

Exploring the Use of Melody During RAS Gait Training for Adolescents with Traumatic Brain Injury: A Case Study

Park, Hye Ji*

The purpose of this study was to examine the effects of rhythmic auditory stimulation (RAS) on gait parameters, with and without the presence of a melody, for adolescents with traumatic brain injury (TBI). Three adolescents with TBI received a total of ten individual RAS training sessions. At pre and posttest, spatiotemporal parameters including cadence, velocity and kinematic parameters were measured using the VICON 370 Motion Analysis System. The results showed no significant difference in gait velocity between the two conditions, thus the presence of the melody condition did not impact the outcome of RAS gait training. On the other hand, all participants showed improvement in gait function after RAS training. The cadence, velocity, stride length, and symmetry were increased and the stride time was reduced after training. The motion analysis demonstrated that the movement patterns of hip and knee joints improved, as they were more similar to normal gait, which indicates that the walkings tance became more stable. The research findings indicate that rhythm is the primary factor in mediating gait functions via RAS training. This study also supports that RAS training can effectively improve the gait function for adolescents with TBI.

Keywords : *rhythmic auditory stimulation, melody, traumatic brain injury, adolescents*

* Researcher, Yonsei University Severance Hospital Department of Rehabilitation Medicine.
(bellamusic@naver.com)

외상성 뇌손상 청소년 대상 리듬청각자극(RAS) 보행 훈련 시 선율 적용 사례

박혜지*

본 연구는 외상성 뇌손상 청소년을 대상으로 리듬청각자극(RAS) 적용 시 선율의 유무에 따른 보행 훈련 효과를 비교하고, 보행인자의 변화를 알아보고자 시행하였다. 이를 위해 3명의 외상성 뇌손상 청소년을 대상으로 사전·사후 평가를 제외한 총 8회의 보행훈련을 진행하였다. 회기별 중재 시 선율 유무에 따른 보행 속도 차이를 비교하였고, 훈련 효과에 따른 시공간적 지표 및 운동 형상학적 지표 변화 비교를 위해 VICON 370 Motion Analysis System을 사용하여 보행 지표를 측정하였다. 연구 결과 RAS 보행 훈련 시 제공한 음악 자극 형태에 따라 보행 속도에 미치는 유의미한 영향이 없으므로, 선율의 사용 유무는 보행 훈련 효과와 직접적인 관련이 없음을 알 수 있었다. 또한 사전사후 검사 결과, RAS 보행 훈련 후 분속수, 보행 속도, 활보장, 활보장 시간, 보행 대칭성이 공통적으로 개선되었으며, 대상자 모두 공통적으로 고관절 및 슬관절의 움직임에서 필요 이상의 과도한 굴곡이나 신전이 감소함에 따라 양측의 비대칭성 감소 및 움직임의 안정성이 증가한 모습을 보였다. 리듬 적용과 리듬 자극에 선율을 반영한 음악 자극 적용에 따른 보행 속도 간 차이를 비교한 본 연구 결과는 운동기능을 위한 RAS 적용 시, 일정한 간격의 리듬 자극에 의한 리듬-운동 동조화가 핵심 기제로 작용함을 시사한다. 또한, 본 연구는 외상성 뇌손상 청소년을 대상으로 RAS 보행 훈련을 통한 보행 기능뿐만 아니라 보행 패턴의 개선을 살펴본 것에 의의가 있다.

핵심어 : 리듬청각자극, 선율, 외상성 뇌손상, 청소년

* 연세대학교 세브란스병원 재활의학과 연구원, 음악중재전문가(KCMT) (bellamusica@naver.com)

I. 서 론

외상성 뇌손상은 퇴행성이나 선천적 원인이 아닌 외부의 물리적인 힘에 의해 발생하는 뇌손상으로 인해 발생되며, 여러 가지 운동 기능의 손상에 따라 비정상적인 자세, 적절한 체중 이동의 어려움, 일정하지 않은 보폭, 대칭성의 저하, 느린 보행 속도 등의 병적 보행 패턴이 나타난다 (Abelson-Mitchell & Watkins, 2006; Ashley, 2010). 특히 비정상적인 근 긴장도로 인한 불균형, 균형 능력의 상실, 보행 실조는 손상의 회복 후에도 지속되는 경우가 많아 독립적인 일상생활 과제 수행의 저하 및 작업 손실로 이어지므로 이를 위해서는 반드시 적절한 수준의 보행 훈련이 요구된다 (Walter, Angelle, Margaret & Karen, 2005; Williams, Morris, Schache, & McCrory, 2009).

보행 훈련에 사용되는 치료 전략 중 하나인 리듬청각자극(Rhythmic Auditory Stimulation, 이하 RAS)은 다양한 신경학적 손상 환자의 보행 기능 향상에 효과적으로 적용될 수 있음이 반복적으로 보고되어 왔다. 규칙적인 간격의 박을 반복적으로 제공하는 RAS는 망상 척수로(reticular-spinal tracts)를 통해 보행을 시작하는 내림 신호를 직접 하위 운동신경원으로 전달하는 경로를 만듦으로써(Paltsev & Elner, 1967; Rossignol & Jones, 1976), 신경학적 손상의 제한 없이 보행을 실행시키고 보행 속도를 조절하게 된다(Yeo, 2013). 결과적으로 움직임에 동조화(entrainment)를 이끌고 보행주기에 따른 순차적인 움직임을 보조함으로써, 효율적인 보행패턴을 유도하는 것으로 보고되었다(Rossignol & Jones, 1976; Thaut, 2005). RAS는 선행 연구를 통해 뇌졸중, 파킨슨 병, 헌팅턴 병 등 다양한 신경학적 손상으로 인한 보행 장애 환자의 보행 기능 개선을 목적으로 사용되어 그 효과가 지속적으로 제시되었으며(Thaut, 2005), 외상성 뇌손상 환자에게도 RAS 보행 훈련이 효과적으로 적용될 수 있음이 보고되었다(Hurt, Rice, McIntosh, & Thaut, 1998; Kenyon & Thaut, 2000; Kim, Kwak, Oh, & Cho, 2010).

