

뇌신경계 질환에서 균형 및 협조운동 훈련

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

조 성 래

Balance and Coordination Training for Brain Disorders

Sung-Rae Cho, M.D., Ph.D.

Department and Research Institute of Rehabilitation Medicine, Yonsei University College of Medicine

Neuromuscular coordination is the process in the activation of muscle contraction patterns with appropriate forces and sequences coupled with simultaneous inhibition of other muscles to carry out desired activity. Through coordination training, engram can be developed as automatic preprogrammed multi-muscular patterns in extrapyramidal system by repetitive training millions of time, whereas control is the ability to voluntarily activate a single muscle in pyramidal system with conscious awareness. The development of coordination depends on voluntary repetition of precise performance with simple components until engram is formed. Balance training begins with therapeutic standing using a tilt table and a prone stander. Thereafter, patients with stable static posture proceed to dynamic balance training and progressive gait training using parallel bars and gait aids such as walker or cane. Balance training as a comprehensive early rehabilitation program can effectively improve balance performance. As a therapeutic modality for balance and coordination, neurologic music therapy for sensorimotor training consists of rhythmic auditory stimulation (RAS), patterned sensory enhancement, and therapeutic instrumental music performance (TIMP). RAS has been shown to increase the effect of gait training by stimulating reticulospinal tract in extrapyramidal system as the underlying mechanism. TIMP using keyboard playing has been introduced as therapeutic modality to enhance sequential and programmed coordination with precise execution and independent movement of individual fingers. Therefore, clinical application of neurologic music therapy might be considered to improve balance and coordination in patients with neurological diseases. (Brain & NeuroRehabilitation 2013; 6: 68-72)

Key Words: balance, coordination, neurologic music therapy, rhythmic auditory stimulation, therapeutic instrumental music performance

서 론

균형(balance) 및 협조운동(coordination)은 기저핵(basal ganglia), 소뇌(cerebellum) 뿐만 아니라 해마(hippocampus), 시상(thalamus), 뇌간(brain stem), 대뇌피질(cerebral cortex) 및 척수(spinal cord)의 종합된 활동에 의해서 이루어진다. 또한 관절과 근육의 운동에서 나오는 구심성 감각을 통한 적절한 감각 되먹이기(sensory feedback) 정보가 균형 및 협조운동을 조절하는데 중요하다. 따라서 균형 및 협조운동의 이상은 뇌졸중, 뇌성마비, 파킨슨병 및 근긴장 이상증(dystonia) 등과 같은 다양한 신경계 질환에서 발생하며, 병변 부위에 따라 임상적으로 특징적인 비정상적 형

태가 발생한다.

이러한 균형 및 협조운동에 필요한 요소는 1) 관절가동 범위 및 근력과 같은 생체역학적 요소, 2) 시각, 전정기능,

Table 1. Resources Required for Balance and Coordination Training

Resources	Detailed items
Biomechanical	Range of motion Strength
Sensory	Visual sense Vestibular sense Somatosensory sense Proprioceptive sense Sensory integration
Motor/movement	Reactive movement Voluntary movement
Cognitive	Attention Learning Spatial orientation

교신저자: 조성래, 서울시 서대문구 신촌동 134
☎ 120-752, 연세의료원 재활병원 재활의학과
Tel: 02-2228-3715, Fax: 02-363-2795
E-mail: srcho918@yuhs.ac

본 논문은 교육과학기술부 한국연구재단의 미래기반기술개발사업(2010-0020408)의 지원을 받아 작성된 논문임.

체성감각, 관절고유감각 및 감각통합 기능과 같은 감각 요소, 3) 반사적 및 자발적 운동 요소, 4) 집중력, 학습능력 및 공간개념과 같은 인지적 요소 등이 있으며, 이들을 강화시키는 치료가 모두 균형 및 협조운동 훈련이 될 수 있다(Table 1).

본 논문에서는 균형 및 협조운동 훈련에 대한 개요를 살펴보고, 이를 강화시키는 치료법 중 하나인 신경학적 음악치료에 대해 기술하고자 한다.

