, 처음 31개는 소리가 제공되나 이후의 31개는 소리가 부재된 상태로 제공된다. 메트로놈의 리듬속도는 30, 40, 50, 60, 90, 120, 150, 180 beats per minute(bpm)이며, 느린 템포(30, 40, 50, 60bpm)는 10bpm 단위, 이하는 30bpm 단위 간격이다(표 2). 연구참여자는 각각의 리듬속도별로 2회 반복 수행하였고, 움직임 양식에 따라 16번씩 총 32번 수행하였다.

표 2. 단위별 리듬속도 구분

리듬속도(bpm)	30	40	50	60	90	120	150	180
ISI(ms)	2000	1500	1200	1000	666	500	400	333

③ 템포 변화(step change) 과제

연구참여자는 500ms의 간격으로 제공되는 메트로놈 소리에 맞춰 키패드의 숫자키를 두드리다 갑작스럽게 빠르거나 느리게 변화하는 템포에 적응하며 두드리기 동작을 수행한다. 이때 청각자극 간의 간격(ISI)은 500ms을 기준으로 -150ms에서 +150ms(-30%에서 +30%)의 범위에서 10ms(2%) 혹은 50ms(10%) 단위로 증가하거나 감소한다. 10ms 단위의 ISI는 460, 470, 480, 490, 510, 520, 530, 540ms의 간격으로, 50ms 단위의 ISI는 350, 400, 450, 550, 600, 650ms의 간격으로 템포가 변화한다(표 3). 템포 변화에 대한 메트로놈 소리의 제공 순서는 각각의 템포 변화 조건별(표 4)로 8-10번의 기준 ISI(500ms)가 제공된 후 이어서 11번의 변화된 ISI가 제공되었다. 실험과제를 수행하기 전에 연구자는 연구참여자에게 한 번의 시행에서 템포가 변화할 수도 혹은 변화하지 않을 수도 있다는 걸 명시하였고, 템포가 변화할 경우 변화한 템포에 맞춰 메트로놈 소리에 일치하게끔 반응하도록 지시하였다. 연구참여자는 ISI 변화 조건(14)과 기준 ISI의 제공 횟수 조건(3)에 따라 42회씩 손가락 두드리기와 발뒤꿈치 두드리기를 수행하였고, 각각의 시행을 마친 후 템포의 변화 여부 및 템포 변화 속도에 대한 질문에 응답하였다.

표 3. 템포 변화 크기와 방향에 따른 ISI의 변화

unit: ms

negative														positive
-150	-100	-50	-40	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	100	150
350	400	450	460	470	480	490	500	510	520	530	540	550	600	650

표 4. 템포 변화 과제의 조건별 특성

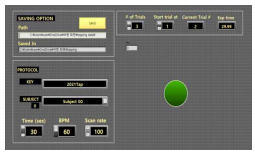
condition	tempo change magnitude	tempo change direction
condition 1	10	-
condition 2	10	+
condition 3	20	-
condition 4	20	+
condition 5	30	-
condition 6	30	+
condition 7	40	-
condition 8	40	+
condition 9	50	-
condition 10	50	+
condition 11	100	-
condition 12	100	+
condition 13	150	-
condition 14	150	+

2) 실험도구

본 실험은 LabVIEW(2021 National Instruments Corp., 2016 SP1)를 활용하여 제작한 리듬 지각 및 타이밍 협응 프로그램을 통하여 진행되었다. 세 가지 실험과제를 수행하기 위한 도구는 프로그램을 실행하기 위한 노트북, 헤드폰, 키패드 2개(손가락용, 발뒤꿈치용)가 사용되었다. 각 과제의 조

건에 따라 청각자극이 있는 경우 헤드폰을 통해 제시되는 메트로놈 소리에 맞추어 연구참여자가 손가락 혹은 발뒤꿈치로 키패드의 '5' 숫자키를 누르면, 그 반응을 측정하였다. 청각자극이 없는 경우 연구참여자들은 테이블 앞 의자에 앉아 두 가지 움직임 양식 조건에 따라 과제를 수행하였다. 각 실험도구들의 구체적인 정보는 <표 5>와 같다.

표 5. 실험도구

실험도구		모델명	제조사 및 제조국
리듬 지각 및 타이밍 협응 프로그램		LabVIEW 2016 활용	자체 제작, Korea
노트북		ThinkPad X1 Carbon	Lenovo, China
헤드폰		MDR-ZX310AP	SONY, China
키패드		NKB-100	IPLEX, China

3. 실험절차

본 연구의 목적은 리드미컬한 동조화와 관련된 세 가지 실험과제를 활용하여 집단 간에 나타나는 동조화 능력의 특성을 살펴보는 것이다. 이를 위

한 실험은 다음과 같은 절차로 진행되었다(그림 4).

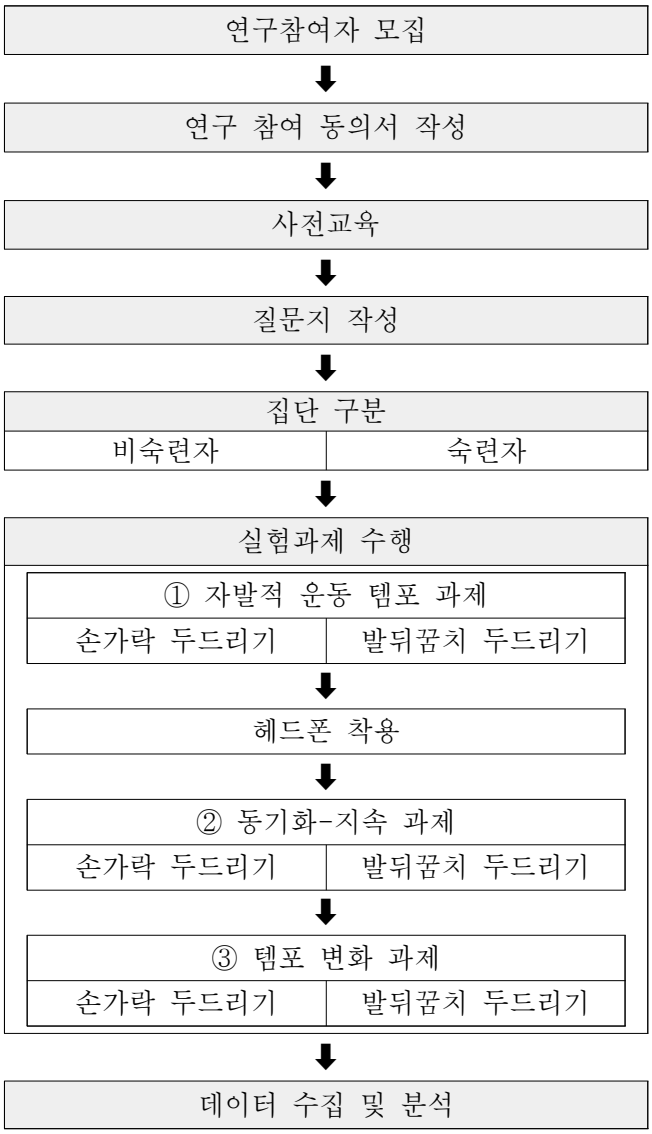


그림 4. 실험절차

1) 연구참여자 모집 및 사전교육

본 연구에 참여하는 연구대상자에게 실험 전 연구에 대해 자세하게 설명

한 후 서울대학교 윤리위원회에서 승인(IRB No. 2104/004-027)한 연구 참여에 대한 동의서를 받았으며, 실험과제에 영향을 줄 수 있는 신경학적, 정형학적, 인지적 이상 유무를 파악하였다. 이후 원활한 실험 진행 및 데이터 수집을 위해 실험방법에 대한 사전교육을 실시하였고, 실험과정에서 얻게 되는 연구대상자의 개인 정보는 연구 외에는 사용되거나 노출되지 않음을 공지하였다.

2) 질문지 작성

연구참여자의 음악, 무용 등에 대한 경험을 조사하기 위해 간단한 질문으로 구성된 질문지를 사용하였다. 비숙련자 집단의 경우에는 과거에 무용이나 음악 등과 관련된 전문교육을 받았는지 혹은 현재 취미로 악기를 연주하거나 춤추는 것을 즐기는지에 대한 여부 등을 질문하였고, 무용 숙련자의 경우에는 학력, 전공의 유형, 무용 관련 전문교육을 받은 기간이나 훈련 기간, 직업무용단에서 활동한 경력, 현재 활동 여부 등을 질문하였다.

3) 실험과제 수행

본 실험은 ① 자발적 운동 템포 과제, ② 동기화-지속 과제, ③ 템포 변화 과제 총 세 개로 구성되었다. 연구참여자는 세 개의 과제를 차례대로 수행하였고, 각각의 과제 내에서 손가락 또는 발뒤꿈치 두드리기의 진행순서는 무작위로 이루어졌다. 주사용 손과 발을 확인하기 위하여 연구참여자에게 '글씨를 쓸 때 펜을 잡는 손이 어느 쪽 손인지', '공을 찰 때 어느 쪽 발로 차는지' 질문하였고, 발의 경우 확신이 없는 연구참여자에게는 공을 차는 동작을 가장하게 하여 확인하였으며, 이때 공을 차는 발을 선호하는 발로 정의하였다(Barut et al., 2007). 연구참여자는 전원 오른손잡이였고, 왼발잡이 5명 외 나머지는 오른발잡이였다. 모든 실험과정은 조용한 방에서

이루어졌으며, 한 명의 연구참여자가 모든 과제를 수행하는데 걸린 평균 총 소요시간은 휴식시간을 포함하여 약 1시간 40분이었다.

① 자발적 운동 템포(SMT) 과제

연구참여자는 테이블 앞 의자에 앉아 가장 자연스럽고 선호하는 속도로 손바닥으로 테이블 위를 두드린다. 그다음 이와 동일한 속도로 주사용 손의 검지를 사용하여 키패드의 '5' 숫자키를 두드린다. 이 두드리기 동작을 31번씩 2회 반복 수행한다. 손가락 두드리기 수행을 마친 후 연구참여자는 의자에 앉은 자세에서 선호하는 발의 뒤꿈치를 사용하여 같은 방식으로 과제를 수행한 후 60초의 휴식시간을 가진다.

② 동기화 연속 과제

먼저 연구참여자는 헤드폰을 착용한다. 연구자의 시작 신호와 함께 헤드폰을 통하여 제공되는 청각자극(메트로놈 소리)의 템포에 맞춰 최대한 정확하게 키패드의 숫자키를 두드린다. 이후 청각자극의 부재에도 동일한 템포를 유지하며 두드리기 동작을 종료음이 나올 때까지 반복적으로 수행한다. 8개의 리듬속도별로 2회 반복 수행하며, 손가락 두드리기가 끝나면 60초 동안 휴식한 후 발뒤꿈치 두드리기를 같은 방식으로 수행한다. 움직임 양식에 따라 각각 16회씩 총 32회 수행한다.

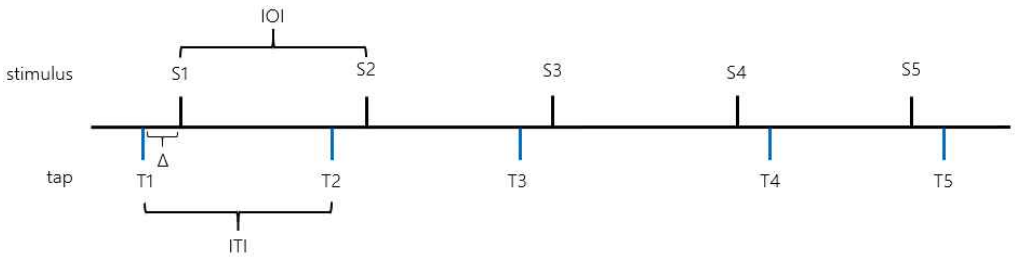
③ 템포 변화 과제

본 실험과제를 수행하기에 앞서, 연구자는 연구참여자에게 규칙적인 메트로놈 소리에 맞춰 두드리기 수행을 하는 중 템포가 변화할 수도 변화하지 않을 수도 있음을 안내하였고, 템포 변화에도 당황하지 말고 변화한 템포에 맞춰 최대한 정확하게 숫자키를 두드리도록 지시하였다. ISI 변화 조건(14)은 무작위 순서로 제공되었으며, 각각의 시행을 마친 후 템포의 변화

여부와 함께 만약 변화가 있었다면, 느리게 혹은 빠르게 어떤 변화가 있었는지 질문한 후 그에 대한 응답을 들었다. 따라서 손가락과 발뒤꿈치 두드리기 수행에 대한 총 84회 시행의 응답을 듣고 기록하였다.

4. 자료분석

본 연구에서는 동조화와 관련된 세 개의 실험과제를 통해 데이터를 수집하고 분석하였다. 실험과제 수행에 있어서 메트로놈 소리에 맞춰 반응하는 동기화 수행(synchronization performance)에서 나타난 타이밍의 정확성(accuracy)은 비동기성(asynchrony) 즉, 자극의 시작 시점과 이에 상응하는 반응 간의 시간 차이를 측정하였다(그림 5).



S = rhythmic stimulus
ISI = inter-onset interval
Δ = synchronization error
ITI = inter-tap interval
T = tap response

그림 5. ISI와 ITI 간의 동기화 오류 도해(Thaut et al., 1997)

동기화 오류(SE) 즉, asynchronies의 평균값은 보통 음수로 나타나는데 이는 규칙적으로 반복되는 리듬에 대한 예측에 의해 수행자가 자극의 제시 시점보다 먼저 반응하기 때문이다. 이를 negative mean asynchrony(NMA)라 지칭한다(Dunlap, 1910). 개인의 동기화 전략은 청각자극 제시 시점보다

이전에 반응하는 예측 전략(predictive strategy)과 이후에 반응이 나타나는 추적 전략(tracking strategy)으로 구분된다(Dione & Delevoye-Turrell, 2015). 따라서 동기화 전략에 따라 나타나는 오류의 부호(+, -)에 따라 기준이 되는 청각자극(auditory stimulus)에 비교적 이르게 반응하였는지(negative) 늦게 반응하였는지(positive) 알 수 있다. 이는 아래와 같은 수식으로 계산할 것이다(Semjen et al., 2000)(수식 1).

$$\text{동기화오류}(SE) = \sum \frac{|x_i - T|}{n} \qquad \text{(수식 1)}$$

(x_i: ITI, T: ISI, n: 수행횟수)

동기화 오류의 절대값(absolute error, AE)은 반응의 이름(early) 혹은 늦음(late)에 관계없이 asynchrony의 크기를 나타낸다. 이 값이 작을수록 정확성이 높은 것을 의미한다. 또한, 동기화 수행에서 나타난 타이밍 가변성(variability)은 부호를 지닌 SE의 표준편차를 평균 ITI로 나눈 변동계수(coefficient of variation, CV)를 통하여 측정하였다(수식 2). 이를 통하여 pacing event와 비교하여 탭 타이밍이 얼마나 안정적이었는지 살펴볼 수 있으며, 높은 값일수록 두드리기(tapping) 수행이 더 가변적인 것을 의미한다(Mills et al., 2015; Repp & Keller, 2004). 지속 수행에서 나타난 타이밍 가변성(variability)은 ITI 표준편차의 크기를 평균에 대한 백분율로 나타낸 CV_{ITI}를 계산하여 측정하였다(수식 2).

$$CV = (\frac{s}{x}) \times 100 \qquad \text{(수식 2)}$$

동기화 수행의 CV (s: SE의 표준편차, x: ITI의 평균)

지속 수행의 CV (s: ITI의 표준편차, x: ITI의 평균)

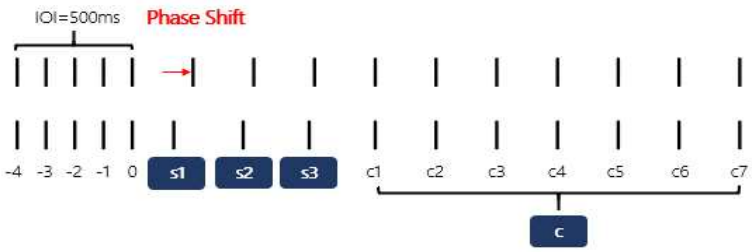
각 실험과제의 특성에 따른 구체적인 내용은 다음과 같다. ① 자발적 운동 템포 과제에서는 한 번의 시행에서 총 31개의 탭 데이터가 수집되었고, 각각의 시행에서 수집된 30개의 탭 간 간격(inter-tap interval, ITI)의 평균 및 표준편차를 산출하여 이를 집단과 움직임 양식에 따라 비교 분석하였다.

② 동기화-지속 과제에서는 청각자극 유무에 따라 동기화 조건과 지속 조건으로 구분하여 데이터를 코딩하였다. 동기화 조건의 경우 연구참여자가 메트로놈 소리에 맞춰 키패드의 숫자키를 눌렀을 때의 데이터만 수집하여 분석하였다. 다시 말해, 자극과 자극 사이에 탭이 누락되거나 하나의 자극에 두 번 탭한 데이터는 실제 분석에서 제외하였다(Thaut et al., 1997; Thompson et al., 2015). 한 번의 시행에서 최소 51개의 탭 데이터가 수집되었고, 각각의 시행마다 처음 5개의 탭을 제외하고 분석하였다. 정리하면, 동기화 조건에서 수집된 총 26개의 탭 데이터, 지속 조건에서 수집된 연구참여자 개개인이 탭한 수에 따라 최소 25개-최대 31개의 탭 데이터, 총 51-57개의 탭 데이터를 집단과 리듬속도에 따라 비교 분석하였다.

③ 템포 변화 과제에서는 템포 변화 직전에 제공된 기준 ISI(=500ms)에 상응하는 탭 5개와 템포 변화 이후 명목상 이와 일치하게 반응한 탭 11개의 탭 데이터를 수집하였다. 각각의 시행에서 수집된 데이터를 통하여 나타난 ITI(14개의 간격)의 평균 및 표준편차를 산출하였으며, 이때 나타난 비동기성은 평균에서 나타나는 개인차를 제거하고 연구참여자 간 가변성을 확대하여 살펴보기 위하여 템포 변화가 발생하기 전에 반응한 탭 5개의 평균 비동기성에서 각각의 포지션에서 나타난 비동기성을 빼는 방식으로 비동기성에 대한 원자료(raw data)를 relative asynchrony로 변환하여 제시하였다.