RAS 보행 훈련 시 사용되는 청각자극은 분속수와 같은 보행 매개변수들의 신호를 포함하며, 주로 메트로놈 비트(beat)나 강한 강세가 붙는 음악적 패턴의 박으로 제시되는 2/4 혹은 4/4박자의 리듬을 사용한다(Thaut, 2005). 선행연구를 살펴보면 메트로놈 비트만 사용한 리듬 자극이 RAS 훈련의 주를 이루는데(Hausdorff et al., 2007; Howe, Lövgreen, Cody, Ashton, & Oldham, 2003; Kadivar, Corcos, Foto, & Hondzinski, 2011; Thaut, Miltner, Lange, Hurt, & Hoemberg, 1999; Thaut et al., 2007), 이는 메트로놈 비트가 보행 주기에 맞춰 통제된 청각자극을 제공하기가 용이하다는 장점 때문이다. 반면 메트로놈 비트는 단지 신호음의 기능에 한정될 수 있다는 점을 보완해, 음악의 요소 중 화성을 추가하여 행진곡, 또는 포크(folk), 클래식(classic), 재즈(jazz), 컨트리(country) 스타일의 음악이 제공되기도 하였다(Kim, 2008; Thaut, McIntosh, & Rice, 1997; Thaut et al., 1996). 보다 최근에는 10대 청소년을 대상으로 RAS 훈련 제공 시, 분속수와 원곡의 템포가 비슷한 곡을 선택해 기존 곡의 선율을 4박 계열로 조정된 음악사용이 시도되었다(Kim, Cho, Oh, & Kwak, 2010; Kwak, 2007).

이러한 음악적용 양상의 변화는 다양한 음악 자극의 사용이 보행개선의 직접적인 효과 외에도 재활 참여에 대한 동기를 유발하고 지속할 수 있다는 점을 반영한 결과라 할 수 있다. 운동 훈련에서 기존 곡의 선율이 포함된 음악 자극을 적용한 관련 연구들을 보면, 벤치 스텝핑 운동(bench stepping exercise) 시 메트로놈 자극, 에어로빅 댄스 음악과 일본 전통 음악을 사용하였을 때, 메트로놈 자극보다 에어로빅 음악과 일본 전통 음악 제공 시 운동으로 인한 피로감을 적게 느꼈으며, 에어로빅 댄스 음악을 사용했을 때 메트로놈 자극 조건보다 활기찬 기분을 느끼는 것으로 나타났다(Hayakawa, Miki, Takada, & Tanaka, 2000). 또한, 선율이 포함된 음악을 들으며 운동할 때에 사람들이 신체적인 불편감이나 피로감을 지각하는 수준이 낮아짐으로 인해 운동 강도가 증가함이 보고되었으며(Foster & Pocari, 2010), 조깅 또는 걷기를 할 때에 음악이 피로감에 의한 스트레스를 감소시키고(Yamashita, Iwai, Akimoto, Sugawara, & Kono, 2006), 음악을 유쾌한 자극으로 지각해 지루함이 감소한다는 결과가 보고되었다(Marteniuk, 1976).

청소년 뇌손상 환자의 경우, 재활 훈련에의 참여 동기와 치료 지시 이행이 재활 효과에 있어 중요한 요인임이 선행 연구를 통해 나타났다(Keith et al., 1997; KyngÅs, Kroll, & Duffy, 2000; KyngÅs & Rissanen, 2001). 청소년기에 발생하는 신체적 손상은 신체 기능과 관련된 저하나 장애뿐만 아니라 해당 시기에 나타나는 불안정한 심리 정서적 변화와 맞물려 이차적인 심리정서적 문제를 유발하는데, 특히 손상에 대한 지각으로 인한 낙담, 우울증, 불안, 신체적 불평 등 많은 스트레스는 재활동기 저하 및 재활훈련에의 참여 거부 등으로 이어져 치료에 부정적인 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Kim et al., 2009). 이로 인하여 재활 훈련에서 뇌손상 환자의 재활 동기 증진을 위해 가상현실 게임과 같은 다양한 매체의 사용이 증가하고 있다(Flynn, Palma, & Bender, 2007; Rand, Kizony, & Weiss, 2008). 청소년 환자를 위한 보행 훈련에 있어서도 이러한 동기적인 측면을 고려하는 것이 중요하다고 할 수 있다. 하지만 현재까지는 이러한 재활 동기와 관련하여 음악적 요소의 수준에 따른 차이를 연구한 선행 문헌이 상대적으로 미비한 편이다. 따라서 본 연구에서는 음악적 영향을 고려해 RAS 적용 시 선율의 사용 유무가 외상성 뇌손상 청소년 대상 보행 훈련 효과에 영향을 미치는지에 대해 살펴보고, RAS 훈련에 따른 보행의 시공간적 지표와 운동 형상학적 지표 변화를 알아보고자 한다. 본 연구의 목적을 위한 연구 문제는 다음과 같다.

1. 리듬청각자극 적용 시 선율의 유무에 따라 외상성 뇌손상 청소년의 보행속도에 유의미한 차이가 있는가?
2. 리듬청각자극 보행훈련이 외상성 뇌손상 청소년의 시공간적 지표(spatiotemporal parameter)에 어떠한 변화를 나타내는가?
3. 리듬청각자극 보행훈련이 외상성 뇌손상 청소년의 운동 형상학적 지표(kinematic parameter)에 어떠한 변화를 나타내는가?

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 2013년 4월 1일부터 9월 30일까지 서울 소재 재활의학과에서 외상성 뇌손상 청소년 입원 환자를 대상으로 실시되었다. 시력, 청력 이상으로 인하여 일상생활 과제 수행에 어려움이 있거나 10m 이상의 독립 보행이 가능하지 않은 자는 대상자에서 제외하였다. 연구 관련 절차는 기관 내 IRB(No. 4-2012-0483) 승인을 받았고, 모든 참여자와 참여자의 보호자는 연구 참여에 자발적으로 서면 동의하였다. 총 3명의 대상자가 본 연구에 참여하였고, 본 연구에 참가한 대상자들은 모두 household ambulators로 실내에서 비교적 제한된 거리를 독립적으로 보행할 수 있는 수준이다. 참여 대상자의 기본 정보는 <Table 1>과 같다.

<Table 1> Demographics of Participants

Parti- pants	Gender	Age (years)	Duration of onset (month)	Diagnosis	Ambulatory status
A	M	10	7	Quadriplegia d/t contusional hemorrhage, both F, ICH Rt BG, SAH, DAI	Household
B	F	14	7	Quadriplegia d/t TBI, Lt. midbrain, cerebellar hemorrhage	Household
C	M	16	13	Quadriplegia d/t Traumatic SAH	Household

Notes. ICH = Intracerebral Hemorrhage; BG = Basal Ganglia; SAH = Subarachnoid Hemorrhage; DAI = Diffuse Axonal Injury.