본 론

1) 신경근육 협조운동(Neuromuscular coordination)

협조운동은 원하는 활동을 수행하기 위해, 적절한 힘과 연속동작의 근육수축 과정에 의한 운동으로, 원하는 활동에 필요하지 않은 근육 수축은 동시에 억제되어야 한다. 이러한 협조운동은 주로 추체외로계(extrapyramidal system)를 통한 프로그램화 되어 있는 활동으로, 예를 들어 수백만 번 이상의 반복 훈련에 의해 엔그램(engram)이 형성되고 내재화되어 여러 근육에서 자동적인 활동이 나타나게 된다. 이와 반면에, 의식하는 상태에서 추체로계(pyramidal system)를 통해 필요한 근육을 자발적으로 수축하는 조절(control) 능력에 의해 원하는 활동이 일어나게 된다.

2) 협조운동 훈련(Coordination training)

협조운동 훈련의 목적은 원하는 활동을 위해 각각의 근육을 자발적으로 사용하는 조절 능력에 비하여 더 빠르고, 정확하고, 강한 패턴으로 협조운동 능력을 향상시키는 것이다. 앞서 기술한 바와 같이, 이러한 협조운동 훈련은 추체외로계를 통해 무의식적이고, 자동적으로 진행되므로, 피질척수로(corticospinal pathway)에 의해 조절되는 능력에 비해 빠르고, 강하며, 복잡하고, 숙련된 근육 수축이 일어나게 된다. 즉, 엔그램은 반복 훈련에 의해 형성되며, 이러한 엔그램이 자동적으로 형성될 때까지는 정확한 동작으로 자발적인 반복 운동을 시행하여야 하며, 반대로 원하는 비정상적인 패턴은 억제시켜야 한다.

협조운동 훈련의 방법으로 정확한 동작을 수행할 수 있도록 단순한 동작부터 훈련해야 한다. 이러한 단순화 작업은 정확한 동작의 빈도를 일정하게 증가시키며, 비정상적인 패턴으로 활동하는 비율을 낮추게 된다. 즉, 정확한 동작으로 활동하는 훈련을 반복적으로 시행함으로써, 중추신경계 내에 협조운동에 대한 엔그램을 형성시킬 수 있다. 이후 정확한 동작 수행이 지속되는 범위 내에서 반복 훈련

의 강도를 증가시켜, 환자가 정확한 동작을 수행할 수 있는 최적의 능력으로 향상시켜야 한다. 이러한 협조운동 훈련은 결과적으로 내재된 능력을 강화시키고, 심리적인 보상(reward) 효과도 있게 된다.

3) 균형 훈련(Balance training)

자동적인 자세 균형은 앞서 설명한 협조운동에 의해서 제공되므로, 보행과 같은 동작을 수행하기 전에, 먼저 중력에 대해 머리 및 신체의 안정된 자세가 형성되어야 한다. 즉, 균형장애 소견을 보이는 환자 들은 경사침대(tilt table) 및 prone stander 기구를 사용하여, 먼저 치료적 목적의 바로서기 훈련을 시행하고, 이후 안정된 자세가 형성되면 parallel bar 및 보행 보조도구인 walker 또는 cane 등을 이용하여, 기능적 목적의 동적(dynamic) 균형 훈련 및 보행 훈련을 시행하게 된다.

또한 기본적으로 하지 근력을 향상시키기 위한 근력 운동과 관절고유감각을 포함한 여러 감각기능을 향상시키기 위한 감각자극 훈련을 시행하여야 한다. 최근에는 EMG 및 force platform biofeedback을 통한 동적 균형 훈련을 시행할 수 있으며, 독립적인 보행이 불가능한 환자의 보행 훈련으로 부분 체중부하 트레드밀 및 로봇을 이용한 점진적 보행 치료도 가능한 상태이다.

4) 균형 훈련의 효과

뇌신경계 질환에서 균형 훈련의 효과에 대한 기존의 보고를 살펴보면, 급성기 뇌졸중 환자에서 전문적인 균형 훈련 프로그램 후 Berg balance scale (BBS) 등으로 평가된 균형 능력이 향상되었다고 보고된다.¹⁻⁵ 그러나, 대부분의 연구에서 기본 물리치료를 시행 받은 대조군도 모두 균형 능력이 향상되어, 두 군간의 비교에서 유의한 차이를 보이지 않았으므로, 이에 대한 해석에는 주의를 요한다.¹⁻⁴ 특히, 급성기인 경우 주 5회, 90분 이상으로 운동을 시행하는 것은 과하여 몸에 무리가 될 수 있다.¹ 만성기 뇌졸중 환자에서도 개별화된 균형 훈련 및 그룹치료 프로그램이 효과가 있으며,^{6,7} 치료를 받지 않는 경우 균형 능력이 악화될 수 있으므로, 지속적인 관리가 반드시 필요하다.⁷ 본 논문에서는 운동 프로그램의 종류에 따라 유산소 운동, 포괄적 균형 운동 및 감각자극 운동 등으로 나누어 균형 훈련의 효과를 아래와 같이 살펴보았다.