청각자극에 맞춰 움직임을 동기화하는 동안 나타난 템포 변화에 대한 오류 수정 과정 즉, 적응을 측정하기 위하여 특정 포지션을 중점적으로 분석

하였다(그림 6). 구체적으로 살펴보면, 포지션 s1 구간은 새로운 템포가 시작되는 시점으로 phase correction뿐 아니라 막 시작된 period correction을 반영하고, 포지션 s2와 s3 구간은 변함없는 phase correction과 함께 period correction의 증가를 나타낸다. 이는 템포 변화의 크기가 큰 조건에서 나타나는 과수정과 같은 결과를 초래한다. 마지막으로 c1-c7 구간은 phase correction 없이 포지션 s3를 끝으로 성취한 period correction을 반영한다. 정리하면, 포지션 s1, s2, s3 각각에서 나타난 템포 변화에 대한 적응과 이를 유지하는 포지션 c(1-7)로 구분하여 데이터를 분석하였다. 선행연구에서는 PS의 크기가 양(+)의 방향으로 큰 경우(기준 ISI의 50%) 가외 탭(extra tap)이 자주 발생하였다고 보고하였다(Repp, 2002). 그러나 가외 탭은 템포 변화가 없는 자극과 반응 간 1:1 대응에서도 발생하는 일반적인 반응이다. 본 실험에서는 가외 탭이 거의 발생하지 않았으며, 주로 한 명의 연구참여자에게서 5번의 사례가 나타났다. 따라서 본 연구에서 가외 탭은 제외하고 분석하였다.



s1 = 새로운 템포의 시작 시점
s2-3 = 변화한 템포에 동기화하는 구간
c = 동기화를 지속하는 구간

그림 6. 템포 변화 과제 수행 시 나타나는 청각자극에 대한 탭 포지션 도해

5. 통계처리

본 연구에서는 SPSS 26.0 프로그램을 사용하여 다음과 같은 분석을 실시하였다(SPSS Inc, Chicago, USA).

첫째, 자발적 운동 템포 과제에서 수집된 데이터는 2번의 시행에 대한 집단(2), 움직임 양식(2)에 따른 차이를 분석하기 위하여 반복측정 이원분산분석(Repeated measures two-way ANOVA)을 실시하였다.

둘째, 동기화-지속 과제에 수집된 데이터는 동기화와 지속 조건으로 구분하여 각각의 조건에서 손가락과 발뒤꿈치 두드리기 수행별로 분석하였다.

① 동기화 조건의 손가락과 발뒤꿈치 수행별 집단(2), 리듬속도(8)에 따른 타이밍 정확성과 정밀성을 살펴보기 위하여 각각 이원분산분석을 실시하였다.

② 지속 조건의 손가락과 발뒤꿈치 수행별 집단(2), 리듬속도(8)에 따른 타이밍 정확성을 살펴보기 위하여 각각 이원분산분석을 실시하였다.

셋째, 템포 변화 과제에서 수집된 데이터는 손가락과 발뒤꿈치 두드리기 수행별로 나누어 각각 분석하였다.

① 템포 변화 방향을 고정하고, 집단(2), 템포 변화 지각 여부(2)에 따라 포지션 s1, s2&3, c에서 나타난 동기화 적응을 살펴보기 위하여 이원분산분석(Two-way ANOVA)을 실시하였다.

② 집단(2), 템포 변화 크기(7), 방향(2)에 따라 포지션 s1, s2&3, c에서 나타난 동기화 적응을 살펴보기 위하여 삼원분산분석(Three-way

ANOVA)을 실시하였다.

각각의 분석에서 구형성(Sphericity) 가정을 충족시키지 못하였을 때는 Greenhouse-Geisser의 방법으로 수정된 자유도 값을 참조하였고, 사후검정이 요구될 때는 본페로니의 다중비교(Bonferroni's multiple comparison)을 실시하였으며, 가설 검증을 위한 통계적 유의수준은 $p<.05$로 설정하였다. 또한, 사후검정이 요구될 때는 다중비교로 인한 1종 오류(type I error)의 보정을 위하여 다중 검정(multiple tests) 방법인 Bonferroni correction method를 활용하여 보정된 alpha와 비교하였다.

IV. 연구 결과

본 연구는 무용 숙련자와 비숙련자의 리드미컬한 동조화 능력의 특성을 살펴보고자 ① 자발적 운동 템포 과제, ② 동기화-지속 과제, ③ 템포 변화 과제를 활용하였다. 이에 대한 구체적인 연구 결과는 다음과 같다.

1. 집단과 움직임 양식에 따른 SMT

<표 6>은 연구참여자가 가장 선호하고 편안한 속도로 손가락 및 발뒤꿈치를 사용하여 두드리기(tapping)를 수행한 결과로 탭과 탭 간 간격(ITI)의 평균 및 표준편차를 보여준다. ITI의 수치가 낮을수록 빠른 템포, 높을수록 느린 템포의 SMT를 선호하는 것을 의미한다. 두 집단의 손가락 두드리기 수행에서 나타난 SMT는 391-1485ms 범주에서, 발뒤꿈치 수행에서 나타난 SMT는 391-2128ms 범주에서 발생하였다. 최소값과 최대값을 제외한 두 가지 움직임 양식(손가락, 발뒤꿈치)에서 나타난 숙련자의 평균 SMT(손가락: 779ms, 발뒤꿈치: 616ms)는 비숙련자(손가락: 834ms, 발뒤꿈치: 665ms)에 비해 빠른 편이었다(그림 7).

집단과 움직임 양식에 따라 나타나는 SMT의 차이를 살펴보기 위하여 반복측정 이원분산분석을 실시하였다. 그 결과, 집단의 주효과는 유의하지 않았으나, 움직임 양식의 주효과는 유의하게 나타났다[F=7.840, p<.01]. 그러나 집단과 움직임 양식의 상호작용 효과는 유의하지 않았다. 움직임 양식의 주효과를 사후검정을 통해 확인한 결과, 예상한 바와 같이 손가락 수

행의 SMT(M=807ms)가 발뒤꿈치 수행(M=640ms)에 비해 느린 편이었다 (p=.008).

표 6. 집단과 움직임 양식에 따른 SMT[Mean(SD)]

unit: ms

N	finger tapping		heel tapping	
	novice	expert	novice	expert
1	756 (40.60)	675 (12.97)	521 (18.04)	<443 (1.66)>
2	968 (27.09)	479 (20.55)	<391 (14.52)>	781 (25.63)
3	780 (1.98)	717 (7.20)	606 (15.25)	877 (22.62)
4	908 (21.55)	930 (31.24)	493 (8.87)	515 (2.41)
5	1370 (39.14)	911 (7.75)	577 (2.41)	903 (28.28)
6	650 (1.82)	525 (17.31)	522 (30.01)	<2128 (21.92)>
7	503 (24.31)	964 (1.02)	893 (20.43)	625 (19.89)
8	537 (2.71)	935 (274.44)	513 (6.04)	476 (29.65)
9	655 (3.30)	782 (260.37)	684 (13.93)	543 (10.51)
10	1093 (116.42)	<1485 (59.51)>	748 (16.90)	549 (17.88)
11	757 (249.10)	998 (2.39)	1092 (112.13)	528 (15.83)
12	706 (8.39)	1131 (129.05)	<1196 (37.49)>	472 (21.96)
13	714 (2.94)	616 (4.65)		505 (2.44)
14	957 (37.91)	<391 (5.54)>		
15	1370 (17.49)	465 (11.72)		
total	834 (40.87)	779 (60.05)	665 (24.40)	616 (17.92)

< >: 최소값 또는 최대값

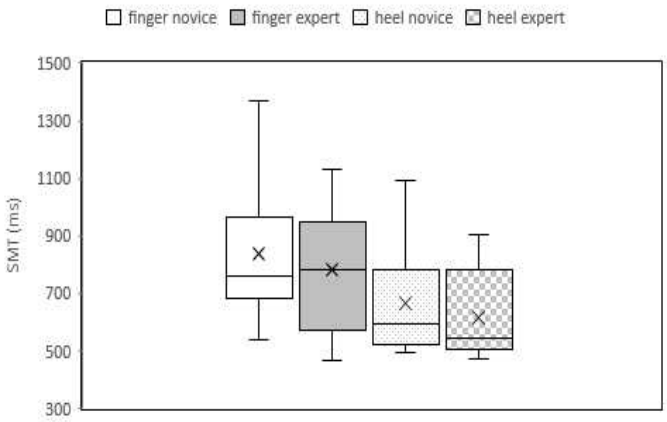


그림 7. 집단 및 움직임 양식별 SMT 범주

2. 동기화 수행에서 나타난 타이밍 특성

동기화-지속 과제는 청각자극의 유무에 따라 청각자극(메트로놈 소리)과 운동(두드리기)을 동기화하는 조건(synchronization)과 청각자극이 부재된 상태에서 이전의 리듬속도를 유지하는 지속 조건(continuation)으로 구분된다. 다음은 동기화 조건에서 8개의 리듬속도(ISI=333, 500, 666, 1000, 1200, 1500, 2000ms)에 따른 손가락과 발뒤꿈치 두드리기 수행에서 나타난 타이밍 정확성(accuracy), 가변성(variability)을 측정하여 움직임 양식(finger, heel)에 따라 각각 집단(novice, expert)과 리듬속도에 따른 차이를 살펴본 결과이다.

1) 타이밍 정확성(accuracy)

동기화 조건에서 나타난 두드리기 수행의 타이밍 정확성은 청각자극과 탭 간에 나타난 오차 즉, 동기화 오류(비동기성, asynchrony)를 통하여 측

정하였다. 부호를 지닌 비동기성(signed asynchrony)은 오차의 방향성(-, +)을 의미하며 자극보다 먼저 탭 한 경우 음수(-)로, 늦게 탭 한 경우 양수(+)로 나타난다. 비동기성의 절대값(absolute asynchrony)은 오차의 크기를 나타내며, 수치가 낮을수록 타이밍 정확성이 높은 것을 의미한다.

표 7. 움직임 양식별 집단, 리듬속도에 따른 비동기성의 양수 및 음수 비율[%]

ISI	group	finger tapping(N=30)		heel tapping(N=25)	
		positive	negative	positive	negative
333	novice	92.7	7.3	83.5	16.5
	expert	97.5	2.5	88.2	11.8
400	novice	87.2	12.8	80.2	19.8
	expert	96.1	3.9	84.4	15.6
500	novice	77.5	22.5	60.0	40.0
	expert	95.2	4.8	82.4	17.6
666	novice	79.6	20.4	72.0	28.0
	expert	94.6	5.4	82.9	17.1
1000	novice	99.9	0.1	98.0	2.0
	expert	97.1	2.9	90.5	9.5
1200	novice	73.2	26.8	58.7	41.3
	expert	87.6	12.4	68.7	31.3
1500	novice	72.8	27.2	51.5	48.5
	expert	87.2	12.8	81.3	18.7
2000	novice	66.9	33.1	48.3	56.7
	expert	73.2	26.8	58.4	41.6

<표 7>은 동기화 조건에서 나타난 비동기성의 양수 또는 음수의 비율(%)을 움직임 양식에 따라 집단과 리듬속도별로 구분하여 보여준다. 손가락 두드리기 수행에서 나타난 동기화 오류는 숙련자와 비숙련자 모두 8개

의 리듬속도에서 70% 이상 양수가 우세하였고, 발뒤꿈치 수행에서는 숙련자의 경우 모든 리듬속도에서 양수가 우세하였으나, 비숙련자의 경우 상대적으로 느린 리듬속도(ISI=1200, 1500ms)에서 나타난 양수와 음수 비율은 비등하였고, 가장 느린 리듬속도(ISI=2000ms)에서만 음수가 56.7%로 양수에 비해 근소한 차이로 우세하였다. 이를 제외한 나머지 조건에서 모두 양수가 우세한 결과는 메트로놈 소리가 제공된 이후에 탭 하였다는 것을 의미한다.

표 8. 움직임 양식별 집단, 리듬속도에 따른 기술통계량[Mean(SD)]

ISI	group	finger tapping(N=30)		heel tapping(N=25)	
		AE(ms)	CV	AE(ms)	CV
333	novice	59 (23.0)	9.0 (10.6)	57 (23.4)	7.0 (4.4)
	expert	66 (15.1)	4.6 (1.2)	63 (19.2)	5.7 (2.2)
400	novice	50 (40.4)	13.2 (22.4)	55 (27.7)	6.8 (9.1)
	expert	58 (33.0)	3.6 (0.8)	56 (25.6)	6.3 (4.9)
500	novice	42 (20.1)	4.1 (1.5)	44 (25.6)	5.1 (1.7)
	expert	44 (16.6)	3.7 (1.1)	51 (20.8)	4.1 (0.7)
666	novice	51 (24.9)	4.0 (0.9)	48 (34.6)	5.2 (3.9)
	expert	59 (22.4)	3.5 (1.4)	58 (26.5)	3.9 (0.9)
1000	novice	100 (33.7)	3.3 (1.0)	109 (41.3)	4.1 (1.1)
	expert	118 (28.2)	2.6 (0.5)	104 (41.8)	4.2 (2.9)
1200	novice	50 (34.1)	2.6 (0.8)	50 (46.1)	3.8 (3.3)
	expert	49 (29.1)	2.5 (0.6)	58 (34.1)	2.8 (0.9)
1500	novice	76 (52.7)	3.8 (1.3)	68 (50.1)	3.3 (0.9)
	expert	69 (40.7)	2.8 (0.5)	72 (46.6)	3.1 (0.4)
2000	novice	84 (59.7)	3.2 (1.1)	87 (66.8)	3.3 (1.3)
	expert	71 (49.0)	2.4 (1.0)	69 (47.5)	2.3 (0.8)

<표 8>은 동기화 조건에서 나타난 비동기성의 절대값(absolute error, AE)과 변동계수(CV)를 움직임 양식에 따라 집단과 리듬속도별로 구분하여 보여준다.

손가락 수행에서 나타난 집단과 리듬속도에 따른 비동기성의 이원분산분석 결과, 집단의 주효과는 유의하지 않았으나 리듬속도의 주효과는 유의하게 나타났다[$F(7, 221)=23.508$, $p<.001$]. 그러나 집단과 리듬속도의 상호작용 효과는 유의하지 않았다. 리듬속도의 주효과를 사후검정을 통해 확인한 결과, ISI=1000ms 조건에서 나타난 비동기성이 109.2ms으로 가장 크게 나타났고, 나머지 리듬속도 조건들과도 유의한 차이를 보였다($p<.006$). 또한, ISI=2000ms 조건(M=77.6ms)의 동기화 오류가 400ms(M=53.9ms)($p<.006$), 500ms(M=43.2ms)($p<.006$), 1200ms(M=49.5ms)($p<.006$) 조건과 유의한 것으로 나타났으며, ISI=1500ms 조건(M=72.2ms)과 500ms 조건 간 차이가 유의한 것으로 나타났다($p<.006$)(그림 8).

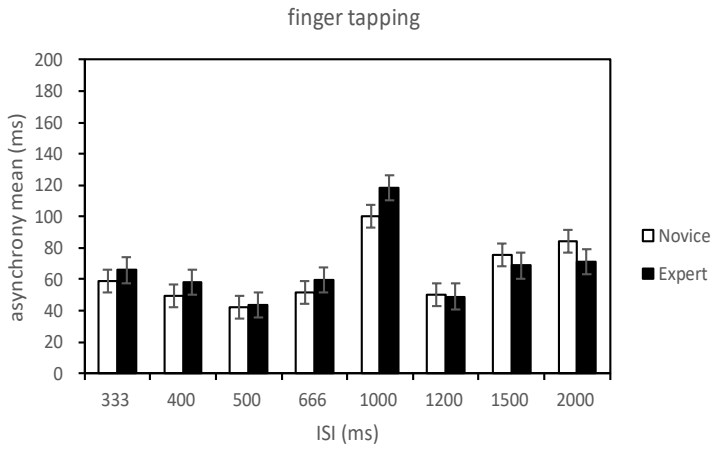


그림 8. 손가락 수행의 집단, 리듬속도에 따른 비동기성

발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단과 리듬속도에 따른 비동기성의 이원분산

분석 결과, 집단의 주효과는 유의하지 않았으나 리듬속도의 주효과는 유의하게 나타났다[$F(7, 221)=12.940$, $p<.001$]. 그러나 집단과 리듬속도의 상호작용 효과는 유의하지 않았다. 리듬속도의 주효과를 사후검정을 통해 확인한 결과, ISI=1000ms 조건에서 나타난 비동기성이 106.4ms으로 가장 크게 나타났고, 나머지 리듬속도 조건들과도 유의한 것으로 나타났다($p<.001$). 또한, 2000ms 조건(M=77.8ms)과 500ms(M=47.6ms) 조건 간 차이가 유의한 것으로 나타났다($p<.006$)(그림 9). 이러한 결과를 통하여 느린 리듬속도 조건에서 나타난 비동기성이 상대적으로 빠른 리듬속도 조건에 비해 큰 것을 알 수 있다.

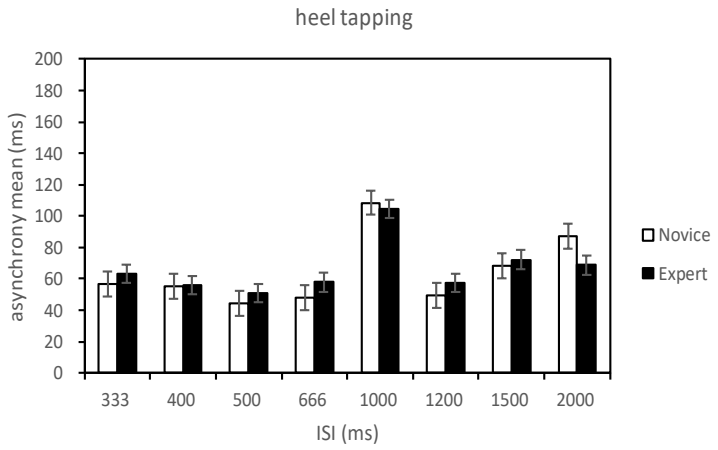


그림 9. 발뒤꿈치 수행의 집단, 리듬속도에 따른 비동기성

2) 타이밍 가변성(variability)

타이밍 가변성은 변동계수로 제시하였으며, 값이 클수록 수행의 가변성이 높음을 의미한다. <표 9>에 의하면, 손가락 수행에서 나타난 집단과 리듬속도에 따른 CV의 이원분산분석 결과, 집단의 주효과는 유의하게 나타났으며[$F(1, 221)=7.155$, $p<.01$], 리듬속도의 주효과도 유의하게 나타났다

[F(7, 221)=3.418, p<.01]. 각각의 주효과를 사후검정을 통해 확인한 결과, 숙련자의 CV(M=3.2)가 비숙련자(M=5.4)에 비해 낮게 나타났고(p=.008), 리듬속도 조건 간의 차이는 ISI=400ms 조건(M=8.4)에서 1000ms(M=2.9), 1200ms(M=2.5), 2000ms(M=2.8) 조건과 유의한 것으로 나타났다(p<0.5). 사후검정 결과에서 나타난 유의한 차이가 .05보다 작았지만, Bonferroni correction method로 보정된 alpha(.006=.05/8)와 비교한 결과 유의하지 않았다. 한편, 집단과 리듬속도의 상호작용 효과는 유의수준 5%에서 유의하지 않게 나타났지만, 유의수준 10% 기준에서 유의한 것으로 나타났다[F(7, 221)=2.030, p<0.1]. 이에 대한 사후검정 결과, ISI=400ms 조건에서 비숙련자의 CV(M=13.2)가 숙련자(M=3.6)에 비해 높게 나타났다(p<.006)(그림 10). 이러한 결과를 통하여 모든 리듬속도 조건에서 나타난 숙련자의 타이밍 가변성이 비숙련자에 비해 낮으며 특히, 상대적으로 빠른 리듬속도인 400ms 간격의 조건에서 그 차이가 두드러지는 것을 알 수 있다.