2. 연구 도구

1) VICON 370 Motion Analysis System

보행의 시공간적 지표와 운동 형상학적 지표 측정을 위해 VICON 370 Motion Analysis System(Oxford Metrics Inc., Oxford U. K.)을 사용하였다. 측정 시 천골, 좌우측 고관절, 좌우측 대퇴, 좌우측 슬관절, 좌우측 경골부, 좌우측 족관절, 좌우측 전족부와 후족부에 16개의 마커들을 부착하고, 6대의 적외선 카메라가 부착된 마커에서 반사되는 것을 포착하며, 이에 연결된 컴퓨터가 각 마커의 좌표를 계속적으로 산출한다.

2) 키보드 및 메트로놈

RAS 자극 제공을 위해 전자키보드(DGX-230, Yamaha Electronics Co., Japan)가 사용되었다. 전자키보드에 내장되어 있는 메트로놈(metronome)은 측정된 대상자의 분속수에 따라 그 템포를 조정하여 음악 자극과 함께 일정한 박을 제공하도록 사용되었다.

3) 초시계

초시계(ZH3000, Star Electronics Co., China)는 훈련 기간 동안 환자의 분속수 측정 및 보행 시간 등을 측정하기 위해 사용되었다.

3. 연구 절차

1) 사전·사후 평가

본 연구에서는 훈련 시작 전후로 2일 이내에 사전·사후평가를 실시하였다. 마커(marker) 부착은 오차를 줄이기 위해 한 명의 보행분석 전문가에 의해 이루어졌고, 환자의 골반 뼈를 기준으로 부착 위치가 확인되었다. 각 환자는 사전·사후 평가 시 보행 분석을 위해 적외선 카메라들이 인식할 수 있는 총 16개의 마커들을 부착한 상태로 보행 과제를 수행하였다. 사전에 표시된 가속 구간 1m와 감속구간 1m, 측정구간 8m를 고려하여 총 10m를 편안한 속도로 걸은 후, 보행자의 시공간적 지표와 운동 형상학적 지표가 측정되었다.

2) RAS 보행 훈련

RAS 보행훈련은 1회기 총 30분으로, 주 3회씩 총 8회 진행하였다. 훈련은 실내화 착용 상태에서 이루어졌으며, 처음에는 환자의 현 분속수를 측정하기 위해 8m 직선 구간을 보행하였다. 이후 환자의 분속 수에 맞춘 템포로 제공되는 음악 자극을 들으며 직선과 회전이 포함된 20m의 보행구간을 반복적으로 보행하였다. 매회기 훈련 후에는 8m의 직선 구간을 다시 보행하게 하여 RAS 소거 시 보행을 확인하고, 분속수를 지속적으로 측정하였다. 보행 시 제공된 음악 자극은 선율을 제외한 리듬 자극과 선율 음악의 선율을 포함한 리듬 자극을 사용하였으며 무작위 순서로 제공하였다.

3) 사용 음악

보행훈련 시 사용된 음악은 리듬 자극과 선율을 포함한 리듬자극의 두 가지 조건으로 제시되었다. 리듬 자극 조건으로 주3화음 코드 진행의 4/4박자로 구성된 곡을 사용하였고, 선율을 포함

한 리듬 자극으로 환자의 선호 음악 선율과 코드를 사용하여 4/4박자로 재구성하였다. 사용된 선호 음악에서는 사전 평가 전 환자에게 조사한 선호 음악을 바탕으로 원곡의 템포가 분속수와 유사한 곡을 선택하였다. 선호 음악 재구성 시 화성학 이론에 근거하여 선율의 특징과 코드 진행이 유지되도록 하였고, 전문가 2인의 검증을 통해 이를 확인하였다. 선율이 포함된 리듬 자극의 사용된 예는 다음과 같다(〈Figure 1〉 참조).

The figure displays two musical staves. The top staff is a single melodic line in G major, 4/4 time, with lyrics in Korean: "Tell me tell me 어 서 말 을 해 줘 내 가 니 여 자 라 고 oh ho ney". Above the staff, chord symbols G, D, Em, and C are placed over the first four measures. The bottom staff is a piano accompaniment in G major, 4/4 time, consisting of a steady bass line and a treble line with chords.

〈Figure 1〉 Notation of participant's preferred music('Tell me'):
Original melody and its RAS chord progression

4. 자료 분석

선율을 제외한 리듬 자극과 선율을 포함한 리듬 자극 간 보행 속도 변화 비교를 위해 각 회기 별로 중재 시 자극 조건에 따라 측정된 보행 속도를 Mann-Whitney U 검정을 사용하여 분석하였다. 또한, 사전·사후 시 RAS 보행 훈련 효과를 살펴보기 위해 VICON 370 Motion Analysis System을 사용하여 시공간적 지표와 운동 형상학적 지표를 분석하였다. 시공간적 지표는 사전·사후의 변화를 백분율로 나타내었고, 운동 형상학적 지표의 각 관절의 움직임은 각 대상자별로 사전·사후 시의 패턴 변화를 분석하였다.

III. 결 과

1. 선율 유무에 따른 대상자별 및 전체 대상자 평균 보행 속도 분석

보행 훈련 시 선율 유무에 따라 대상자별 및 전체 대상자 평균 보행속도 차이를 분석해 본 결과 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 대상자별 자극 조건에 따른 보행 속도 차이는 다음과 같다(〈Table 2〉 참조).

(Table 2) Difference of Velocity(m/s) for RAS With and Without Melody Conditions

Participants	RAS		RAS with melody		Z	p
	M	SD	M	SD		
A	48.67	4.54	49.32	5.42	-.26	.33
B	62.14	3.58	61.55	5.02	.23	.41
C	48.81	6.41	49.08	9.08	-.06	.47
Total mean	52.75	7.84	52.92	8.53	-.06	.47

a. Mann-Whitney U test

2. 대상자별 시공간적 지표 변화

보행의 시공간적 지표를 살펴보면 평균 총 8회기의 보행훈련 실시 후 대상자 모두 공통적으로 분속수, 보행속도, 활보장, 활보장 시간, 보행대칭성에 개선이 확인되었다. 대상자 B와 C는 모든 지표에서 개선된 결과가 나타났고, 대상자 A의 경우에 보장과 보장시간을 제외한 모든 지표에서 보행 지표의 향상이 나타났다.

