

초등학생의 리듬-운동 동조화 능력 발달 연구¹⁾

이경면(KAIST, 조교수)⁺, 이윤상(오하이오주립대학, 조교수)^{*}

1. 서론

리듬과 박자에 맞춰 몸을 움직이는 행동은 악기 연주와 음악 활동에 필수적인 능력이다. 단순하게는 박자에 맞추어 손뼉을 치는 행동에서부터 악기를 연주하고, 성대를 조절해 노래를 부를 때도 자신이 의도한 박자에 맞추어 신체를 정확히 움직여야 리듬을 잘 표현할 수 있다. 최근 뇌과학 연구들은 리듬의 처리가 신체의 움직임과 밀접하게 연관되어 있음을 과학적으로 보여주고 있다. 규칙적인 박자를 들을 때 뇌에서는 소리를 처리하는 대뇌(cortex)의 청각 피질(auditory cortex)뿐만 아니라 몸의 움직임을 조절하는 운동 피질(motor cortex)이 함께 활성화되며, 청각 피질과 운동 피질은 신경 다발들로 연결되어 있다²⁾. 유아를 대상으로 한 연구들에서도 몸의 움직임이 리듬의 지각에 큰 영향을 미침을 보여주고 있다. 박자가 애매한 리듬을 들을 때 몸을 두 박자 단위로 엄마와 함께 움직인 유아는 리듬을 두 박자 단위로 기억하는 반면, 몸을 세 박자 단위로 움직였던 유아는 같은 애매한 리듬을 세 박자 단위로 기억하였다³⁾. 따라서 몸의 움직임은 리듬의 중요한 표상 중 하나이며, 리듬과 박자에 몸을 얼마나 정확하게 동조화(synchronized)시키는가는 음악 인지 과학에서 중요한 연구 주제가 되었다. 특히 메트로놈 소리와 같은 규칙적인 소리에 맞춰 손가락을

1) 본 논문은 2019년 한국연구재단(NRF-2017R1C1B2010004)과 KAIST 연구활성화지원사업(국제화)의 지원을 받아 수행된 연구임.

+ 주저자 * 교신저자

2) Daniel Cameron and Jessica A. Grahn, "The Neuroscience of Rhythm," in *The Oxford Handbook of Music Psychology*, ed. Susan Hallam, Ian Cross, and Michael Thaut (Oxford: Oxford University Press, 2016), 357-370.

3) Jessica Phillips-Silver and Laurel J. Trainor, "Feeling the beat: movement influences infant rhythm perception," *Science* 308 (2005), 1430-1430.

두드리는 태핑(tapping) 실험은 가장 간단하게 규칙적인 리듬에 대한 몸의 동조화 능력을 측정하는 방법으로 많은 연구에서 사용되고 있다⁴⁾. 규칙적인 소리의 주기성을 먼저 파악하고 여기에 맞추어 신체를 정확하게 지속적으로 움직이는 능력인 청각-운동 동조화(auditory-motor synchronization) 능력은 음악과 춤에도 필수적이지만 말소리 처리에도 중요한 능력인 것으로 밝혀져 더욱더 많은 주목을 받고 있다⁵⁾. 많은 연구에서 다양한 연령을 대상으로 규칙적인 박(beat)에 대한 손가락 태핑 반응을 측정하여 그 발달적 차이를 연구하고 있지만⁶⁾, 한국인의 청각-운동 동조화 능력을 측정한 연구는 매우 드물다. 따라서 본 연구에서는 초등학교 1학년에서 5학년 학생 112명을 대상으로 메트로놈 소리에 대한 손가락 태핑 반응 측정을 통해 청각-운동 동조화 능력의 발달 양상을 살펴보고, 음악 교육을 받은 아동과 그렇지 않은 아동의 비교를 통해 음악 교육이 청각-운동 동조화에 미치는 영향을 살펴보고자 한다.

2. 이론적 배경

규칙적인 박에 맞춰 몸을 동조화시키는데 필요한 요소로는 먼저 소리와 상관없이 신체를 규칙적으로 움직일 수 있어야 하며, 소리에서 규칙적인 박을 찾아낼 수 있어야 한다. 이 두 가지 능력은 인간뿐만 아니라 동물에게도 있는 것으로 알려졌다. 숨쉬기, 걷기, 수영 등은 규칙적인 몸 운동의 예이며 대부분의 동물이 할 수 있는 행동이다. 소리에서 규칙적인 박을 찾아내는 능력도 인간뿐만 아니라 새와 포유류가 갖고 있으며, 인간과 유인원이 박을 찾아내기 위해 유사한 신경 기저를 사용하는 것으로 밝혀졌다. 청각-운동 동조화를 위해서 가장 중요한 능력은 소리에서 찾아낸 규칙적인 박에 신체의 움직임을 맞추는 능력, 즉 동조화하는 능력인데 이는 인간만이 가능한 능력이며 동물 중에서는 몇몇 앵무새와 물개만이 가능한 것으로 나타났다. 인간도 만 2세 이후에야 청각-운동 동조화가 가능하다⁷⁾.

4) Bruno Repp and Yi-Huang Su, "Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006-2012)." *Psychonomic Bulletin & Review* 20(3) (2013), 403-452.

5) Kali Woodruff Carr, Travis White-Schwoch, Adam T. Tierney, Dana L. Strait, and Nina Kraus, "Beat synchronization predicts neural speech encoding and reading readiness in preschoolers," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(40) (2014), 14559-14564.

6) Knut Drewing, Gisa Aschersleben, and Shu-Chen Li, "Sensorimotor synchronization across the life span." *International Journal of Behavioral Development* 30(3) (2006), 280-287.