표 9. 동기화 조건-손가락 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 CV의 이원분산분석 결과

소스	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
집단	284.545	1	284.545	7.155**	0.008
ISI	951.531	7	135.933	3.418**	0.002
집단 * ISI	565.064	7	80.723	2.030	0.053
오차	8789.306	221	39.771		

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

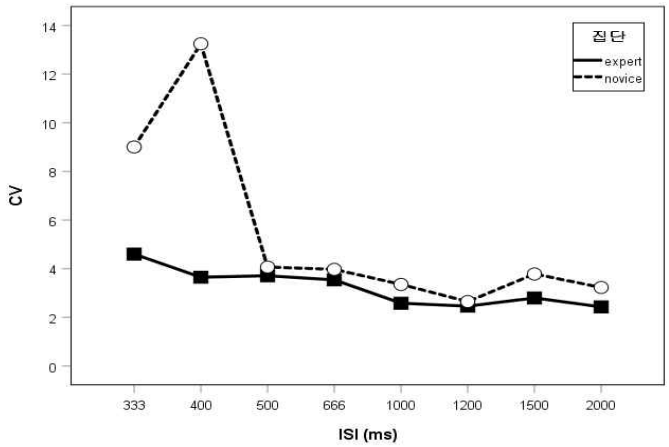


그림 10. 손가락 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 CV

발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단과 리듬속도에 따른 CV의 이원분산분석 결과, 리듬속도의 주효과만 유의하게 나타났다[$F(7, 221)=5.147$, $p<.001$]. 이를 사후검정을 통해 확인한 결과, ISI=2000ms 조건(M=2.8)과 333ms(M=6.3), 400ms(M=6.6) 조건 간 차이가 유의한 것으로 나타났다($p<.006$)(그림 11). 이러한 결과를 통하여 느린 리듬속도 조건의 타이밍 가변성은 상대적으로 빠른 리듬속도 조건에 비해 낮은 것을 알 수 있다.

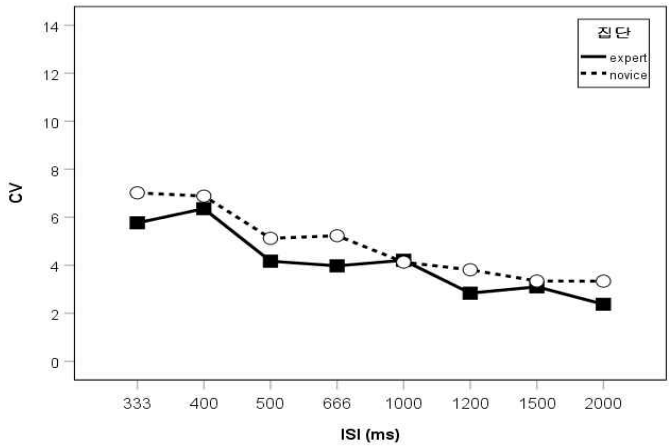


그림 11. 발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 CV

3. 지속 수행에서 나타난 타이밍 특성

지속 조건에서는 메트로놈 소리 없이 수행이 지속되기 때문에 탭과 탭 간 간격(ITI)의 평균과 표준편차를 산출하여 동기화 조건과 비교 분석하였다. 기준 ISI와 ITI 간 비교를 통하여 연구참여자의 지속 수행이 이전 템포를 유지하는데 성공적이었는지(타이밍 정확성), ITI의 CV로 수행의 일관성 정도(타이밍 가변성)를 파악할 수 있다.

1) 타이밍 정확성

<표 10>은 동기화와 지속 조건에서 측정한 각각의 ITI 평균 및 표준편차를 움직임 양식별로 집단과 리듬속도에 따라 구분하여 보여준다.

표 10. 움직임 양식별 집단, 리듬속도에 따른 ITI의 기술통계량[Mean(SD)]

unit: ms

ISI	group	finger tapping(N=30)		heel tapping(N=25)	
		sync.	cont.	sync.	cont.
333	novice	333 (23.0)	333 (37.2)	333 (41.7)	335 (87.9)
	expert	333 (17.2)	331 (25.8)	333 (27.4)	326 (63.9)
400	novice	404 (43.7)	396 (25.0)	402 (40.2)	397 (36.8)
	expert	400 (42.2)	393 (18.5)	400 (32.6)	390 (51.4)
500	novice	500 (23.2)	491 (23.8)	497 (46.2)	482 (20.4)
	expert	500 (20.7)	493 (23.3)	500 (28.8)	486 (30.6)
666	novice	666 (33.6)	668 (36.2)	664 (42.3)	658 (41.8)
	expert	667 (27.5)	655 (25.3)	665 (41.2)	641 (37.1)
1000	novice	1001 (49.7)	999 (48.1)	997 (64.9)	984 (115.2)
	expert	999 (33.5)	985 (50.4)	998 (54.8)	970 (63.5)
1200	novice	1200 (59.2)	1235 (60.1)	1194 (87.1)	1189 (99.9)
	expert	1203 (41.9)	1179 (49.4)	1200 (54.0)	1158 (49.9)
1500	novice	1501 (83.0)	1588 (97.2)	1499 (102.2)	1521 (99.1)
	expert	1499 (64.7)	1480 (53.7)	1511 (95.6)	1488 (67.1)
2000	novice	2003 (114.0)	2221 (130.0)	2000 (126.7)	2095 (157.4)
	expert	2001 (84.2)	2002 (92.7)	2000 (114.6)	1948 (105.5)

손가락 수행에서 나타난 동기화 조건의 집단과 리듬속도에 따른 평균 ITI의 이원분산분석 결과, 집단의 주효과는 유의하게 나타났으며[$F(1, 221)=7.741$, $p<.01$], 리듬속도의 주효과도 유의하게 나타났다[$F(7, 221)=737221.945$, $p<.001$]. 그러나 집단과 리듬속도의 상호작용 효과는 유의하지 않았다. 반면, <표 11>에 의하면, 지속 조건에서는 집단의 주효과[$F(1, 221)=19.309$, $p<.001$]와 리듬속도의 주효과[$F(7, 221)=1411.107$, $p<.001$]가 유의하게 나타났으며, 집단과 리듬속도의 상호작용 효과도 유의한 것으로 나타났다[$F(1, 221)=5.358$, $p<.001$]. 지속 조건에서 나타난 집단

과 리듬속도의 상호작용 효과를 사후검정을 통해 확인한 결과, ISI=2000ms과 1500ms 조건에서 나타난 숙련자의 ITI(각각 M=2002ms, M=1480ms)가 비숙련자(각각 M=2221ms, M=1587ms)에 비해 기준 ISI에 근접하게 나타났다(p<.006)(그림 12).

표 11. 지속 조건-손가락 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 평균 ITI에 대한 이원분산분석 결과

소스	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
집단	157226.920	1	157226.920	19.309***	.000
ISI	80432174.194	7	11490310.599	1411.107***	.000
집단 * ISI	305422.426	7	43631.775	5.358***	.000
오차	1799550.797	221	8142.764		

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

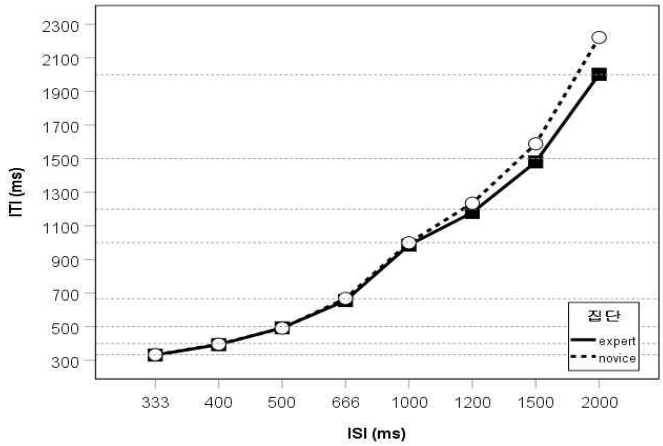


그림 12. 지속 조건-손가락 수행에서 나타난 집단과 리듬속도에 따른 평균 ITI

발뒤꿈치 수행에서 나타난 동기화 조건의 집단과 리듬속도에 따른 평균 ITI의 이원분산분석 결과, 집단의 주효과는 유의하지 않았으나, 리듬속도의 주효과는 유의하게 나타났다[F(7, 221)=768859.704, p<.001]. 그러나 집단과 리듬속도의 상호작용 효과는 유의하지 않았다. 반면, <표 12>에 의하면, 지속 조건에서는 집단의 주효과[F(1, 221)=11.485, p<.01]와 리듬속도의 주효과[F(7, 221)=2069.592, p<.001]가 유의하게 나타났으며, 집단과 리듬속도의 상호작용 효과도 유의한 것으로 나타났다[F(7, 221)=2.544, p<.05]. 집단과 리듬속도의 상호작용 효과를 사후검정을 통해 확인한 결과, ISI=2000ms 조건에서 나타난 숙련자의 ITI(M=1947ms)가 비숙련자(M=2080ms)에 비해 기준 ISI에 근접하게 나타났다(p<.006)(그림 13).

표 12. 지속 조건-발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 평균 ITI에 대한 이원분산분석 결과

소스	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
집단	57943.374	1	57943.374	11.485**	.001
ISI	73092398.850	7	10441771.264	2069.592***	.000
집단 * ISI	89861.956	7	12837.422	2.544*	.015
오차	1115017.515	221	5045.328		

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

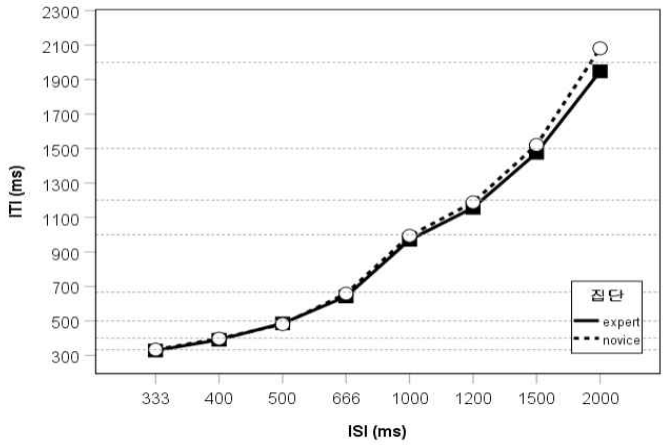


그림 13. 지속 조건-발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 평균 ITI

2) 타이밍 가변성

손가락 수행에서 나타난 동기화 조건의 집단과 리듬속도에 따른 평균 ITI의 이원분산분석 결과, 리듬속도의 주효과만 유의하게 나타났다[F(7, 221)=3.145, p<.01]. 반면, <표 13>에 의하면, 지속 조건에서는 집단의 주효과[F(1, 221)=19.309, p<.001]와 리듬속도의 주효과[F(7, 221)=1411.107, p<.001]가 유의하게 나타났으나, 집단과 리듬속도의 상호작용 효과는 유의하지 않았다. 각각의 주효과를 사후검정을 통해 확인한 결과, 숙련자의 ITI CV(M=4.81)가 비숙련자(M=6.10)에 비해 낮게 나타났고(p<.006), ISI=333ms 조건의 ITI CV(M=9.33)와 나머지 리듬속도 조건 간 차이가 유의한 것으로 나타났다(p<.006). 이러한 결과는 동기화 조건과 달리 지속 조건에서 나타난 비숙련자의 손가락 수행이 숙련자에 비해 가변적이었고, 가장 빠른 리듬속도 조건에서 가변성이 크게 나타났음을 의미한다.

표 13. 지속 조건-손가락 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 ITI의 CV에 대한 이원분산분석 결과

소스	제곱합	자유도	평균제곱	*F*	유의확률
집단	98.745	1	98.745	9.099**	.003
ISI	536.054	7	76.579	7.056***	.000
집단 * ISI	67.932	7	9.705	.894	.512
오차	2398.455	221	10.853		

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

발뒤꿈치 수행에서 나타난 동기화 조건의 집단과 리듬속도에 따른 ITI의 CV 이원분산분석 결과, 집단의 주효과[F(1, 221)=8.972, p<.01]와 리듬속도의 주효과[F(7, 221)=4.502, p<.001]가 유의하게 나타났다. 그러나 집단과 리듬속도의 상호작용 효과는 유의하지 않았다. 집단의 주효과에 대한 사후검정 결과, 숙련자의 ITI CV(M=5.18)가 비숙련자(M=6.17)에 비해 낮게 나타났다(p<.006). <표 14>에 의하면, 지속 조건에서도 집단의 주효과[F(1, 221)=11.485, p<.01]와 리듬속도의 주효과[F(7, 221)=2069.592, p<.001]가 유의하게 나타났으며, 사후검정 결과, 숙련자의 ITI CV(M=6.14)가 비숙련자(M=8.21)에 비해 낮게 나타났고(p<.006), ISI=333ms 조건(M=11.26)과 666ms(M=6.02), 1200ms(M=6.38), 1500ms(M=5.25), 2000ms(M=5.53) 조건 간 차이가 유의한 것으로 나타났다(p<.006). 이러한 결과는 동기화와 지속 조건에서 비숙련자의 발뒤꿈치 수행이 숙련자에 비해 가변적이었고, 지속 조건의 가장 빠른 리듬속도에서 가변성이 크게 나타났다는 것을 의미한다.

표 14. 지속 조건-발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단, 리듬속도에 따른 ITI의 CV에 대한 이원분산분석 결과

소스	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
집단	236.039	1	236.039	9.147**	0.003
ISI	1135.957	7	162.280	6.288***	0.000
집단 * ISI	110.387	7	15.770	0.611	0.747
오차	5703.226	221	25.806		

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

4. 템포 변화에 따른 적응 특성

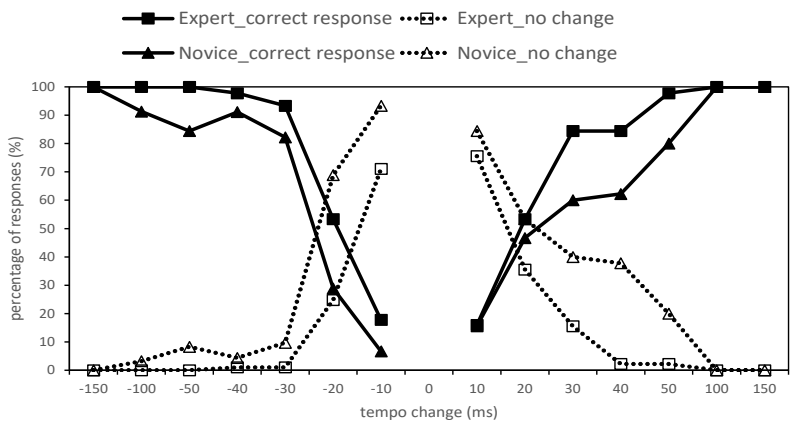
1) 템포 변화에 대한 집단별 지각적 판단

템포 변화 과제에서 모든 연구참여자는 각각의 시행마다 손가락 혹은 발뒤꿈치 두드리기 수행을 마치고 난 후 '템포가 변화하였는지', '만약 변화하였다면, 빠르게 또는 느리게 어떻게 변화하였는지'에 대한 질문에 답변하였다. 응답의 유형은 템포가 빠르게 변화함(negative), 템포가 느리게 변화함(positive), 변화없음(no change)으로 구성되었다.

<그림 14>는 움직임 양식에 따라 집단별로 나타난 템포 변화에 대한 응답 비율을 보여준다. 연구참여자의 전체 응답 중 올바른 응답이 손가락 두드리기는 67.9%였고, 발뒤꿈치 두드리기는 68.0%였다. 움직임 양식에 따른 집단별 정확한 응답의 비율을 살펴보면, 손가락 두드리기의 경우 비숙련자가 67.9%, 숙련자가 80.7%였고, 발뒤꿈치 두드리기의 경우 비숙련자가 68.3%, 숙련자가 81.8%였다. 전체적으로 숙련자가 비숙련자에 비해 높은 정답률을 보였고, 발뒤꿈치 수행에서 손가락 수행보다 민감하게 템포 변화를 지각하였다. 템포 변화의 방향에 따른 정확한 응답의 비율을 살펴보면,

템포가 느리게 변화한 조건에서는 비숙련자의 65.4%, 숙련자의 81.2%가 올바르게 응답하였고, 템포가 빠르게 변화한 조건에서는 비숙련자의 70.7%, 숙련자의 81.2%가 정확하게 응답하였다. 이처럼 숙련자는 템포 변화 방향과 상관없이 높은 정답률을 보였으나, 비숙련자 집단은 템포가 빠른 속도로 변화하는 조건에서 느린 속도 조건보다 쉽게 템포 변화를 지각한 것을 알 수 있다. 예상한 바와 같이 두 집단 모두 템포 변화의 크기에 따라 ±10, ±20ms과 같이 템포 변화의 크기가 작은 경우 '변화 없음(no change)'으로 응답한 비율이 높았으나, '±30ms 이상부터는 정확하게 응답(템포가 빨라짐 혹은 느려짐)한 비율이 높아졌다. 또한, 전체 응답에서 '변화 없음'으로 응답한 연구참여자의 비율은 손가락과 발뒤꿈치 두드리기 수행에서 숙련자가 각각 21.5%, 18.1%, 비숙련자가 각각 32.0%, 31.7%으로 나타났다. 이는 숙련자가 비숙련자에 비해 템포 변화에 대한 민감도가 높은 것을 의미한다.

