

성인 뇌성마비에서 보행시 에너지 소모량 평가

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

박은숙 · 박창일 · 조성래 · 장현정

Energy Expenditure during Gait in Adults with Cerebral Palsy

Eun Sook Park, M.D., Chang-il Park, M.D., Sung-Rae Cho, M.D. and Hyun Jung Chang, M.D.

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

Objective: To investigate the oxygen consumption and temporospatial data according to types of cerebral palsy (CP) and to offer the basic information about the energy expenditure during gait in adults with CP.

Method: Thirty-six adults with CP (11 spastic diplegia, 10 spastic hemiplegia, 15 athetoid type) and 24 healthy subjects were participated in this study. The parameters of energy expenditure were evaluated by KB1-C Oxymeter and temporospatial parameters during 8 meter walking were collected using Vicon 370 motion analyzer.

Results: Single support time was significantly decreased and double support time was significantly increased in CP spastic diplegia, compared with controls ($p < 0.05$). Oxygen rate and oxygen cost were significantly higher in CP spastic diplegia than CP athetoid or controls.

Conclusion: We could identify that oxygen consumption and temporospatial data of CP spastic diplegia was significantly different from athetoid or normal controls. (**J Korean Acad Rehab Med 2004; 28: 537-541**)

Key Words: Cerebral palsy, Energy expenditure, Temporospatial data

서 론

인간의 보행은 최소한의 역학적, 생리적 에너지를 이용하여 공간 내에서 신체를 부드럽게 이동할 수 있게 한다. 보행의 목적은 신체를 앞쪽으로 이동시키며, 동시에 양하지의 움직임은 수평 그리고 수직 방향으로 두부, 상지, 체간의 무게 중심의 이동 거리를 대칭적으로 최소화하고, 모멘텀을 조절하면서 에너지를 흡수하고 생성하여 에너지의 소모를 최소화하는 것이다. 이로 인해 인간은 보행 중 운동 및 위치 에너지를 보존할 수 있으며, 이것이 생물학적인 에너지 보존의 원칙이다.^{7,8,17} 그러므로 정상 보행주기와 체간 및 사지 움직임에서, 에너지 보존적 특징에 장애가 생기면 에너지 소모가 증가하게 된다.¹⁸ 보행 장애를 갖는 환자도 증가되는 에너지 소모량을 최소화하기 위한 보상적인 보행 방식을 사용함으로써 이에 적응하게 된다. 이러한 보상 기전의 효과는 장애의 정도와 환자의 심혈관계 및 근골격계 기능 정도에 따라 달라진다.²²

뇌성마비 환자는 근긴장도 및 근력이 비정상적이며 근육

조절능력 이상 때문에 올바른 자세를 유지하기가 어렵고, 보행 장애가 발생한다. 뇌성마비 환자의 보행시 에너지 소모율이 정상 아동에 비하여 1.5 내지 3배 정도 높은 것으로 보고된 바 있는데,^{4,20} 이렇게 증가된 에너지 소모율로 인해 뇌성마비 환자들은 낮은 강도의 일을 수행할 때에도 쉽게 피로를 느낀다.^{3,5}

의료기술의 발달로 뇌성마비의 수명도 증가하므로 성인 뇌성마비는 증가 추세에 있다고 할 수 있으나 성인 뇌성마비에 대한 연구는 매우 부족하며, 특히 보행시 에너지 소모량을 평가하고 각 유형간의 차이를 비교한 연구는 거의 없는 실정이다. 이에 본 연구에서는 뇌성마비의 유형에 따른 에너지 소모량과 시공간적 지표를 조사하여 성인 뇌성마비에서의 보행시 에너지 소모량에 대한 기초 자료를 제공하고자 하였다.