(1) 유산소 운동(Aerobic exercise)

Au-Yeung 등은 만성기 뇌졸중 환자에서 총 12주 동안 tai chi 운동을 시행하였을 때, 전후 및 좌우로 무게중심의 이동(shifting) 능력이 향상되었고, 이후 6주 동안 치료 효과가 지속되었다고 보고하였다.⁸ 그러나, Timed up and

go test로 평가된 기능적 이동(mobility) 능력은 대조군에 비해 유의한 차이를 보이지 않아, 상지 운동은 서기 균형 능력은 향상시키나, 보행 기능까지는 향상시키지 못하는 것으로 생각된다.

한편 Barbeau 및 Visintin은 아급성기 뇌졸중 환자에서 주 4회, 총 6주 동안 체중지지 하에 보행 훈련을 시행하였을 때, 중증 장애 및 65~85세의 노인 환자에서 균형 능력이 향상됨을 보고하였다.⁹ 즉, 보행 훈련을 시행하는 경우, 보행 기능 뿐만 아니라, 균형 능력도 같이 향상되는 소견을 보였다. 또한, Noh 등은 만성기 뇌졸중 환자에서 하루 1시간, 주 3회, 총 8주 동안 수중 치료(aquatic therapy)를 시행하였을 때, BBS 점수 및 무게중심 이동 능력과 하지 근력이 대조군에 비해 유의하게 향상되는 소견을 보고하였다.¹⁰

(2) 포괄적 재활운동(Comprehensive exercise)

아급성기 뇌졸중 환자에서 하루 90분, 총 12~14주 동안 치료사와 일대일로 포괄적인 재가(home-based) 재활운동 프로그램을 시행하였을 때, 대조군에 비해 BBS 점수가 유의하게 향상되었고, 이차 뇌졸중 발생률도 감소하였다.¹¹ 그러나, 급성기 뇌졸중 환자에서는 기본적인 자가(self-initiative) 운동만으로도 집중적인 재활치료를 받은 경우와 유사한 효과가 있었고,¹² 만성기 뇌졸중 환자에서는 상지 운동 프로그램만 시행한 대조군과도 유사한 소견을 보여, 뇌졸중 후 초기 치료가 더 중요한 요소로 생각된다.¹³

(3) 감각자극 훈련(Multisensory training)

Marigold 등은 만성기 뇌졸중 환자에서 여러 종류의 감각자극 프로그램을 통한 agility 운동을 시행하였을 때, step reaction time에서 유의하게 향상된 소견을 보여, 낙상 빈도를 줄일 수 있는 효과가 있다고 보고하였다.¹⁴ 그러나, 여러 연구에서 감각자극을 시행한 경우, BBS 점수로 평가된 균형 능력은 대조군에 비해 유의한 차이를 보이지 않았고,^{14,15} 기본 재활치료에 감각자극 훈련을 추가한 경우에도 상승 효과를 보이지 않아,¹⁶ 감각자극 훈련만으로는 균형 능력의 증진에 효과적이지 않은 것으로 판단된다.

5) 신경학적 음악치료(Neurologic Music Therapy)

신경계 질환 환자의 재활에 적용되는 여러 치료법 중 음악을 이용한 신경학적 음악치료는 신체, 언어, 인지 기능의 재활을 중심으로 이루어지는 음악치료 영역 내 특수 기법으로 음악에 대한 신체반응에 대한 과학적 연구를 바탕으로 개발되었다(Table 2).