1) 대상자 A

대상자 A의 경우 분속수(cadence), 보행 속도(walking speed), 활보장(stride length), 보행대칭성(symmetry), 좌측 보장(step length)이 증가하였다. 또한, 활보장 시간(stride time), 우측 보장 시간(step time)이 감소하였다(〈Table 3〉 참조).

(Table 3) Spatiotemporal Parameters of Participant A

Parameters		Pre	Post	Difference (%)	Improvement
Cadence (steps/min)	L	95.24	96.33	1.16	+
	R	88.89	95.24	7.09	+
Velocity (m/s)	L	0.62	0.78	25.81	+
	R	0.69	0.78	13.04	+
Step Length (m)	L	0.30	0.49	63.33	+
	R	0.61	0.49	-19.67	-
Step Time (s)	L	0.54	0.61	12.96	-
	R	0.81	0.65	-19.75	+
Stride Length (m)	L	0.78	0.97	24.36	+
	R	0.93	0.98	5.38	+
Stride Time (s)	L	1.26	1.25	-0.79	+
	R	1.35	1.26	-6.67	+
Symmetry		0.84	0.99	17.86	+

Notes. L= Left; R = Right.

2) 대상자 B

대상자 B의 경우 분속수, 보행 속도, 보장, 활보장, 보행 대칭성이 증가하였다. 또한, 보장 시간, 활보장 시간이 감소하였다(〈Table 4〉 참조).

(Table 4) Spatiotemporal Parameters of Participant B

Parameters		Pre	Post	Difference (%)	Improvement
Cadence (steps/min)	L	104.35	112.15	7.69	+
	R	107.14	117.65	10.28	+
Velocity (m/s)	L	0.86	1.10	27.91	+
	R	0.94	1.14	21.28	+
Step Length (m)	L	0.54	0.60	11.11	+
	R	0.52	0.56	7.69	+
Step Time (s)	L	0.60	0.52	-13.33	+
	R	0.52	0.50	- 3.85	+
Stride Length (m)	L	0.99	1.18	19.19	+
	R	1.05	1.16	10.48	+
Stride Time (s)	L	1.15	1.07	-6.96	+
	R	1.12	1.02	-8.93	+
Symmetry		0.94	0.98	4.26	+

Notes. L= Left; R = Right.

3) 대상자 C

대상자 C의 경우 분속수, 보행 속도, 보장, 활보장, 보행 대칭성이 증가하였다. 또한, 보장 시간, 활보장 시간이 감소하였다(〈Table 5〉 참조).

(Table 5) Spatiotemporal Parameters of Participant C

Parameters		Pre	Post	Difference (%)	Improvement
Cadence (steps/min)	L	104.55	144.58	38.10	+
	R	108.11	130.43	20.37	+
Velocity (m/s)	L	0.54	1.32	144.44	+
	R	0.51	1.16	127.45	+
Step Length (m)	L	0.33	0.57	72.73	+
	R	0.28	0.54	92.86	+
Step Time (s)	L	0.62	0.41	-33.87	+
	R	0.53	0.42	-20.75	+
Stride Length (m)	L	0.62	1.10	77.42	+
	R	0.56	1.07	91.07	+
Stride Time (s)	L	1.15	0.83	-27.83	+
	R	1.11	0.92	-17.12	+
Symmetry		0.90	0.97	7.78	+

Notes. L = Left; R = Right.

4. 대상자별 운동 형상학적 지표 중 시상면의 변화

운동 형상학적 지표 중 각 관절의 움직임 변화가 가장 두드러지며, 보행 시 대칭적 움직임을 보기 위해 시상 면을 분석하였다. 보행 주기에 따라 신체를 앞뒤로 움직이는 굴곡과 신전의 움직임 각도변화를 살펴본 결과 대상자 모두 공통적으로 고관절 및 슬관절의 움직임에서 필요 이상의 과도한 굴곡이나 신전이 감소하였으며, 이에 따라 양측의 비대칭성(asymmetry)이 감소한 모습을 보였다.

1) 골반 경사각

골반 경사각(pelvic tilt)의 정상범주는 10 ± 5 로, 대상자 A의 경우 좌측(Lt)의 초기 유각기(initial swing)에서 골반의 앞으로 기울어짐(anterior tilt)이 감소하였다. 이는 보행 시 신체 중력 중심을 전방으로 이동하기 위해 반사적으로 골반이 앞으로 기울어졌던 모습이 감소한 것으로 체간의 안정성이 증가한 것으로 나타났다. 또한, 양측 전방경사로 인해 좌측(Lt)과 우측(Rt)의 비대칭성이 크게 나타났으나 사후 평가 시 양측의 비대칭성이 감소되었다. 대상자 B, C는 사전평가와 사후평가 모두 정상범위로 나타났다.

2) 고관절각

고관절각(hip flexion/extension)의 정상범주는 43.2 ± 13.00 으로, 대상자 A의 경우 사전평가 시 좌측(Lt)의 중간 유각기(mid swing)에서 정상 범위를 넘은 족관절 저굴에 의해 과도한 굴곡(excess flexion)이 나타났으나, 사후 평가 시 과도한 굴곡 감소한 모습 보이며 이에 따라 과도한 족관절 저굴에 의해서 일어나기 쉬운 발가락 끝기가 감소하였다. 대상자 B의 경우에는 사전평가 시 우측(Rt)의 초기 닿기(initial contact)에서 신전의 경향을 보이나, 사후 평가 시 정상 범주에 해당하였다. 대상자 C의 경우에는 사전평가 시 양측 모두 발꿈치의 들어 올림 부족으로 인한 이차적 현상으로 중간 입각기(mid stance)에서 과도한 굴곡 나타났으나, 사후 평가 시 필요이상의 굴곡 감소하며 입각기에서 요구되는 고관절의 신전 움직임 증가한 모습 나타났다. 각 대상자의 고관절 움직임에 대한 운동형상학적 변화는 <Figure 2>와 같다.

