

편마비 보행에서 운동형상학적
편위와 에너지 소모량과의 관계

연세대학교 대학원

의 학 과

임 중 엽

편마비 보행에서 운동형상학적
편위와 에너지 소모량과의 관계

지도교수 김 덕 용

이 논문을 석사 학위논문으로 제출함

2007년 12월

연세대학교 대학원

의 학 과

임 중 엽

임종엽 의 석사 학위논문을 인준함

심사위원 _____인

심사위원 _____인

심사위원 _____인

연세대학교 대학원

2007년 12월

감사의 글

먼저 지도교수님인 김덕용 선생님께 감사드립니다. 지난 2년간의 대학원 석사 과정 및 4년간의 전공의 과정에서 항상 큰 힘이 되어 주셨으며, 특히 학문에 대한 지치지 않는 열정을 보여 주셨습니다. 마음 속에 깊이 간직하도록 하겠습니다. 본 논문에 조언을 아끼지 않으셨던 박윤길 선생님과 이배환 선생님께도 깊이 감사드립니다. 그리고 본 논문이 완성되는데 많은 도움을 주신 장원혁 선생님께도 고마움을 전합니다. 같이 일하면서 서로 격려하고 신뢰를 쌓아나갔던 전공의 동기 및 선배님들의 도움도 잊지 않겠습니다. 절대적인 지원을 해 주는 저의 가족에게도 감사드립니다.

마지막으로 저의 인생을 이끌어 주시는 하나님 아버지께 이 모든 영광을 돌립니다.

저자 씀

차례

| | |
|------------------------------|----|
| 국문요약..... | 1 |
| I. 서론 | 2 |
| II. 대상 및 방법..... | 5 |
| 1. 연구대상..... | 5 |
| 2. 연구방법..... | 5 |
| 3. 정상 지수..... | 6 |
| 4. 운동형상학적 편위 | 6 |
| 가. 관절 별 및 전체 보행 주기 편위 | 6 |
| 나. 지표 편위 | 7 |
| 5. 통계 처리..... | 8 |
| III. 결과 | 10 |
| 1. 관절 별 및 전체 보행 주기 편위..... | 10 |
| 2. 지표 편위..... | 11 |
| 가. 골반..... | 11 |
| 나. 고관절..... | 12 |
| 다. 슬관절..... | 13 |
| 라. 족관절..... | 15 |
| 마. 에너지 소모량에 가장 영향력있는 지표..... | 16 |
| 3. 편위 지수 및 정상 지수..... | 16 |
| 가. 편위 지수 도출..... | 16 |
| 나. 에너지 소모량과의 연관성..... | 17 |
| IV. 고찰 | 21 |
| V. 결론 | 26 |
| 참고문헌..... | 27 |
| 영문요약..... | 31 |

그림 차례

| | |
|---------------------------------------|----|
| 그림 1. 대상군의 지수와 산소 소모비의 상관 관계 | 18 |
| 그림 2. 대상군의 지수와 편위 총합의 상관 관계..... | 19 |

표 차례

| | |
|--|----|
| 표 1. 대상군의 관절 별 및 전체 보행 주기 편위 비교 | 10 |
| 표 2. 대상군 골반의 지표 편위 비교..... | 11 |
| 표 3. 대상군 고관절의 지표 편위 비교 | 13 |
| 표 4. 대상군 슬관절의 지표 편위 비교 | 14 |
| 표 5. 대상군 족관절의 지표 편위 비교 | 15 |
| 표 6. 편위 지수 | 17 |
| 표 7. 대상군의 지수 간 비교..... | 18 |
| 표 8. 대상군의 지수 간 상관 관계 | 18 |
| 표 9. 대상군의 지수들과 곡선 전체 편위 총합과의 상관 관계..... | 19 |

국문요약

편마비 보행에서 운동형상학적 편위와 에너지 소모량과의 관계

뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행의 평가에 에너지 소모량이 사용되나, 보행의 어떠한 부분이 이에 영향을 주는지에 대한 연구는 부족한 실정이다. 이에 본 연구에서는 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행 편위가 에너지 소모량과 연관이 되는지, 된다면 어떠한 편위가 영향을 주는지를 살펴보고자 하였다.

40대에서 60대 사이의 뇌졸중으로 인한 편마비 환자 56명에 대해 보행 분석 및 에너지 소모량 분석을 시행하였고, 40대에서 60대 사이의 정상인 12명을 대조군으로 하여 좌측과 우측 수치를 합해서 총 24개의 정상 결과를 얻었다. 정상인의 보행 곡선과 대상군의 보행 곡선 간의 곡선 전체 편위와 에너지 소모량에 대해, 유병기간을 제어한 편상관분석을 시행하였고, 운동형상학적 지표의 편위를 구하여 에너지 소모량 및 해당 관절의 곡선 편위의 합과의 편상관분석을 시행하였다. 그리고 통계학적으로 의미있는 지표에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였다. 또한, 각 관절에서 에너지 소모량 및 곡선 편위의 합 두 가지 모두에 대해 편상관분석 및 다중 회귀 분석 모두에서 통계학적으로 유의한 지표에 대해 주성분분석을 통해 편위 지수를 만들고, 편위 지수 및 정상 지수를 에너지 소모량 및 곡선 편위의 합에 대해 편상관분석 및 다중 회귀 분석을 시행하였다.

뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행에서의 운동형상학적 편위는 에너지 소모량과 상관 관계가 있었다. 이환측 및 비이환측 골반의 횡단면 운동 범위, 이환측 및 비이환측 고관절의 발가락 떼기 시 신전, 이환측의 뼈짚다리 보행 및 라커 작용, 이환측 하지 근력 약화에 영향을 받는 비이환측 슬관절의 유각기 최대 굴곡이 중요하였다. 8가지 변수로 만든 편위 지수와 정상 지수는 에너지 소모량과 곡선 전체 편위 총합 모두와 연관성이 있었다. 정상 지수의 이러한 연관성은 보행 속도에 의한 것이며, 편위 변수는 보행 속도 측정 없이 8가지 변수를 측정함으로써 보행의 운동형상학적 편위와 에너지 소모량을 예측할 수 있는 유용성을 보였다.