청각-운동 동조화 능력은 메트로놈 소리에 대한 손가락 태핑 반응으로 가장 많이 측정하며, 태핑 반응의 두 가지 요소, NMA(Negative Mean Asynchrony, 선반응 평균값)과 응답의 변이도(variability)를 주로 분석한다. NMA는 소리가 제시된 시점과 태핑을 한 시점의 차이에 대한 평균을 의미한다. 소리가 제시된 바로 그 순간 손가락을 두드린다면 NMA는 0이 되겠지만, 보통은 소리와 응답 간에 어느 정도 시간 차이가 발생한다. 소리를 귀로 듣고 뇌에서 처리한 뒤, 뇌의 운동 피질에서 손가락에 신호를 보내 태핑으로 응답하기까지 시간이 소요되기 때문이다. 신체적으로 가능한 가장 빠른 반응시간은 150ms로 알려져 있다⁸⁾. 따라서 태핑 실험을 시작한 뒤 처음 몇 번은 소리가 제시된 시점에서 몇 ms 이후에 응답하게 되지만, 점차 반응시간은 150ms보다 짧아지게 되는데 이는 소리로부터 규칙적인 빠르기(tempo)를 파악한 이후에 다음 박이 언제 나올 것이라는 예측이 가능해지기 때문이다. 예측을 통해 결국은 소리보다 약간씩 손이 먼저 반응을 하게 되며 자극과 응답 사이의 시간 간격은 마이너스인 음수가 된다. 따라서 이 시간 간격을 NMA(Negative Mean Asynchrony)라고 지칭하는 것이다. 청각-운동 동조화 능력에 대한 진화적 설명을 위해 침팬지를 대상으로 태핑을 훈련시킨 연구에 따르면 침팬지는 훈련을 통해 600ms 간격의 소리에 응답하긴 하지만 대부분 소리가 제시된 뒤 이후에 응답하며 박자를 예측해 소리보다 먼저 응답하는 경우, 즉 NMA는 없는 것으로 나타났다⁹⁾. 두 번째 중요한 분석의 요인은 응답 변화도이다. 응답 변화도는 박에 대한 응답을 실험 시작부터 끝까지 일관되게 하는 정도를 뜻한다. 응답 변화도가 높다는 것은 응답의 일관성이 떨어지는 것으로, 예를 들면 어떤 때는 소리를 들은 뒤 몇 ms 후에 응답했다가, 다른 때는 소리보다 빨리 응답하는 등 응답 일관성이 낮은 것을 의미한다. 성인을 대상으로 태핑 반응을 연구한 결과 음악가가 비음악가보다 낮은 응답 변화도와 NMA를 보이며¹⁰⁾, 특히 타악기 연주자들이 다른 연주자들보다 더 낮은 응답 변화도와 NMA를 보였다¹¹⁾.

7) Sonja Kotz, Andrea Ravignani, and William T. Fitch, "The evolution of rhythm processing," *Trends in Cognitive Sciences* 22(10) (2018), 896-910.

8) Bruno Repp, "Sensorimotor synchronization and perception of timing: effects of music training and task experience," *Human movement science* 29(2) (2010), 200-213.

9) Yuko Hattori, Masaki Tomonaga, and Tetsuro Matsuzawa, "Spontaneous synchronized tapping to an auditory rhythm in a chimpanzee," *Scientific reports* 3 (2013), 1566.

10) Bruno Repp, "Sensorimotor synchronization and perception of timing: effects of music training and task experience," *Human movement science* 29(2) (2010), 200-213.

11) Vanessa Krause, Bettina Pollok, and Alfons Schnitzler, "Perception in action: the impact of sensory information on sensorimotor synchronization in musicians and non-musicians," *Acta Psychologica* 133(1) (2010), 28-37.

미국과 독일에서 아동부터 노인에 이르기까지 다양한 연령층을 대상으로 메트로놈 소리에 대한 손가락 태핑 반응을 측정한 연구들에 따르면, 만 4~5세 아동은 상대적으로 청각-운동 동조화 능력이 성인보다 많이 떨어지지만 연령이 증가할수록 동조화 능력이 점차 발달하여 15세~23세에 가장 낮은 응답 변화도를 나타내며 노년기에는 다시 정확도가 떨어지는 것으로 나타났다¹²⁾. 반누어든과 드브루윈(van Noorden and De Bruyn)의 연구¹³⁾에서는 3세~11세 아동 600명을 대상으로 다양한 빠르기의 음악을 들려주고 이에 맞춰 손가락으로 태핑 하는 실험을 하였다. 실험 결과 어린 아동일수록 음악의 빠르기에 상관없이 500ms (2Hz) 간격으로 태핑을 하였으며, 나이가 들수록 음악의 빠르기에 태핑을 맞추는 동조화 능력이 발달하였다. 흥미로운 사실은 언어 장애 (language impairments)가 있는 7-11세 영어권 아동을 대상으로 태핑 능력을 조사했을 때에도 500ms 간격으로 소리가 제시되는 조건에서만 언어 장애 아동이 정상 아동보다 더 큰 응답 변화도를 나타내었다는 점이다¹⁴⁾. 이를 통해 소리에 맞추어 태핑 하는 능력이 음악뿐만 아니라 언어 처리에도 중요한 기반이 되며 이 능력에 문제가 있을 때 언어처리에도 이상이 있을 수 있다는 주장이 제시되고 있다. 한국의 초등학생을 대상으로 실시한 연구¹⁵⁾에서는 소리 자극 없이 각자가 편하게 느끼는 시간 간격으로 태핑하는 자발적 태핑 능력을 측정했는데 평균 570ms (표준편차 250ms)의 간격으로 태핑을 하는 것으로 나타났다. 하지만 규칙적인 소리 자극에 대한 태핑 반응을 측정하지는 않았다.

앞서 소개한 바와 같이 다양한 연령대를 대상으로 청각-운동 동조화 능력을 측정한 연구들이 많이 발표되고 있으나, 한국 아동의 청각-운동 동조화 능력을 조사한 연구는 매우 드물다¹⁶⁾.

12) a) Knut Drewing, Gisa Aschersleben, and Shu-Chen Li, "Sensorimotor synchronization across the life span," *International Journal of Behavioral Development* 30(3) (2006), 280-287.

b) Devin McAuley, Mari Riess Jones, Shayla Holub, Heather M. Johnston, and Nathaniel S. Miller, "The time of our lives: life span development of timing and event tracking," *Journal of Experimental Psychology: General* 135(3) (2006), 348-367.

13) Leon Van Noorden and Leen De Bruyn, "The development of synchronization skills of children 3 to 11 years old," In *Proceedings of ESCOM—7th Triennial Conference of the European Society for the Cognitive Sciences of Music* (Jyväskylä, Finland: University of Jyväskylä, 2009).

14) Kathleen Coriveau and Usha Goswami, "Rhythmic motor entrainment in children with speech and language impairments: tapping to the beat," *Cortex* 45(1) (2009), 119-130.

15) 오소영, 정현주. "초등학생의 리듬 재산출 능력과 인지기능 수준 간 상관관계," 『인간행동과 음악연구』 13(1) (2016), 1-18.

16) 이연경, "아동의 리듬능력 발달과정에 대한 연구-관련연구의 문헌적 고찰에 근거하여," 『이화음악논집』 3 (1999), 265-302.

