

뇌졸중 이후 편마비 환자들의 보행 분석에 따른 보행 시 발 외전각도의 변화

박기연, 이일석, 홍혜진, 이상관, 성강경
원광대학교 한의과대학 광주한방병원 심계내과학교실

Change of Foot Rotation of Gait Analysis Parameters according to Gait Improvement in Post-Stroke Hemiplegic Patients

Kee-eon Park, Il-suk Lee, Hae-jin Hong, Sang-kwan Lee, Kang-keyng Sung
Dept. of Internal Medicine and Neuroscience, College of Korean Medicine, Won-Kwang University

ABSTRACT

Objectives: This study investigated the change of foot rotation angle of gait analysis parameters according to gait improvement in post-stroke hemiplegic patients.

Methods: We measured the foot rotation angle of eight post-stroke hemiplegic patients at the time of dependent and independent gait.

Results: The foot rotation angle of the paralyzed side reduced closer to normal average according to gait improvement, but the non-paralyzed side not significantly.

Conclusions: Improvement of foot rotation is an important thing for independent gait of post-stroke hemiplegic patients so this treatment seems worthy of being considered in clinical trials.

Key words: foot rotation, dependent gait, independent gait, stroke patient

1. 서 론

보행은 신경계와 근육계의 인체역학적 변화와 운동기능학적 변화에서 안정성을 유지하며 움직이는, 연속적이고 반복적인 동작이다¹. 뇌졸중 이후 편마비 환자들에게 보행은 재활의 주된 목표이고² 보행분석은 편마비 환자의 재활치료와 관련하여 유용하다³. 보행분석변수는 한걸음(Stride), 보행속도

(Walking velocity), 지지 시간(Support duration), 무게중심(Center of pressure) 등 운동학적(Kinematic) 변수들과 발과 지면이 접촉할 때 생기는 지면 반력(Ground reaction) 또는 관절 모멘트(Moment)와 같은 운동역학적(Kinetic) 변수들로 구성되어 있다⁴.

편마비 환자의 보행은 보행분석 상 양하지 입각기(Stance phase)와 양하지 지지기(Double Support Duration)는 증가하고 한걸음 길이(Stride length)와 한발짝 길이(Step length)는 감소하고, 마비측 하지는 비마비측 하지에 비해 한 발짝 길이와 한 걸음 시간이 증가하고, 보행속도와 1분간 보행 수(Cadence)는 감소된다⁵⁻⁷. 또 편마비 환자의 운동기능

· 교신저자: 성강경 광주시 남구 회재로 1140-23
원광대학교 한의과대학 광주한방병원
TEL: 062-670-6412
E-mail: sungkk@wonkwang.ac.kr

· All authors contributed as a first author equally.

회복에 따라 보행양상이 변화하는데, 보행분석 상한 발짝 시간, 한걸음 시간, 한걸음 길이, 1분간 보행수, 보행속도 변수 등은 운동기능 회복과 관련 있고, 한 발짝 길이, 양하지 지지기는 관련이 없다⁸.

보행과 균형에 있어 발의 위치는 중요한 역할을 하기 때문에 보행 시 발의 각도에 따라 정상적인 보행과 이상보행으로 구분할 수 있다¹. 편마비 환자는 발병 이후 발생하는 비정상적인 근육 긴장과 마비측 다리의 근력 약화, 체중지지 비율 감소 등으로 인해 자세가 비대칭적으로 변하며⁹, 이로 인해 보행이 어려워진다. 편마비 환자는 균형과 안정적 지지를 위해 넓은 지지면으로 보행의 어려움을 보상하려고 하는데 이와 관련된 보행 변수는 발의 외전각도와 간격이다¹⁰.

두 가지 변수 중 발의 외전각도는 하지의 근력과 정상적인 정렬 상태에 따라서 영향을 받는데¹¹, 편마비 환자의 보행기능 증진을 위한 효과적인 치료 방법과 시기를 결정하기 위해 본 연구에서는 보행 기능이 개선될 때 보행 시 발의 외전각도 변화(Foot rotation of Spatiotemporal analysis parameter)를 알아보고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상

본 연구는 먼저 영상검사 상 뇌졸중 진단을 받은 8명의 편마비 환자들을 대상으로 하였다. 1, 2주 단위로 보행분석을 시행하여 입원치료 전에 독립보행이 불가능하였으나 치료 과정에서 독립보행이 가능해진 환자를 선정하였다. 단, 언어장애나 인지장애 등으로 인하여 의사소통이 어렵거나 뇌졸중 발병 이전 정형외과적 보행장애가 있는 경우 혹은 2회 이상 뇌졸중 발생한 환자는 제외하였다.