이러한 신경계 환자의 균형 및 협조운동 기능을 향상시키려는 신체 재활을 위해 리듬청각자극(rhythmic auditory stimulation), 패턴화된 감각 증진(patterned sensory enhancement) 및 치료적 악기 연주(therapeutic instrument music performance)와 같은 세 가지 방법을 사용할 수 있다. 리듬청각자극 기법은 주로 보행 훈련을 위해 연구가 활발히 진행되었는데, 규칙적으로 제공되는 청각 자극이 뇌로 전달되어 움직임에 대한 단계별 근육 움직임의 준비 뿐만 아니라 효율적인 보행을 유도하는 기법이다.¹⁷ 또한 패턴화된 감각 증진 기법은 구체적인 리듬 패턴을 통해 일상생활에 필요한 기능적 운동을 다시 배우고 연습하는 목적으로 사용되며, 치료적 악기 연주는 악기를 이용한 상지 운동을 통해 기능적인 움직임을 유도하도록 개발되어 손가락의 협조운동의 향상을 위한 목적으로 활용된다.

(1) 리듬청각자극(Rhythmic Auditory Stimulation; RAS)

리듬청각자극은 음악적 요소인 리듬이 신체의 움직임에 영향을 줄 수 있는 특성을 이용하여, 보행 훈련에 사용하는 신경학적 음악치료법 중 하나이다. 규칙적으로 제공되는 청각자극인 리듬은 환자에 따라 개별적으로 적용하여 보행속도, 분속수(cadence) 및 패턴 등을 일정하게 유도함으로써 최대한 효율적으로 보행할 수 있도록 한다.¹⁷⁻¹⁹ Thaut 등은 반복적인 외부 청각자극이 내부 신경계에 영향을 주어, 청각자극과 근육의 움직임이 동조화(entrainment)되고 신체의 움직임을 보다 효율적으로 조절할 수 있다고 제안하였다.^{20,21} 즉, 근육운동을 조절하는 추체외로계인 망상척수로(reticulospinal tract)를 자극하여, 대뇌 피질을 통과하지 않고 피질하 영역에서 정보가 처리되어

Table 2. Classification of Neurologic Music Therapy

Classification	Detailed items
Sensorimotor training	Rhythmic auditory stimulation (RAS) Patterned sensory enhancement (PSE) Therapeutic instrumental music performance (TIMP)
Speech and language training	Melody intonation therapy (MIT)
Cognitive and psychological training	Attention training Memory training Psychosocial behavior training

결론

무의식적으로 신체의 움직임을 유도하는 것으로 추정된다.²² 이러한 이론은 신경학적 손상에 의해 내부의 리듬 신호가 정상적으로 이루어지지 않을 때, 외부 청각자극을 제공하여 신체의 움직임이 원활해 진다는 근거를 제시하였고 뇌졸중,^{21,23} 외상성 뇌손상,^{19,24} 파킨슨병,^{23,25} 뇌성마비^{26,27} 등의 중추신경계 질환에서 보행 개선에 효과적인 것으로 보고되었다. 특히, 김 등은 뇌성마비 성인에서 리듬청각자극을 통한 보행 훈련을 시행하였을 때, 비정상적인 골반 전방경사 및 고관절 굴곡 패턴이 특징적으로 감소되는 소견을 보고하였다.^{26,27}

(2) 패턴화된 감각 증진(Patterned Sensory Enhancement; PSE)

패턴화된 감각 증진 기법은 간단한 리듬 패턴 뿐만 아니라 구체적이고 기능적인 리듬 패턴을 이용하여 일상생활에 필요한 기능적 운동을 다시 배우고 연습하는 치료법이다. 예를 들면, 팔을 뻗어서 물체를 잡는 동작을 위하여, 팔을 뻗을 때의 리듬, 손을 펴는 리듬, 물체를 잡을 때의 리듬과 같은 세 가지의 리듬 패턴을 통해 훈련할 수 있다. 즉, 음악적 요소인 리듬, 멜로디, 하모니 등을 통해 일상생활에 필요한 기능적 운동과 활동에 필요한 시간 및 공간적 신호와 힘의 신호를 제공하여, 팔과 손의 움직임, 웃입기, 앉았다 일어나는 동작 등을 훈련할 수 있다.