또한 미국과 독일의 기존 연구¹⁷⁾도 초등학생을 연구 대상으로 포함하긴 하였지만 청각-운동 동조화 능력의 학년별 자세한 발달의 추이 및 음악 훈련에 따른 차이를 보여주지는 못했다. 따라서 본 논문에서는 한국의 초등학교 아동을 대상으로 청각-운동 동조화 능력을 측정하고 NMA와 응답 변화도를 분석하여 연령에 따른 차이를 비교하고, 악기 훈련을 받은 아동과 그렇지 않은 아동의 비교를 통해 음악 교육이 청각-운동 동조화 능력에 가져오는 효과를 알아보고자 한다. 또한 다양한 빠르기 조건에서 태핑 능력을 측정하여 빠르기에 따라 청각-운동 동조화 능력이 어떻게 달라지며 이러한 차이가 학년마다 어떻게 다르게 나타나는가를 실험하였다. 기존 연구¹⁸⁾에서 사용한 BPM(Beats per Minute) 60과 180 이외에 언어 처리와 관련 있는 것으로 알려진 BPM 120, 그리고 일반적으로 인간이 가장 선호하는 빠르기로 알려진 BPM 100¹⁹⁾ 조건을 포함하여 네 가지 다른 빠르기 조건을 실험하였다. 성인을 대상으로 한 기존의 연구 결과²⁰⁾ BPM 100과 120에서 태핑을 가장 잘하는 것으로 나타났기 때문에 초등학생을 대상으로 한 본 실험에서도 BPM 100과 120 조건에서 태핑의 NMA와 응답 변화도가 가장 낮을 것으로 예측한다.

3. 연구 방법

3.1 연구 대상

대전시 초등학교 학생 112명을 대상으로 실험을 하였다. 1학년 23명(여자 13, 남자 10명), 2학년 24명(여자 10명, 남자 14명), 3학년 23명(여자 12명, 남자 11명), 4학년 21명(여자 10명, 남자

17) a) Knut Drewing, Gisa Aschersleben, and Shu-Chen Li, "Sensorimotor synchronization across the life span," *International Journal of Behavioral Development* 30(3) (2006), 280-287.

b) Devin McAuley, Mari Riess Jones, Shayla Holub, Heather M. Johnston, and Nathaniel S. Miller, "The time of our lives: life span development of timing and event tracking," *Journal of Experimental Psychology: General* 135(3) (2006), 348-367.

18) Knut Drewing, Gisa Aschersleben, and Shu-Chen Li, "Sensorimotor synchronization across the life span," *International Journal of Behavioral Development* 30(3) (2006), 280-287.

19) Clarisse Baruch, Nathalie Panissal-Vieu, and Carolyn Drake, "Preferred perceptual tempo for sound sequences: comparison of adults, children, and infants," *Perceptual and Motor Skills* 98(1) (2004), 325-339.

20) Richard Pamcutt, "A perceptual model of pulse salience and metrical accent in musical rhythms," *Music Perception* 11(4) (1994), 409-464.

11명), 5학년 21명(여자 11명, 남자 10명)이 실험에 참여하였다. 실험은 KAIST 연구윤리위원회의 승인을 받았으며, 보호자로부터 연구 동의서에 서명을 받은 뒤 실험을 진행하였다. 학생이 실험에 참여하는 동안 보호자는 음악 교육 배경에 대한 설문에 응답하였다.

설문조사 결과 악기 교육을 받은 학생들의 평균 교육 시작 연령은 만 7.9세로 주로 초등학교 1학년 전후로 악기를 시작하는 것으로 나타났다. 따라서 초등학교 1, 2학년의 경우 악기 교육을 받은 학생과 그렇지 않은 학생 간의 차이가 크지 않을 것으로 예상되어, 3~5학년 학생을 대상으로 3년 이상 악기 교육을 받은 집단과 그렇지 않은 집단으로 나누어 청각-운동 동기화 능력을 비교하였다. 악기 교육을 3년 이상 받은 학생이 3학년의 경우 13명(피아노 11명, 현악기 2명), 4학년은 9명(피아노 7명, 현악기 2명), 5학년은 13명(피아노 11명, 현악기 1명, 관악기 1명) 이었다. 드럼과 같은 타악기를 배운 학생이 8명 있었으나 학습 기간이 2년 미만이었으며, 집단별 차이를 통계적으로 비교하기에는 부족한 인원이기 때문에 따로 비교를 하지 않았다.

	인원	3년 이상 악기 교육을 받은 인원
1학년	23명(여자 13명, 남자 10명)	1명(피아노 1명)
2학년	24명(여자 10명, 남자 14명)	4명(피아노 2명, 현악기 1명, 관악기 1명)
3학년	23명(여자 12명, 남자 11명)	13명(피아노 11명, 현악기 2명)
4학년	21명(여자 10명, 남자 11명)	9명(피아노 7명, 현악기 2명)
5학년	21명(여자 11명, 남자 10명)	13명(피아노 11명, 현악기 1명, 관악기 1명)

(표1) 연구 참여자 정보

3.2 자극 및 실험 절차

실험 참여 이동은 컴퓨터 앞에 앉아 실험 방법에 대한 설명을 듣고 연습 실험을 진행하며 진행자와 함께 실험 방법을 학습하였다. 본 실험에서는 네 가지의 다른 빠르기 조건, BPM 60, 100, 120, 180(자극 간 간격은 각각 1000ms, 600ms, 500ms, 333.33ms)이 있었으며, BPM 60이 가장 느린 조건이고 BPM 180이 가장 빠른 조건이었다. 실험이 실시되면 다섯 번의 예비 박을 주어 빠르기를 파악하도록 하였고, 여섯 번째 박부터 오른손 검지, 중지 손가락으로 컴퓨터 자판의 스페이스 바를 눌러 가능한 한 빨리 응답하도록 하였다. 제시된 소리는 200ms 길이의 타악기 소리였으며, 참여자가 컴퓨터 자판의 스페이스 바를 눌러 응답하면 그 소리가 스네어(snare) 드럼 소리

연주되었다. 방음실에서 실험을 하였으며 스피커로 소리를 들었다. 각 빠르기 조건을 25초 동안 진행하였다.