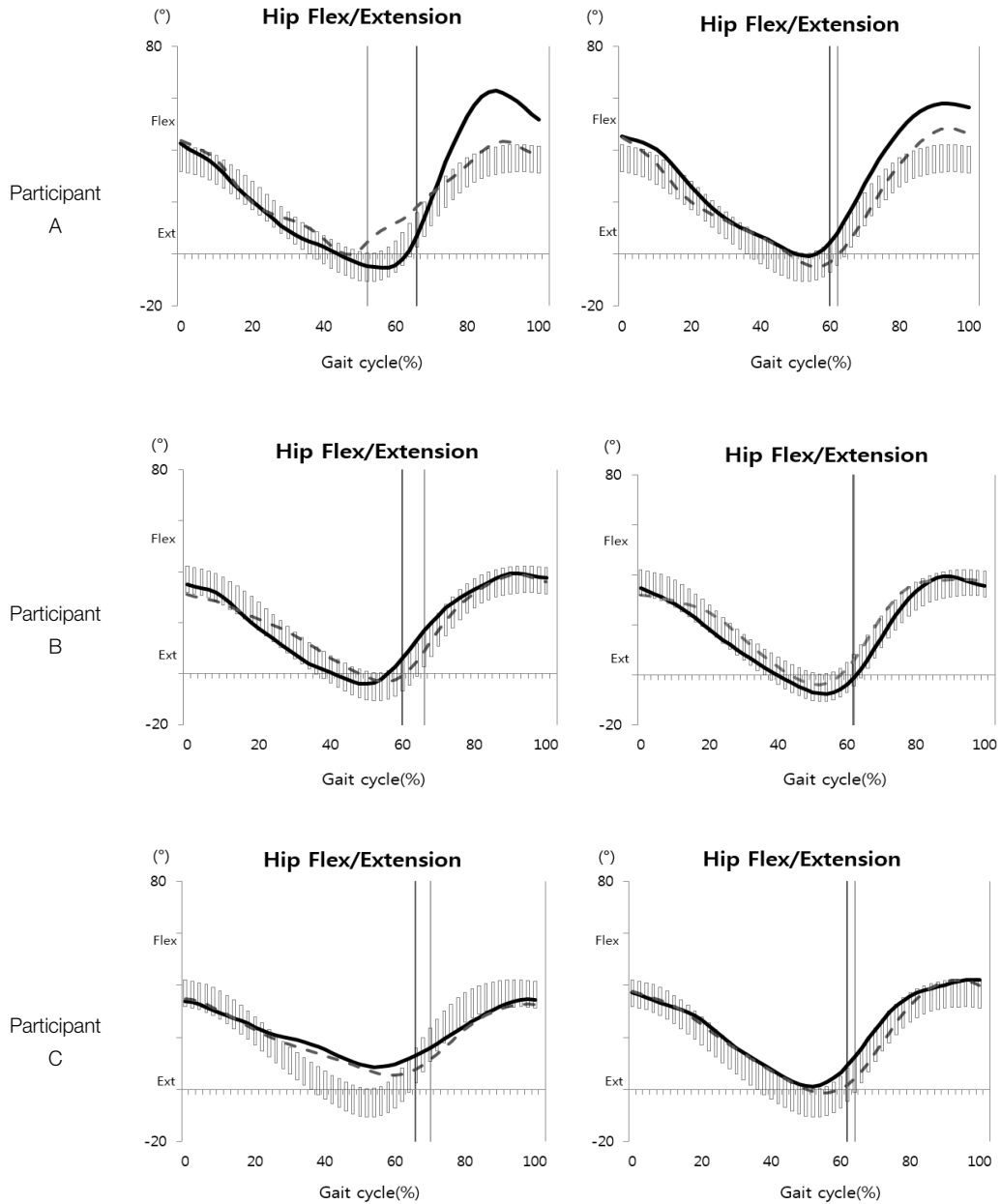
3) 슬관절각

슬관절각(knee flexion/extension)의 정상범주는 54.1 ± 4.70 으로 대상자 A의 경우 고관절각과 마찬가지로 좌측(Lt)의 중간 유각기에서 과도한 굴곡이 나타났다. 또한, 우측(Rt)의 초기 유각기에서 슬뒀근(hamstring)의 과긴장에 의한 대퇴의 전방 움직임 감소로 인해 굴곡 제한(limited flexion)이 나타났으며, 이로 인해 발이 적절하게 들어 올려 지지 않고 발이 바닥에 끌리는 움직임