2. 발의 외전각도 측정방법

시공간 보행분석 변수의 발 외전각도 측정을 위해 Treadmill Gait analysis 장비(Zebris Co. Ltd FDM-T)

를 사용하였고, 이 장비는 Measurement platform와 Pedography analyzer로 구성되어 있다(Fig. 1).

환자가 실내에 설치되어 있는 Treadmill의 Measurement platform 위를 맨발로 올라가 몇 차례 연습을 통해 Treadmill Gait 환경에 적응한 뒤에 측정하였으며, Measurement platform 아래에 설치된 압력판(Force plate) 위를 걸을 수 있도록 발의 위치와 간격을 조절하여 시행하였다.

보행 시 발의 외전각도(Foot rotation angle)는 보행의 진행 방향선과 발의 장축(발뒤꿈치 중앙과 둘째 발가락 중앙을 연결한 선)이 이루는 각도이고, 보행 동안 모니터에 나타나는 족저압 분포그래프 상의 발 모양에서 측정되며, 측정값의 plus는 outside, minus는 inside 방향을 의미한다(Fig. 1).

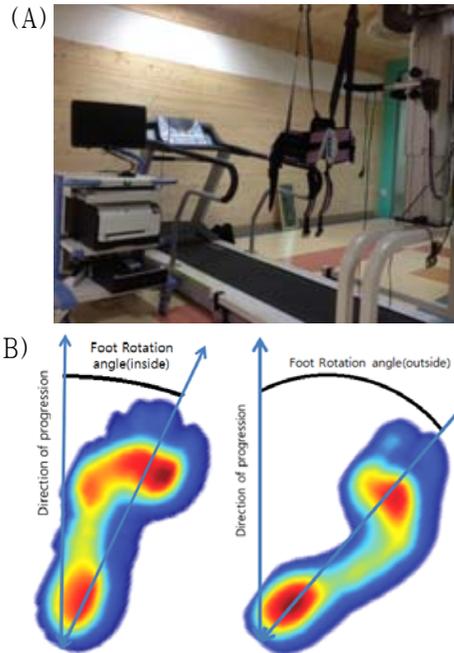


Fig. 1. Treadmill gait analysis system and harness equipment (A), foot rotation angle on the foot pressure analysis graph (B).

Direction of progression is standard axis. The right foot is toe-out, that means outside. The left foot is toe-in, that means inside.

본 연구에서는 주기적으로 시행된 보행분석 결과 중 두 시점의 측정결과를 비교 분석하였다. 첫 시점은 환자가 지지보행을 하는 시기(Dependent gait, 이하 지지보행기)로, Harness를 사용하여 체중부하를 줄이거나 비마비측 손으로 Treadmill handrail을 잡고 보행분석을 시행하였으며, 두 번째 시점은 환자가 독립보행을 하는 시기(Independent gait, 이하 독립보행기)로, 보조 받지 않고 혼자 보행을 할 수 있을 때 보행분석을 시행하였다.

정상적인 보행자세의 발은 약간 외전(toe-out)되어 있고, 그 각도범위는 4.38-17도(°)인데¹²⁻¹⁴, 한국인 대상으로 조사한 손 등¹⁵의 연구에서는 4.38도, 가장 최근 발표된 Menz 등¹⁶의 연구에서는 5-7이었다. 그러므로 본 연구에서는 정상보행의 발의 외전각도를 5도로 설정하고 측정된 값들과 차이를 산출하여 분석 데이터로 사용하였다. 단, 본 연구는 편마비 환자 발 각도가 정상에서 얼마나 외전되었는지 파악하는 것이 목적이므로 5도에서 더 외측으로 벗어난 데이터만 사용하고, 내측으로 벗어난 데이터는 사용하지 않았다.