3.3 분석 방법

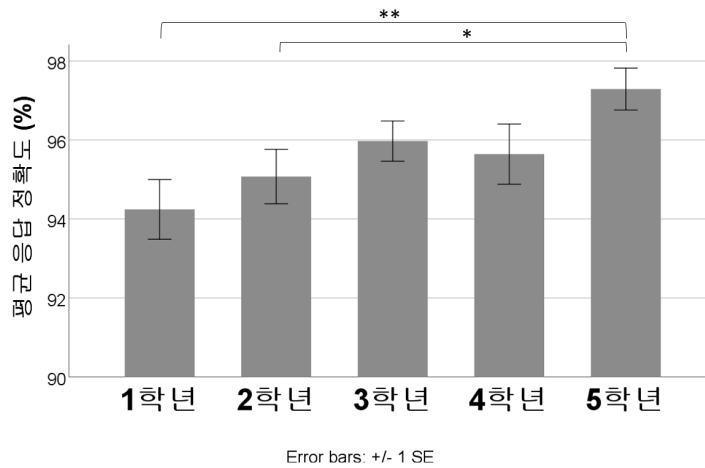
청각-운동 동조화에 대한 기존 연구²¹⁾를 참조하여 손가락 태핑 응답의 응답 정확도, Negative Mean Asynchrony(NMA)와 응답 변화도를 분석하였다. 응답 정확도는 자극이 제시된 후 100ms 이내에 손가락 태핑 응답을 했을 때를 정확한 응답(hit)으로 정의하고, 조건별로 정확한 응답의 비율을 계산해 평균하였다. NMA는 자극과 응답의 시간 차이를 ms(1/1000초)으로 기록하였고, 응답 변화도는 NMA의 표준편차로 계산하였다. NMA가 음수이면 자극이 제시되는 시점보다 빨리 응답한 것이고, NMA 값이 양수이면 자극이 제시된 이후에 응답했음을 의미한다. 응답 변화도인 표준편차는 값이 작을수록 일관되게 응답한 것이며, 값이 큰 경우는 응답이 일관성 없이 변화도가 크게 응답한 것이다.

4. 연구 결과

4.1 평균 응답 정확도

그림 1은 네 가지 빠르기 조건에 대한 응답 정확도의 평균을 보여준다. 학년에 따른 응답 정확도의 차이를 알아보기 위해 일원 분산분석(one-way analysis of variance, one-way ANOVA)을 실시하였다. 분석 결과 학년 요인의 효과가 유의미하였다($F(4,107)=2.878$, $p=0.026$). LSD(Least Significant Difference) 사후 분석 결과 5학년의 응답 정확도는 1학년과 2학년의 응답 정확도보다 유의미하게 높았다(1학년, $p=0.002$; 2학년 $p=0.019$).

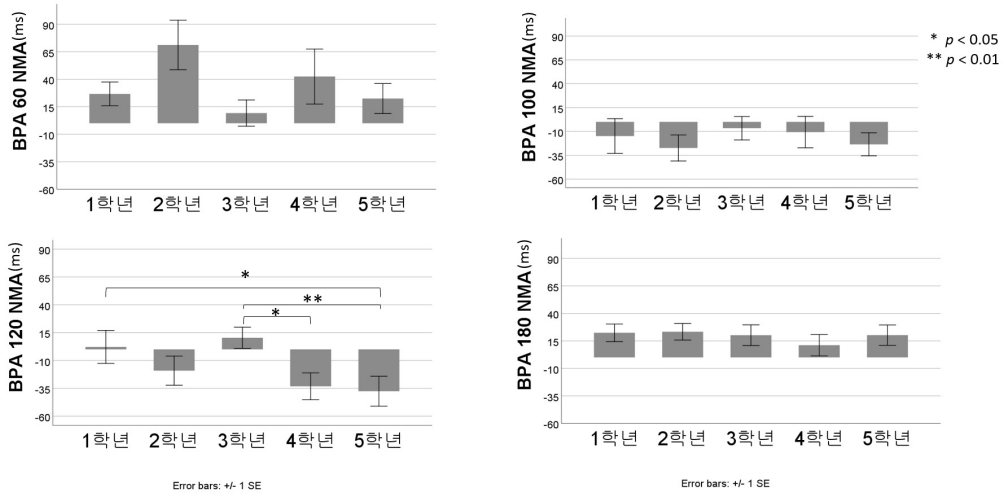
21) Bruno Repp, "Sensorimotor synchronization and perception of timing: effects of music training and task experience," *Human movement science* 29(2) (2010), 200-213.



(그림1) 학년별 손가락 태핑 응답의 정확도. 막대의 선은 +/- 표준 오차를 의미한다.

4.2 박과 응답의 시간 간격: NMA(Negative Mean Asynchrony) 분석

학년별 태핑 응답의 특징을 더욱 자세히 알아보기 위해, 빠르기 별로 응답의 NMA를 분석하였다. 그림 2는 BPM 빠르기 60, 100, 120, 180에 대한 각 학년의 NMA 평균을 보여준다. 박의 간격이 가장 긴 BPM 60과 가장 짧은 BPM 180에서는 NMA의 평균이 +인 양수로 나왔지만, BPM 100과 120에서는 NMA 평균이 -인 음수로 나왔다. 즉, 빠르기가 너무 느리거나 빠른 어려운 조건에서는 박이 제시되는 시점을 빨리 예측하지 못하였고, BPM 100과 120에서는 박자가 제시된 시점 보다 몇 ms 빨리 응답한 것을 알 수 있다.

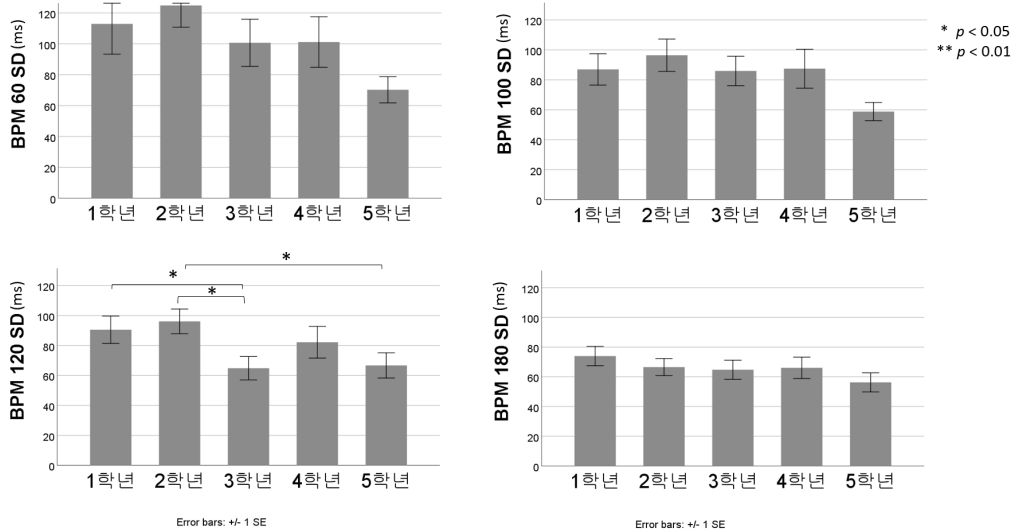


(그림2) 각 빠르기에 대한 학년별 NMA(Negative Mean Asynchrony). 막대의 선은 +/- 1 표준 오차를 의미한다.