(a) finger tapping



(b) heel tapping

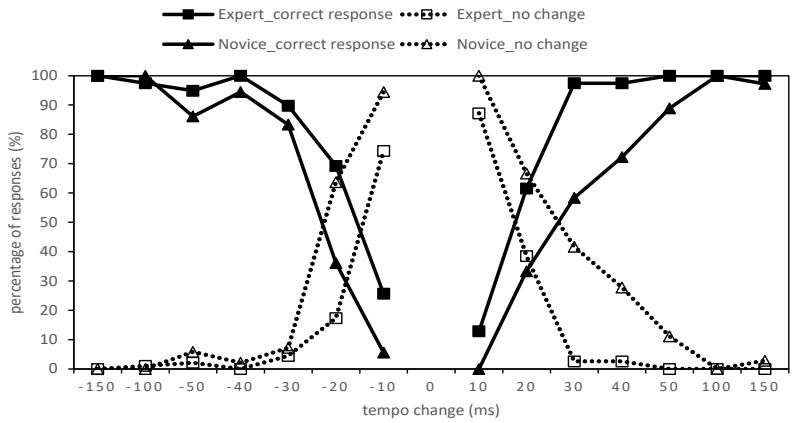


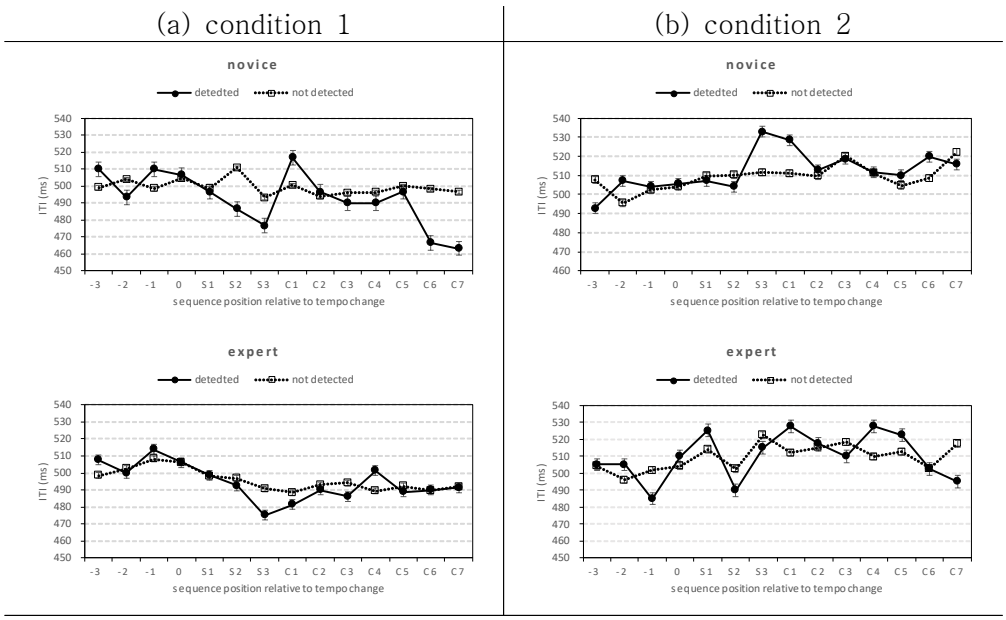
그림 14. 움직임 양식에 따른 집단별 템포 변화에 대한 응답 비율

2) 집단, 템포 변화 지각 여부에 따른 적응

① ITI

템포 변화에 대한 지각이 ITI의 적응에 어떠한 역할을 하는지 살펴보기 위하여 '변화없음'으로 응답한 비율이 가장 높은 condition 1(-10ms), 2(+10ms)에서 템포 변화 지각 여부에 따라 각각의 시행을 구분하였다.

<그림 15>는 손가락 수행에서 나타난 템포 변화 지각 여부에 따른 집단별 평균 ITI를 템포 변화 방향에 따라 양의 방향(a: negative)과 음의 방향(b: positive)으로 구분하여 보여준다. 두 집단 모두 템포 변화를 지각한 시행과 그렇지 않은 시행 간의 뚜렷한 차이를 볼 수 있다. 템포가 빠르게 변하는 조건(negative)에서 변화를 지각하였을 때 비숙련자는 포지션 s2&3에서 ITI가 목표 ISI보다 더 벗어나는(overshoot) 패턴이 나타났고, 숙련자는 s3에서 그러한 경향이 나타났다(그림 15a). 반면, 템포가 느리게 변하는 조건(positive)에서 변화를 지각하였을 때 비숙련자는 포지션 s3, c1에서 ITI가 목표 ISI보다 더 벗어나는(overshoot) 패턴이 나타났고, 숙련자는 템포 변화 이후 지그재그로 목표 지점을 벗어나는 경향이 나타났다(그림 15b).



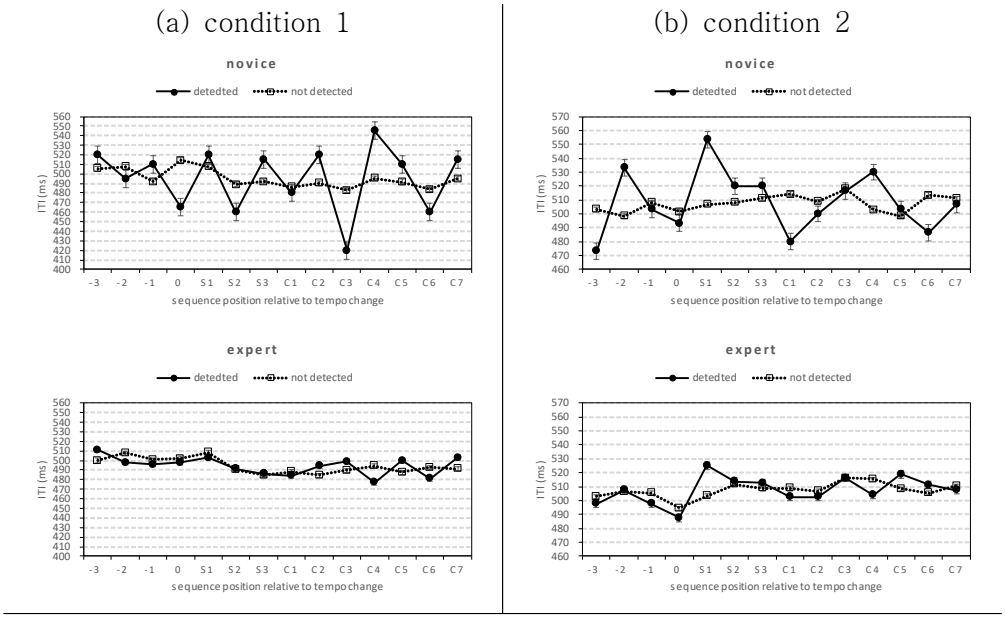
condition 1: -10ms, condition 2: +10ms

그림 15. 손가락 수행에서 나타난 템포변화지각 여부에 따른 집단별 평균 ITI

손가락 수행의 negative condition에서 나타난 집단과 템포 변화 지각 여부에 따른 ITI의 각 포지션별(s1, s2&3, c) 이원분산분석 결과, 포지션

s2&3에서 집단의 주효과가 유의하게 나타났으며[$F(1, 86)=8.063$, $p<.01$], 템포 변화 지각의 주효과는 유의수준 10% 기준으로 유의한 것으로 나타났다[$F(1, 86)=3.242$, $p<0.1$]. 집단의 주효과에 대한 사후검정 결과, 비숙련자의 ITI(M=483ms)가 숙련자(M=501ms)에 비해 목표 ISI에서 근접한 것으로 나타났다($p<.007$). 그리고 템포 변화를 지각한 경우(M=486ms) 그렇지 못한 경우(M=498ms)에 비해 과수정하는 경향이 나타났으나($p<0.1$), Bonferroni correction method로 보정된 alpha(.007=.05/7)와 비교한 결과 유의하지 않았다. 또한, positive condition에서 나타난 집단과 템포 변화 지각 여부에 따른 ITI의 각 포지션별(s1, s2&3, c) 이원분산분석 결과, 포지션 s2&3에서 집단의 주효과[$F(1, 86)=3.018$, $p<0.1$]와 집단과 템포 변화 지각의 상호작용 효과[$F(1, 86)=2.879$, $p<0.1$]가 유의수준 10% 기준으로 유의한 것으로 나타났다. 상호작용 효과에 대한 사후검정 결과, 템포 변화를 지각한 조건에서 비숙련자의 ITI(M=518ms)가 숙련자(M=502ms)에 비해 과수정하는 경향이 크게 나타났으나($p<0.1$), 보정된 alpha(.007=.05/7)와 비교한 결과 유의하지 않았다.

<그림 16>은 발뒤꿈치 수행에서 나타난 결과이다. 템포가 빠르게 변하는 조건(negative)에서 변화를 지각하였을 때 비숙련자는 손가락 수행과 비슷하게 포지션 s2&3에서 ITI가 목표 ISI보다 더 벗어나는(overshoot) 패턴이 나타났으나 이후에는 손가락 수행에서보다 ITI의 변동이 크게 나타났다. 그러나 템포 변화 지각 여부에 따른 숙련자의 수행에서는 뚜렷한 차이를 보이지 않았다(그림 16a). 반면, 템포가 느리게 변하는 조건(positive)에서 변화를 지각하였을 때 두 집단 모두 포지션 s1에서 ITI가 목표 ISI보다 크게 벗어나는 패턴이 나타났으며, 이후 숙련자는 목표지점에서 ITI를 지속하였으나 비숙련자는 지그재그로 목표 지점을 벗어나는 경향이 나타났다(그림 16b).



condition 1: -10ms, condition 2: +10ms

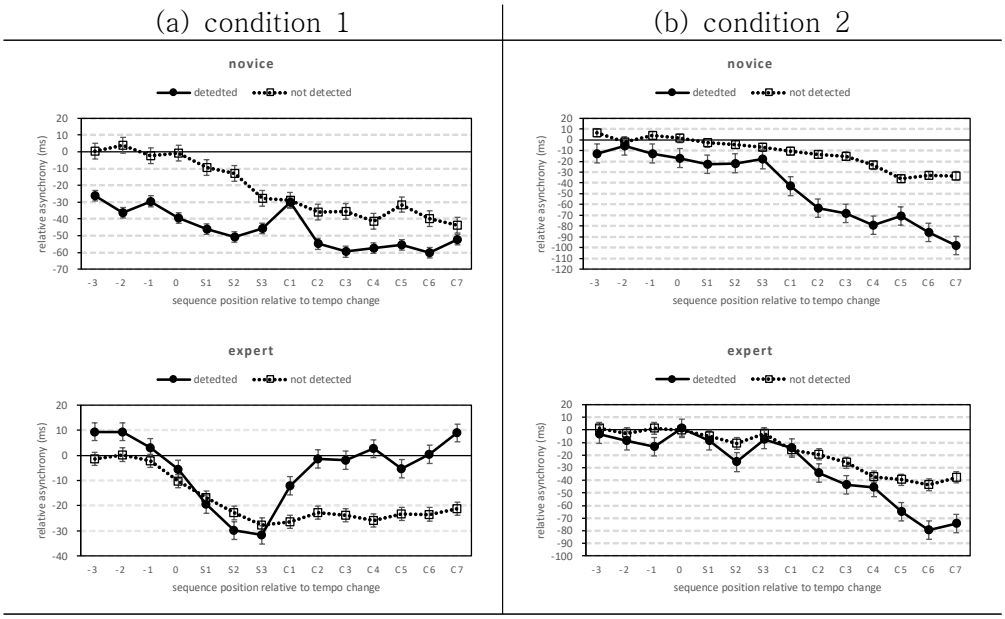
그림 16. 발뒤꿈치 수행에서 나타난 템포변화지각 여부에 따른 집단별 평균 ITI

발뒤꿈치 수행의 negative condition에서 나타난 집단과 템포 변화 지각 여부에 따른 ITI의 각 포지션별(s1, s2&3, c) 이원분산분석 결과, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 반면, positive condition에서 나타난 집단과 템포 변화 지각 여부에 따른 ITI의 각 포지션별(s1, s2&3, c) 이원분산분석 결과, 포지션 s1에서 템포 변화 지각 여부의 주효과가 유의하게 나타났다[$F(1, 86)=11.866$, $p<.01$]. 이에 대한 사후검정 결과, 템포 변화를 지각한 조건의 ITI(M=539ms)가 그렇지 못한 조건(M=505ms)에 비해 과수정하는 경향이 크게 나타났다($p<.007$).

② asynchrony

<그림 17>은 손가락 수행에서 나타난 템포 변화 지각 여부에 따른 집단

별 상대적 비동기성(relative asynchrony)을 템포 변화 방향(a: negative condition, b: positive condition)에 따라 구분하여 보여준다. 두 집단 모두 템포 변화를 지각한 시행과 그렇지 않은 시행 간의 뚜렷한 차이를 볼 수 있다. 빠른 템포 변화 조건에서 변화를 지각하였을 때 숙련자는 빠르게 기준점(baseline)으로 돌아온 반면, 비숙련자는 기준점과는 멀리 떨어져 있는 것을 볼 수 있다(그림 17a). 반면, 느린 템포 변화 조건(positive)에서 변화를 지각하였을 때 비숙련자는 포지션 뒤로 갈수록 기준점과 멀어졌고, 숙련자는 지각여부에 따른 뚜렷한 차이는 보이지 않았다(그림 17b).



condition 1: -10ms, condition 2: +10ms

그림 17. 손가락 수행에서 나타난 템포변화지각 여부에 따른 집단별 상대적 비동기성

손가락 수행의 negative condition에서 나타난 집단과 템포 변화 지각 여부에 따른 상대적 비동기성(relative asynchrony)의 각 포지션별(s1, s2 & 3, c) 이원분산분석 결과, 포지션 c에서 집단의 주효과가 유의하게 나타났

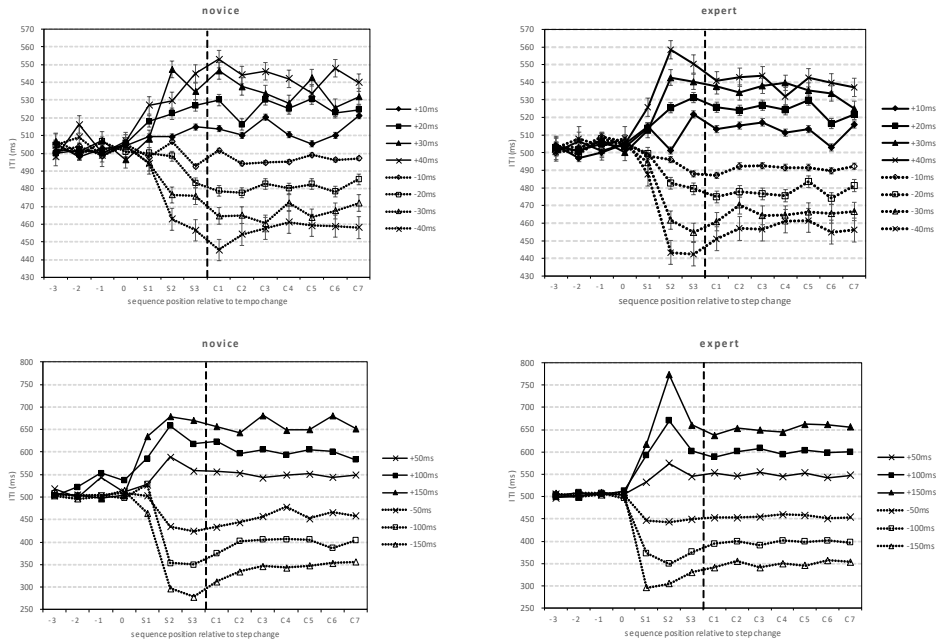
다[$F(1, 86)=5.467$, $p<.05$]. 이에 대한 사후검정 결과, 숙련자의 상대적 비동기성(M=-12.53ms)은 비숙련자(M=-44.75ms)에 비해 기준점에 가깝게 나타났으나($p=.022$) Bonferroni correction method로 보정된 alpha(.007=.05/7)와 비교한 결과 유의하지 않았다. 반면, positive condition에서 나타난 집단과 템포 변화 지각 여부에 따른 상대적 비동기성의 각 포지션별(s1, s2&3, c) 이원분산분석 결과, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

발뒤꿈치 수행의 negative/positive condition에서 나타난 집단과 템포 변화 지각 여부에 따른 상대적 비동기성의 각 포지션별(s1, s2 & 3, c) 이원분산분석 결과, 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

3) 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따른 적응

① ITI

<그림 18>은 템포 변화 크기의 단위를 ±10ms과 ±50ms로 구분하여 손가락 수행에서 나타난 집단별 템포 변화 크기와 방향에 따른 포지션별 평균 ITI를 보여준다. X축의 포지션 -3부터 0까지는 기준 ISI(=500ms), 포지션 s1-s3는 새로운 템포에 동기화하는 구간, 포지션 c1-c7은 동기화를 지속하는 구간이다. 전체적으로 두 집단 모두 갑작스럽게 변화한 템포에 빠르게 적응한 것을 확인할 수 있다. 전반적으로 템포 변화 크기가 작은 조건(≤±20ms)에서는 과수정 없이 빠르게 목표지점에 도달하였으나, 상대적으로 템포 변화 크기가 큰 조건(≥±30ms)에서는 초기에 목표지점을 더 벗어나는(overshoot) 경향이 뚜렷하게 나타났으며, 이로 인해 새로운 템포에 적응하는 포지션의 위치가 뒤로 물러나 있는 것을 볼 수 있다. 또한, 새로운 템포에 적응한 시점에 있어서 숙련자가 비숙련자에 비해 앞서 있으며, 보다 안정적으로 지속하는 것을 알 수 있다.



condition 1: -10ms, condition 2: +10ms, condition 3: -20ms, condition 4: +20ms, condition 5: -30ms, condition 6: +30ms, condition 7: -40ms, condition 8: +40ms, condition 9: -50ms, condition 10: +50ms, condition: 11: -100ms, condition 12: +100ms, condition 13: -150ms, condition 14: +150ms

그림 18. 손가락 수행에서 나타난 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따른 평균 ITI

손가락 수행에서 나타난 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따른 포지션별(s1, s2&3, c) 평균 ITI의 삼원분산분석 결과, 특히 포지션 s2&3에서 집단, 템포 변화 크기, 방향의 상호작용 효과가 유의한 것으로 나타났으며[$F(6, 385)=2.520$, $p<.05$], 사후검정 결과, -100ms 조건에서 숙련자의 ITI(M=356ms)가 비숙련자(M=410ms)에 비해 목표 ISI에 근접하게 나타났고($p<.007$), +150ms 조건에서 숙련자의 ITI(M=742ms)가 비숙련자(M=704ms)에 비해 과수정 경향이 크게 나타났다($p<.007$).