3. 통계 방법

지지보행기에서 독립보행기로 점차 보행기능이 개선되는 도중, 보행 시 발의 외전각도 변화를 확인하기 위해 두 측정시점의 결과차이를 Paired t-test를 통해 분석하였다. 통계분석을 위해 SPSS for window(ver. 20.0) 통계 프로그램을 이용하였고, 측정값은 Mean±S.E.M으로 표시하였으며 유의수준은 p값 0.05 이하로 설정하였다.

III. 결 과

1. 대상자 특징

본 연구에 참여한 대상자는 총 8명으로 남성 5명, 여성 3명이고, 평균 연령 58.75±15.52세(30대 2명, 50대 5명, 60대 2명, 70대 1명), 뇌경색 환자 6명, 뇌출혈 환자 2명, 좌측 편마비 환자 4명, 우측 편마

비 환자 4명이었다. 발병일로부터 첫 측정 시점까지 기간은 27.75±20.89일이고, 치료 과정 중 처음 독립보행이 가능해진 기간은 46.63±26.83일로 나타났다(Table 1).

Table 1. Subjects General Characteristics

Personal factors		Subjects (n=8)
Gender (n)	Male	5
	Female	3
Age (Mean±SD)		58.75±15.52
Clinical impression (n)	Infarction	6
	Hemorrhage	2
Hemiplegic side (n)	Right	4
	Left	4
Underlying disease (n)	Hypertension	3
	Diabetes	1
	Hypertension + Diabetes	0
	Non hypertension or Diabetes	4
Duration from the onset to 1 st measure (Mean±SD, day)		27.75±20.89
Duration from 1 st to 2 nd measure (Mean±SD, day)		46.63±26.83

2. 시공간 보행분석 변수의 발의 외전각도

정상인의 보행 시 기준값을 5도로 하였을 때, 마비측의 외전각도는 지지보행기에서 14.53±9.55, 독립보행기에서 10.60±7.90로 측정되어 유의하게 감소되었고(p<0.05), 비마비측은 지지보행기 측정값은 4.99±3.47로, 독립보행기 측정값은 5.94±3.00으로 측정되어 유의한 변화를 보이지 않았다(p=0.417)(Fig. 2).

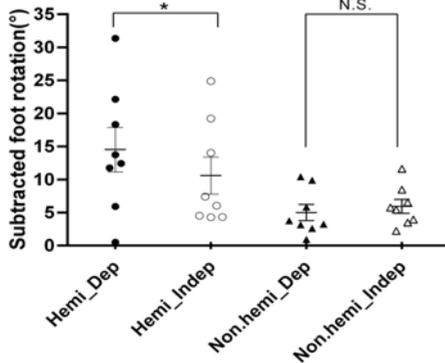


Fig. 2. Change of foot rotation at the time of dependent and independent gait in post-stroke hemiplegic gait patients.

Foot rotation is angle between longitudinal foot axis and walking direction. Subtracted foot rotation is the modified foot rotation angle subtracted from standard foot rotation angle, 5 degree, which is 0 degree on the Y axis. Hemi : hemiplegic side of stroke patients (circles), Non. hemi : non hemiplegic side of stroke patients (triangles), Dep : the time of dependent gait, Indep: the time of independent gait. Closed and open circles (or triangles) represent foot rotation angle at the time of dependent and independent gait, respectively. Horizontal bars represent Mean±S.E.M. *, (p<0.05), when the subtracted foot rotations at the time of dependent gait were compared to those at the time of independent gait. n.s, non specific change statistically.

IV. 고찰

본 연구는 뇌졸중 이후 편마비 환자가 보행기능이 개선될 때 보행 시 발의 외전각도 변화량을 알아 보기 위해 지지보행기와 독립보행기에서 측정된 보행분석 결과를 비교하였다. 지지보행기에서 독립 보행기로 편마비 환자의 보행기능이 개선될 때, 보행 시 발의 외전각도는 마비측은 기준값 5도에 더 가까워지는 반면, 비마비측은 전후 외전각도가 보행기능 개선에 따른 유의한 변화를 보이지 않았다.

편마비 환자는 마비측 하지에서 관찰되는 침내 반과 전반슬, 발목관절 경직성 마비로 인한 족하수

등을 보상하기 위해 입각기 말에는 골반을 들어 올리고 유각기에는 엉덩관절 또는 무릎관절의 굽힘이 잘 이루어지지 않아 골반을 회전시키는 등 이상보행을 한다¹. 그리고 마비측 하지의 근육 약화에 따른 양측 하지 운동기능의 불균형으로 인하여⁹, 비마비측 하지에 대략 70%의 체중부하를 유지하며¹⁷, 입각기 시 비마비측에 비해 마비측 발이 더 외측으로 회전되어 있다¹⁸.