학년별 차이는 BPM 120 조건에서만 통계적으로 유의미하였다(One-way ANOVA, $F(4,107)=2.731$, $p=0.033$). LSD 사후 검증 결과 5학년의 NMA이 1학년, 3학년보다 유의미하게 작았으며(1학년 $p=0.031$; 3학년 $p=0.010$), 4학년의 NMA도 3학년의 NMA보다 유의미하게 작았다($p=0.018$).

4.3 응답의 변화도

학년별 태핑 응답의 특징을 더욱 자세히 알아보기 위해, 빠르기 별로 응답의 변화도를 분석하였다. 그림 3은 네 개의 다른 BPM 빠르기에 대한 각 학년 NMA 응답의 표준편차를 보여준다. 응답 변화도 역시 NMA와 마찬가지로 BPM 120 빠르기에서만 학년별로 유의미한 차이를 보여주었다 (one-way ANOVA, $F(4,107)=2.551$, $p=0.043$). LSD 사후 검증 결과 5학년의 응답 변화도가 2학년보다 유의미하게 작았다($p=0.020$). 3학년 또한 1학년($p=0.040$)과 2학년 ($p=0.012$)보다 유의미하게 작은 응답 변화도를 보여주었다.



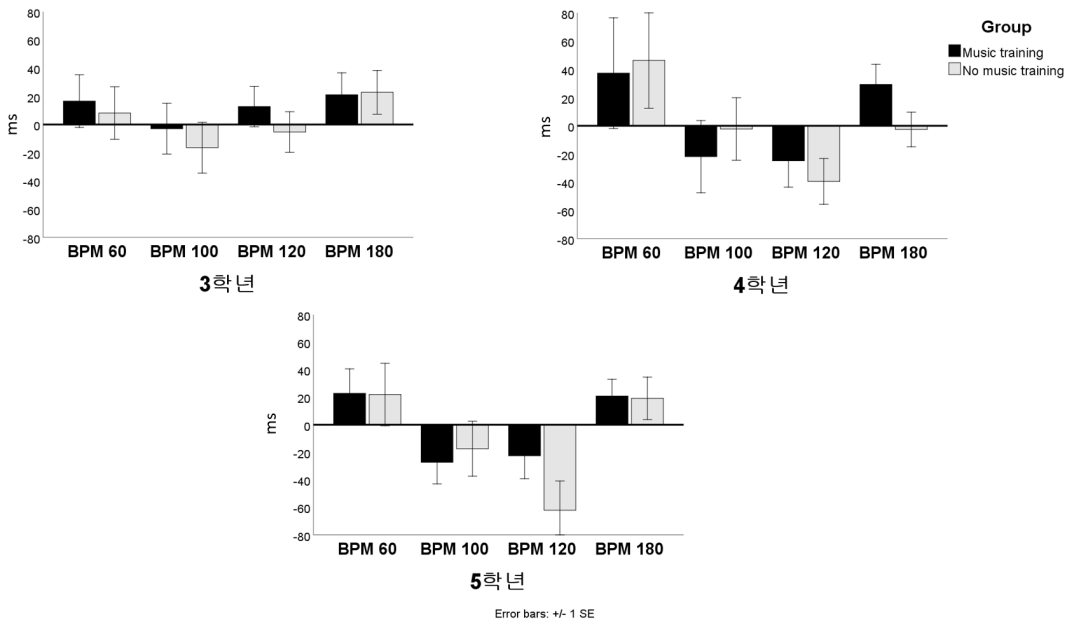
(그림3) 네 개의 빠르기 조건에 대한 학년별 응답 변화도(NMA의 표준 편차).

막대의 선은 +/-1 표준 오차를 의미한다.