이상과 같이 편마비 보행의 운동형상학적 편위는 에너지 소모량과 연관된다.

핵심되는 말 : 편마비 보행, 운동형상학적 편위, 에너지 소모량

편마비 보행에서 운동형상학적 편위와 에너지 소모량과의 관계

<지도교수 김덕용>

연세대학교 대학원 의학과

임 종 엽

I. 서론

인간에서의 보행은 신체의 여러 부위가 복잡하지만 체계적으로 작용하는 인간 특유의 장소 이동 방법으로,¹ 중추 신경계 및 말초 신경계의 조정을 받아 여러 근육들이 수축과 이완을 하는 일련의 과정을 거쳐 나타난다. 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행은 근력 약화, 근경직, 관절 구축, 감각 신경 이상 등 다양한 원인과 환자 자신의 비정상적 적응으로 인해 정상 보행과 다르며, 이환측과 비이환측도 서로 다르다. 뇌졸중 환자의 병적 보행 시 특징적인 근육 사용은 보행 분석을 통해 양상을 분류할 수도 있는데, De Quervain 등²은 중뇌동맥 경색으로 인한 편마비 환자 18명을 대상으로 보행 분석을 시행하여 속도, 보행 주기, 관절 각도 등에 따라 환자를 분류하여 보고한 바가 있다.

뇌졸중으로 인한 편마비 보행의 전체적인 능력을 평가할 수 있는 가장 민감하고 유의하며 신뢰도가 높은 인자는 보행 속도이지만,^{3,4} 보행 능력을 평가하고 보행 장애에 의한 문제를 양적으로 평가하는데

있어서는 생리학적 에너지 소모량이 가장 신뢰성있는 방법이다.⁵ 뇌졸중으로 인한 편마비 환자에서 보행 수준과 심혈관계 기능은 매우 낮다.⁶ 이는 에너지 소모량에 영향을 줄 수 있으며, 보행 속도와 보행 능력의 상관 관계와 달리 에너지 소모량과 보행 능력 사이에는 심혈관계 기능이 고려되게 된다. 이러한 점은 에너지 소모량을 측정하는 것이 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행 능력을 좀 더 실제적으로 평가하는 방법이 된다는 것을 시사한다. 또한, 노년층에서 주로 뇌졸중이 발생하지만, 심혈관계 기능 저하가 적은 비교적 젊은 연령에서 발생한 뇌졸중으로 인한 편마비 환자에서도 보행 시 대사 소모율이 높다는 것이 보고된 바 있으며,⁷ 따라서 심혈관계 기능의 저하 만으로 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행을 설명할 수는 없다.

에너지 소비의 단위에는 산소 소모율(oxygen rate)과 산소 소모비(oxygen cost)가 있는데, 산소 소모율은 분당 소모된 산소의 양으로 ml/kg·minute 단위를 사용하며, 산소 소모비는 일정 거리를 걷는데 소모된 산소의 양으로 ml/kg·meter 단위를 사용한다. 산소 소모율은 보행 속도와 연관되며, 뇌졸중으로 인한 편마비 환자는 보행 속도가 정상에 비해 상당히 감소되므로, 정상인보다 산소 소모율이 낮게 나온다.¹ 즉, 보행 속도의 영향을 받는 수치이며, 이를 보행 속도로 나누면 산소 소모비가 된다. 산소 소모비 즉 에너지 소모량은 환자에서는 정상인보다 거의 항상 높으며, 보행의 효율이 정상인보다 떨어짐을 의미한다.

근골격계 문제가 없는 정상인에서는 보행 시 하지 관절의 움직임이 비교적 일정하게 나타나며, 이러한 운동형상학적 지표가 보행 분석의 기준 자료가 된다. 반면 뇌졸중으로 인한 편마비 환자에서는 이러한 관절의 움직임이 더욱 복잡하게 된다. 근력 및 팻팻한

정도(stiffness)가 이환측과 비이환측에서 다르며,⁸ 이환측에서는 근력의 약화 및 근경직이 나타날 수 있다. 따라서 이환측 및 비이환측 각각의 관절 또한 서로 다른 양상을 보일 것이며, 뇌의 병변에 따라서도 양상이 달라질 수 있다. 이러한 양상 중 가장 두드러지게 나타나는 보행 중 하나는 유각기 시 슬관절 굴곡 감소를 보이는 뻣뻣다리 보행(stiff-knee gait)이며,⁹ 이의 원인으로서는 감소된 슬관절 굴곡, 감소된 고관절 굴곡, 입각기 시 감소된 족관절 모멘트, 유각기 시 부적절한 대퇴 사두근(quadriceps) 활성화 등이 있다.¹⁰ 또한 이환측의 부족한 점을 보상하기 위해 비이환측에서도 정상인과 다른 관절의 움직임이 나타나게 된다.⁸

뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행 속도에는 하지의 각 관절의 시상면, 관상면, 횡단면의 수치들이 모두 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.^{11,12} 또한, 이러한 환자에서 발목관절 보조기,¹³ 신발 교정,¹⁴ 답차(treadmill) 보행 훈련¹⁵ 등을 사용하여 보행의 편위(deviation)를 교정하면 에너지 소모량을 감소시킬 수 있음이 알려져 있다. 그러므로 편마비 환자에서 운동형상학적 편위는 에너지 소모량에 영향을 미칠 것으로 생각된다. 그러나 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행에 있어 에너지 소모량에 영향을 주는 운동형상학적 편위에 대한 연구는 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행을 이환측과 비이환측으로 나누어 각 관절의 시상면, 관상면, 횡단면에서의 운동형상학적 지표를 측정하고, 정상인과 비교하여 편위된 정도가 에너지 소모량에 영향을 미치는 지를 확인하고자 하였고, 실제로 영향을 미친다면 어떠한 지표의 편위가 통계학적으로 가장 의미있게 영향을 미치는 지를 살펴보고자 하였다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

뇌졸중으로 인한 편마비로 2005년 12월부터 2007년 7월까지 연세대학교 세브란스병원 재활의학과에서 입원 혹은 외래 치료를 받았던 40대에서 60대 사이의 환자 56명을 대상으로 하였다. 대상 환자들은 보조기 없이 독립보행이 가능하였고, 병전에는 보행에 문제가 없었으며, 검사자의 지시에 따를 수 있는 정도의 인지력을 가지고 있었다.