집단, 템포 변화 크기, 방향에 따른 각 포지션별(s1, s2, s3, c) 평균 ITI를 통하여 산출한 회귀선의 기울기(slopes of the regression lines)를 적응의 지표(adaptation index)로 삼아 집단별 템포 변화에 적응한 정도를 살펴

보았다(Repp & Keller, 2004). 기울기가 1인 경우 완벽하게 적응한 것을 의미하며, 반대로 0인 경우 적응이 전혀 이루어지지 않았음을 의미한다. 기울기가 1보다 크면, 과수정(overcorrection)이, 1보다 작으면, undercorrection이 나타났음을 알 수 있으며, 음의 기울기(negative slope)는 역적응 전략(counteradaptive strategy)이 나타났음을 의미한다. <그림 19>는 손가락 수행에서 나타난 각 포지션별 적응 지표를 집단에 따라 보여준다. 포지션 s1(비숙련자: 0.23; 숙련자: 0.26)에서는 적응이 전혀 이루어지지 않았으나 s2(비숙련자: 1.33; 숙련자: 1.60)와 s3(비숙련자: 1.17; 숙련자: 1.27)에서 과수정이 나타났고, c에서는 기울기가 비숙련자와 숙련자 각각 1.03으로 거의 완벽하게 적응하고 이를 지속하는 것을 반영한다. 특히, 포지션 s2&3 구간에서 나타난 숙련자의 과수정 경향이 비숙련자에 비해 큰 것을 알 수 있다.

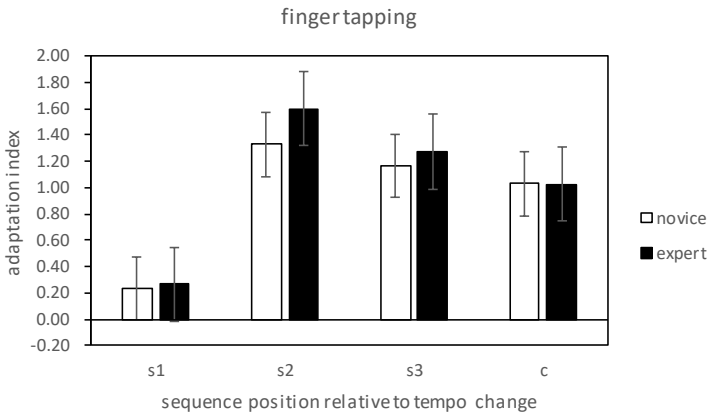


그림 19. 각 포지션에서 나타난 집단별 적응 지표

<그림 20>은 템포 변화 크기의 단위를 ±10ms과 ±50ms로 구분하여 발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단별 템포 변화 크기와 방향에 따른 포지션별 평균 ITI를 보여준다. 손가락 수행에서와 마찬가지로 두 집단 모두 템포 변화의 크기가 커질수록 과수정 경향이 두드러졌고, 10ms 단위로 변화한

조건(≦±40ms)에서 나타난 템포 변화 후 이를 지속하는 구간(포지션 c1-7)의 ITI가 50ms 단위의 템포 변화 조건에 비해 더 가변적인 것을 볼 수 있다. 또한, 손가락 수행 시 템포 변화 직후 과수정 경향이 컸던 숙련자의 수행이 발뒤꿈치 수행에서는 과수정의 크기가 줄어들었고, 반면, 손가락 수행에서 과수정의 크기가 상대적으로 작았던 비숙련자는 발뒤꿈치 수행에서 과수정 크키가 커진 것을 알 수 있다.

발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따른 포지션별(s1, s2&3, c) 평균 ITI의 삼원분산분석 결과, 특히 포지션 c에서 집단, 템포 변화 크기, 방향의 상호작용 효과가 유의수준 10% 기준으로 유의한 것으로 나타났으며[$F(6, 380)=2.086$, $p<0.1$], 사후검정 결과, -150ms 조건에서 숙련자의 ITI(M=339ms)가 비숙련자(M=327ms)에 비해 목표 ISI에 근접하게 나타났다($p<.007$).

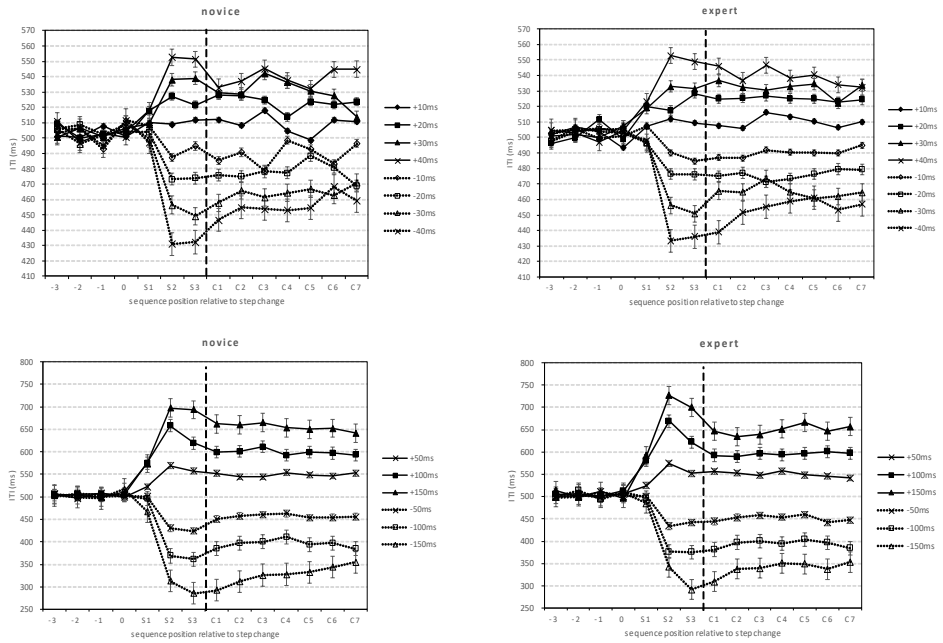


그림 20. 발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따른 평균 ITI

<그림 21>은 발뒤꿈치 수행에서 나타난 각 포지션별 적응 지표를 집단에 따라 보여준다. 포지션 s1(비숙련자: 0.35; 숙련자: 0.37)에서는 적응이 전혀 이루어지지 않았으나 s2(비숙련자: 1.35; 숙련자: 1.34)와 s3(비숙련자: 1.35; 숙련자: 1.31)에서 과수정이 나타났고, c에서는 기울기가 비숙련자는 1.08, 숙련자는 1.04로 거의 완벽하게 적응하고 이를 지속하는 것을 반영한다. 발뒤꿈치에서 나타난 적응 지표에서 집단 간 차이는 보이지 않으며, 손가락 수행과 비교하여 숙련자는 적응도가 높게 나타났고, 비숙련자는 적응도가 낮게 나타났음을 알 수 있다.

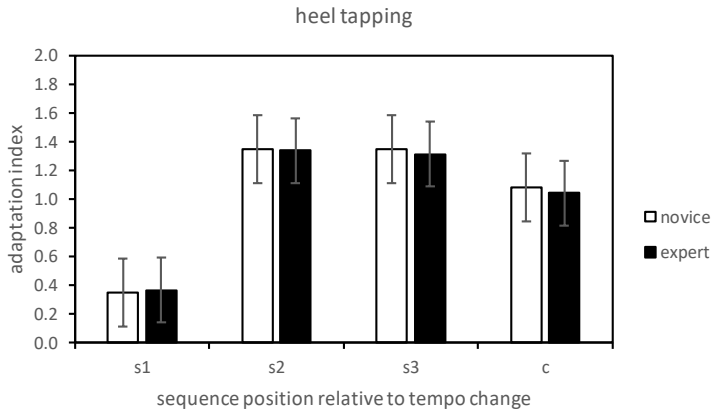


그림 21. 각 포지션에서 나타난 집단별 적응 지표

② asynchrony

먼저, 손가락 수행에서 나타난 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따른 포지션별(s1, s2&3, c) 상대적 비동기성의 삼원분산분석 결과, 포지션 s1에서는 템포 변화 크기의 주효과[F(1, 386)=3.820, p<.01]와 템포 변화 방향의 주효과[F(1, 386)=29.314, p<.001]가 유의하게 나타났다. 각각의 주효과에 대한 사후검정 결과, ±10ms 조건(M=-4.31ms)과 ±150ms 조건(M=-42.01ms) 간 유의한 차이가 나타났고(p=.002), 느린 템포 변화 조건의 상대적 비동기성(M=-4.92ms)이 빠른 변화 조건(M=-32.00ms)에 비해 기준점에 가깝게 나타났다(p=.000).

포지션 s2&3에서는 템포 변화 크기의 주효과[F(6, 386)=10.963, p<.001]와 방향의 주효과[F(1, 386)=397.256, p<.001]가 유의하게 나타났다. 각각의 주효과에 대한 사후검정 결과, ±100ms 조건(M=-78.25ms)에서 가장 큰 상대적 비동기성이 나타났고, 나머지 크기 조건들과 모두 유의한 차이가 나타났으며(p=.000), ±150ms 조건(M=-56.60ms)과 ±10ms(M=-8.33ms), ±20ms(M=-14.75ms), ±30ms(-14.45ms) 조건 간 유의한 차이가 나타났다. 또한, 느린 템포 변화 조건의 상대적 비동기성(M=26.47ms)이 빠른 템포

변화 조건(M=-92.36ms)에 비해 기준점에 가깝게 나타났다(p=.000). 한편, 상호작용 효과는 집단과 템포 변화 방향[F(1, 386)=5.558, p<.001], 템포 변화 크기와 방향[F(6, 386)=22.382, p<.001], 집단, 템포 변화 크기, 방향[F(6, 386)=4.002, p<.01]에서 유의한 것으로 나타났다. 각각의 상호작용 효과를 사후검정을 통해 확인한 결과, 느린 템포 변화 조건에서 숙련자의 상대적 비동기성(M=13.60ms)이 비숙련자(M=39.33ms)에 비해 낮게 나타났고, -10ms 조건(M=-25.84ms)과 -50ms 조건(-96.66ms) 간, -100ms 조건(M=-172.33ms)과 -150ms을 제외한 나머지 크기 조건 간, -150ms 조건(M=-181.83ms)과 나머지 크기 조건 간 유의한 차이가 나타났으며(p=.000), -100ms과 +150ms 조건에서 숙련자의 상대적 비동기성(M=-132.33ms, 15.76ms)이 비숙련자(M=-212.33ms, 121.50ms)에 비해 기준점에 근접하게 나타났다(p=.000).

포지션 c에서는 집단의 주효과[F(6, 386)=4.203, p<.05], 템포 변화 크기의 주효과[F(6, 386)=6.590, p<.001], 방향의 주효과[F(1, 386)=47.708, p<.001] 모두 유의하게 나타났다. 각각의 주효과에 대한 사후검정 결과, 숙련자의 상대적 비동기성(M=-33.31ms)이 비숙련자(M=-46.69ms)에 비해 기준점에 가깝게 나타났으나(p=.041), Bonferroni correction method로 보정된 alpha(.007=.05/8)와 비교한 결과 유의하지 않았고, ±100ms 조건(M=-75.22ms)과 ±10ms(M=-28.48ms), ±20ms(M=-23.40ms), ±30ms(M=-20.50ms), ±40ms(M=-20.44ms) 조건 간 유의한 차이가 나타났으며(p=.000), 느린 템포 변화 조건의 상대적 비동기성(M=-17.47ms)이 빠른 변화 조건(M=-62.54ms)에 비해 기준점에 가깝게 나타났다(p=.000). 한편, 상호작용 효과는 모두 유의한 것으로 나타났는데(p<.05), 이에 대한 사후검정 결과는 다음과 같다. 템포 변화 크기가 ±100ms인 조건에서 숙련자의 상대적 비동기성(M=-40.19ms)이 비숙련자(M=-110.26ms)에 비해 기준점에 가깝게 나타났고(p=.000), 템포가 빠르게 변화한 조건에서 숙련자의

상대적 비동기성(M=-40.53ms)이 비숙련자(M=-84.54ms)에 비해 기준점에 가깝게 나타났으며(p=.000), -50ms 조건(M=-104.81ms)과 -100ms 조건(M=-105.28ms)의 상대적 비동기성이 가장 크게 나타났고, -10ms(M=-39.98ms)(p=.004), 20ms(M=-42.28ms)(p=.006), 30ms(M=-40.21ms)(p=.004) 조건과 유의한 차이가 나타났다. 그리고 집단, 템포변화 크기, 방향의 상호작용 효과에 대한 사후검정 결과, -100ms 조건에서 나타난 숙련자의 상대적 비동기성(M=-17.23ms)이 비숙련자(M=-193.33ms)에 비해 기준점에 가깝게 나타났다(p=.000).

발뒤꿈치 수행에서 나타난 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따른 포지션별(s1, s2&3, c) 상대적 비동기성의 삼원분산분석 결과, 포지션 s1에서는 템포 변화 방향의 주효과[F(1, 380)=504.891, p<.001]가 유의하게 나타났다. 이에 대한 사후검정 결과, 느린 템포 변화 조건의 상대적 비동기성(M=-68.26ms)이 빠른 변화 조건(M=46.71ms)에 비해 기준점에 가깝게 나타났다(p=.000). 또한, 템포 변화 크기와 방향의 상호작용 효과도 유의한 것으로 나타났으며[F(6, 380)=42.521, p<.001], 사후검정 결과, 템포 변화 크기가 커질수록 상대적 비동기성도 기준점에서 멀어졌고, -100ms 조건(M=-132ms)과 -150ms 조건(M=-149ms)에서 나머지 조건들과 유의한 차이를 나타냈으며(p=.000), +100ms 조건(M=96.66ms)과 +150ms 조건(M=98.31ms)에서 +10ms(M=4.16ms)(p=.000), +20ms(M=7.39ms)(p=.000), +30ms(M=23.96ms)(p=.000), 40ms(M=41.96ms)(p=.001) 조건과 유의한 차이가 나타났다.

포지션 s2&3에서는 템포 변화 크기의 주효과[F(6, 380)=2.454, p<.05], 방향의 주효과[F(1, 380)=383.453, p<.001]가 유의하게 나타났다. 이에 대한 사후검정 결과, 느린 템포 변화 조건의 상대적 비동기성(M=67.33ms)이 빠른 변화 조건(M=-84.26ms)에 비해 기준점에 가깝게 나타났다(p=.000). 또한, 집단과 템포 변화 크기의 상호작용 효과[F(6, 380)=2.203, p<.05], 템포

변화 크기와 방향의 상호작용 효과[$F(6, 380)=32.20$, $p<.001$]가 유의하게 나타났으며, 이에 대한 사후검정 결과, ±100ms 조건에서 숙련자의 상대적 비동기성(M=-4.83ms)이 비숙련자(57.50ms)에 비해 기준점에 가깝게 나타났고($p=.002$), -150ms 조건(M=-222.96ms)의 상대적 비동기성은 기준점에서 가장 벗어났음은 물론, 나머지 조건들과 모두 유의한 차이가 나타났으며, +100ms 조건(M=121.00ms)과 +10ms(5.66ms), +20ms(10.90ms), +30ms(38.30ms)($p=.001$) 간, +150ms 조건(177.83ms)과 +100ms을 제한 나머지 크기 조건 간 유의한 차이가 나타났다($p=.000$).

포지션 c에서는 템포 변화 방향의 주효과[$F(6, 380)=104.363$, $p<.001$]가 유의하게 나타났다. 이에 대한 사후검정 결과, 느린 템포 변화 조건의 상대적 비동기성(M=34.55ms)이 빠른 변화 조건(M=-44.55ms)에 비해 기준점에 가깝게 나타났다. 또한, 템포 변화 크기와 방향의 상호작용 효과도 유의하게 나타났으며[$F(6, 380)=8.268$, $p<.001$], 사후검정 결과, -150ms 조건(M=-100.36ms)과 - 10ms(M=-20.41ms)($p=.004$), -30ms(M=-10.19ms)($p=.001$) 조건 간 유의한 차이가 나타났다.

V. 논의

주기적인 메트로놈 소리에 맞춰 손가락 및 발뒤꿈치를 두드리는 것은 매우 단순한 과제로 보여진다. 이러한 행동적 단순함은 그 이면에 존재하는 생물학적 복잡성을 착각하게 만든다. 인간은 지각과 행동을 리드미컬하게 협응하는 능력을 가졌으며, 이는 인간의 고지능적 특성으로 무용 수행에 있어서 매우 중요한 요소이다. 음악에 맞춰 혹은 다른 무용수와 함께 춤출 때 자신의 움직임을 외부자극에 성공적으로 동조화하기 위해서 다양한 리듬, 변화하는 환경에 유연하게 적응하는 능력이 필수적으로 요구된다. 따라서 본 연구에서는 리드미컬한 동조화 관련된 자발적 운동 템포 과제, 동기화-지속 과제, 템포 변화 과제를 행동 수준에서 살펴보고, 무용 숙련자의 동조화 특성을 정량적 자료로 제시하고자 하였다. 이러한 연구결과는 운동동작(반응)의 생성이 시간과 결합되었을 때 나타나는 감각운동 타이밍의 처리과정, 리드미컬한 동조화에서 시간 관련 정보의 중요성, 갑작스러운 변화에 신속하고 유연하게 적응하는 과정 등에 대한 정보를 알 수 있다. 주요 결과 및 논의는 다음과 같다.

1. 집단 및 움직임 양식별 선호하는 템포

인간이 음악을 듣거나 스스로 리드미컬한 움직임을 생성할 때 가장 선호하며 편안하다고 느끼는 리듬의 기준은 보통 빠르기(moderate tempo)라 일컫는 500-600ms 전후로 형성된다. 음악이나 말하기(McAulery et al.,

2006), 걷기(Leman et al., 2013), 손가락 두드리기 실험(Drake et al., 2000; London, 2012)에서 선호하는 자발적 운동 템포(SMT)도 여기에 포함된다. SMT는 스스로 조절하는 규칙적이고 반복적인 템포로 주기적인 운동 동작을 수행하는데 자연스러운 속도 즉, 내적 템포(internal tempo)를 의미한다. SMT는 위 기준을 중심으로 매우 빠른(very fast) 빠르기인 123ms에서 매우 느린(very slow) 빠르기인 2150ms에 이르는 범주를 형성하고 있는데(Fraisse, 1982, Hammerschmidt et al., 2021; Moelants, 2002), 이러한 개인 간 차이는 연령, 하루주기리듬(circadian rhythm), 음악적 경험 등 몇몇 요인들에 의해 영향을 받는다고 선행연구를 통해 제안되어왔다. 나이가 많을수록 어린 나이에 비해 상대적으로 느린 SMT를 선호하고(Baudouin et al., 2004; McAuley et la., 2006), 하루 중 6:00-18:00 사이에는 SMT의 속도가 가속되었으나(speed up) 18:00-22:00 사이에는 감속되었으며(slow down)(Moussay et al., 2002), 음악적 경험을 가진 아동은 음악적 경험이 없는 아동과 비교하여 느린 SMT를 가졌으나 성인의 경우 음악가와 비음악가 간 차이는 나타나지 않았다(Drake et al., 2000). 또한, 일반인, 국악전공, 서양음악전공 음악가의 SMT를 손가락 두드리기를 통하여 측정한 결과, 국악전공자의 SMT(M=1416ms)가 서양음악전공자(M=756.35ms)에 비해 느린 것으로 나타났다(박성선, 2006). 국악에서 말하는 보통박(여느박)의 경우 소박들을 포함한 집합체로 일반적으로 인간이 선호하는 템포로 알려진 범주(500-600ms)보다 두 배 이상 느리다. 따라서 국악전공자의 상대적으로 느린 SMT는 음악훈련을 통해 오랜기간 동안 습득한 국악적 관습이 영향을 미쳤을 것으로 해석하고 있다.