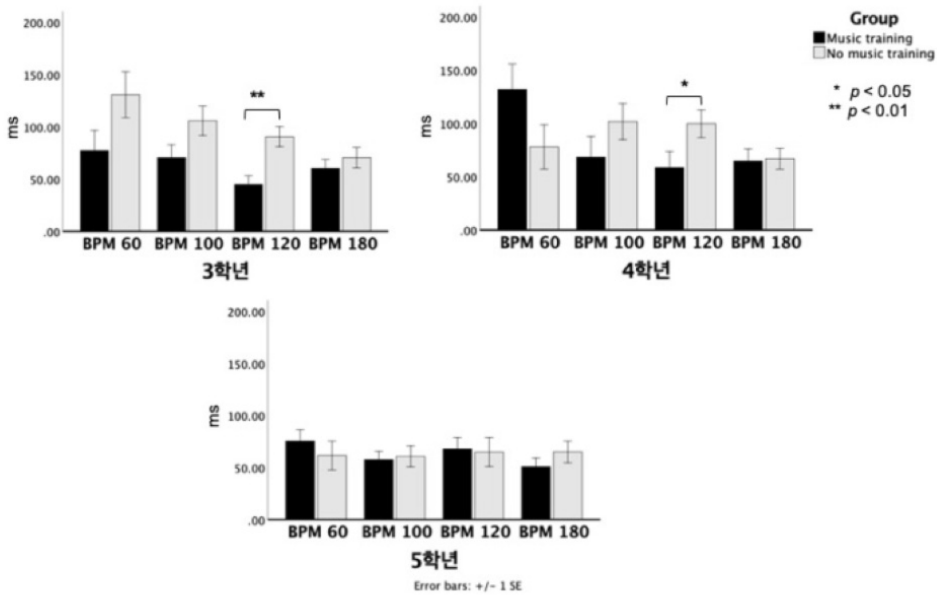
4.4 음악 교육에 따른 차이

악기 교육을 받은 아동의 경우 NMA과 응답 변화도가 어떻게 다른지 알아보기 위해, 음악적 배경에 대한 설문 조사를 바탕으로 실험 참여자를 두 집단으로 나누었다. 설문 결과 음악 교육 경험이 있는 학생의 대다수가 초등학교 1학년을 전후로 음악 교육을 시작한 것으로 나타나, 초등학교 1, 2학년 학생의 경우 악기를 배운 경험이 2년 미만으로 상대적으로 짧았다. 따라서 3, 4, 5학년 학생들을 대상으로만 최소 3년 이상 악기 교육을 받은 집단과 그렇지 않은 집단으로 나누고, 이 두 집단을 대상으로 NMA와 응답 변화도의 차이를 분석하였다. NMA의 경우 반복 측정 분산분석(Repeated measures ANOVA) 결과(피험자 내 요인: 빠르기, 피험자 간 요인: 학년, 음악 교육 여부) 빠르기 효과만 유의미했다($F(2.572, 144.024)=8.675, p<0.0001$). 즉, 네 가지 빠르기 모두에서 어떤 학년도 악기 교육을 3년 이상 받은 학생과 그렇지 않은 학생들 간의 차이가 유의미하지 않았다(그림 4). 하지만 응답 변화도는 3, 4학년의 경우 집단별 차이가 유의미했다(그림 5). 반복 측정 분산분석(Repeated measures ANOVA) 결과(피험자 내 요인: 빠르기, 피험자 간 요인: 학년, 음악 교육 여부), 빠르기 효과, 학년 효과, 음악 교육 효과가 유의미했다(빠르기: $F(2.573, 151.809)=5.169, p=0.003$, 학년: $F(2, 59)=3.820, p=0.028$, 음악 교육: $F(1,$

59)=4.453, $p=0.039$). 빠르기, 학년, 음악 교육의 상호작용 효과도 유의미했다 ($F(5.146,151.809)=2.355, p=0.042$). 즉, 빠르기 별로 응답 변화도가 달랐으며, 악기 교육을 받은 집단이 더 낮은 응답 변화도를 보여주었다. 4학년은 빠르기와 집단 간 유의미한 상호작용 효과를 보여주며($F(2.118, 41.578)=4.051, p=0.022$), BPM 120 조건에서만 악기 교육을 받은 집단이 유의미하게 낮은 응답 변화도를 보여주었다 ($p=0.035$). 초등학교 5학년은 악기 교육을 받은 집단과 아닌 집단 간의 차이가 통계적으로 유의미하지 않았다.



(그림4) 3년 이상 악기 교육을 받은 집단(검은색)과 그렇지 않은 집단(흰색) 간의 NMA(Negative Mean Asynchrony) 차이. 검은색이 악기 교육을 받은 집단의 응답이다. 막대의 선은 +/- 1 표준 오차를 보여준다.



(그림5) 3년 이상 악기 교육을 받은 집단(검은색)과 그렇지 않은 집단(흰색) 간의 응답 변화도(표준 편차) 차이. 검은색이 악기 교육을 받은 집단의 응답이다. 막대의 선은 +/-1 표준 오차를 보여준다.

5. 논의

본 논문에서는 초등학교 1~5학년 아동을 대상으로 메트로놈 소리에 대한 손가락 태핑 응답 검사를 통해 소리에 신체를 동기화시키는 능력의 발달 양상을 살펴보았다. 네 가지 다른 빠르기 조건을 사용하여 청각-운동 동조화에 미치는 빠르기의 영향을 관찰하였으며, 3년 이상 악기 교육을 받은 집단과 그렇지 않은 집단의 응답을 비교하여 악기 교육에 따른 청각-운동 동조화 능력의 차이를 알아보았다. 실험 결과 전반적으로 학년이 올라갈수록 소리에 대한 손가락 태핑 반응 정확도가 높아지는 것을 확인할 수 있었다. 또한 네 가지 다른 빠르기 조건 중 중간 빠르기인 BPM 120과 100에서는 NMA가 감소했지만 느린 BPM 60(1000ms 간격)과 빠른 BPM 180(333.33ms 간격)에서는 NMA가 증가하였다. 이는 박의 간격이 300ms에서 1000ms로 늘어날 때 NMA가 증가함을 보여준 푸지(Fujii)의 연구²²⁾ 결과와 일치한다.

22) Shinya Fujii, Masaya Hirashima, Kazutoshi Kudo, Tatsuyuki Ohtsuki, Yoshihiko Nakamura, and

학년별 차이 또한 빠르기가 아주 빠르거나(BPM 180) 느린(BPM 60) 조건보다 BPM 120의 조건에서 가장 유의미하게 나타났다. 특히 5학년이 BPM 120에서 가장 빠른 NMA과 낮은 응답 변화도를 보여주었다. 이는 박자의 타이밍을 빨리 예측하고, 응답을 일관되게 한다는 것을 의미한다. 이러한 결과는 드류잉 외(Drewing et al.)의 연구²³⁾와 일치한다. 6-8세 356명을 대상으로 박자에 대한 손가락 태핑 반응을 조사한 드류잉 외의 연구에서도 6세에서부터 연령이 올라갈수록 응답 변화도가 낮아졌다. 또한 아동의 경우 성인보다 상대적으로 빠르기의 영향을 많이 받아 빠르기가 BPM 180일 경우 60일 때보다 응답 변화도가 높았다. 드류잉의 연구에서는 BPM 180과 60 조건만을 사용하였지만, 본 연구에서는 BPM 100과 120 조건에서도 실험을 하였으며 BPM 120 조건에서 학년별 차이가 가장 두드러지게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. BPM 120은 박의 간격이 500ms로 아동이 가장 선호하는 빠르기로 알려져 있다²⁴⁾. 이전 연구에서 다양한 빠르기의 소리를 들려주고 이 중 가장 선호하는 빠르기 (Preferred Perceptual Tempo)를 선택하게 했을 때 성인은 600ms를 선호하는 반면 4~7세 아동은 300~400ms를 선호하며 연령이 높아질수록 선호하는 빠르기가 점차 느려졌다²⁵⁾. 3~11세 아동의 태핑 능력을 측정한 반누어든과 드브루윈(van Noorden and De Bruyn)의 연구²⁶⁾에서도 어린 아동일수록 들려준 음악의 빠르기에 상관없이 500ms (2Hz) 간격으로 태핑을 하며, 500ms 빠르기에서 가장 정확한 청각-운동 동조화 능력을 보여주었다. 본 연구는 태핑의 NMA와 응답 변화도가 BPM 120 조건에서만 학년별로 차이 남을 밝힘으로써, 한국 초등학생 아동도 BPM 120 빠르기를 중심으로 청각-운동 동조화 능력이 발달한다는 것을 보여주었다.