연구대상 및 방법

1) 연구 대상

심혈관계 및 호흡기계의 질환이 없고, 보행 및 이동을 위한 보조 장비 없이 5분 이상 독립적인 보행이 가능하며, 연구에 필요한 검사절차의 수행에 어려움이 없는 경직성 양지마비형, 경직성 편마비형 및 불수의 운동형으로 나누어 측정하였으며, 총 36명을 대상으로 하였다. 이들의 평균 나이는 24.1±5.0세였고, 성별 분포로는 남성이 24명, 여성이

접수일: 2004년 5월 20일, 게재승인일: 2004년 9월 17일

교신저자: 장현정, 서울시 서대문구 신촌동 134

☎ 120-752, 연세의료원 재활병원 재활의학과

Tel: 02-361-7535, Fax: 02-363-2795

E-mail: jjang_75@hanmail.net

12명이었으며, 유형별 분포로는 양지마비형 11명, 편마비형 10명, 불수의 운동형 15명이었다.

한편 대조군은 총 24명의 건강한 성인을 대상으로 하였고 평균 나이는 26.8세였으며, 남성과 여성은 각각 16명과 8명이었다(Table 1).

2) 연구 방법

모든 대상자들은 검사 4시간 전부터 음식을 시킨 상태에서 산소 소모량 측정기인 KB1-C Oxymeter(Aerosport Inc., U.S.A.)를 이용하여 보행시 에너지 소모량을 측정하였다. 산소소모율은 실험 중 피검자는 마스크를 사용하여 호흡하면서, oxygen gas analyzer에 내장된 컴퓨터로 분석하였다. 처음 5분간의 안정기를 취한 후 보행을 시작하였고, 총 5분간의 보행 중 3분, 4분 및 5분째 측정치의 평균값으로 분당 산소 섭취량(VO2, l/min), 분당 이산화탄소 생성량(VCO2, l/min), 분당 호흡량(VE, l/min), 산소 소모율(O2 rate, ml/kg · min) 및 산소 소모비(O2 cost, ml/kg · m)등을 측정하였다.

또한 6개의 적외선 카메라가 피검자에 부착된 수동표식자의 움직임을 측정하여 분석하는 Vicon 370 motion analysis system (Oxford Metrix Inc, U.K)을 이용하여 시공간적 지표(temporospatial data)를 분석하였다. 대상자를 8 m 길이의 보도에서 최소한 10차례 이상의 보행을 시켜 자연스러운 보행을 유도한 후, 분속수(cadence), 보장(step length), 단하지 지지기(single stance time), 양하지 지지기(double stance time)

등을 측정하였다.

3) 통계 처리

SPSS version 10.0의 ANOVA test를 이용하여 각 군간의 보행 분석 및 에너지 소모량 측정 결과를 비교하였고, Tukey test로 사후검정을 시행하였으며, p<0.05를 통계학적으로 유의한 수준으로 채택하였다.

결 과

1) 시공간적 지표의 평가

분속수는 경직성 양지마비군은 평균 106.8 step/min, 편마비군 102.2 step/min, 불수의 운동형군 104.8 step/min로 각 군간에 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 보장은 경직성 양지마비군은 평균 0.45 m로 편마비군 0.55 m, 불수의 운동형군 0.55 m에 비해 통계학적으로 유의한 차이를 보였으며, 정상 대조군의 0.61 m에 비해서도 통계학적으로 의미 있게 적었다.

단하지 지지기는 경직성 양지마비군은 31.84%, 편마비군 33.17%로 정상대조군의 37.74%에 비하여 통계학적으로 유의하게 감소되어 있었다(p<0.05). 양하지 지지기는 경직성 양지마비군은 36.62%, 편마비군 33.17%로 정상대조군의 24.49%에 비해 유의하게 증가된 소견을 보였다(p<0.05). 불수의 운동형 뇌성마비군은 단하지 지지기 및 양하지 지지기에서 모두 정상 대조군과 의미 있는 차이를 보이지 않았다(Table 2).