선행연구의 결과를 바탕으로 본 연구에서는 한국의 전통음악에 오랜 시간 노출되고 훈련한 경험이 있는 한국무용전공 무용 숙련자의 SMT가 비숙련자에 비해 느리게 나타날 것으로 예상하였으나 무용 숙련자의 손가락 두드리기 SMT는 비숙련자에 비해 넓은 범주에서 발생하였고, 평균값은

빠른 편이었으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 이러한 결과는 음악 경험이 적은 사람이 느린 SMT를 선호하였고(Hammerschmidt et al., 2021), 성인 음악가와 비음악가 간 차이가 나타나지 않았음(Drake et al., 2000)을 보고한 선행연구의 결과와 같은 맥락이지만 국악전공 음악가를 대상으로 한 국내연구 결과와는 상반되었다. 한국무용전공의 전문무용수가 다른 장르의 무용수에 비해 국악에 노출되는 빈도가 높음에도 불구하고 비숙련자에 비해 빠른 템포의 SMT를 선호하는 것은 대중매체의 발달로 국악뿐 아니라 서양음악에 노출되는 빈도 또한 국악에 못지않을 가능성이 높고, 국내 교육시스템 내에서 국악과 서양음악을 병행하여 교육받아왔으며, 한국무용의 대중화로 인한 한국 창작무용의 활성화는 상대적으로 대중적인 음악 박자에 훈련하는 기회를 증가시켰기 때문에 무용 숙련자와 비숙련자 간의 SMT 차이가 크게 나타나지 않은 것으로 생각된다. 이와 관련하여 무용 경험이 SMT에 미치는 잠재적인 영향력의 방향과 근본적인 원인에 대한 추가적인 검증이 필요할 것으로 판단된다.

손가락 두드리기는 motor noise로 인한 가변성 분석이 가능하고, 개인의 운동 의도(motor intent)를 확인할 수 있기 때문에 사건 발생(event-based) 혹은 예측(predictive) 타이밍 연구에서 흔히 활용되어 왔다. 그러나 손가락 두드리기는 자발적인 움직임(spontaneous movement)과는 연관되어 있지 않다. 따라서 음악 등의 청각자극에 대한 자발적인 반응과 관련이 있는 발의 움직임(Rose et al., 2020)은 손과 비교할 수 있는 적합한 반응기(effector)라 판단된다. 자기조절(self-paced) 조건에서 손과 발의 움직임을 동시에 수행하였을 때 발의 움직임은 손보다 선행되었으나 청각자극에 반응하는 조건에서는 발보다 손가락 반응이 항상 앞섰다. 따라서 발뒤꿈치 두드리기에서 나타나는 SMT가 손가락보다 빠를 것으로 예상하였고, 본 연구의 결과와도 일치하였다.

2. 동기화 수행에서 나타난 타이밍 특성

메트로놈 소리에 맞춰 두드리기를 수행하는 동기화 조건에서 나타난 동기화 오류는 거의 모든 조건에서 양수(positive asynchrony)가 우세하였는데, 이는 연구참여자들이 메트로놈 소리 제시 이후에 반응(tap)한 것을 나타낸다. 그러나 positive asynchrony의 수치가 청각자극에 대한 최소 반응시간이라 일컫는 150ms보다 작았기 때문에 이를 자극에 대해 반응(react)한 것으로 보기보다는 다음 자극에 일치하기 위하여 예측 반응(anticipatory response)한 것으로 해석하는 것이 적절하다고 판단된다. 따라서 자극 간 간격이 333-2000ms인 범주 내에서 제공되는 청각자극에 대한 동기화를 수행하기 위해서 주기적인 자극을 예측하여 반응하는 것이 효과적인 전략으로 사용되었음을 짐작할 수 있다.

동기화 조건의 타이밍 정확성은 숙련자와 비숙련자 간 유의한 차이가 나타나지 않았으나, 리듬속도에 따라 유의한 차이가 나타났다. 동기화 과제에서 메트로놈 소리의 템포는 움직임 속도를 변화시키는 요인으로 궁극적으로 타이밍의 정확성과 가변성에 영향을 미치는 제어변수이다. 일반적으로 빠른 리듬속도에 맞춰 손가락 두드리기 수행 시 상대적으로 느린 리듬속도에 비해 동기화 오류가 적게 나타난다(Aschersleben, 2002; Kolers & Brewster, 1985; Mates, 1994a, 1994b; Peters, 1989; Pressing, 1998; Repp, 2003). 본 연구에서 설정한 리듬속도는 자극과 자극 간 간격(ISI)이 333ms에서 2000ms까지로 빠른, 보통, 느린 속도를 모두 포함하고 있다(van Noorden & Moelants, 1999; Willemze, 1979). 손가락 및 발뒤꿈치 수행 모두 ISI=1000ms 조건에서 동기화 오류가 가장 크게 나타났고, 전체적으로 빠른 리듬속도의 타이밍 정확성이 느린 리듬속도에 비해 높은 편이었다. 이러한 결과는 기존의 선행연구 결과와 같은 맥락으로 타이밍 정확성에 영

향을 주는 요인 중 하나가 리듬속도(템포)임을 확인할 수 있다.

동기화 조건에서 나타난 타이밍 가변성은 정확성과는 다르게 숙련자와 비숙련자 간 유의한 차이가 나타났다. 전반적으로 숙련자 CV가 비숙련자에 비해 낮게 나타났으며, 이는 비숙련자의 동기화 수행이 숙련자에 비해 더 가변적이었다는 것을 의미한다. 특히, 빠른 리듬속도의 CV가 상대적으로 느린 리듬속도에 비해 높게 나타났는데, 이는 빠른 템포에서의 동기화 수행이 상대적으로 낮은 안정성을 보였음을 말한다. 그러나 비동기성의 표준편차의 경우 리듬속도가 느려질수록 증가하였으며, 이러한 패턴은 손과 발에서 동일하게 나타났다. 선행연구에 의하면, 자극과 반응의 1:1 동기화 수행에서 비동기성의 가변성(SDasy)은 ISI와 ITI의 길이와 함께 증가하였고, 이러한 선형성(linearity)이 500-950ms의 ISI 범주 내에서 보여진다고 하였다(Lorås et al., 2012). 반면, 이보다 넓은 범위로 확장된 길이의 ISI에서는 비선형 경향(nonlinear trend)이 나타났다(Repp & Doggett, 2007). 본 연구에서는 손가락 및 발뒤꿈치 수행 모두 500-2000ms 범주 내에서 ISI의 길이가 길어질수록(템포가 느려질수록) 비동기성의 가변성도 증가하는 경향을 보였는데, 이는 기존에 나타난 선형적 변화에 포함되는 범위를 좀 더 넓혀서 적용할 수 있는 근거로 볼 수 있다.

3. 지속 수행에서 나타난 타이밍 특성

동기화-지속 과제 수행 시 무엇보다 숙련자와 비숙련자 간 차이를 뚜렷하게 보여준 것은 지속 수행이었다. 동기화 조건에서 나타난 두 집단의 ITI는 모든 리듬속도 조건에서 기준 ISI에 근접하였으나 지속 조건에서는 특히, 느린 리듬속도 조건에서 비숙련자의 ITI가 숙련자와 달리 ISI에서 크게 벗어난 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 동기화 조건에서 청각자극이

기준이 되어 자극과 반응을 동기화하는데 숙련자, 비숙련자 모두 문제가 없었으나, 청각자극이 없이 즉, 시간에 대한 정보를 얻을 수 있는 정보원이 사라지자 비숙련자의 경우 이전 템포를 지속하는데 어려움이 있었다는 것을 보여준다. 따라서 동기화 수행에서 나타난 비숙련자의 타이밍 특성이 숙련자와 큰 차이 없었던 것은 청각자극(메트로놈 소리)으로 인한 것으로 판단되며, 지속 수행에서 비숙련자의 타이밍 정확성이 악화된 것(평균 ITI가 목표 ISI에서 많이 벗어난 것을 의미)은 청각자극의 간격(ISI)이 증가(느린 템포)하였기 때문에 발생한 것으로 생각된다. 종합하면, 지속적인 무용훈련 경험이 청각-운동 동기화뿐 아니라 청각자극 없이 리드미컬한 움직임 패턴을 안정적으로 생성하는데 긍정적인 영향을 미쳤으며, 비숙련자의 경우 주기적인 운동 패턴을 생성하고 이를 지속하는 과정에서 반응 간 타이밍을 조절하기 위해서는 시간 정보(interval duration or perceivable beat)가 중요한 역할을 한다고 해석할 수 있다. 또한, 지속 수행과 비교하여 동기화 수행에서 나타난 ITI 정확성의 증가는 internal timekeeping process의 안정성을 나타내는 결과이며, 이는 주기적인 외부 신호에 의한 것이라 보고한 선행연구의 검증과 같은 맥락으로 이해할 수 있다(Ivry & Hazeltine, 1995; Semjen et al., 2000).

하나 흥미로운 결과는 지속 조건에서 나타난 숙련자의 ITI가 전체적으로 기준 ISI보다 짧게 나타난 반면, 비숙련자의 ITI는 상대적으로 느린 리듬속도 조건에서 기준 ISI보다 길게 나타났다는 사실이다. 이를 통하여 숙련자는 모든 리듬속도 조건에서 템포 길이를 전반적으로 과소평가(underestimation)하여 지각하는 반면, 비숙련자는 1초 이상의 시간 간격을 가지는 상대적으로 느린 리듬속도 조건(ISI=1500, 2000ms)에서 템포 길이를 과대평가(overestimation)하여 지각하는 경향이 있음을 알 수 있다.

지속 수행에서 나타난 손가락 및 발뒤꿈치 수행을 비교한 결과, ISI가 2000ms인 리듬속도 조건의 발뒤꿈치 수행(ITI-ISI=14ms)에서 나타난 평균

ITI가 손가락 수행(ITI-ISI=111ms)과 비교하여 목표 ISI에 가까운 것으로 나타났다. 이러한 결과는 이전에 동기화한 리듬을 기억하며 이와 동일한 템포로 움직임을 생성하고 지속하는데 발뒤꿈치 수행이 더 높은 정확성을 보였음을 반영하고 있다. 그러나 발뒤꿈치 수행의 ITI 표준편차(숙련자: 105.5ms, 비숙련자: 157.4ms)가 손가락(숙련자: 92.7ms, 비숙련자: 130.0ms)에 비해 크게 나타난 것으로 보아 발뒤꿈치 수행에 나타난 ITI의 정확성은 손가락 수행보다 높았으나 더 가변적이었다.

종합하면, 무용 숙련자는 비숙련자에 비해 동기화 수행에서 낮은 타이밍 가변성을, 지속 수행에서 특히, 느린 리듬속도 조건에서 높은 ITI 정확성과 낮은 가변성을 보여주었다. 이를 통하여 숙련자의 리드미컬한 동조화 능력이 주기적인 리듬에 맞춰 일관적으로 움직이는 것뿐만 아니라 청각자극 없이 규칙적인 움직임을 생성하고 유지하는데 특화되어 있으며, 오랜 무용훈련 경험이 이러한 능력을 촉진하는데 긍정적인 효과를 가져왔음을 짐작할 수 있다.

4. 템포 변화 과제에서 나타난 적응 메커니즘

템포 변화에 대한 적응과정에서 발생한 내적 처리과정(error correction)을 살펴보기 위해 관찰할 수 있는 외적 변인으로 ITI와 asynchrony를 활용하였다. 새로운 템포에 대한 적응과정을 설명하는 이론적 틀에 의하면, ITI를 통하여 자극의 간격이 변화하였을 때 발생하는 internal timekeeper period의 수정과정(period correction)을, asynchrony를 통하여 주기적인 자극에 맞춰 동기화를 유지하면서 내적으로 표현된 자극과 탭 간 관계(phase correction)를 간접적으로 측정할 수 있다(Mates, 1994). 일반적으로 손가락 두드리기 수행에 있어서 새로운 템포에 대한 동기화는 4-5번의 탭 내에서

이루어진다(Michon, 1967; Repp, 2001). 따라서 템포 변화 발생 이후 이에 상응하는 탭 순서에 따라 특정 포지션을 중심으로 비교 분석하였다.

템포 변화 과제를 통하여 연구자가 규명하고자 한 것은 템포 변화의 지각 여부가 적응에 미치는 영향과 템포 변화의 특성(크기, 방향 등)에 따라 무용 숙련자에게서 나타난 적응 능력의 특성이다. 이와 관련된 논의는 다음과 같다.

1) 템포 변화 지각 여부에 따른 적응

템포 변화에 대한 지각은 집단, 템포 변화 방향, 크기에 따라 다르게 나타났다. 전체적으로 숙련자는 비숙련자에 비해 정확한 응답의 비율이 높았고, 손가락보다 발뒤꿈치 수행에서 조금 더 민감하게 템포 변화를 알아차렸다. 템포 변화 방향에 있어서 숙련자는 빠른 혹은 느린 변화에 상관없이 비슷한 정답률을 보였으나, 비숙련자는 빠른 템포 변화 조건(condition)에서 보다 쉽게 템포 변화에 대해 지각하였다. 또한, 템포 변화 크기가 커질수록 정답률도 함께 높아졌는데, 숙련자의 경우 ±30ms 조건을 기준으로, 비숙련자의 경우 +100ms, -40ms을 기준으로 높은 정답률이 나타났다. 이러한 결과는 무용 숙련자가 지각하는 템포 변화에 대한 민감도가 높아 비숙련자에 비해 잘 알아차린다고 해석할 수 있다.

본 연구에서는 500ms을 기준 템포로 귀로 듣고 알아차리기 힘든 작은 사이즈의 템포 변화(±10ms)에 대한 지각적 판단 아래 새로운 템포에 적응하는 과정에서 발생한 ITI와 asynchrony의 적응을 살펴보았다. 이를 통하여 템포 변화에 대한 인식이 적응(청각-운동 동기화 및 지속 수행)에 어떠한 영향을 미치는지 규명하고자 하였다. 동기화된 움직임의 타이밍 조절을 반영하는 내적 처리과정은 두 가지로 구분된다: period correction, phase correction. Period correction은 인지적 조절 아래 중추 수준(central level)의 timekeeper가 적용되는 반면, phase correction은 지각적 판단이나 인식

에 의한 조절 없이 직접적으로 감각정보와 연결되어 말초 수준(periphral level)의 운동 실행(motor implementation)과 밀접하게 연관되어 있다(Mates, 1994; Repp, 2001).

condition 2(+10ms)에서 나타난 손가락 두드리기의 템포 변화를 지각한 시행은 그렇지 못한 시행에 비해 포지션 s2&3에서 과수정하는 경향이 나타났고, 이는 비숙련자의 수행에서 두드러지게 나타났으나 유의한 차이는 나타나지 않았다. 반면, 발뒤꿈치 두드리기의 템포 변화를 지각한 시행은 과수정 경향이 포지션 s1에서 크게 나타났고 유의한 차이를 나타내었다. 이러한 결과는 느린 템포로 변화 시 ITI가 목표 ISI보다 더 벗어나는 경향이 발뒤꿈치 수행에서 손가락보다 빠르게 나타났고, 이러한 과수정 패턴은 템포 변화를 지각하였을 때 뚜렷하게 보였으며, 비숙련자에게서 보인 숙련자보다 큰 과수정 경향은 템포 변화의 지각으로 인해 두 가지 오류 수정과정(phase & period correction)이 결합되면서 이를 활용하는데 미숙함이 나타난 것으로 해석할 수 있다(Repp, 2010; Repp & Keller, 2004). 또한, 과수정으로 인해 새로운 템포에 적응하는 속도가 느려진 것은 동일한 움직임 양식의 condition 1에서 나타난 결과와 상반된 결과로 이를 통하여 템포 변화를 지각하였을 때 무용 숙련자는 비숙련자에 비해 phase correction(=ITI의 적응)이 빠르며, 이러한 특성은 느리게 변화하는 템포에 한정적임을 짐작할 수 있다. 이와 관련하여 음악가를 대상으로 한 선행연구에서도 부분적으로 일치하였다.

그러나 템포 변화를 지각하지 못한 시행에서 ITI의 적응(과수정 없이 ITI가 빠르게 목표 ISI에 도달하여 이를 지속함)과 비동기성의 적응이 빠르게 이루어진 것을 볼 수 있었는데, 이는 내적 오류 수정 형태 중 phase correction(=asynchrony의 적응)과 템포 변화에 대한 인식의 연관성이 낮음을 보여주고, 인지적 조절 아래 통제된다고 여겨진 period correction(ITI의 적응)의 활발한 활동을 나타낸다. 이러한 결과는 템포 변화에 대한 인

식이 비동기성의 적응에 영향을 미친다는 기존의 선행연구와 상반되는 결과로 추후 템포 변화를 인식함으로써 발생한 새로운 템포에 적응하기 위한 타이밍 조절 과정이 성공적인 수행에 어떠한 역할을 하는지에 대한 추가적인 규명이 필요할 것으로 판단된다.

2) 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따른 적응

작은 크기의 템포 변화 조건(≦±40ms)에서 ITI와 비동기성의 적응은 빠르게 나타났다. 반면, 큰 크기의 템포 변화 조건(≧±50ms)에서 ITI의 적응은 빠르게 나타났으나 비동기성의 적응은 느리게 나타났고, 동기화 초기(포지션 s)에 과수정하는 경향을 보였으며, 이는 숙련자의 경우 느린 템포 변화에서, 비숙련자의 경우 빠른 템포 변화에서 두드러지게 나타났다. 또한, 큰 크기의 템포 변화 이후 비동기성의 크기도 이전보다 두 배 이상 커지는 패턴을 보였다. 이를 통하여 템포 변화 크기가 과수정 경향에 영향을 미치고, 크기가 클수록 period와 phase correction의 결합은 뚜렷하게 보여지며, 내적 오류 수정의 형태가 독립적으로 발생하기 보다 동기화를 수행하고 지속하는데 즉, 적응하는데 적합한 전략으로 나타나는 것을 알 수 있다.