대상군의 평균 나이는 55.9세였고 남성이 36명, 여성이 20명이었다. 우측 편마비가 35명, 좌측 편마비가 21명이었고, 뇌경색이 44명, 뇌출혈이 12명이었으며, 뇌졸중 후 유병 기간은 평균 8.7개월이었다. 몸무게는 평균 63.8kg이었고 신장은 평균 164.3cm이었다.

대조군은 신경근육학적으로 이상이 없는 40대에서 60대 사이의 정상인 12명으로 하였으며, 좌측과 우측 수치를 합하여 총 24개의 정상 결과를 얻었다. 대조군의 평균 나이는 51.7세였고 남성이 10명, 여성이 2명이었으며, 몸무게는 평균 66.1kg이었고 신장은 평균 165.8cm로, 나이, 몸무게, 신장 모두 대상군과 비교하여 통계학적으로 의미있는 차이를 보이지 않았다.

2. 연구방법

보행 분석은 김 등¹⁶이 보고한 바와 같이 13개의 수동표식자를 부착한 후 6개의 적외선 카메라를 갖춘 3차원 보행분석기인 Vicon 370 Motion Analysis System (Oxford Metrics Inc., Oxford, U.K.)을 이용하여 운동형상학적 지표를 분석하였다. 먼저 적외선 카메라에서 발생할 수 있는 오차를 줄이기 위해 보정(calibration)을 시행한 후 검사를 진행하였다. 피검자가 맨발로 보조기 도움 없이 8m 길이의 평지 보도를 수차례 걸게 하여 자연스러운 보행을 유도한 후,

검사하는 동안 최소한 5차례 이상 보행을 시도하여 분석하였다.

같은 날 K4b² (Cosmed s.r.l., Rome, Italy)를 이용하여 에너지 소모량 분석을 시행하였다. 5분간 앉아 있다가 5분간 자연스러운 보행을 시행하게 되며, 분 간격으로 산소 소모율이 측정되는데, 나중 5분간 보행 시 측정된 산소 소모율 중 안정기에 도달하여 비슷한 값이 연속해서 나오는 3개의 수치를 평균하여 산소 소모율로 정하였다. 이를 보행 속도로 나누어 산소 소모비를 구하여 본 연구에 사용하였다.

3. 정상 지수

Schutte 등¹⁷에 의해 제안된 정상 지수(Normalcy index)¹⁸는 환자의 보행이 정상인으로부터 얼마나 편위되어 있는지를 정량화한 지수이다. 보행의 운동형상학적 지표 중 16가지를 선정하여 이를 주성분분석(principal component analysis)을 통해 지수화하여, 하나의 수치로 보행의 편위 정도를 나타내도록 한 것이다. 선정된 지표는 발가락 떼기(toe off)의 시기, 보행 속도, 보속(cadence), 평균 골반 경사(tilt), 골반 경사 범위, 평균 골반 회전, 최소 고관절 굴곡, 고관절 굴곡 범위, 유각기 최대 외전, 입각기 평균 고관절 회전, 초기 접지(initial contact) 시 슬관절 굴곡, 최대 슬관절 굴곡 시기, 슬관절 굴곡 범위, 입각기 최대 배측굴곡(dorsiflexion), 유각기 최대 배측굴곡, 평균 족부 진행 각도(foot progression angle)의 16가지이다.

4. 운동형상학적 편위

가. 관절 별 및 전체 보행 주기 편위

Vicon 370 system에서는 보행 주기 2% 단위로 각도가 표시되게 된다. 따라서 각 관절의 3면에서의 정상군의 평균 곡선을 구한 다음,

보행 주기 별로 대상군과 정상군의 각도 차이를 절대값으로 구한 다음, 여기에 보행 주기를 2% 단위로 적분하면 그 보행 주기 동안의 운동형상학적 편위를 나타내게 되며 단위는 °·%이다. 각 관절의 3면에 대해 이러한 편위를 구하였고, 각 관절 별로 3면의 편위의 합을 구하였으며, 또한 모든 관절의 편위의 합을 구하였다. Vicon 수동표식자로 측정된 슬관절과 족관절의 비시상면 각도는 일반적으로 타당하지 않고 유용하지 않다고 간주되므로,¹⁹ 슬관절과 족관절의 관상면 및 횡단면 각도는 제외되었다.

나. 지표 편위

보행과 관련된 기존의 여러 논문들을 분석하여 중요한 운동형상학적 지표들을 선정하였다. 골반에서는 최대 전방 경사,^{20,21} 최소 전방 경사,²¹ 평균 전방 경사,^{17,22-24} 시상면 운동 범위,^{17,23} 관상면 운동 범위,²² 횡단면 운동 범위,²² 초기 접지 시 내회전,²¹ 발가락 떼기 시 외회전,²¹ 평균 회전¹⁷을 선정하였고, 고관절에서는 초기 접지 시 굴곡,^{20,21,24,25} 입각기 최대 굴곡,²⁵ 유각기 최대 굴곡,^{20,24,26} 최대 굴곡,^{22,23} 최대 신전,^{17,22-24,26} 발가락 떼기 시 신전,²¹ 시상면 운동 범위,^{17,23,25} 관상면 운동 범위,²² 횡단면 운동 범위,²² 유각기 최대 외전,¹⁷ 초기 접지 시 내회전,²¹ 입각기 평균 회전,¹⁷ 유각기 최대 내회전²¹을 선정하였으며, 슬관절에서는 초기 접지 시 굴곡,^{17,20,23,24} 입각기 최대 신전,^{20,24,26} 입각기 최대 굴곡,^{24,25} 유각기 최대 굴곡,^{20,24,26} 최대 굴곡,²³ 최소 굴곡,²³ 시상면 운동 범위^{17,23,25}를 선정하였고, 족관절에서는 초기 접지 시 배측굴곡,^{17,20,21,23-26} 입각기 최대 배측굴곡,^{17,20,21,23-26} 발가락 떼기 시 족저굴곡(plantarflexion),²¹ 유각기 최대 배측굴곡,^{17,20,23,25} 최대 족저굴곡,^{23,24} 유각기 최대 족저굴곡,²⁶ 98% 보행 주기 시 배측굴곡,^{20,21} 시상면 운동 범위^{23,25}를 선정하여 총 37가지의 각도 지표를 선정하였다. 정상군에서 이러한 지표의 정