2) 에너지 소모량 평가

보행 속도는 양지마비형, 편마비형 및 불수의 운동형군에서 각각 40.25 m/s, 50.96 m/s, 49.19 m/s로 정상 대조군의 62.35 m/s에 비해 각각 모두 통계학적으로 유의하게 느려진 소견을 보였으며(p<0.05), 이중 경직성 양지마비군의 보행 속도가 가장 느린 경향을 보였다.

경직성 양지마비군의 분당 산소 섭취량, 분당 이산화탄

Table 1. Characteristics of the Subjects

	Control	Cerebral palsy		
		Athetoid	Hemiplegia	Diplegia
Number	24	15	10	11
Age (year) ¹⁾	26.8±4.0	26.1±2.3	22.4±7.3	22.9±4.5
Sex (M : F)	16 : 8	10 : 5	8 : 2	6 : 5

1. Age: Value are mean±standard deviation.

Table 2. Temporospatial Values in Adults with Cerebral Palsy and Healthy Control

	Control	Cerebral palsy		
		Athetoid	Hemiplegia	Diplegia
Cadence (step/min)	109.08±5.06	104.75±10.00	102.22±16.42	106.80±9.16
Step length (m)	0.61±0.05*	0.55±0.07*	0.55±0.07*	0.45±0.12
Single support time (%)	37.74±2.00*	35.47±3.34	33.17±3.82 [†]	31.84±5.22 [†]
Double support time (%)	24.49±3.93*	29.53±6.68	34.57±6.72 [†]	36.62±9.99 [†]

Value are mean±standard deviation.

*p<0.05 compared to diplegia, [†] p<0.05 compared to control

Table 3. VO₂, VCO₂, VE in Adults with Cerebral Palsy and Healthy Control

	Control	Cerebral palsy		
		Athetoid	Hemiplegia	Diplegia
VO ₂ ¹⁾ (L/min)	0.53±0.13	0.44±0.14*	0.59±0.12	0.63±0.24
VCO ₂ ²⁾ (L/min)	0.47±0.14	0.39±0.13*	0.53±0.08	0.62±0.28
VE ³⁾ (L/min)	14.06±2.56*	13.97±3.74*	17.05±2.44	18.10±4.96

Value are mean±standard deviation.

1. VO₂: Volume of oxygen consumption in liters per min, 2. VCO₂: Volume of carbon dioxide produced in liters per min, 3. VE: Ventilatory volume in liters per min

*p<0.05 by ANOVA test, compared to diplegia

Table 4. O₂ Rate and Cost in Adults with Cerebral Palsy and Healthy Control

	Control	Cerebral palsy		
		Athetoid	Hemiplegia	Diplegia
Rate (ml/kg · min)	8.08±1.50*	8.08±2.80*	9.18±2.43	11.25±3.42
Cost (ml/kg · m)	0.13±0.03*	0.17±0.07*	0.20±0.11*	0.31±0.14

Value are mean±standard deviation.

*p<0.05 by ANOVA test compared to diplegia

소 생성량 및 분당 호흡량 등은 모든 군 중에서 가장 높았고, 산소 소모율의 경우 경직성 양지마비가 대조군과 불수의 운동형군에 비해 통계학적으로 유의하게 높은 소견을 보였다(p<0.05). 산소 소모비도 경직성 양지마비가 정상 대조군, 편마비 및 불수의 운동형군에 비해 통계학적으로 유의하게 높은 소견을 보였다(p<0.05). 경직성 편마비에서 산소 소모율은 9.13으로 정상 대조군의 8.08에 비해 차이가 없었으나, 산소 소모비는 0.20으로 정상 대조군의 0.13에 비해 높은 경향을 보였다(p=0.06). 불수의 운동형 뇌성마비군은 산소 소모율 및 산소 소모비에서 정상 대조군과 차이를 보이지 않았다(Table 3, 4).