여기서 나타난 숙련자와 비숙련자 간 주요한 차이는 새로운 템포에 대한 동기화 초기에 나타난 숙련자의 과수정 경향이 비숙련자에 비해 더 크게 나타났으나, 그에 비해 동기화를 지속하는 구간(포지션 c)에서 숙련자의 ITI와 비동기성의 적응 속도는 더 빠르게 나타난 것이다. 이러한 차이는 템포 변화 크기가 큰 조건에서 더 두드러지게 나타났다. Phase와 period correction의 결합으로 인해 나타난 큰 과수정 경향이 비동기성의 느린 적응을 초래할 것이라 예상한 바와 달리 숙련자는 새로운 템포에 대한 빠른 동기화 적응과 함께 안정적인 지속을 보여주었다. 다시 말해, 과수정이 적응 속도를 느리게 하는 원인이기 보다 빠른 적응을 위한 전략으로 사용되

었음을 의미한다. 이와 관련하여 후속연구에서는 예측하지 못한 템포 변화에 적응하기 위하여 어떤 전략을 사용하는지에 대한 추가적인 규명이 요구된다.

VI. 결론 및 제언

본 연구는 리드미컬한 동조화 능력과 관련된 세 가지 실험과제(자발적 운동 템포, 동기화-지속, 템포 변화)를 통하여 무용 숙련성에 따라 나타나는 타이밍 특성을 비교 분석하였다. 연구 결과, 다음과 같은 결론에 도달하였고, 이어서 향후 진행될 연구에서 고려되어야 할 부분과 과제를 제안하였다.

1. 결론

본 연구의 핵심적인 결과를 기반으로 도출된 결론은 다음과 같다.

1) 자발적 운동 템포는 집단과 움직임 양식에 따라 차이가 나타났다.

무용 숙련자는 일반 성인에 비해 빠른 자발적 운동 템포(SMT)를 선호하였고, 이는 손가락과 발뒤꿈치 모두 동일하게 나타났으며, 손가락 수행이 발뒤꿈치에 비해 빠른 편이었다. 그러나 집단 간 차이는 유의하지 않았다. 따라서 집단과 움직임 양식에 따라 SMT는 차이가 있을 것이라는 가설을 부분적으로 충족하였다. 또한, 숙련자가 비숙련자보다 느린 SMT를 선호할 것이라고 예상한 것과 달리 국악에 대한 노출 빈도가 상대적으로 높은 한국무용 전공 숙련자의 SMT는 손가락과 발뒤꿈치 각각 779ms, 616ms으로 빠른 편이었다. 이는 창작무용의 활성화로 한국무용 전공 무용수가 대중적

인 음악 박자에 훈련하는 기회가 많아지고, 국악뿐 아니라 서양음악에 노출되는 빈도도 함께 높아졌기 때문에 나타난 결과라 생각된다.

2) 동기화 수행에서 나타난 집단과 리듬속도에 따른 타이밍 정확성(asynchrony)은 차이가 없었으나 가변성(CV)은 차이가 나타났다.

메트로놈 소리에 맞춰 최대한 정확하게 두드리는 과제 수행 시 무용 숙련자와 비숙련자의 비동기성은 차이가 나타나지 않았다. 그러나 숙련자의 가변성은 전체적으로 비숙련자에 비해 낮게 나타났고, 빠른 리듬속도 조건에서 집단 간 차이는 두드러졌다. 따라서 가설을 충족하였다. 청각자극에 움직임을 동기화하는 수행에서 리듬속도와 상관없이 숙련자는 일관된 수행을 보이는 반면, 비숙련자의 동기화 수행은 보다 가변적이었고, 빠른 리듬속도에서 가변성이 더 높게 나타났다. 이는 동기화 조건에서 타이밍 가변성이 무용 숙련자와 비숙련자를 구별하는 중요한 요인임을 의미한다.

3) 지속 수행에서 나타난 집단과 리듬속도에 따른 타이밍 정확성(평균 ITI)과 가변성(ITI의 CV)은 차이가 나타났다.

청각자극에 대한 리드미컬한 움직임 패턴의 동기화 수행에서 기준이 되었던 메트로놈 소리가 사라지자 비숙련자의 타이밍 정확성은 숙련자에 비해 낮게, 가변성은 높게 나타났다. 정확성의 차이는 자극 간 간격이 1초 이상인 ISI=1500ms, 2000ms 조건에서 뚜렷하게 보였으나 가변성의 차이는 예상과 달리 가장 빠른 리듬속도 조건인 ISI=333ms에서 크게 나타났다. 따라서 가설을 부분적으로 충족하였다. 무용 숙련자는 모든 리듬속도 조건에서 이전 템포를 지속하며 리드미컬한 움직임 패턴을 생성하는데 어려움이 없었으며, 이는 그동안 축적된 무용훈련 경험이 긍정적 효과를 불러온 것

으로 해석할 수 있다. 또한, 상대적으로 느린 리듬속도 조건에서 이전의 템포 길이를 숙련자는 과소평가하여 지각하고, 비숙련자는 과대평가하는 지각하는 흥미로운 결과가 나타났다.

4) 템포 변화의 지각 여부가 동기화 적응 능력에 영향을 미쳤다.

무용 숙련자는 비숙련자에 비해 템포 변화에 대한 민감도가 높았다. 그러나 템포 변화를 지각한 경우 ITI와 비동기성은 느린 적응을 보였고, 이는 템포 변화의 인식이 동기화 적응에 부정적인 영향을 미친 것으로 볼 수 있다. 반면, 변화를 지각하지 못한 경우 ITI와 비동기성의 빠른 적응을 볼 수 있었는데, 이는 템포 변화에 대한 내적 오류 수정 과정 중 phase correction이 변화의 인식과 연관성이 낮고, 인지적 조절 아래 발생한다고 여겨진 period correction의 활발한 활동을 보여주는 결과이다.

5) 집단, 템포 변화 크기, 방향에 따라 동기화 적응 능력은 차이가 나타났다.

템포 변화 크기가 작은 조건에서는 ITI와 비동기성의 적응은 빠르게 나타났고 큰 조건에서는 빠른 ITI의 적응과 느린 비동기성의 적응이 나타났다. 또한, 과수정 경향도 크게 나타났는데, 숙련자는 느린 템포 변화에서, 비숙련자는 빠른 템포 변화에서 뚜렷하게 나타났다. 집단 간 주요한 차이는 과수정 경향이 숙련자에게서 더 크게 나타났으나 이로 인해 느린 적응을 보여준다는 선행연구와 달리 비숙련자보다 빠르게 적응하였다는 사실이다. 이러한 결과를 통하여 과수정이 느린 적응의 원인이라기 보다 빠른 적응을 위한 전략으로 사용되었음을 짐작할 수 있다.

2. 제언

본 연구에서 도출된 결론을 바탕으로 후속 연구에서 고려되어야 할 부분과 과제는 다음과 같다.

첫째, 무용 숙련성에 따른 리드미컬한 동조화 능력을 보다 명확하게 규명하기 위하여 젊은 성인 집단과 노인집단의 차이를 살펴보는 연구가 필요할 것으로 생각된다. 본 연구에서는 성인에 한정하여 무용 숙련자와 비숙련자를 동조화 능력을 비교 분석하였다. 향후 오랜 시간 꾸준하게 무용훈련을 지속해 온 원로 무용수와 일반 노인집단을 대상으로 본 연구와 동일한 연구방법을 적용하여 연구를 진행한다면, 무용수의 뛰어난 리드미컬한 동조화 능력에 대한 무용훈련에 의한 영향, 연령에 따른 변화를 보다 명확하게 규명할 수 있을 것이다.

둘째, 템포 변화를 지각한 시행의 적응이 그렇지 못한 시행보다 느리고, 과수정 경향이 크게 나타난 것에 대한 추가적인 연구를 통한 심층적 분석이 필요할 것으로 판단된다. 본 연구에서 나타난 템포 변화를 지각하지 못한 시행에서 보다 빠른 적응과 함께 동기화가 안정적으로 지속된 것은 선행연구와는 다른 결과다. 따라서 템포 변화에 대한 지각이 새로운 템포에 적응하는데 어떠한 영향을 미치는지를 규명하기 위한 후속연구가 필요할 것으로 생각된다.

셋째, 무용수는 물론 무용학습 초보자를 대상으로 한 타이밍 훈련 프로토콜 개발하고, 적용하는데 본 연구의 결과를 기초자료로 활용하여 이를 검증하기 위한 후속 연구가 요구된다. 성공적인 무용 수행에 있어서 음악

이나 파트너 등과 같은 외부자극에 맞춰 무용수가 의도한 바대로 정확한 타이밍에 움직이는 것은 매우 중요한 요소로 무용훈련을 통해 반복적으로 연습하게 하는 부분이다. 따라서 본 연구에서 나타난 일반 성인과 전문무용수가 가진 리드미컬한 동조화 특성을 토대로 무용학습 초보자의 타이밍 훈련 프로토콜을 개발 및 적용하여 훈련 후 혹은 파지에서 어느 정도 동조화 능력이 향상하는지에 대한 것을 규명해 볼 필요가 있다.

참고문헌

김선진. (2015). **운동학습과 제어(개정판).** 서울: 대한미디어.

김선진, & 김수연. (2010). 표현 움직임의 형태와 숙련성에 따른 사지 협응의 변화. **한국체육학회지, 49**(6), 225-233.

남수미, 김선진, & 김민주. (2020). 상호작용 메트로놈을 활용한 국내 연구 고찰. **한국리듬운동학회지, 13**(2), 155-164.

남수미, 이규진, 김선진, 이용호, 권영하, & 김민주. (2017). 발달성협응장애 아동의 반응시간에 관한 예비연구. **한국초등체육학회지, 22**(4), 47-58.

남수미, 정진욱, & 김민주. (2021). 발달장애아동의 운동평가(2000-2020년)에 대한 국내 연구 동향 고찰. **한국발육발달학회지, 29**(3), 363-377.

이경면, & 이윤상. (2019). 초등학생의 리듬-운동 동조화 능력 발달 연구. **음악이론포럼, 26**(2), 251-269.

이동연, 남수미, 김선진, 송영훈, & 김민주. (2021). 자기통제 피드백을 적용한 골프 스윙 훈련과 반응시간에 대한 예비연구. **한국리듬운동학회지, 14**(1), 73-82.

이보형. (1992). 한국민속음악 장단의 대박· 보통박 (여느박)· 소박에 대한 기보론적고찰. **국악원논문집, 4**, 23-56.

Abernethy, B., Burgess-Limerick, R., & Parks, S. (1994). Contrasting approaches to the study of motor expertise. *Quest, 46*(2), 186-198.

Abernethy, B., Thomas, K. T., & Thomas, J. T. (1993). Strategies for improving understanding of motor expertise [or mistakes we have made and things we have learned!!]. In *Advances in psychology* (Vol. 102, pp.

317-356). North-Holland.

Aschersleben, G. (2002). Temporal control of movements in sensorimotor synchronization. *Brain and Cognition, 48*(1), 66-79.

Barut, C., Ozer, C. M., Sevinc, O., Gumus, M., & Yunten, Z. (2007). Relationships between hand and foot preferences. *International Journal of Neuroscience, 117*(2), 177-185.

Billon, M., Bard, C., Fleury, M., Blouin, J., & Teasdale, N. (1996). Simultaneity of two effectors in synchronization with a periodic external signal. *Human Movement Science, 15*(1), 25-38.

Bruyneel, A. V., Mesure, S., Paré, J. C., & Bertrand, M. (2010). Organization of postural equilibrium in several planes in ballet dancers. *Neuroscience Letters, 485*(3), 228-232.

Buhusi, C. V., & Meck, W. H. (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews Neuroscience, 6*(10), 755-765.

Byblow, W. D., Carson, R. G., & Goodman, D. (1994). Expressions of asymmetries and anchoring in bimanual coordination. *Human Movement Science, 13*(1), 3-28.

Chen, J. L., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. (2006). Interactions between auditory and dorsal premotor cortex during synchronization to musical rhythms. *Neuroimage, 32*(4), 1771-1781.

Clarkson, P. M., Freedson, P. S., Keller, B., Carney, D., & Skrinar, M. (1985). Maximal oxygen uptake, nutritional patterns and body composition of adolescent female ballet dancers. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 56*(2), 180-185.

Clayton, M., Sager, R., & Will, U. (2005). In time with the music: the concept of entrainment and its significance for ethnomusicology. *In European*

meetings in ethnomusicology. (Vol. 11, pp. 1-82). Romanian Society for Ethnomusicology.

Baudouin, A., Vanneste, S., & Isingrini, M. (2004). Age-related cognitive slowing: The role of spontaneous tempo and processing speed. *Experimental Aging Research, 30*(3), 225-239.

Bläsing, B., Calvo-Merino, B., Cross, E. S., Jola, C., Honisch, J., & Stevens, C. J. (2012). Neurocognitive control in dance perception and performance. *Acta Psychologica, 139*(2), 300-308.

Brown, S., Martinez, M. J., & Parsons, L. M. (2006). The neural basis of human dance. *Cerebral Cortex, 16*(8), 1157-1167.

Calvo-Merino, B., Ehrenberg, S., Leung, D., & Haggard, P. (2010). Experts see it all: configural effects in action observation. *Psychological Research PRPF, 74*(4), 400-406.

Cellier, J. M., Eyrolle, H., & Mariné, C. (1997). Expertise in dynamic environments. *Ergonomics, 40*(1), 28-50.

Chen, J., Penhune, V., & Zatorre, R. (2009). The role of auditory and premotor cortex in sensorimotor transformations. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1169*(1), 15-34.

Crotts, D., Thompson, B., Nahom, M., Ryan, S., & Newton, R. A. (1996). Balance abilities of professional dancers on select balance tests. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 23*(1), 12-17.

Deighan, M. A. (2005). Flexibility in dance. *Journal of Dance Medicine & Science, 9*(1), 13-17.

Dione, M., & Delevoye-Turrell, Y. (2015). Testing the co-existence of two timing strategies for motor control in a unique task: the synchronisation spatial-tapping task. *Human Movement Science, 43*, 45-60.

Drake, C., Jones, M. R., & Baruch, C. (2000). The development of rhythmic

attending in auditory sequences: attunement, referent period, focal attending. *Cognition, 77*(3), 251-288.

Drewing, K., Aschersleben, G., & Li, S. C. (2006). Sensorimotor synchronization across the life span. *International Journal of Behavioral Development, 30*(3), 280-287.

Duchek, J. M., Balota, D. A., & Ferraro, F. R. (1994). Component analysis of a rhythmic finger tapping task in individuals with senile dementia of the Alzheimer type and in individuals with Parkinson's disease. *Neuropsychology, 8*(2), 218.

Dunlap, K. (1910). Reaction to rhythmic stimuli with attempt to synchronize. *Psychological Review, 17*(6), 399.

Felix, R. A., Fridberger, A., Leijon, S., Berrebi, A. S., & Magnusson, A. K. (2011). Sound rhythms are encoded by postinhibitory rebound spiking in the superior paraolivary nucleus. *Journal of Neuroscience, 31*(35), 12566-12578.

Fraisse, P. (1980). Les synchronisations sensori-motrices aux rythmes [The sensorimotor synchronization of rhythms]. In 1. Requin(Ed.), Anticipation et comportement (pp. 233-257). Paris: Centre National.

Fraisse, P. (1982). *Rhythm and tempo.* The psychology of music, 1, 149-180.

Fujii, S., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Oda, S. (2009). Tapping performance and underlying wrist muscle activity of non-drummers, drummers, and the world's fastest drummer. *Neuroscience Letters, 459*(2), 69-73.

Fujii, S., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Oda, S. (2010). Intrinsic constraint of asymmetry acting as a control parameter on rapid, rhythmic bimanual coordination: a study of professional drummers and nondrummers. *Journal of Neurophysiology, 104*(4), 2178-2186.

Glaser, R, & Chi, M. T. H. (1988). Overview. In M. T. H. Chi, M. T., Glaser,

R., & Farr, M. J. (Eds.). (2014), *The nature of expertise*(pp, xv-xxviii). Psychology Press.

Golomer, E., Crémieux, J., Dupui, P., Isableu, B., & Ohlmann, T. (1999). Visual contribution to self-induced body sway frequencies and visual perception of male professional dancers. *Neuroscience Letters, 267*(3), 189-192.

Golomer, E., & Dupui, P. (2000). Spectral analysis of adult dancers' sways: sex and interaction vision-proprioception. *International Journal of Neuroscience, 105*(1-4), 15-26.

Greene, L. S., & Williams, H. G. (1993). Age-related differences in timing control of repetitive movement: Application of the Wing-Kristofferson model. *Research Quarterly for Exercise and Sport, 64*(1), 32-38.

Haken, H., Kelso, J. S., & Bunz, H. (1985). A theoretical model of phase transitions in human hand movements. *Biological Cybernetics, 51*(5), 347-356.

Hammerschmidt, D., Frieler, K., & Wöllner, C. (2021). Spontaneous motor tempo: Investigating psychological, chronobiological, and demographic factors in a large-scale online tapping experiment. *Frontiers in Psychology, 12*, 2338.

Hanna, J. L. (1987). *To dance is human: A theory of nonverbal communication.* University of Chicago Press.

Hove, M. J., Iversen, J. R., Zhang, A., & Repp, B. H. (2013). Synchronization with competing visual and auditory rhythms: bouncing ball meets metronome. *Psychological Research, 77*(4), 388-398.

Hugel, F., Cadopi, M., Kohler, F., & Perrin, P. H. (1999). Postural control of ballet dancers: a specific use of visual input for artistic purposes. *International Journal of Sports Medicine, 20*(2), 86-92.

Iversen, J. R., Patel, A. D., Nicodemus, B., & Emmorey, K. (2015). Synchronization to auditory and visual rhythms in hearing and deaf individuals. *Cognition, 134*, 232-244.

Iversen, J., Repp, B., & Patel, A. (2009). Top-down control of rhythm perception modulates early auditory responses. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1169*(1), 58-73.

Ivry, R. B., & Hazeltine, R. E. (1995). Perception and production of temporal intervals across a range of durations: evidence for a common timing mechanism. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 21*(1), 3.

Ivry, R. B., & Schlerf, J. E. (2008). Dedicated and intrinsic models of time perception. *Trends in Cognitive Sciences, 12*(7), 273-280.