보행기능은 하지의 각 관절의 정렬된 자세와 근력이 관련되는데^{19,20}, 보행 시 외전각도가 5도에 가까워진다는 것은 편마비 환자의 마비측 하지의 근력과 정렬된 자세가 개선되면서 보행기능을 회복하는 것으로 볼 수 있다.

Rigas 등¹²의 연구에서 노인집단은 발의 외전각도가 청년집단에 비해 유의하게 증가되는데 이는 노인집단이 Hip abductors와 육체적 허약으로 불안정성이 증가하여 보행 중 더 넓은 지지면이 필요하기 때문이라고 하였다. 이는 본 연구에서 보행기능이 불량할수록 발의 외전각도가 커지는 결과와 일치하는 것으로, 편마비 환자가 마비측 하지의 근력이 개선되면서 보행기능과 안정성을 얻었고, 이러한 과정에서 마비측발의 외전각도가 감소한 것으로 볼 수 있다.

시각장애인집단 역시 발의 외전각도가 큰 보행을 하는데, 탐색하는 자세로 보행을 유지하기 때문에 일반인보다 더 큰 외전각도를 보인다. 시각장애인들이 종아리 근육 마비나 허약으로 인해 발목 운동이 제한되고 하체 운동이 원활하지 않은 점은²¹, 편마비 환자와 비슷한 조건으로 볼 수 있다. 시각장애인에서 운동을 시행한 집단과 시행하지 않은 집단을 비교한 연구²²에서 운동집단에 비해 비운동집단이 발의 외전각도가 더 크게 관찰되어, 균형과 보행 시 안정성을 위해 넓은 지지면을 가지는 것과 하지 근력이 강화되면 보행기능이 개선되는 점은 본 연구와 동일하다.

정상뇌압수두증(normal pressure hydrocephalus) 환자 집단도 발의 간격이 넓고, 더 외전된 보행기

능감소증을 보인다. Stolze 등²³의 연구에서 CSF (Cerebro Spinal Fluid, CSF) tapping 시술 이후 다른 보행기능이 개선된 반면 발의 간격과 외전각도는 변하지 않았는데 이는 뇌와 척수(Central Nerve System, CNS)에서 운동기능과 균형조절기능 부위가 다르기 때문이라고 추정하였다. 이는 본 연구 결과와 상이하다. 정상뇌압수두증 환자의 보행기능 감소증은 확장된 뇌실로 인한 CNS의 혈류 감소 또는 물리적인 압박 때문으로, CSF 흐름이 정상적으로 회복되면 일반적으로 보행기능이 개선된다. 그러나 편마비 환자는 CNS 자체 손상으로 인해 운동기능과 균형조절 모두가 불가능해진 것으로 꾸준한 치료와 보행 연습을 통해 보행 기능을 회복하기 때문에 정상뇌압수두증 환자의 보행개선 과정과 본 연구 결과가 다른 이유로 사료된다.

뇌졸중으로 인한 편마비 환자를 대상으로 균형과 보행 시 안정성을 얻는 치료방법과 마비측 발의 외전각도에 대한 선행연구는 여러 차례 보고된 바 있다. 송 등¹⁸의 연구에서 상하지 복합운동과 체중 부하운동 이후 발의 외전각도는 양쪽 발에서 감소하여 보행 시 비마비측과 마비측 상관없이 안정성에 기여한 것으로 볼 수 있으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

또 김 등²⁴의 연구에서 운동치료 후 Balance table을 이용하여 불안정면 조건으로 균형훈련을 하는 실험군과 운동치료만 진행한 대조군으로 나누어 실험을 진행한 결과, 실험군과 대조군 모두에서 보행 시 발의 외전각도는 감소했으나, 두 군간의 변화량 차이는 없었다.

그리고 김 등²⁵의 연구에서 발목강화운동프로그램을 적용한 실험군과 운동치료를 적용한 대조군으로 구성해 비교하였는데, 두 집단간 균형능력이 유의하게 호전되었으나 발의 외전각도에는 차이가 없었고 이는 6개월 이상 된 이환기간보다 8주 동안의 중재기간이 짧아서 변화를 주지 못한 것으로 설명하였다.