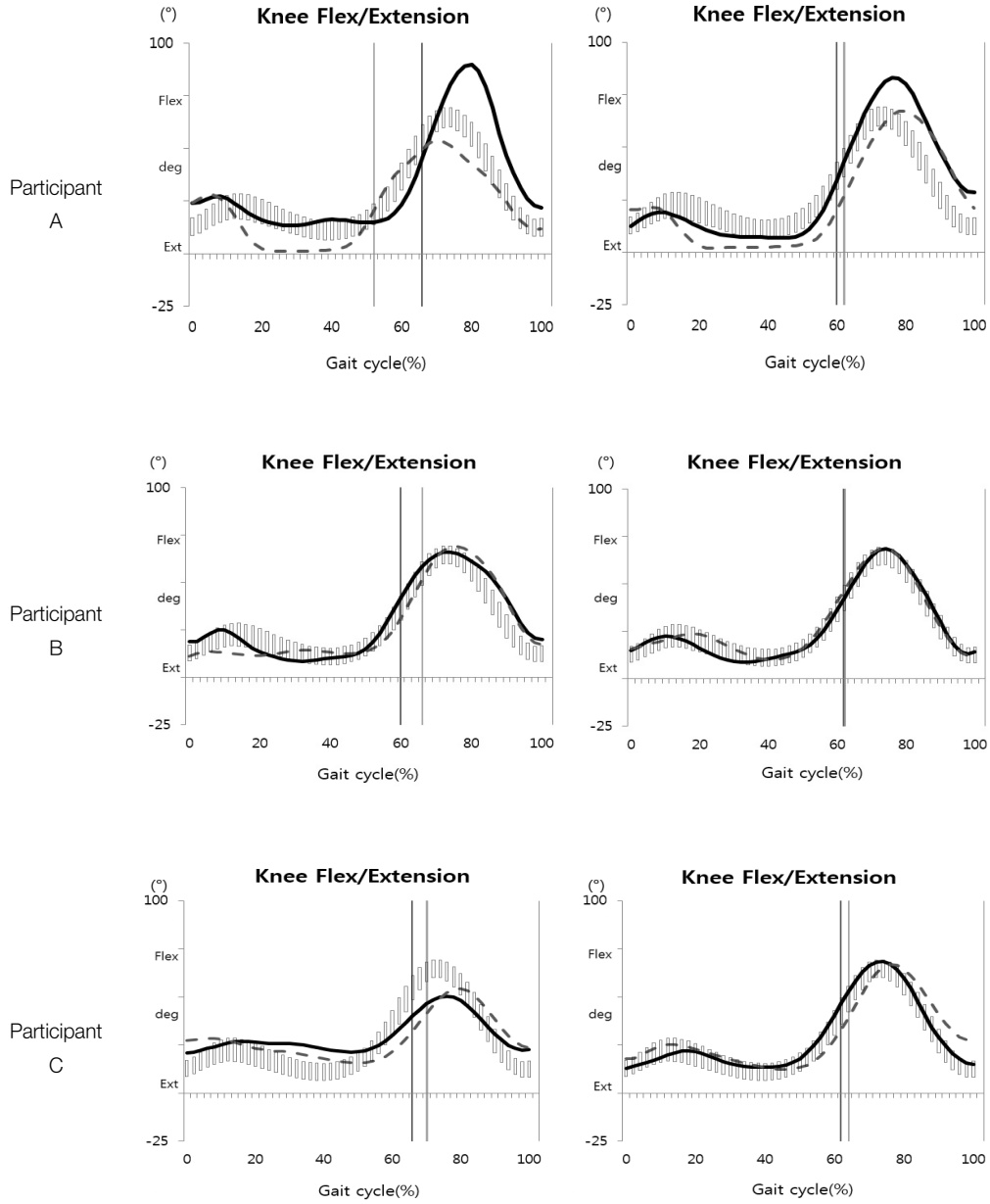
임(toe drag) 나타났다. 사후 평가 시에는 중간 유각기에서 좌측(Lt)에서 필요 이상의 과도한 굴곡 감소한 모습 보이며, 우측(Rt)에서는 굴곡 각도 증가함에 따라 양측의 비대칭성이 크게 감소하였다. 대상자 B의 경우 사전 평가 시 우측의 부하반응기(loading response)에서 굴곡 제한이 나타나 발바닥 전체에 의한 초기 닿기(foot-flat contact)가 나타나며, 양측의 유각기에서 정상 범위를 넘은 굴곡이 나타났다. 사후 평가 시에는 제한적이었던 굴곡 각도 증가 하였고, 유각기에서 양측의 필요 이상의 굴곡 각도 감소함에 따라 보폭(step) 증가한 모습 나타났다. 대상자 C는 슬관절각은 사전평가 시 입각기에서 양측 모두 고관절의 과도한 굴곡으로 인해 정상과 비교해서 큰 굴곡 각도 나타났으며, 초기 유각기 시에는 양측 모두 굴곡 제한이 나타났다. 사후 평가 시 양측 모두 입각기에서 필요 이상의 굴곡 각도 감소하고, 초기 유각기에서 굴곡 각도 증가함에 따라 움직임의 안정성 증가한 모습 관찰되었다. 전체 대상자의 슬관절 움직임에 대한 운동형상학적 변화는 <Figure 3>과 같다.

4) 족관절각

족관절각(ankle dorsiflexion/plantar flexion)의 정상범주는 28.9 ± 4.90 으로 대상자 A의 경우 입각기 시 양측에서 굴곡제한 나타나며, 유각기 시 우측(Rt)의 과도한 배굴(excess dorsiflexion)과 좌측(Lt)의 과도한 저굴(excess plantar flexion)로 인해 비대칭적 보행패턴이 크게 나타났다. 이후 사후 평가 시에는 유각기에서 우측(Rt)의 필요 이상의 배굴 각도 감소 및 우측의 저굴 각도 감소가 나타났으며, 양측의 비대칭성이 크게 감소하였다. 대상자 B와 C의 경우 족관절각은 사전 평가와 사후 평가에서 양측 모두 과도한 저굴이 나타나, 사후 평가 시 초기 유각기에서 정상적으로 요구되는 저굴 각도 증가함에 따라 움직임의 안정성이 증가하였다.



(Figure 2) Comparisons of kinematic patterns of hip flexion and extension between participants A, B and C at pre and posttest. Bold line: left side, Dotted line: right side.



〈Figure 3〉 Comparisons of kinematic patterns of knee flexion and extension between participants A, B and C at pre and post test, Bold line: left side, Dotted line: right side.

IV. 논의 및 결론

본 연구는 외상성 뇌손상 청소년을 대상으로 RAS 적용 시 선율의 유무에 따른 보행 훈련 효과를 비교하고, RAS 훈련 이후 보행의 시공간적 지표와 운동 형상학적 지표에 나타나는 변화를 알아보고자 하였다. 이를 위하여 무작위 순서로 제공된 리듬 자극, 선율을 포함한 리듬 자극 조건에서 보행이 이루어지는 동안의 보행속도를 비교 분석하였고, 보행 시 하지 동작 분석 결과를 통해 시공간적 지표와 운동 형상학적 지표의 사전·사후를 비교 분석하였다.

RAS 보행 훈련 시 선율적인 요소를 최소화한 리듬자극과 환자의 선호곡의 선율과 화성구조를 반영한 자극이 보행 훈련 효과에 미치는 영향에 유의한 차이가 없는 것으로 확인되었다. 선호 음악의 요소를 반영한 자극이 자발적 훈련 참여도 증가 또는 보행 지속 시간 증가를 통해 재활 동기에 긍정적 영향을 미친 것으로 사료되나, 즉각적인 보행 속도 차이에 있어서는 통계적으로 유의한 영향은 없는 것으로 나타났다. 본 결과를 통해 운동기능 향상을 위해 적용되는 RAS 매커니즘에 있어 음악자극의 속성에 따른 영향보다는 일정한 청각자극에 의한 운동과 리듬의 동조화가 우선적으로 작용함을 알 수 있다. 또한, RAS의 기본 매커니즘에서 리듬 동조화는 인식적인 작업 없이 일어날 수 있는 직접적, 동적, 감각적 결합에 기초를 두고 있음을 뒷받침한다(Thaut, 2005).