이전 연구에서 7~11세 영어권 아동의 태핑 능력을 측정했을 때, BPM 120 조건에서만

Shingo Oda, "Synchronization error of drum kit playing with a metronome at different tempi by professional drummers," *Music Perception* 28(5) (2011), 491-503.

23) Knut Drewing, Gisa Aschersleben, and Shu-Chen Li. "Sensorimotor synchronization across the life span." *International Journal of Behavioral Development* 30(3) (2006), 280-287.

24) Leon Van Noorden and Leen De Bruyn, "The development of synchronization skills of children 3 to 11 years old," In *Proceedings of ESCOM—7th Triennial Conference of the European Society for the Cognitive Sciences of Music* (Jyväskylä, Finland: University of Jyväskylä, 2009).

25) Clarisse Baruch, Nathalie Panissal-Vieu, and Carolyn Drake, "Preferred perceptual tempo for sound sequences: comparison of adults, children, and infants," *Perceptual and Motor Skills* 98(1) (2004), 325-339.

26) Van Noorden and De Bruyn, "The development of synchronization skills of children 3 to 11 years old,".

언어 장애(language impairments)가 있는 아동이 정상 아동보다 태핑 정확도가 떨어지는 것으로 나타났다²⁷⁾. BPM 120, 즉 500ms은 언어적 강세가 규칙적으로 등장하는 시간 간격과 일치한다. 최근 신경과학 연구 결과에 따르면 대략 2~4Hz, 즉 500ms~250ms 사이 간격으로 나타나는 소리의 규칙성을 파악하는 것이 언어 처리에 중요하며, 이 간격으로 태핑 하는 능력이 언어 능력 및 언어 처리를 반영하는 뇌파와 상관관계가 있는 것으로 나타났다²⁸⁾. 태핑 검사는 규칙적인 소리에 대한 청각-운동 동조화 능력을 반영하며, 언어 학습에는 시간적 규칙성에 대한 민감성이 중요하기 때문에 태핑 능력과 언어 능력이 서로 연관되어 있을 것이라고 주장한다²⁹⁾. 본 논문에서는 이렇게 언어 능력과도 밀접한 관련이 있는 BPM 120 빠르기에 신체를 동조화하는 능력이 학년별로 가장 크게 차이 났으며, 더 나아가 악기 교육을 3년 이상 받은 아동과 그렇지 않은 아동의 차이도 BPM 120에서 가장 유의미하게 나타난다는 것을 보여주었다. 악기 훈련 전과 후에 나타나는 태핑 능력 차이를 직접 측정하지는 못했기 때문에 악기 훈련 때문에 태핑 정확도가 높아졌다고 결론지을 수는 없다. 하지만 기존 연구³⁰⁾에서 일 년 동안의 음악 교육 이후에 태핑 정확도가 향상되었음 직접적으로 보여주었기 때문에 악기 훈련이 태핑 정확도에 영향을 미쳤음을 추측할 수 있다. 이렇게 음악 훈련을 통해 향상된 청각-운동 동조화 능력은 언어 처리에 도움이 될 것이다. 종단 연구를 통해 음악 훈련으로 향상된 태핑 능력이 언어 처리에 어떤 영향을 미치는지 밝힌다면 음악 교육이 언어 능력에 미치는 영향을 더욱 명확히 밝힐 수 있을 것이다.

악기 교육을 3년 이상 받은 집단과 그렇지 않은 집단의 차이가 3, 4학년에서는 유의미하게 나타났지만 5학년의 경우 차이를 보이지 않았다. 다양한 연령을 대상으로 태핑 능력을 조사한 기존 연구³¹⁾에 따르면 초기 청소년기의 경우 성인과 비슷한 태핑 정확도를 보여준다. 따라서 태핑

27) Kathleen Corriveau and Usha Goswami, "Rhythmic motor entrainment in children with speech and language impairments: tapping to the beat," *Cortex* 45(1) (2009), 119-130.

28) Kali Woodruff Carr, Travis White-Schwoch, Adam T. Tierney, Dana L. Strait, and Nina Kraus, "Beat synchronization predicts neural speech encoding and reading readiness in preschoolers," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(40) (2014), 14559-14564.

29) 이경면, "음악 교육이 언어 능력에 미치는 영향: 뇌과학적 근거," 『음악이론연구』 28 (2017), 136-159.

30) Jessica Slater, Adam Tierney and Nina Kraus, "At-risk elementary school children with one year of classroom music instruction are better at keeping a beat," *PLoS One* 8(10) (2013), e77250.

31) a) Knut Drewing, Gisa Aschersleben, and Shu-Chen Li, "Sensorimotor synchronization across the life span," *International Journal of Behavioral Development* 30(3) (2006), 280-287.

b) Devin McAuley, Mari Riess Jones, Shayla Holub, Heather M. Johnston, and Nathaniel S. Miller, "The time of our lives: life span development of timing and event tracking," *Journal of Experimental Psychology: General* 135(3) (2006), 348-367.

능력이 발달하는 과정에 있는 3, 4학년의 경우 악기 교육이 태핑 능력 발달을 촉진하지만, 5학년 집단과 같이 발달이 거의 완성되는 단계에서는 태핑의 응답 변화도에 악기 교육이 미치는 효과가 상대적으로 미약한 것으로 보인다. 메트로놈 소리에 태핑 하는 단순한 과제보다 더 어려운 과제, 예를 들어 소리의 빠르기가 중간에 변하여 새로운 빠르기에 태핑을 적용시켜야 하는 과제나, 더욱 복잡한 리듬 패턴에 맞춰 태핑 하는 과제를 실시하면 5학년 집단에서도 악기 교육의 효과가 나타날 가능성이 있다.

본 연구에서는 메트로놈 소리에 대한 손가락 반응 측정을 통해 초등학생의 청각-운동 동기화가 고학년으로 갈수록 정확해지며, 그 차이는 언어적으로도 중요한 BPM 120에서 가장 유의미하게 나타남을 보여주었다. 3년 이상 악기 훈련을 받은 아동의 경우에도 BPM 120에서 보다 일관된 응답을 보여주었다. 이러한 결과는 초등학생을 대상으로 한 리듬 훈련은 BPM 120 빠르기 위주의 음악과 율동을 사용하는 것이 효과적이며 이러한 교육이 음악뿐만 아니라 언어 교육에도 도움이 될 수 있음을 시사한다.