이 등²⁰이 시행한 연구는 집단패턴운동을 한 실

험군과 단순관절가동범위운동을 한 대조군 둘 다 마비측 발의 외전각도가 유의하게 감소하였고, 정상인의 평균에 근접한 결과를 보였다. 6주간 중재기간으로 하였으나 치료적 중재방법이 직접적으로 하지 관절에 영향을 주었고, 과도한 외회전이 교정되며 하지의 정렬이 비마비측과 비슷해졌기 때문이라고 사료된다.

앞 선 연구들^{18,24,25}은 본 연구의 대상과 방법이 비슷하나 결과는 서로 부합하지 않는데, 연구 대상의 상태와 중재기간의 차이 때문이라고 생각된다. 선행연구들은 모두 8주를 치료적 중재기간으로 정하고, 이미 독립적인 기립 혹은 보행이 가능하며, 발병 이후 6개월이 지난 편마비 환자를 대상으로 하였다. 본 연구는 일률적인 중재기간이 아니라 환자의 회복된 단계에 따라 측정값을 선택하였고, 지지보행기에서 독립보행기로 개선된 환자를 대상으로, 발병 후 첫 번째 보행분석 시점과 두 번째 측정시점까지 모두 발병일로부터 6개월 이내에 이루어졌다. 뇌졸중 환자들은 발병 후 6개월까지 빠른 회복을 보이므로^{26,27}, 치료 효과에 자연적 신경회복이 더하여 유의한 변화가 있었다고 사료된다.

그리고 이 등²⁰의 연구에서 편마비 환자의 재활 치료는 발병 후 6개월 이내에 마비측 하지에 체중 지지를 증가시켜 하지의 근력을 강화하고, 효율적인 운동을 위해 하지 관절 사이에 정상적인 정렬을 만들어 균형과 보행 안정성을 증진해야 함을 알 수 있다.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 첫 번째는 Overground walking에 비해 Treadmill locomotion 경우 발의 외전 각도가 더 증가하는 경향이 있어²⁸, 결과값에 불가피한 오차가 생길 수밖에 없다. 그러나 본 연구는 동일한 환자가 같은 treadmill에서 지지보행기와 독립보행기 각 시점에서 보행분석 데이터를 비교하였기 때문에 이 같은 오차는 적을 것으로 사료된다. 두 번째는 본 연구는 일정한 중재기간을 정해두지 않았으므로 측정 시점에서 각 환자들의 보행기능의 정도가 일정하지 않을 수 있

다. 각 환자들이 지지보행기에서 독립보행기로 보행기능을 회복되는 기간이 개인차가 있고, 보행기능이 개선된 시점 그리고 지지보행기 또는 독립보행기 중간 시점에서 Treadmill locomotion 능력은 다를 수 있다. 그러나 본 연구는 측정 주기가 1, 2주이기 때문에 그 차이가 크지는 않을 것으로 생각된다. 세 번째는 측정자가 한 명 이상이었기 때문에 측정 오차가 실험결과에 영향을 미쳤을 수 있다. 향후 이 제한점을 보완하고 데이터의 양을 보충한다면 보다 정확한 보행 기능 개선에 따른 발의 외전각도 변화량에 관한 연구자료가 될 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 2012년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 수행 됨.

All authors contributed as a first author equally.