RAS 훈련 후 보행의 시공간적 지표 변화를 살펴보면, 평균 총 8회기의 보행훈련 실시 후 대상자 모두 공통적으로 분속수, 보행속도, 활보장, 활보장 시간, 보행대칭성에 개선이 확인되었다. 이는 외상성 뇌손상 환자를 대상으로 한 선행 연구에서 RAS 적용 후 보행의 시공간적 지표가 향상됨과 일치한 결과이다(Hurt, Rice, McIntosh, & Thaut, 1998; Kim et al., 2010). RAS 적용대상군인 신경학적 뇌손상 환자들의 보행기능 향상은 기존 문헌을 통해 확인되었으며(Howe et al., 2003; Lee, Lee, Ha, In, & Song, 2011; McIntosh, Brown, Rice, & Thaut, 1997; Thaut, McIntosh, & Rice, 1997; Thaut, McIntosh, Prassas, & Rice, 1993), 본 연구 역시 연령이 낮은 청소년에게 동일한 결과를 확인할 수 있었다. 또한, 운동 형상학적 지표 중 시상면을 통해 보행 주기에 따라 신체를 앞뒤로 움직이는 굴곡과 신전의 움직임 각도변화를 살펴본 결과 대상자 모두 공통적으로 고관절 및 슬관절의 움직임에서 필요 이상의 과도한 굴곡이나 신전이 감소함에 따라 양측의 비대칭성 감소 및 움직임의 안정성이 증가한 모습을 보였다. 골반 경사각에서도 대상자 A의 경우 골반의 앞으로 기울어짐이 감소한 모습 나타났으며, 대상자 B, C의 경우에는 사전·사후 평가 모두 정상 범주에 속하였다. 이러한 결과는 외상성 뇌손상 환자를 대상으로 보행훈련을 실시한 다른 연구에서 시상면의 골반 경사각, 고관절각, 슬관절각, 족관절각의 움직임의 변화의 결과를 뒷받침한다(Kim et al., 2010).

사전·사후 평가 시 관찰된 사항을 살펴보면, 대상자 모두 보행 시 불균형한 자세의 안전성이 확보되고, 팔 흔들림의 증가, 보행 대칭성이 증가함으로써 균형 능력이 개선됨이 관찰되었다. 대상

자 A는 사전 평가 시 보간격(step width)이 넓고 하지의 불안정한 움직임을 보상하려는 오른팔의 움직임이 과도한 편으로 직선 보행 시 균형 유지에 어려움이 관찰되었으나, 사후 평가 시 보간격이 감소하고, 비대칭적이었던 팔의 흔들림이 대칭적인 모습으로 나타났다. 대상자 B는 사전 평가 시 무게 중심 이동이 양측 간에 균형적으로 이루어지지 않고, 상체가 좌측으로 기울어진 상태로 보행이 이루어졌으며, 좌측 팔의 움직임이 적어 그를 보상하려는 우측 팔의 움직임이 과도한 편이 관찰되었으나 사후 평가 시 체간의 기울어짐이 펴지고 보행 대칭성이 증가함이 관찰되었다. 대상자 C는 사전 평가 시 이동을 위한 보행 외에는 걷기가 시도되지 않은 수준으로 지속적인 걷기 시 피로감을 호소하고, 무게 중심이 좌측으로 기울어져 균형 저하가 나타났으며, 보행 시 좌측 팔의 움직임이 거의 없음이 관찰되었으나 사후 평가 시 지속적인 걷기에서 피로감 호소가 나타나지 않고, 보행 시 우측과 대칭적인 좌측 팔의 흔들림이 나타남으로써 체간의 안정성이 확보되고 증가된 보행속도가 관찰되었다.

본 연구는 RAS 제공 시 선율 사용의 유무를 통한 치료 효과를 비교하려는 첫 시도이며, 외상성 뇌손상 청소년 환자를 대상으로 RAS 보행 훈련을 실시한 것에 의의가 있다. 본 연구의 결과를 토대로 일정한 간격의 리듬 자극에 의한 리듬-운동 동조화가 RAS 메커니즘에 있어 핵심 기제로 작용함을 시사하며, RAS 보행 훈련이 외상성 뇌손상 청소년 환자의 보행 패턴 및 균형 능력을 향상시키기 위한 치료법이 될 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구의 제한점은 RAS 보행 훈련 시 제공된 선율을 포함한 리듬 자극이 RAS 원리에 따라 4박 계열로 분화되어 음악 요소의 변화가 제한적이었다는 점이다. 이에 대상자들이 단순 코드 화음으로 진행된 RAS 자극과 선호 음악의 선율이 포함된 음악 자극의 차이를 분명하게 느끼지 못하였다. 음악 자극 복잡성의 난이도가 심리적 반응에 영향을 미침으로 추후 연구를 통해 부 화음 등의 복잡성이 증가된 청각 자극 수준과 친숙한 음악의 원곡을 배경음악으로 제시할 때에 각성(arousal)과 동기 유발로 인해 운동 지속 시간 및 강도 증가 등의 운동 기능에 미치는 긍정적인 영향을 기대해볼 수 있겠다. 또한, 본 연구에서 선호 음악 제시 시 지속적인 걷기에서 피로감 호소가 감소하거나 긍정적 정서 유발되며 자발적인 참여도 증가한 모습 관찰되나 이에 대한 객관화된 수치를 측정하지 못하였다. 따라서 훈련 시 재활 동기의 객관적인 변화를 확인하기 위해 재활 동기 척도 또는 훈련 특성에 맞게 재구성한 설문지를 작성하여 선호 음악이 재활 동기에 미치는 보다 직접적인 영향을 알아보는 것이 필요하겠다.