상치를 구한 다음, 대상군의 이환측 및 비이환측 각각의 수치와의 차이를 구하였다.

5. 통계 처리

통계 분석은 SPSS 13.0 for Windows version을 이용하였다. 뇌졸중으로 인한 편마비에서는 시간이 지날수록 보행 양상이 고착화되므로 이를 고려하기 위해, 발병으로부터 보행 분석 시까지의 기간을 제어(control)하여, 각 관절 별로 3면의 곡선 편위와 에너지 소모량에 대해 편상관분석(partial correlation analysis)을 시행하였고, 운동형상학적 지표 편위와 에너지 소모량에 대해서도 편상관분석을 시행하였다. 각 관절 별로 이환측과 비이환측의 수치를 independent t-test를 이용하여 비교하였다. 각 관절 별로 3면의 곡선 편위의 합과 운동형상학적 지표 사이의 편상관분석도 시행하였으며, 각 관절에서 에너지 소모량 및 편위 두 가지 모두에 대해 편상관분석에서 유의한 것으로 나타난 운동형상학적 지표를 변수로 에너지 소모량에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였다. 각 관절 별로 의미있는 변수를 찾은 뒤 이러한 변수들을 모아 에너지 소모량에 대해 다시 다중 회귀 분석을 시행하였다.

각 관절에서 에너지 소모량 및 해당 관절의 곡선 편위의 총합에 대해 편상관분석 및 다중 회귀 분석 모두에서 통계학적으로 유의한 것으로 나타난 운동형상학적 지표들로 주성분분석을 시행하여 편위 지수를 만들었다. 정상 지수도 구하여, 편위 지수와 정상 지수 중 어느 것이 에너지 소모량과 연관되어 있는지 알아보기 위해 편상관분석 및 다중 회귀 분석을 시행하였다. 정상 지수는 이환측과 비이환측의 수치를 합하였다. 정상 지수는 에너지 소모량과 연관성이 높은 보행 속도를 포함하고 있으므로, 정상 지수에서 보행 속도를 제외한 정상 지

수도 구하여 비교하였다. p값이 0.05 미만인 경우를 통계학적으로 유의한 것으로 정의하였다.

III. 결과

1. 관절 별 및 전체 보행 주기 편위

관절별 편위 총합을 포함한 곡선 전체 편위에서는 고관절 관상면에서만 비이환측이 이환측에 비해 통계학적으로 의미있게 편위가 컸다. 그 외의 변수에서는 이환측 평균과 비이환측 평균 간에 통계학적으로 의미있는 차이는 없었다(표 1).

표 1. 대상군의 관절 별 및 전체 보행 주기 편위 비교

| | | 이환측 | | 비이환측 | |
|-----|-------|------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| | | 편위값 ¹ | 상관계수 ² | 편위값 ¹ | 상관계수 ² |
| 골반 | 시상면 | 522.2±323.7 | 0.125 | 510.1±335.6 | 0.096 |
| | 관상면 | 288.6±122.8 | 0.218 | 284.7±129.6 | 0.227 |
| | 횡단면 | 569.5±275.8 | 0.061 | 596.3±268.6 | 0.195 |
| | 총합 | 1380.2±482.3 | 0.182 | 1391.2±469.7 | 0.258 |
| 고관절 | 시상면 | 899.8±339.2 | 0.404** | 958.0±437.6 | 0.399** |
| | 관상면 | 357.3±170.6 | 0.148 | 496.8±230.9 [†] | 0.339* |
| | 횡단면 | 830.1±423.0 | 0.022 | 723.5±319.1 | 0.058 |
| | 총합 | 2087.2±574.4 | 0.293* | 2178.3±676.6 | 0.402** |
| 슬관절 | 시상면 | 1319.7±487.1 | 0.526** | 1331.4±470.9 | 0.562** |
| 족관절 | 시상면 | 728.3±353.0 | 0.259 | 626.1±191.7 | 0.470** |
| | 편위 총합 | 5515.4±1398.8 | 0.441** | 5527.0±1497.1 | 0.502** |

¹ 단위는 °이고 그 값은 평균±표준편차로 나타냄.

² 편위와 산소 소모비 사이의 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

[†] 이환측 평균과 비이환측 평균이 차이 있는 경우(p<0.05).

* p<0.05.

** p<0.01.

편위 총합을 포함하여 산소 소모비에 대한 편상관분석을 시행했을 때 통계학적으로 의미있는 수치는, 이환측에서는 고관절 시상면, 고관절 총합, 슬관절 시상면, 편위 총합의 4가지였고, 비이환측에서는 고관절 시상면, 고관절 관상면, 고관절 총합, 슬관절 시상면, 족관절 시상면, 편위 총합의 6가지였다. 이환측 및 비이환측 모두에서 통계학적 의미가 있는 수치는 고관절 시상면, 고관절 총합, 슬관절 시상면, 편위 총합이었다. 의미있는 편위와 산소 소모비에 대해 다중

회귀 분석을 시행하였을 때, 이환측 슬관절 시상면이 통계학적으로 유의하게 양의 상관 관계를 보였다($R^2=0.418$, $p<0.05$).