검색어

리듬(Rhythm), 박(Beat), 청각-운동 동조화(Auditory-motor synchronization), 청각 피질(Auditory cortex), 운동 피질(Motor cortex), 뇌(Brain), 발달(Development)

참고문헌

- 오소영, 정현주. "초등학생의 리듬 재산출 능력과 인지기능 수준 간 상관관계," 『인간행동과 음악연구』 13(1) (2016), 1-18.
- 이정면, "음악 교육이 언어 능력에 미치는 영향: 뇌과학적 근거," 『음악이론연구』 28 (2017), 136-159.
- 이연경, "아동의 리듬능력 발달과정에 대한 연구-관련연구의 문헌적 고찰에 근거하여," 『이화음악논집』 3 (1999), 265-302.
- Bruno Repp, "Sensorimotor synchronization and perception of timing: effects of music training and task experience," *Human movement science* 29(2) (2010), 200-213.
- Bruno Repp and Yi-Huang Su, "Sensorimotor synchronization: a review of recent research (2006-2012)," *Psychonomic Bulletin & Review* 20(3) (2013), 403-452.
- Clarisse Baruch, Nathalie Panissal-Vieu, and Carolyn Drake, "Preferred perceptual tempo for sound sequences: comparison of adults, children, and infants," *Perceptual and Motor Skills* 98(1) (2004), 325-339.
- Daniel Cameron and Jessica A. Grahn, "The Neuroscience of Rhythm," in *The Oxford Handbook of Music Psychology*, ed. Susan Hallam, Ian Cross, and Michael Thaut (Oxford: Oxford University Press, 2016), 357-370.
- Devin McAuley, Mari Riess Jones, Shayla Holub, Heather M. Johnston, and Nathaniel S. Miller, "The time of our lives: life span development of timing and event tracking," *Journal of Experimental Psychology: General* 135(3) (2006), 348-367.
- Jessica Phillips-Silver and Laurel J. Trainor, "Feeling the beat: movement influences infant rhythm perception," *Science* 308 (2005), 1430-1430.
- Jessica Slater, Adam Tierney and Nina Kraus, "At-risk elementary school children with one year of classroom music instruction are better at keeping a beat," *PLoS One* 8(10) (2013), e77250.
- Kali Woodruff Carr, Travis White-Schwoch, Adam T. Tierney, Dana L. Strait, and Nina Kraus, "Beat synchronization predicts neural speech encoding and reading readiness in preschoolers," *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(40) (2014), 14559-14564.
- Kathleen Corriveau and Usha Goswami, "Rhythmic motor entrainment in children with speech and language impairments: tapping to the beat," *Cortex* 45(1) (2009), 119-130.
- Knut Drewing, Gisa Aschersleben, and Shu-Chen Li, "Sensorimotor synchronization across the life span," *International Journal of Behavioral Development* 30(3) (2006), 280-287.
- Richard Parncutt, "A perceptual model of pulse salience and metrical accent in musical rhythms," *Music Perception* 11(4) (1994), 409-464.
- Shinya Fujii, Masaya Hirashima, Kazutoshi Kudo, Tatsuyuki Ohtsuki, Yoshihiko Nakamura, and Shingo Oda, "Synchronization error of drum kit playing with a metronome at different tempi by professional

- drummers," *Music Perception* 28(5) (2011), 491-503.
- Sonja Kotz, Andrea Ravignani, and William T. Fitch, "The evolution of rhythm processing," *Trends in Cognitive Sciences* 22(10) (2018), 896-910.
- Leon Van Noorden and Leen De Bruyn, "The development of synchronization skills of children 3 to 11 years old," In *Proceedings of ESCOM—7th Triennial Conference of the European Society for the Cognitive Sciences of Music* (Jyväskylä, Finland: University of Jyväskylä, 2009).
- Vanessa Krause, Bettina Pollok, and Alfons Schnitzler, "Perception in action: the impact of sensory information on sensorimotor synchronization in musicians and non-musicians," *Acta Psychologica* 133(1) (2010), 28-37.
- Yuko Hattori, Masaki Tomonaga, and Tetsuro Matsuzawa, "Spontaneous synchronized tapping to an auditory rhythm in a chimpanzee," *Scientific reports* 3 (2013), 1566.

Beat Synchronization Development of Korean Elementary School Students

Kyung Myun Lee, Yune S. Lee

By measuring tapping responses to regular beats, this study examined the auditory-motor synchronization ability of elementary school students from a developmental perspective. The result showed the highest tapping accuracy for 5th-grade students. Among four conditions with different tempi, the 120 bpm (beats per minute) condition showed the most significant group differences with the lowest response asynchrony and the highest response consistency for 5th-grade students. In addition, children with more than three years of music training showed more consistent response in the 120 bpm condition. This study is the first to investigate the synchronization ability of Korean elementary school students and the result indicates that auditory-motor synchronization develops mainly for 120 bpm and it is more facilitated by music training. It has been known that 120 bpm is also important for speech processing and children with language impairments have lower tapping accuracy than normal children for bpm 120. Thus, this result implies that music training could contribute to the improvement of language skills by training auditory-motor synchronization.

초등학생의 리듬-운동 동조화 능력 발달 연구

이경면, 이윤상

본 논문에서는 초등학교 1학년에서 5학년 아동 112명을 대상으로 규칙적인 메트로놈 소리에 대한 손가락 태핑 반응을 측정하여 청각-운동 동조화 능력의 발달적 측면을 연구하였다. 실험 결과 5학년으로 갈수록 응답 정확도가 증가하였으며, 학년별 차이는 BPM 120 빠르기 (500ms 시간 간격)에서 가장 유의미하게 나타났다. 5학년으로 갈수록 자극과 응답 간 시간 차이가 줄어들고 응답 변화도가 낮아졌다. 또한 3년 이상 악기 교육을 받은 3, 4학년 아동의 경우 BPM 120 빠르기에서 유의미하게 더 일관된 응답을 보여주었다. 본 연구는 최초로 한국의 초등학생을 대상으로 규칙적 리듬에 대한 운동 반응을 측정하였으며, 실험 결과 초등학생은 BPM 120 빠르기를 중심으로 청각-운동 동조화 능력이 발달하며 악기 훈련이 이 발달을 더 촉진하는 것을 보여준다. 언어 처리에서도 대략 500ms 간격의 시간적 규칙성을 파악하는 것이 중요하며, 언어 장애 아동의 경우 이 간격에 대한 태핑 반응 정확도가 떨어지는 것으로 나타나 음악 교육을 통한 태핑 능력의 향상이 언어 처리에도 도움을 줄 수 있음을 시사한다.

논문투고일자: 2019년 11월 1일

심사일자: 2019년 11월 23일

게재확정일자: 2019년 11월 24일