References

- Abelson-Mitchell, N., & Watkins, M. J. (2006). Rehabilitation after traumatic brain injury: A survey of clients' needs and service provision in one English region. *British Journal of Neuroscience Nursing, 2*(6), 295-304.
- Ashley, M. J. (2010). *Traumatic brain injury: Rehabilitation, treatment, and case management*. Boca Raton: CRC Press.
- Flynn, S., Palma, P., & Bender, A. (2007). Feasibility of using the Sony Playstation 2 gaming platform for an individual poststroke: A case report. *Journal of Neurologic Physical Therapy, 31*(4), 180-189.
- Foster, C., & Pocari, J. (2010). ACE-sponsored research: Exploring the effects of music on exercise intensity. *Sign, 888*, 825-3636.
- Hausdorff, J. M., Lowenthal, J., Herman, T., Gruendlinger, L., Peretz, C., & Giladi, N. (2007). Rhythmic auditory stimulation modulates gait variability in Parkinson's disease. *European Journal of Neuroscience, 26*(8), 2369-2375.
- Hayakawa, Y., Miki, H., Takada, K., & Tanaka, K. (2000). Effects of music on mood during bench stepping exercise. *Perceptual & Motor Skills, 90*(1), 307-311.
- Howe, T. E., Lövgreen B., Cody, F. W. J., Ashton, V. J., & Oldham, J. A. (2003). Auditory cues can modify the gait of persons with early-stage Parkinsons disease: A method for enhancing parkinsonian walking performance?. *Clinical Rehabilitation, 17*(4), 363-367.
- Hurt, C. P., Rice, R. R., McIntosh, G. C., & Thaut, M. H. (1998). Rhythmic auditory stimulation in gait training for patients with traumatic brain injury. *Journal of Music Therapy, 35*(4), 228-241.
- Kadivar, Z., Corcos, D. M., Foto, J., & Hondzinski, J. M. (2011). Effect of step training and rhythmic auditory stimulation on functional performance in parkinson patients. *Neurorehabilitation and Neural Repair, 25*(7), 626-635.
- Keith, J. S., Cindy, L. T., Arlene, C. G., Robert, C. S., Alana, C., Kane, A. A., & Besty, P. C. (1997). Antecedent management and compliance training improve adolescents' participation in early brain injury rehabilitation, *Brain Injury, 11*(12), 877-890.
- Kenyon, G. P., & Thaut, M. H. (2000). A measure of kinematic limb instability modulation by rhythmic auditory stimulation. *Journal of Biomechanics, 33*(10), 1313-1323.
- Kim, H. S., Hwang, Y. O., Yu, J. H., Jung, J. H., Woo, H. S., & Jung, H. S. (2009). The correlation between depression, motivation for rehabilitation, activities of daily living,

- and quality of life in stroke patients. *The Journal of Korean Society of Occupational Therapy*, 17(3), 41-53.
- Kim, S. J., Cho, S. R., Oh, S. J., & Kwak, E. E. (2010). Case study of gait training using rhythmic auditory stimulation (RAS) for a pediatric patient with cerebellar astrocytomas. *Korean Journal of Music Therapy Education*, 7(2), 65-81.
- Kim, S. J., Kwak, E. E., Park, E. S., & Cho, S. R. (2010). Therapeutic effects of gait training with rhythmic auditory stimulation in traumatic brain injury. *Vascular Neurology*, 2(1), 37-41.
- Kim, T. Y. (2008). The effects of rhythmic auditory stimulation (RAS) on hemiplegia patient gait. *Korean Journal of Music Therapy Education*, 5(1), 1-17.
- Kwak, E. E. (2007) Effect of rhythmic auditory stimulation on gait performance in children with spastic cerebral palsy. *Journal of Music Therapy*, 44(3), 198-216.
- KyngÅs, H. A., Kroll, T., & Duffy, M. E. (2000). Compliance in adolescents with chronic diseases: A review. *Journal of Adolescent Health*, 26(6), 379-388.
- KyngÅs, H. A., & Rissanen, M. (2001). Support as a crucial predictor of good compliance of adolescents with a chronic disease. *Journal of Clinical Nursing*, 10, 767-774.
- Lee, S. H., Lee, K. J., Ha, G. H., In, T. S., & Song, C. H. (2011). The effects of rhythmic auditory stimulation on the gait symmetry in the chronic stroke patients. *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, 12(5), 2187-2196.
- Marteniuk, R. G. (1976). *Information processing in a motor skills*. New York: Hoot, Rinehart & Wilson.
- 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 and Psychiatry*, 62(1), 22-26.
- Paltsev, Y. I., & Elner, A. M. (1967). Change in functional state of segmental apparatus of spinal cord under influence of sound stimuli and its role in voluntary movement. *Biophysics-Ussr*, 12(6), 1219.
- Rand, D., Kizony, R., & Weiss, P. T. L. (2008). The Sony Playstation II eye toy: Low-cost virtual reality for use in rehabilitation. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 32(4), 155-163.
- Rossignol, S., & Jones, G. M. (1976). Audio-spinal influence in man studied by the H-flex and its possible role on rhythmic movements synchronized to sound. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 41(1), 83-92.

- Thaut, M. H. (2005). *Rhythm, music, and the brain: Scientific foundations and clinical applications*. New York: Routledge.
- Thaut, M. H., Leins, A. K., Rice, R. R., Argstatter, H., Kenyon, G. P., McIntosh, G. C., ... Fetter, M. (2007). Rhythmic auditory stimulation improves gait more than NDT/Bobath training in near-ambulatory patients early poststroke: A single-blind, randomized trial. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 21(5), 455-459.
- Thaut, M. H., McIntosh, G. C., Prassas, S. G., & Rice, R. R. (1993). Effect of rhythmic auditory cuing on temporal stride parameters and EMG. Patterns in hemiparetic gait of stroke patients. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, 7(1), 9-16.
- Thaut, M. H., McIntosh, G. C., & Rice, R. R. (1997). Rhythmic facilitation of gait training in hemiparetic stroke rehabilitation. *Journal of Neurological Sciences*, 151(2), 207-212.
- Thaut, M. H., Miltner, R., Lange, H. W., Hurt, C. P., & Hoemberg, V. (1999). Velocity modulation and rhythmic synchronization of gait in Huntington's disease. *Movement Disorders*, 14(5), 808-819.
- Walter, M. H., Angelle, M. S., Margaret, A. S., & Karen, A. H. (2005). *Rehabilitation for traumatic brain injury*. New York: Oxford University Press.
- Williams, G., Morris M. E., Schache, A., & McCrory, P. R. (2009). Incidence of gait abnormalities after traumatic brain injury. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 90(4), 587-593.
- Yamashita, S., Iwai, K., Akimoto, T., Sugawara, J., & Kono, I. (2006). Effects of music during exercise on RPE, heart rate and the autonomic nervous system. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 46(3), 425-430.
- Yeo, S. S. (2013). *The functional role of the corticoreticular pathway and the corticospinal track in relation to walking ability in chronic stroke patients: Diffusion tensor tractography study*(Doctoral dissertation). University of Daegu, Daegu, Korea.

- 게재신청일: 2015. 09. 21.
- 수정투고일: 2015. 11. 03.
- 게재확정일: 2015. 11. 20.