참고문헌

- Perry J. Gait analysis-Normal and pathological function. NJ: SLCK Inc: 1992.
- Winstein C, Gardner E, McNeal D, Barto P, Nicholson D. Standing balance training: effect on balance and locomotion in hemiparetic adults. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 1989;70(10):755-62.
- Murray MP. Gait as a total pattern of movement. *Am J Phys Med* 1967;46(1):290-333.
- Bojsen-Moller F. The human foot, a two speed construction. *International series on Biomechanics* 1978;2(A):261-6.
- Wall JC, Ashburn A. Assessment of gait disability in hemiplegics. Hemiplegic gait. *Scand J Rehabil Med* 1979;11(3):95-103.
- Brandstater ME, de Bruin H, Gowland C, Clark BM. Hemiplegic gait: analysis of temporal variables. *Arch Phys Med Rehabil* 1983;64(12):583-7.
- Bohannon RW. Gait performance of hemiparetic stroke patients: selected variables. *Arch Phys Med Rehabil* 1987;68(11):777-81.
- 최산호, 이일석, 홍해진, 오재진, 성강경, 이상관. 뇌졸중 환자의 운동기능과 보행 양상의 상관관계. *대한중풍학회* 2013;14(1):8-14.
- Nyberg L, Gustafson Y. Patient falls in stroke rehabilitation. A challenge to rehabilitation strategies. *Stroke* 1995;26(5):838-42.
- Bohannon RW, Tinti-Wald D. Accuracy of weight bearing estimation by stroke versus healthy subjects. *Percept Mot Skills* 1991;72(3 Pt 1):935-41.
- 이동욱, 광길환, 배성수. 편마비환자의 환측 하지 외회전 정도가 기립균형에 미치는 영향. *대한물리치료학회지* 2003;15(3):173-88.
- Rigas C. Spatial parameters of gait related to the position of the foot on the ground. *Prosthet Orthot Int* 1984;8(3):130-4.
- Gage JR. Gait analysis. An essential tool in the treatment of cerebral palsy. *Clin Orthop Relat Res* 1993(288):126-34.
- Lin CJ, Lai KA, Chou YL, Ho CS. The effect of changing the foot progression angle on the knee adduction moment in normal teenagers. *Gait Posture* 2001;14(2):85-91.
- 손소영, 박시복, 최성이. 발레 전공자의 보행에 관한 연구. *한국무용과학회지* 2003;7(-):39-50.
- Menz HB, Latt MD, Tiedemann A, Mun San Kwan M, Lord SR. Reliability of the GAITRite walkway system for the quantification of temporal-spatial parameters of gait in young and older people. *Gait Posture* 2004;20(1):20-5.

17. Mizrahi J, Solzi P, Ring H, Nisell R. Postural stability in stroke patients: vectorial expression of asymmetry, sway activity and relative sequence of reactive forces. *Med Biol Eng Comput* 1989; 27(2):181-90.
18. 송주영. 뇌졸중 환자의 상하지 복합운동 및 체중부하 운동이 입각기 특성에 미치는 영향. *재활복지* 2013;17(2):355-71.
19. Bohannon RW, Walsh S. Nature, reliability, and predictive value of muscle performance measures in patients with hemiparesis following stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 1992;73(8):721-5.
20. 이동욱. 편마비환자의 환측 하지 외회전 정도가 기립균형에 미치는 영향. 경산: 대구대학교 재활과학대학원; 2003.
21. 김종석, 황인실. 선천성 시각장애인과 후천성 시각장애인의 보행 패턴에 관한 연구. *한국특수체육학회지* 1995;3(1):101-29.
22. 김의수, 김명숙. 운동이 시각장애인의 보행 형태에 미치는 영향. *한국특수체육학회지* 1994;2(1):1-20.
23. Stolze H, Kutzt-Buschbeck JP, Drucke H, Johnk K, Illert M, Deuschl G. Comparative analysis of the gait disorder of normal pressure hydrocephalus and Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2001;70(3):289-97.
24. 김은정, 황보각, 이상열, 이명희. 불안정면에서의 균형훈련이 편마비 환자의 보행요소와 하지 근 활성도에 미치는 영향. *재활복지* 2010;14(4):329-46.
25. 김복조, 이성기, 김명기. 발목 강화 운동과 기능적 전기 자극치료가 뇌졸중 환자의 보행기능 및 균형능력에 미치는 영향. *한국사회체육학회지* 2007;31(-):921-31.
26. Jorgensen HS, Nakayama H, Raaschou HO, Vive-Larsen J, Stoier M, Olsen TS. Outcome and time course of recovery in stroke. Part II: Time course of recovery. The Copenhagen Stroke Study. *Arch Phys Med Rehabil* 1995; 76(5):406-12.
27. Ross EZ, Goodall S, Stevens A, Harris I. Time course of neuromuscular changes during running in well-trained subjects. *Med Sci Sports Exerc* 2010;42(6):1184-90.
28. Stolze H, Kutzt-Buschbeck JP, Mondwurf C, Boczek-Funcke A, Johnk K, Deuschl G, et al. Gait analysis during treadmill and overground locomotion in children and adults. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1997;105(6):490-7.