(3) 치료적 악기 연주(Therapeutic Instrumental Music Performance; TIMP)

치료적 악기 연주는 건반악기 또는 타악기를 사용하여 상지의 기능적인 움직임 패턴을 향상시키려고 개발된 치료법이다. 악기의 선택, 연주방법의 응용, 연주자세의 변형 등을 통해 손가락의 민첩성, 독립적인 움직임의 증진, 협응력 증진, 손가락의 움직임 범위 확장, 악력 및 근력의 향상을 위한 목적으로 활용된다. 최근에는 건반 연주를 통한 손가락 기능의 향상을 확인하고자 MIDI (Musical Instrument Digital Interface)라는 컴퓨터 소프트웨어를 키보드에 연결하여 건반을 누르는 강도와 연주 템포를 측정하여 효율적인 재활 프로그램으로서 활용이 가능하다. 치료적 악기 연주에 관련된 연구는 주로 뇌졸중 환자를 대상으로 이루어지고 있으며 수지 악력, 기민성 등의 상지 기능 향상에 대한 긍정적인 결과를 나타냈다.²⁸⁻³⁰ 또한 외상성 뇌손상, 뇌출혈, 뇌종양 등의 다양한 뇌손상 환자에서도 상지 치료를 통해 손가락 움직임의 속도 및 건반 누르는 강도가 증가하고, 수지 기능 검사 결과가 향상되는 소견을 보였다.³¹

본 논문에서는 신경근육 협조운동에 대한 개념을 살펴 보았고, 협조운동 훈련 및 균형 훈련 치료법을 확인하였다. 또한, 뇌신경계 질환 환자에서 균형 훈련의 효과에 대한 기존 보고를 살펴보고, 균형 및 협조운동을 강화시키는 치료법인 신경학적 음악치료를 소개하였다. 이러한 신경학적 음악치료 중에서 운동 및 감각기능을 향상시킬 수 있는 방법으로 리듬청각자극, 패턴화된 감각 증진 및 치료적 악기 연주가 있으며, 특히 리듬청각자극 및 치료적 악기 연주는 각각 보행 및 수지 기능을 향상시킬 수 있으므로, 신경학적 재활치료의 하나로 고려해 볼 수 있다고 사료된다.

참고 문헌

- 1) Allison R, Dennett R. Pilot randomized controlled trial to assess the impact of additional supported standing practice on functional ability post stroke. *Clin Rehabil.* 2007;21:614-619
- 2) Pyoria O, Talvitie U, Nyrkk H, Kautiainen H, Pohjolainen T, Kasper V. The effect of two physiotherapy approaches on physical and cognitive functions and independent coping at home in stroke rehabilitation. A preliminary follow-up study. *Dis Rehabil.* 2007;29:503-511
- 3) Langhammer B, Stanghelle JK, Lindmark B. Exercise and health-related quality of life during the first year following acute stroke. A randomized controlled trial. *Brain Inj.* 2008; 22:135-145
- 4) Hidler J, Nichols D, Pelliccio M, et al. Multicenter randomized clinical trial evaluating the effectiveness of the Lokomat in subacute stroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 2009;23: 5-13
- 5) Chan DY, Chan CC, Au DK. Motor relearning programme for stroke patients: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2006;20:191-200
- 6) Fritz SL, Pittman AL, Robinson AC, Orton SC, Rivers ED. An intense intervention for improving gait, balance, and mobility for individuals with chronic stroke: a pilot study. *J Neurol Phys Ther.* 2007;31:71-76
- 7) Stuart M, Benvenuti F, Macko R, et al. Community-based adaptive physical activity program for chronic stroke: feasibility, safety, and efficacy of the Empoli model. *Neurorehabil Neural Repair.* 2009;23:726-734
- 8) Au-Yeung S, Hui-Chan C, Tang J. Short-form tai chi improves standing balance of people with chronic stroke. *Neurorehabil Neural Repair.* 2009;23:515-522
- 9) Barbeau H, Visintin M. Optimal outcomes obtained with body-weight support combined with treadmill training in stroke subjects. *Arch Phys Med Rehabil.* 2003;84:1458-1465
- 10) Noh DK, Lim JY, Shin HI, Paik NJ. The effect of aquatic