2. 지표 편위

가. 골반

골반의 9가지 지표 편위에서 산소 소모비에 대한 편상관분석을 시행했을 때 통계학적으로 의미있는 지표는, 이환측에서는 최대 전방 경사, 평균 전방 경사, 시상면 운동 범위, 횡단면 운동 범위의 4가지였고, 비이환측에서는 최대 전방 경사, 평균 전방 경사, 횡단면 운동 범위의 3가지였다. 골반의 3면의 곡선 편위의 총합에 대한 편상관분석을 시행했을 때 통계학적으로 의미있는 지표는, 이환측에서는 최대 전방 경사, 시상면 운동 범위, 횡단면 운동 범위, 초기 접지 시 내회전, 발가락 떼기 시 외회전, 평균 회전의 6가지였고, 비이환측에서는 최대 전방 경사, 평균 전방 경사, 시상면 운동 범위, 횡단면 운동 범위, 발가락 떼기 시 외회전, 평균 회전의 6가지였다(표 2).

표 2. 대상군 골반의 지표 편위 비교

| | 이환측 | | | 비이환측 | | |
|----------|------------------|-----------------------|----------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| | 편위값 ¹ | 에너지 상관계수 ² | 곡선 상관계수 ³ | 편위값 ¹ | 에너지 상관계수 ² | 곡선 상관계수 ³ |
| 최대전방경사 | 3.54±6.44 | 0.350** | 0.321* | 3.61±6.47 | 0.322* | 0.371** |
| 최소전방경사 | -0.53±5.70 | 0.204 | 0.044 | -0.26±5.69 | 0.206 | 0.113 |
| 평균전방경사 | 1.72±5.79 | 0.294* | 0.246 | 1.65±5.82 | 0.279* | 0.304* |
| 시상면운동범위 | 4.07±3.25 | 0.296* | 0.536** | 3.87±3.17 | 0.247 | 0.518** |
| 관상면운동범위 | -1.54±2.48 | 0.202 | 0.135 | -1.38±2.52 | 0.241 | 0.200 |
| 횡단면운동범위 | 1.52±5.15 | 0.532** | 0.462** | 1.75±4.89 | 0.522** | 0.401** |
| 초기접지시내회전 | -6.20±5.70 | -0.056 | -0.308* | -3.82±5.76 | -0.085 | 0.238 |
| 발떼기시외회전 | 2.03±6.29 | 0.117 | 0.487** | -3.42±5.24 | -0.025 | -0.337* |
| 평균회전 | -2.65±5.15 | -0.048 | -0.471** | 2.51±5.10 | 0.066 | 0.455** |

¹ 각도는 ° 단위로고 시기는 % 단위이며 그 값은 평균±표준편차로 나타냄.

² 편위와 산소 소모비 사이의 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

³ 편위와 관절별 곡선 편위 총합 사이의 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

* $p<0.05$.

** $p<0.01$.

산소 소모비 및 골반의 3면의 곡선 편위의 총합 모두에 대해 통계학적으로 의미있는 지표는, 이환측에서는 최대 전방 경사, 시상면 운동 범위, 횡단면 운동 범위의 3가지였고, 비이환측에서는 최대 전방 경사, 평균 전방 경사, 횡단면 운동 범위의 3가지였다. 이환측에서의 3가지 지표를 산소 소모비에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였을 때 통계학적으로 의미있는 지표는 횡단면 운동 범위였다($R^2=0.212$, $p<0.01$). 비이환측에서의 3가지 지표를 산소 소모비에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였을 때 통계학적으로 의미있는 지표는 횡단면 운동 범위였다($R^2=0.186$, $p<0.01$).

나. 고관절

고관절의 13가지 지표 편위에서 산소 소모비에 대한 편상관분석을 시행했을 때 통계학적으로 의미있는 지표는, 이환측에서는 최대 신전, 발가락 떼기 시 신전, 시상면 운동 범위, 관상면 운동 범위, 초기 접지 시 내회전의 5가지였고, 비이환측에서는 최대 신전, 발가락 떼기 시 신전, 시상면 운동 범위, 초기 접지 시 내회전, 입각기 평균 회전의 5가지였다. 고관절의 3면의 곡선 편위의 총합에 대한 편상관분석을 시행했을 때 통계학적으로 의미있는 지표는, 이환측에서는 최대 신전, 발가락 떼기 시 신전, 시상면 운동 범위, 관상면 운동 범위, 입각기 평균 회전, 유각기 최대 내회전의 6가지였고, 비이환측에서는 초기 접지 시 굴곡, 입각기 최대 굴곡, 유각기 최대 굴곡, 최대 신전, 발가락 떼기 시 신전, 시상면 운동 범위, 유각기 최대 외전, 입각기 평균 회전의 9가지였다(표 3).

표 3. 대상군 고관절의 지표 편위 비교

| | 이환측 | | | 비이환측 | | |
|----------|------------------|-----------------------|----------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| | 편위값 ¹ | 에너지 상관계수 ² | 곡선 상관계수 ³ | 편위값 ¹ | 에너지 상관계수 ² | 곡선 상관계수 ³ |
| 초기접지시굴곡 | -7.24±7.67 | -0.106 | -0.154 | 2.31±7.81 | 0.068 | 0.310* |
| 입각기최대굴곡 | -6.75±8.00 | -0.021 | -0.095 | 2.34±7.88 | 0.065 | 0.307* |
| 유각기최대굴곡 | -3.48±7.23 | -0.098 | -0.091 | 3.14±7.40 | 0.076 | 0.281* |
| 최대굴곡 | -3.37±7.35 | 0.017 | -0.041 | 2.96±7.50 | 0.080 | 0.303* |
| 최대신전 | -12.19±8.70 | -0.330* | -0.355** | -9.88±9.17 | -0.332* | -0.577** |
| 발떼기시신전 | -11.67±9.26 | -0.433** | -0.308* | -15.43±10.40 | -0.476** | -0.595** |
| 시상면운동범위 | -15.55±8.06 | -0.328* | -0.405** | -6.91±8.62 | -0.291* | -0.371** |
| 관상면운동범위 | -2.02±3.88 | -0.383** | -0.326* | -1.22±3.79 | -0.137 | 0.150 |
| 횡단면운동범위 | -3.30±10.53 | 0.080 | 0.213 | -3.90±7.63 | -0.078 | 0.101 |
| 유각기최대외전 | -0.86±3.61 | -0.249 | -0.054 | 1.17±5.18 | 0.059 | 0.303* |
| 초기접지시내회전 | 5.84±9.83 | 0.406** | -0.242 | 6.70±9.32 | 0.466** | 0.108 |
| 입각기평균회전 | -3.94±7.45 | 0.212 | -0.545** | -2.19±4.97 | 0.282* | -0.348** |
| 유각기최대내회전 | -5.22±8.35 | 0.060 | -0.387** | -4.12±7.02 | 0.013 | -0.230 |

¹ 각도는 ° 단위이고 시기는 % 단위이며 그 값은 평균±표준편차로 나타냄.