고 찰

효율적인 보행은 기능적 보행을 위한 필수요소이나, 일 반적인 보행분석을 통해서도 보행의 효율성을 직접 측정하 기가 어렵다.¹⁹⁾ 비교적 번이가 적으면서 보행시 효율성을 평가하는 데 있어서 감수성이 높은 검사방법으로 알려진 것이 보행시 산소 소모율의 측정법이다.¹⁵⁾ 피검자의 호기를 분석하여 주어진 시간 동안의 산소소모량 및 이산화탄소 생성량이 계산될 수 있는데, 산소 소모량에 대한 이산화탄소 생성량의 비율(호흡률)은 어떤 형태의 대사가 일어났는 지에 대한 정보를 알려준다.¹⁾ 이 비율을 운동하에서 측정할 때 0.90 이상인 경우 무산소 운동임을 나타내고, 1.00 이상

인 경우 격심한 운동임을 나타낸다.¹⁴⁾ 본 연구 결과 정상 대조군 및 불수의 운동형은 호흡률이 각각 0.89, 0.87로 편 안한 속도의 보행이 대체로 유산소 대사에 의해 이루어지 나, 경직성 양지마비형 및 편마비성에서는 각각 0.98, 0.90 으로 무산소 대사가 나타남을 알 수 있었고, 특히 경직성 양지마비군의 호흡률이 가장 높게 나타나 편안한 속도에서 의 보행도 격심한 운동이 됨을 알 수 있었다.

본 연구에서 모든 유형의 뇌성마비 성인의 평균 보행 속 도는 46.2 m/min으로 정상 성인 보행 속도의 74%였다. 평균 산소 소모율은 불수의 운동형의 경우 정상 성인과 같았으나, 양지마비형에서 정상 성인에 비해 통계학적으로 의미 있게 증가되어 있었다. 산소 소모비 역시 양지마비형에서 정상인에 비해 통계학적으로 의미 있게 증가되어 양지마비 뇌성마비 환자가 가장 비효율적인 보행을 하는 것으로 나 타났다. 시공간학적 지표상 단하지 지지기 및 양하지 지지 기는 불수의 운동형이 정상 대조군과 가장 유사하였으며 경직성 양지마비가 대조군과 가장 큰 차이를 보였는데, 이 러한 차이는 보속 때문에 초래되는 것으로 생각된다. 빠르 게 걸을수록 단하지 지지기가 길어지고, 양하지 지지기는 짧아지며, 반대로 느리게 걸을수록 단하지 지지기가 짧아 지고, 양하지 지지기는 길어지기 때문이다.¹⁴⁾ 본 연구 결과 에서도 보행 속도가 가장 느린 경직성 양지마비형의 경우 모든 군 중 단하지 지지기가 가장 짧고, 양하지 지지기가 가장 길게 나타났으며, 뇌성마비 군중 보행 속도가 가장 빠

른 불수의 운동형은 정상 대조군과 가장 유사한 값을 보였다.

경직성 뇌성마비 소아에서 보행시 산소 소모율이 증가되는 것은 이전에 여러 연구자에 의해 밝혀진 바 있다.^{15,16,20)} 하지만 이러한 현상에 대한 설명은 아직 불완전하다. 명확하게 증명되지 않았지만 제기되어지는 요인으로 주동근 및 길항근의 동시 수축(cocontraction)이 있다.¹⁰⁾ Unnithan 등²¹⁾ 이 뇌성마비 소아에서 하지의 근전도 결과와 산소 소모량과의 관계를 조사한 연구에서 외측광근과 슬굴곡근, 전경골근과 가자미근의 동시 수축이 산소 소모량 변화량의 각각 51.4%와 42.8%를 차지한다고 하였으며, 동시 수축이 뇌성마비 소아에서 높은 산소 소모비의 중요한 요인이라고 하였다. 이러한 동시 수축은 유익할 수도 있으나 유해할 수도 있다. 보행동안 족관절 및 슬관절의 안정성을 유지하는 방법이지만, 길항근이 과도하게 작용하는 경우 보행시 높은 에너지 소모가 일어나게 되기 때문이다.^{9,18)}