- therapy on postural balance and muscle strength in stroke survivors-A randomized controlled pilot trial. *Clin Rehabil.* 2008;22:966-976
- 11) Duncan PW, Studenski S, Richards L, Gollub S, Lai SM, Reker D, Johnson D. Randomized clinical trial of therapeutic exercise in subacute stroke. *Stroke.* 2003;34:2173-2180
- 12) Langhammer B, Stanghelle JK, Lindmark B. An evaluation of two different exercise regimes during the first year following stroke: a randomised controlled trial. *Physiother Theory Pract.* 2009;25:55-68
- 13) Pang MY, Eng JJ, Dawson AS, McKay HA, Harris JE. A community-based fitness and mobility exercise program for older adults with chronic stroke: a randomized, controlled trial. *J Am Geriatr Soc.* 2005;53:1667-1674
- 14) Marigold DS, Eng JJ, Dawson AS, Inglis JT, Harris JE, Gylfadottir S. Exercise leads to faster postural reflexes, improved balance and mobility, and fewer falls in older persons with chronic stroke. *J Am Geriatr Soc.* 2005;53: 416-423
- 15) Yelnik AP, Le Breton F, Colle FM, Bonan IV, Hugeron C, Egal V, Vicaut E. Rehabilitation of balance after stroke with multisensorial training: a single-blind randomized controlled study. *Neurorehabil Neural Repair.* 2008;22:468-476
- 16) Bayouk JF, Boucher JP, Leroux A. Balance training following stroke: Effects of task-oriented exercises with and without altered sensory input. *Int J Rehabil Res.* 2006;29:51-59
- 17) Thaut MH, Abiru M. Rhythmic auditory stimulation in rehabilitation of movement disorders: a review of current research. *Music Percept.* 2010;27:263-269
- 18) Kwak EE, Cho SR. Gait training and rhythm: a review of rhythmic auditory stimulation. *Vascul Neurol.* 2010;2:4-6
- 19) Kim SJ, Kwak EE, Park ES, Cho SR. Therapeutic effects of gait training with rhythmic auditory stimulation in traumatic brain injury. *Vascul Neurol.* 2010;2:37-41
- 20) Thaut MH, Miller RA, Schauer LM. Multiple synchronization strategies in rhythmic sensorimotor task: phase vs period corrections. *Biol Cybern.* 1998;79:241-250
- 21) Thaut MH, Leins AK, Rice RR, Argstatter H, Kenyon GP, McIntosh GC. Rhythmic auditory stimulation improves gait more than NDT/Bobath training in near-ambulatory patients early poststroke: a single-blind, randomized trial. *Neurorehabil Neural Repair.* 2007;21:455-459
- 22) Rossignol S, Melvill-Jones G. Audio-spinal influence in man studied by the H-reflex and its possible role on rhythmic movements synchronized to sound. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol.* 1976;41:83-92
- 23) McIntosh GC, Thaut MH, Rice RR. Rhythmic auditory stimulation as entrainment and therapy technique in gait of stroke and parkinson's disease patients. *Music Med.* 1996; 2:145-152
- 24) Hurt CP, Rice RR, McIntosh GC, Thaut MH. Rhythmic auditory stimulation in gait training for patients with traumatic brain injury. *J Music Ther.* 1998;35:228-241
- 25) Hausdorff JM, Lowenthal J, Herman T, Gruendlinger L, Peretz C, Giladi N. Rhythmic auditory stimulation modulates gait variability in Parkinson's disease. *Eur J Neurosci.* 2007; 26:2369-2375
- 26) Kim SJ, Kwak EM, Park ES, Lee DS, Kim KJ, Song JE, Cho SR. Changes in gait patterns with rhythmic auditory stimulation in adults with cerebral palsy. *NeuroRehabil.* 2011;29:233-241
- 27) Kim SJ, Kwak EE, Park ES, Cho SR. Differential effects of rhythmic auditory stimulation and neurodevelopmental treatment/Bobath on gait patterns in adults with cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Clin Rehabil.* 2012;26: 904-914
- 28) Schneider S, Schonle PW, Altenmuller E, Munte, TF. Using musical instruments to improve motor skill recovery following a stroke. *J Neurol.* 2007;254:1339-1346
- 29) Schneider S, Munte T, Sailer M, Altenmuller E. Music-supported training is more efficient than functional motor training for recovery of fine motor skills in stroke patients. *Music Percept.* 2010;27:271-280
- 30) Yoo JH. The role of therapeutic instrumental music performance in hemiparetic arm rehabilitation. *Music Ther Perspect.* 2009;27:16-24
- 31) Chong HJ, Cho SR, Kim SJ. Hand rehabilitation using MIDI keyboard playing in adolescents with brain damage. *Neuro-Rehabil.* 2013 in press