² 편위와 산소 소모비 사이의 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

³ 편위와 관절별 곡선 편위 총합 사이의 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

* p<0.05.

** p<0.01.

산소 소모비 및 고관절의 3면의 곡선 편위의 총합 모두에 대해 통계학적으로 의미있는 지표는, 이환측에서는 최대 신전, 발가락 떼기 시 신전, 시상면 운동 범위, 관상면 운동 범위의 4가지였고, 비이환측에서는 최대 신전, 발가락 떼기 시 신전, 시상면 운동 범위, 입각기 평균 회전의 4가지였다. 이환측에서의 4가지 지표를 산소 소모비에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였을 때 통계학적으로 의미있는 지표는 발가락 떼기 시 신전이였다($R^2=0.283$, $p<0.05$). 비이환측에서의 4가지 지표를 산소 소모비에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였을 때 통계학적으로 의미있는 지표는 발가락 떼기 시 신전이였다($R^2=0.248$, $p<0.05$).

다. 슬관절

슬관절의 7가지 지표 편위에서 산소 소모비에 대한 편상관분석을 시행했을 때 통계학적으로 의미있는 지표는, 이환측에서는 입각기 최대 굴곡, 유각기 최대 굴곡, 최대 굴곡, 최소 굴곡, 시상면 운동 범위의 5가지였고, 비이환측에서는 초기 접지 시 굴곡, 유각기 최대 굴곡, 최대 굴곡, 시상면 운동 범위의 4가지였다. 슬관절 시상면의

곡선 편위에 대한 편상관분석을 시행했을 때 통계학적으로 의미있는 지표는, 이환측에서는 초기 접지 시 굴곡, 입각기 최대 신전, 입각기 최대 굴곡, 유각기 최대 굴곡, 최대 굴곡, 최소 굴곡, 시상면 운동 범위의 7가지였고, 비이환측에서는 초기 접지 시 굴곡, 입각기 최대 신전, 유각기 최대 굴곡, 최대 굴곡, 최소 굴곡, 시상면 운동 범위의 6가지였다(표 4).

표 4. 대상군 슬관절의 지표 편위 비교

| | 이환측 | | | 비이환측 | | |
|---------|------------------|-----------------------|----------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| | 편위값 ¹ | 에너지 상관계수 ² | 곡선 상관계수 ³ | 편위값 ¹ | 에너지 상관계수 ² | 곡선 상관계수 ³ |
| 초기접지시굴곡 | 3.12±7.64 | -0.064 | -0.445** | 15.40±8.51 | 0.525** | 0.753** |
| 입각기최대신전 | 0.14±7.32 | 0.260 | 0.580** | -6.59±6.46 | -0.011 | -0.284* |
| 입각기최대굴곡 | -7.18±11.16 | -0.277* | -0.693** | 5.91±7.11 | -0.062 | -0.103 |
| 유각기최대굴곡 | -27.29±14.88 | -0.535** | -0.767** | -7.22±7.69 | -0.432** | -0.508** |
| 최대굴곡 | -26.91±14.35 | -0.482** | -0.773** | -6.97±7.22 | -0.353** | -0.499** |
| 최소굴곡 | -0.36±6.87 | -0.335* | -0.623** | 6.84±6.43 | 0.034 | 0.310* |
| 시상면운동범위 | -26.55±11.63 | -0.393** | -0.580** | -13.81±9.82 | -0.277* | -0.556** |

¹ 각도는 ° 단위로고 시기는 % 단위이며 그 값은 평균±표준편차로 나타냄.

² 편위와 산소 소모비 사이의 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

³ 편위와 관절별 곡선 편위 총합 사이의 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

* p<0.05.

** p<0.01.

산소 소모비 및 슬관절 시상면의 곡선 편위에 대해 통계학적으로 의미있는 지표는, 이환측에서는 입각기 최대 굴곡, 유각기 최대 굴곡, 최대 굴곡, 최소 굴곡, 시상면 운동 범위의 5가지였고, 비이환측에서는 초기 접지 시 굴곡, 유각기 최대 굴곡, 최대 굴곡, 시상면 운동 범위의 4가지였다. 이환측에서의 5가지 지표를 산소 소모비에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였을 때 통계학적으로 의미있는 지표는 유각기 최대 굴곡이었다($R^2=0.394$, $p<0.01$). 비이환측에서의 4가지 지표를 산소 소모비에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였을 때 통계학적으로 의미있는 지표는 초기 접지 시 굴곡, 유각기 최대 굴곡이었으며, 이 중 유각기 최대 굴곡이 가장 영향력있는 지표였다($R^2=0.407$, $p<0.01$).