본 연구 결과 특이한 점은 경직성 뇌성마비 중 양지마비의 경우 산소 소모율 및 산소 소모비가 모두 정상인에 비해 통계학적으로 의미 있게 증가되었으나, 편마비의 경우 산소 소모율은 정상인과 차이가 없었으며, 산소 소모비만 정상인에 비해 높은 경향을 보였다. Duffy 등⁶⁾이 시행한 연구에서도 경직성 양지마비 환아군에서 정상 소아군에 비해 산소 소모비가 통계학적으로 의미 있게 증가되어 있었으며, 편마비와 정상 소아군 사이에는 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 산소 소모율이란 분당 소모되는 산소량으로 운동 강도와 연관이 있으며 시간과 관련된 변수이나, 산소 소모비는 보행시 단위 거리당 필요한 산소량으로 시간과 관련된 변수가 아니다. 본 연구 결과에서처럼 보행 장애로 인해 산소 소모비는 높지만, 산소 소모율이 낮은 경우는 운동 강도가 낮다는 것을 의미하며, 보행이 오랜 시간 유지될 수 있음을 의미한다. Waters 등²²⁾은 다른 장애인 군에서는 산소 소모율을 정상에 가깝게 유지하기 위해 보행 속도를 조절할 수 있으나, 경직성 양지마비의 경우는 그렇지 못하다고 하였다. 반면 산소 소모율을 적정 수준으로 유지하기 위해 속도를 감소시키면 보행시 산소 소모비가 증가하게 되며, 모든 장애인 군에서 이런 결과가 나타났다고 하였다. 경직성 편마비의 경우 신체의 편측 근신경 조절의 이상이 있지만 반대편에 의해 일부분을 보상받게 된다. 편마비의 경우 정상측 하지가 보행 주기의 대략 80%를 담당하게 되며, 마비측 하지로의 단하지 지지기 동안 고관절 및 슬관절이 어느 정도의 신전된 자세를 유지할 수 있으므로, 이러한 보상 기전에 의해 전반적인 균형의 호전 및 에너지 소모의 감소를 얻을 수 있다.^{6,13)} 경직성 양지마비의 경우 보행시 산소 소모비가 가장 크게 나타났는데, 이것은 고관절 및 슬관절이 굴곡된 자세로 보행을 하므로 감소된 속도에서도 관절의 안정화를 위해 고관절과 슬관절 신전근의 작용이 정상보다 많이 필요하게 되고,²²⁾ 원위부보다는 근위부의 근

육을 이용하여 대부분 조절하게 되며⁸⁾ 보행 속도 조절이 어렵기 때문에 산소 소모율을 적절한 수준으로 낮게 유지시키기 위해 보행 속도를 감소시킬 수 없다. 경직성 양지마비는 비정상적인 균형 반응으로 인해 보행에 지속적인 어려움이 있으므로 자신의 무게중심을 뒤떨어지지 않기 위해 달려 나가는 듯한 인상을 주게 된다.

본 연구 결과와 이전의 연구들을 종합해 볼 때 경직성 양지마비 뇌성마비의 보행 및 신체 운동 능력을 향상시키기 위한 재활의학적 노력이 에너지 인자 및 산소 소모 능력의 향상을 유도할 수 있으며,^{2,3,11,12)} 비록 높은 에너지 소모비를 보이지만 낮은 생체 역학 및 산소 소모 능력을 향상시킬 수 있는 증례적 치료를 함으로써 보행의 효율성을 향상시킬 수 있을 것이다.

결 론

보행시 뇌성마비 성인에서 정상 성인 대조군에 비해 보행 속도가 통계학적으로 유의하게 느린 소견을 보였고, 특히 경직성 양지마비에서는 보행시 에너지 소모량이 정상 대조군 및 다른 뇌성마비 군에 비해 현저히 증가된 소견을 보였다. 시공간학적 지표상 경직성 양지마비 및 편마비는 정상 대조군에 비하여 단하지 지지기가 통계학적으로 유의하게 증가되었으며, 양하지 지지기가 감소된 소견을 보였다.