Jäncke, L., Loose, R., Lutz, K., Specht, K., & Shah, N. J. (2000). Cortical activations during paced finger-tapping applying visual and auditory pacing stimuli. *Cognitive Brain Research, 10*(1-2), 51-66.

Jean, J., Cadopi, M., & Ille, A. (2001). How are dance sequences encoded and recalled by expert dancers?. *Current Psychology of Cognition, 20*(5), 325-338.

Jin, X., Wang, B., Lv, Y., Lu, Y., Chen, J., & Zhou, C. (2019). Does dance training influence beat sensorimotor synchronization? Differences in finger-tapping sensorimotor synchronization between competitive ballroom dancers and nondancers. *Experimental Brain Research, 237*(3), 743-753.

Jola, C., Davis, A., & Haggard, P. (2011). Proprioceptive integration and body representation: insights into dancers' expertise. *Experimental Brain Research, 213*(2), 257-265.

Jones, C. R., & Jahanshahi, M. (2014). Motor and perceptual timing in

Parkinson's disease, pp. 265–290 in Neurobiology of Interval Timing, edited by Merchant H., de. Lafuente V.

Jose, S., & Gideon Praveen, K. (2010). Comparison between auditory and visual simple reaction times. *Neuroscience & Medicine, 1*, 30-32.

Karpati, F. J., Giacosa, C., Foster, N. E., Penhune, V. B., & Hyde, K. L. (2016). Sensorimotor integration is enhanced in dancers and musicians. *Experimental Brain Research, 234*(3), 893-903.

Kelso, J. A. (1984). Phase transitions and critical behavior in human bimanual coordination. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology, 246*(6), R1000-R1004.

Kelso, J. A. S., & Zanone, P. G. (2002). Coordination dynamics of learning and transfer across different effector systems. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 28*(4), 776.

Kenney, W. L., Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2015). *Physiology of sport and exercise*. Human kinetics.

Kilroy, E. A., Crabtree, O. M., Crosby, B., Parker, A., & Barfield, W. R. (2016). The effect of single-leg stance on dancer and control group static balance. *International Journal of Exercise Science, 9*(2), 110.

Kirschner, S., & Tomasello, M. (2009). Joint drumming: Social context facilitates synchronization in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology, 102*(3), 299-314.

Krampe, R. T. (2002). Aging, expertise and fine motor movement. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews, 26*(7), 769-776.

Krampe, R. T., Engbert, R., & Kliegl, R. (2001). Age-specific problems in rhythmic timing. *Psychology and Aging, 16*(1), 12.

Krampe, R. T., Mayr, U., & Kliegl, R. (2005). Timing, sequencing, and executive control in repetitive movement production. *Journal of*

Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 31(3), 379.

Kraus, N., & Chandrasekaran, B. (2010). Music training for the development of auditory skills. *Nature Reviews Neuroscience, 11*(8), 599-605.

Kotz, S. A., Ravignani, A., & Fitch, W. T. (2018). The evolution of rhythm processing. *Trends in Cognitive Sciences, 22*(10), 896-910.

Kung, S. J., Chen, J. L., Zatorre, R. J., & Penhune, V. B. (2013). Interacting cortical and basal ganglia networks underlying finding and tapping to the musical beat. *Journal of Cognitive Neuroscience, 25*(3), 401-420.

Large, E. W., & Jones, M. R. (1999). The dynamics of attending: How people track time-varying events. *Psychological Review, 106*(1), 119.

Large, E., & Snyder, J. (2009). Pulse and meter as neural resonance. *Annals of the New York Academy of Sciences, 1169*(1), 46-57.

Leman, M., Moelants, D., Varewyck, M., Styns, F., van Noorden, L., & Martens, J. P. (2013). Activating and relaxing music entrains the speed of beat synchronized walking. *PloS one, 8*(7), e67932.

Lepelley, M. C., Thullier, F., Koral, J., & Lestienne, F. G. (2006). Muscle coordination in complex movements during Jeté in skilled ballet dancers. *Experimental Brain Research, 175*(2), 321-331

Lewis, P. A., & Miall, R. C. (2003). Distinct systems for automatic and cognitively controlled time measurement: evidence from neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology, 13*(2), 250-255.

London, J. (2012). *Hearing in time: Psychological aspects of musical meter.* Oxford University Press.

Lorås, H., Sigmundsson, H., Talcott, J. B., Öhberg, F., & Stensdotter, A. K. (2012). Timing continuous or discontinuous movements across effectors specified by different pacing modalities and intervals. *Experimental Brain Research, 220*(3-4), 335-347.

Magill, R. A., & Anderson, D. (2021). *Motor learning and control: concepts and applications*(12th ed.). McGraw-Hill Publishing.

Mates, J. (1994). A model of synchronization of motor acts to a stimulus sequence. *Biological Cybernetics, 70*(5), 463-473.

Mayville, J. M., Jantzen, K. J., Fuchs, A., Steinberg, F. L., & Kelso, J. S. (2002). Cortical and subcortical networks underlying syncopated and synchronized coordination revealed using fMRI. *Human Brain Mapping, 17*(4), 214-229.

McAuley, J. D., Jones, M. R., Holub, S., Johnston, H. M., & Miller, N. S. (2006). The time of our lives: life span development of timing and event tracking. *Journal of Experimental Psychology: General, 135*(3), 348.

McIntosh, G. C., Brown, S. H., Rice, R. R., & Thaut, M. H. (1997). Rhythmic auditory-motor facilitation of gait patterns in patients with Parkinson's disease. Journal of Neurology, *Neurosurgery & Psychiatry, 62*(1), 22-26.

McPherson, T., Berger, D., Alagapan, S., & Fröhlich, F. (2018). Intrinsic rhythmicity predicts synchronization-continuation entrainment performance. *Scientific reports, 8*(1), 1-14.

Merker, B. H., Madison, G. S., & Eckerdal, P. (2009). On the role and origin of isochrony in human rhythmic entrainment. *Cortex, 45*(1), 4-17.

Mills, P. F., van der Steen, M. M., Schultz, B. G., & Keller, P. E. (2015). Individual differences in temporal anticipation and adaptation during sensorimotor synchronization. *Timing & Time Perception, 3*(1-2), 13-31.

Miura, A., Fujii, S., Okano, M., Kudo, K., & Nakazawa, K. (2016). Finger-to-beat coordination skill of non-dancers, street dancers, and the world champion of a street-dance competition. *Frontiers in Psychology, 7*, 542.

Miura, A., Kudo, K., Ohtsuki, T., & Kanehisa, H. (2011). Coordination modes

in sensorimotor synchronization of whole-body movement: a study of street dancers and non-dancers. *Human Movement Science, 30*(6), 1260-1271.

Miura, A., Kudo, K., & Nakazawa, K. (2013). Action–perception coordination dynamics of whole-body rhythmic movement in stance: A comparison study of street dancers and non-dancers. *Neuroscience Letters, 544*, 157-162.

Moelants, D. (2002). "Preferred tempo reconsidered," in Proceedings of the ICMPC 7: 7th International Conference on Music Perception and Cognition, eds. C. Stevens, D. Burnham, G. McPherson, E. Schubert, and J. Renwick (Sydney, NSW: Causal Productions), 580–583.

Moussay, S., Dosseville, F., Gauthier, A., Larue, J., Sesboüe, B., & Davenne, D. (2002). Circadian rhythms during cycling exercise and finger-tapping task. Chronobiology International, 19(6), 1137-1149.

Nozaradan, S., Schwartze, M., Obermeier, C., & Kotz, S. A. (2017). Specific contributions of basal ganglia and cerebellum to the neural tracking of rhythm. *Cortex, 95*, 156-168.

Parbery-Clark, A., Anderson, S., Hittner, E., & Kraus, N. (2012). Musical experience offsets age-related delays in neural timing. *Neurobiology of Aging, 33*(7), 1483.e1-1483.e4.

Patel, A. D. (2006). Musical rhythm, linguistic rhythm, and human evolution. *Music Perception, 24*(1), 99-104.

Patel, A. D., & Iversen, J. R. (2014). The evolutionary neuroscience of musical beat perception: the Action Simulation for Auditory Prediction (ASAP) hypothesis. *Frontiers in Systems Neuroscience, 8*, 57.

Patel, A. D., Iversen, J. R., Chen, Y., & Repp, B. H. (2005). The influence of metricality and modality on synchronization with a beat. *Experimental*

Brain Research, 163(2), 226-238.

Provasi, J., Anderson, D. I., & Barbu-Roth, M. (2014). Rhythm perception, production, and synchronization during the perinatal period. *Frontiers in Psychology, 5*, 1048.

Provasi, J., & Bobin-Bègue, A. (2003). Spontaneous motor tempo and rhythmical synchronisation in 2½-and 4-year-old children. *International Journal of Behavioral Development, 27*(3), 220-231.

Ravignani, A., Honing, H., & Kotz, S. A. (2017). The evolution of rhythm cognition: Timing in music and speech. *Frontiers in Human Neuroscience, 11*, 303.

Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *Journal of Sports Sciences, 18*(9), 669-683.

Rein, S., Fabian, T., Zwipp, H., Rammelt, S., & Weindel, S. (2011). Postural control and functional ankle stability in professional and amateur dancers. *Clinical Neurophysiology, 122*(8), 1602-1610.

Repp, B. H. (2003). Rate limits in sensorimotor synchronization with auditory and visual sequences: The synchronization threshold and the benefits and costs of interval subdivision. *Journal of Motor Behavior, 35*(4), 355-370.

Repp, B. H. (2005). Sensorimotor synchronization: a review of the tapping literature. *Psychonomic Bulletin & Review, 12*(6), 969-992.

Repp, B. H. (2008). Multiple temporal references in sensorimotor synchronization with metrical auditory sequences. *Psychological Research, 72*(1), 79-98.

Repp, B. H. (2010). Sensorimotor synchronization and perception of timing: effects of music training and task experience. *Human Movement Science, 29*(2), 200-213.

Repp, B. H., & Doggett, R. (2007). Tapping to a very slow beat: a comparison of musicians and nonmusicians. *Music Perception, 24*(4), 367-376.

Repp, B. H., & Keller, P. E. (2004). Adaptation to tempo changes in sensorimotor synchronization: Effects of intention, attention, and awareness. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A, 57*(3), 499-521.

Repp, B. H., & Penel, A. (2004). Rhythmic movement is attracted more strongly to auditory than to visual rhythms. *Psychological Research, 68*(4), 252-270.

Repp, B. H., & Su, Y. H. (2013). Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006–2012). *Psychonomic Bulletin & Review, 20*(3), 403-452.

Rose, D., Cameron, D. J., Lovatt, P. J., Grahn, J. A., & Annett, L. E. (2020). Comparison of spontaneous motor tempo during finger tapping, toe tapping and stepping on the spot in people with and without Parkinson's disease. *Journal of Movement Disorders, 13*(1), 47.

Rose, D., Delevoye-Turrell, Y., Ott, L., Annett, L. E., & Lovatt, P. J. (2019). Music and metronomes differentially impact motor timing in people with and without Parkinson's disease: Effects of slow, medium, and fast tempi on entrainment and synchronization performances in finger tapping, toe tapping, and stepping on the spot tasks. *Parkinson's Disease, 2019*, 1-18.

Salthouse, T. A. (2000). Aging and measures of processing speed. *Biological Psychology, 54*(1-3), 35-54.

Schack, T., & Tenenbaum, G. (2004). Perceptual and cognitive control in action –A preface. Special issue: the construction of action–new perspectives in movement science. Part I: perceptual and cognitive control in action.

International Journal of Sport and Exercise Psychology, 2, 207-209.

Scheurich, R., Pfordresher, P. Q., & Palmer, C. (2020). Musical training enhances temporal adaptation of auditory-motor synchronization. *Experimental Brain Research, 238*(1), 81-92.

Schmit, J. M., Regis, D. I., & Riley, M. A. (2005). Dynamic patterns of postural sway in ballet dancers and track athletes. *Experimental Brain Research, 163*(3), 370-378.

Schultz, B. G., & Palmer, C. (2019). The roles of musical expertise and sensory feedback in beat keeping and joint action. *Psychological Research, 83*(3), 419-431.

Semjen, A., Schulze, H. H., & Vorberg, D. (2000). Timing precision in continuation and synchronization tapping. *Psychological Research, 63*(2), 137-147.

Smoll, F. L. (1975). Variability in development of spatial and temporal elements of rhythmic ability. *Perceptual and Motor Skills, 40*(140), 123-138.

Smyth, M. M., & Pendleton, L. R. (1994). Memory for movement in professional ballet dancers. *International Journal of Sport Psychology, 25*, 282-294.

Söğüt, M., Kirazci, S., & Korkusuz, F. (2012). The effects of rhythm training on tennis performance. *Journal of Human Kinetics, 33*, 123.

Sommer, M., Häger, C. K., Boraxbekk, C. J., & Rönnqvist, L. (2018). Timing training in female soccer players: effects on skilled movement performance and brain responses. *Frontiers in Human Neuroscience, 12*, 1-11.

Starkes, J., & Allard, F. (Eds.). (1993). *Cognitive issues in motor expertise*. Elsevier.

Starkes, J. L., Deakin, J. M., Lindley, S., & Crisp, F. (1987). Motor versus verbal recall of ballet sequences by young expert dancers. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 9*(3), 222-230.

Starkes, J. L., & Ericsson, K. A. (2003). *Expert performance in sports: Advances in research on sport expertise*. Human Kinetics.

Stevens, C., Winskel, H., Howell, C., Vidal, L. M., Latimer, C., & Milne-Home, J. (2010). Perceiving dance schematic expectations guide experts' scanning of a contemporary dance film. *Journal of Dance Medicine & Science, 14*(1), 19-25.

Su, Y. H. (2016). Visual tuning and metrical perception of realistic point-light dance movements. *Scientific Reports, 6*(1), 1-12.

Tan, S. K. (1997). The elements of expertise. *Journal of Physical Education, Recreation & Dance, 68*(2), 30-33.

Thaut, M. H. (2003). Neural basis of rhythmic timing networks in the human brain. *Annals of the New York Academy of Sciences, 999*(1), 364-373.

Thaut, M., & Hoemberg, V. (Eds.). (2014). *Handbook of neurologic music therapy*. Oxford University Press (UK).

Thaut, M. H., & Kenyon, G. P. (2003). Rapid motor adaptations to subliminal frequency shifts during syncopated rhythmic sensorimotor synchronization. *Human Movement Science, 22*(3), 321-338.

Thompson, E. C., White-Schwoch, T., Tierney, A., & Kraus, N. (2015). Beat synchronization across the lifespan: Intersection of development and musical experience. *PLoS One, 10*(6), e0128839.

Thullier, F., & Moufti, H. (2004). Multi-joint coordination in ballet dancers. *Neuroscience Letters, 369*(1), 80-84.

Timmers, R., MacRitchie, J., Schabrun, S. M., Thapa, T., Varlet, M., & Keller, P. E. (2020). Neural multimodal integration underlying synchronization

with a co-performer in music: influences of motor expertise and visual information. *Neuroscience Letters, 721*, 134803.

Van Noorden, L., & Moelants, D. (1999). Resonance in the perception of musical pulse. *Journal of New Music Research, 28*(1), 43-66.

Vos, P. G., & Ellerman, H. H. (1989). Precision and accuracy in the reproduction of simple tone sequences. Journal of Experimental Psychology: *Human Perception and Performance, 15*(1), 179.

Whitall, J., Waller, S. M., Silver, K. H., & Macko, R. F. (2000). Repetitive bilateral arm training with rhythmic auditory cueing improves motor function in chronic hemiparetic stroke. *Stroke, 31*(10), 2390-2395.

Willemze, T. (1979). *Algemene muziekleer*. Het Spectrum.

Wilson, M., Lim, B. O., & Kwon, Y. H. (2004). A three-dimensional kinematic analysis of grand rond de jambe en l'air skilled versus novice ballet dancers. *Journal of Dance Medicine & Science, 8*(4), 108-115.

Wing, A. M., & Kristofferson, A. B. (1973). Response delays and the timing of discrete motor responses. *Perception & Psychophysics, 14*(1), 5-12.

Witek, M. A., Clarke, E. F., Wallentin, M., Kringelbach, M. L., & Vuust, P. (2014). Syncopation, body-movement and pleasure in groove music. *PloS one, 9*(4), e94446.

Zendel, B. R., & Alain, C. (2012). Musicians experience less age-related decline in central auditory processing. *Psychology and Aging, 27*(2), 410.

Zehr, E. P. (2005). Neural control of rhythmic human movement: the common core hypothesis. *Exercise and Sport Sciences Reviews, 33*(1), 54-60.

Zelaznik, H. N., Spencer, R., & Ivry, R. B. (2002). Dissociation of explicit and implicit timing in repetitive tapping and drawing movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 28*(3), 575.

Abstract

A study of rhythmic entrainment ability on expertise

Nam, Soo Mi

Department of Physical Education

The Graduate School

Seoul National University

The aim of the present study was to investigate rhythmic entrainment ability of dance expert and novice and timing characteristics on expertise. Thirty adults(15 subjects in each group) aged 19 to 39 participated. They were right-handed and 5 were left footed and the rest were right-footed. Three experimental tasks were used: spontaneous motor tempo task, synchronization-continuation task, and tempo change task. The participants performed finger and heel tapping in all task. The results are as follows. First, dance expert

group preferred a faster spontaneous motor tempo than novice, which was the same for both finger and heel tapping, and finger performance was faster than heel. However, the difference between groups was not significant. Second, there was no difference in asynchrony between expert and novice when performing synchronization task, whereas, the variability of expert was generally lower than that of novice, and the difference between the groups was noticeable under fast tempo condition. Third, in continuous performance, the timing accuracy of novice was lower and the variability was higher than that of expert. The difference in accuracy is evident in 1500ms and 2000ms conditions, but the difference in variability was large in 333ms condition, contrary to expectations. Fourth, dance skilled people were more sensitive to tempo change than unskilled people. However, when the tempo change was perceived, ITI and asynchrony showed slow adaptation, and when the change was not perceived, ITI and asynchrony showed rapid adaptation. Fifth, adaptation of ITI and asynchrony appeared fast under conditions with small tempo change, and adaptation of fast ITI and slow asynchrony adaptation under large conditions. In addition, when the tempo changed, the tendency to overshoot was greater in expert, but adapted faster than novice. In conclusion, dance experts had a faster spontaneous motor tempo than novice, showed high timing accuracy and low variability when performing synchronization-continuation task, and showed a large tendency to over-correct to sudden tempo changes, but adapted faster.

Keywords: expertise, dace expert, rhythmic entrainment, sensorimotor synchronization, spontaneous motor tempo, timing accuracy, timing variability, adatation

Student Number: 2014-30521