라. 족관절

족관절의 8가지 지표 편위에서 산소 소모비에 대한 편상관분석을 시행했을 때 통계학적으로 의미있는 지표는, 이환측에서는 입각기 최대 배측굴곡, 시상면 운동 범위의 2가지였고, 비이환측에서는 초기 접지 시 배측굴곡, 최대 족저굴곡, 유각기 최대 족저굴곡, 98% 보행 주기 시 배측굴곡, 시상면 운동 범위의 5가지였다. 족관절 시상면의 곡선 편위에 대한 편상관분석을 시행했을 때 통계학적으로 의미있는 지표는, 이환측에서는 초기 접지 시 배측굴곡, 입각기 최대 배측굴곡, 발가락 떼기 시 족저굴곡, 유각기 최대 배측굴곡, 최대 족저굴곡, 유각기 최대 족저굴곡, 98% 보행 주기 시 배측굴곡의 7가지였고, 비이환측에서는 초기 접지 시 배측굴곡, 발가락 떼기 시 족저굴곡, 최대 족저굴곡, 유각기 최대 족저굴곡의 4가지였다(표 5).

표 5. 대상군 족관절의 지표 편위 비교

| | 이환측 | | | 비이환측 | | |
|-----------|------------------|-----------------------|----------------------|------------------|-----------------------|----------------------|
| | 편위값 ¹ | 에너지 상관계수 ² | 곡선 상관계수 ³ | 편위값 ¹ | 에너지 상관계수 ² | 곡선 상관계수 ³ |
| 초기접지시배측굴곡 | -9.85±6.25 | -0.163 | -0.767** | 1.34±4.05 | 0.363** | 0.310* |
| 입각기최대배측굴곡 | -5.29±6.94 | -0.393** | -0.677** | 1.72±4.46 | -0.164 | 0.239 |
| 발떼기시족저굴곡 | -3.96±6.37 | 0.086 | 0.357** | -7.53±6.24 | -0.158 | -0.372** |
| 유각기최대배측굴곡 | -5.30±6.17 | -0.251 | -0.602** | 1.82±3.85 | 0.097 | 0.216 |
| 최대족저굴곡 | 1.58±5.90 | 0.086 | 0.739** | -6.86±4.61 | -0.273* | -0.309* |
| 유각기최대족저굴곡 | 0.88±6.38 | 0.039 | 0.679** | -7.82±5.30 | -0.317* | -0.327* |
| 98%시기배측굴곡 | -9.88±6.89 | -0.169 | -0.752** | 1.74±4.03 | 0.360** | 0.204 |
| 시상면운동범위 | -3.68±7.39 | -0.299* | -0.033 | -5.20±5.85 | -0.341* | -0.065 |

¹ 각도는 ° 단위로고 시기는 % 단위이며 그 값은 평균±표준편차로 나타냄.

² 편위와 산소 소모비 사이의 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

³ 편위와 관절별 곡선 편위 총합 사이의 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

* p<0.05.

** p<0.01.

산소 소모비 및 족관절 시상면의 곡선 편위에 대해 통계학적으로 의미있는 지표는, 이환측에서는 입각기 최대 배측굴곡의 1가지였고, 비이환측에서는 초기 접지 시 배측굴곡, 최대 족저굴곡, 유각기 최대 족저굴곡의 3가지였다. 이환측에서의 1가지 지표를 산소 소모비에

대해 단순 회귀 분석을 시행하였을 때 입각기 최대 배측굴곡은 통계학적으로 의미있었다($R^2=0.151$, $p<0.01$). 비이환측에서의 3가지 지표를 산소 소모비에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였을 때 통계학적으로 의미있는 지표는 없었다($p>0.05$).

마. 에너지 소모량에 가장 영향력있는 지표

각 관절의 다중 회귀 분석에서 통계학적으로 의미있는 지표들을 모아서 산소 소모비에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였다. 통계학적으로 의미있는 지표는 이환측 슬관절의 유각기 최대 굴곡, 비이환측 슬관절의 초기 접지 시 굴곡이었으며, 이 중 비이환측 슬관절의 초기 접지 시 굴곡이 가장 영향력있는 지표였다($R^2=0.344$, $p<0.05$).

3. 편위 지수 및 정상 지수

가. 편위 지수 도출

각 관절에서 산소 소모비 및 해당 관절의 곡선 편위의 총합에 대해 편상관분석 및 다중 회귀 분석 모두에서 통계학적으로 유의한 것으로 나타난 운동형상학적 지표들은, 골반에서는 이환측의 횡단면 운동 범위, 비이환측의 횡단면 운동 범위였고, 고관절에서는 이환측의 발가락 떼기 시 신전, 비이환측의 발가락 떼기 시 신전이었으며, 슬관절에서는 이환측의 유각기 최대 굴곡, 비이환측의 초기 접지 시 굴곡, 비이환측의 유각기 최대 굴곡이었고, 족관절에서는 이환측의 입각기 최대 배측굴곡이었다. 이 9가지 지표로 주성분분석을 시행하여 편위 지수를 만들었다(표 6).

표 6. 편위 지수

| | | | 상관계수 ¹ | 평균 ² | 표준편차 ³ | 성분점수 ⁴ |
|-----|------|-------------|-------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| 골반 | 이환측 | 횡단면 운동 범위 | 0.532** | 9.034 | 3.433 | 0.338 |
| | 비이환측 | 횡단면 운동 범위 | 0.522** | 9.034 | 3.433 | 0.338 |
| 고관절 | 이환측 | 발가락 떼기 시 신전 | -0.433** | -3.705 | 4.523 | -0.069 |
| | 비이환측 | 발가락 떼기 시 신전 | -0.476** | -3.705 | 4.523 | -0.069 |
| 슬관절 | 이환측 | 유각기 최대 굴곡 | -0.535** | 66.613 | 4.253 | -0.059 |
| | 비이환측 | 초기 접지 시 굴곡 | 0.525** | 11.084 | 4.211 | 0.322 |
| 족관절 | 이환측 | 유각기 최대 굴곡 | -0.432** | 66.613 | 4.253 | -0.059 |
| | 이환측 | 입각기 최대 배측굴곡 | -0.393** | 16.139 | 3.154 | -0.239 |

¹ 편위와 산소 소모비 사이의 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

² 정상인의 좌측과 우측 수치의 평균임.

³ 정상인의 좌측과 우측 수치의 표준편차임.