참 고 문 헌

- 1) 김봉욱: 임상 보행 분석의 방법. 대한재활의학회지 1994; 18: 191-202
- 2) Bar-Or O, Inbar O, Spira R: Physiological effects of a sports rehabilitation program on cerebral palsied and post-poliomyelitic adolescents. Med Sci Sport 1976; 8: 157-161
- 3) Berg K: Effect of physical training of school children with cerebral palsy. Acta Paediatr Scand suppl 1970; 204: 27-33
- 4) Campbell J, Ball J: Energetics of walking in cerebral palsy, in energetics: application to the study and management of locomotor disabilities. Orthop Clin North Am 1978; 9: 374-377
- 5) Dahlback GO, Norlin R: The effect of corrective surgery on energy expenditure during ambulation in children with cerebral palsy. Eur J Appl Physiol Occup Physiol 1985; 54: 67-70
- 6) Duffy CM, Hill AE, Cosgrove AP, Corry IS, Graham HK: Energy consumption in children with spina bifida and cerebral palsy: a comparative study. Dev Med Child Neurol 1996; 38: 238-243
- 7) Elftman H: Biomechanics of muscle with particular application to studies of gait. J Bone Joint Surg Am 1966; 48: 363-377
- 8) Gage JR: Gait analysis in cerebral palsy, Clinics in developmental medicine, 1st ed, London: Mac Keith Press, 1991,

pp59-61

- 9) Gatev V: Role of inhibition in the development of motor coordination in early childhood. *Dev Med Child Neurol* 1972; 14: 336-341
- 10) Lundberg A: Oxygen consumption in relation to work load in students with cerebral palsy. *J Appl Physiol* 1976; 40: 873-875
- 11) Mossberg KA, Linton KA, Friske K; Ankle-foot orthoses: effect on energy expenditure of gait in spastic diplegic children. *Arch Phys Med Rehabil* 1990; 71: 490-494
- 12) Nene AV, Evans GA, Patrick JH: Simultaneous multiple operations for spastic diplegia. *J Bone Joint Surg Br* 1993; 75: 488-494
- 13) Peat M, Duno HI, Winter DA, Quanbury AO, Steinke T: Electromyographic temporal analysis of gait: hemiplegic locomotion. *Arch Phys Med Rehabil* 1976; 57: 421-425
- 14) Perry J: Gait analysis, Normal and pathological function, 2nd ed, Thorofare NJ: Slack, 1992, pp5-7, pp445-447
- 15) Rose J, Gamble J, Burgos A, Haskell W: Energy expenditure index of walking for normal children and for children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol* 1990; 32: 333-340
- 16) Rose J, Gamble J, Medieros J, Burgos A, Haskell W: Energy cost of walking in normal children and those with cerebral palsy: comparison of heart rate and oxygen uptake. *J Ped Orthoped* 1989; 9: 276-279
- 17) Saunders JB, Inman VT, Eberhart HD: The major determinants in normal and pathological gait. *J Bone Joint Surg Am* 1953; 35: 543-557
- 18) Sutherland DH, Olshen R, Cooper L, Woo SL: The development of mature gait. *J Bone Joint Surg Am* 1980; 62: 335-353
- 19) Thomas RB, Bowen BS, Freeman M, William M: Comparison of oxygen consumption measurement in children with cerebral palsy to children with muscular dystrophy. *J Ped Orthoped* 1999; 19: 133-136
- 20) Unnithan VB, Clifford C, Bar-Or O: Evaluation by exercise testing of the child with cerebral palsy. *Sports Med* 1998; 26: 239-251
- 21) Unnithan VB, Dowling JJ, Frost G, Bar-Or O: Role of cocontraction in the O₂ cost of walking in children with cerebral palsy. *Med Sci Sports Exe* 1996; 28: 1498-1504
- 22) Waters RL, Mulroy S: The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait Posture* 1999; 9: 207-231