⁴ 정상인의 좌측과 우측 수치에 대한 주성분분석 결과임. 이에 따라 편위 지수=0.338*(이환측 골반 횡단면 운동 범위-9.034)/3.433+0.338*(비이환측 골반 횡단면 운동 범위-9.034)/3.433-0.069*(이환측 고관절 발가락 떼기 시 신전+3.705)/4.523-0.069*(비이환측 고관절 발가락 떼기 시 신전+3.705)/4.523-0.059*(이환측 슬관절 유각기 최대 굴곡-66.613)/4.253+0.322*(비이환측 슬관절 초기 접지 시 굴곡-11.084)/4.211-0.059*(비이환측 슬관절 유각기 최대 굴곡-66.613)/4.253-0.239*(이환측 족관절 입각기 최대 배측굴곡-16.139)/3.154=0.098*(이환측 골반 횡단면 운동 범위)+0.098*(비이환측 골반 횡단면 운동 범위)-0.015*(이환측 고관절 발가락 떼기 시 신전)-0.015*(비이환측 고관절 발가락 떼기 시 신전)-0.014*(이환측 슬관절 유각기 최대 굴곡)+0.076*(비이환측 슬관절 초기 접지 시 굴곡)-0.014*(비이환측 슬관절 유각기 최대 굴곡)-0.076*(이환측 족관절 입각기 최대 배측굴곡)+0.332 로 나타낼 수 있음.

* p<0.05.

** p<0.01.

나. 에너지 소모량과의 연관성

편위 지수 및 정상 지수, 보행 속도를 제외하고 구한 정상 지수를 서로 비교하였다. 산소 소모비에 대한 편상관분석을 시행했을 때 편위 지수 및 정상 지수는 통계학적으로 의미가 있었으나, 보행 속도를 제외하고 구한 정상 지수는 통계학적으로 의미가 없었다(표 7). 또한, 지수 간의 상관 관계를 보았을 때, 편위 지수는 정상 지수 및 속도를 제외한 정상 지수와 상관 관계가 있었으나, 정상 지수와 속도를 제외한 정상 지수 사이에는 상관 관계가 없었다(표 8). 통계학적으로 의미 있는 지수들을 산소 소모비에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였을 때, 편위 지수와 정상 지수 모두 통계학적으로 유의하게 양의 상관 관계를 보였으며 편위 지수가 가장 영향력있는 지표였다($R^2=0.425$, $p<0.05$). 편위 지수와 정상 지수 각각을 산소 소모비에 대해 단순 회

귀 분석을 시행하였을 때, 편위 지수($R^2=0.359$, $p<0.01$)와 정상 지수($R^2=0.374$, $p<0.01$) 모두 통계학적으로 의미있었고 결정 계수는 비슷하였다(그림 1).

표 7. 대상군의 지수 간 비교

| | 지수 ¹ | 상관계수 ² |
|-------------|-----------------|-------------------|
| 편위 지수 | 2.79±2.07 | 0.664** |
| 정상 지수 | 7.91±5.75 | 0.616** |
| 속도 제외 정상 지수 | -0.44±2.21 | 0.096 |

¹ 평균±표준편차로 나타냄.

² 지수와 산소 소모비 사이의 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

* $p<0.05$.

** $p<0.01$.

표 8. 대상군의 지수 간 상관 관계¹

| | 편위 지수 | 정상 지수 | 속도 제외 정상 지수 |
|-------------|---------|---------|-------------|
| 편위 지수 | | 0.753** | 0.312* |
| 정상 지수 | 0.753** | | 0.130 |
| 속도 제외 정상 지수 | 0.312* | 0.130 | |

¹ 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

* $p<0.05$.

** $p<0.01$.

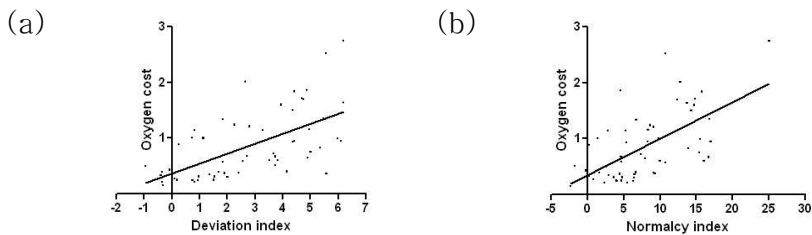


그림 1. 대상군의 지수와 산소 소모비의 상관 관계. (a) 편위 지수와 산소 소모비. 산소 소모비=0.177(편위 지수)+0.367($R^2=0.359$, $p<0.01$). (b) 정상 지수와 산소 소모비. 산소 소모비=0.065(정상 지수)+0.348($R^2=0.374$, $p<0.01$).

편위 지수 및 정상 지수, 보행 속도를 제외하고 구한 정상 지수를 이환측과 비이환측을 합친 곡선 전체 편위 총합에 대해 편상관분석하였다. 편위 지수 및 정상 지수는 곡선 전체 편위 총합과 통계학적으로 의미있는 상관 관계가 있었고, 속도를 제외한 정상 지수는 통계학적으로 의미있는 상관 관계가 없었다(표 9). 통계학적으로 의미있는 지수들을 곡선 전체 편위 총합에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였을 때, 편위 지수가 통계학적으로 유의하게 양의 상관 관계를 보였다($R^2=0.614$, $p<0.01$). 편위 지수와 정상 지수 각각을 편위 총합에 대해 단순 회귀 분석을 시행하였을 때, 편위 지수($R^2=0.614$, $p<0.01$)와 정상 지수($R^2=0.302$, $p<0.01$) 모두 통계학적으로 의미있었으나 결정계수는 정상 지수에 비해 편위 지수에서 높았다(그림 2).

표 9. 대상군의 지수들과 곡선 전체 편위 총합과의 상관 관계

| | 편위 총합 ¹ |
|-------------|--------------------|
| 편위 지수 | 0.763** |
| 정상 지수 | 0.567** |
| 속도 제외 정상 지수 | -0.015 |

¹ 지수와 곡선 전체 편위 총합 사이의 편상관분석 결과임. 유병기간에 대해 제어하였음.

* $p<0.05$.

** $p<0.01$.

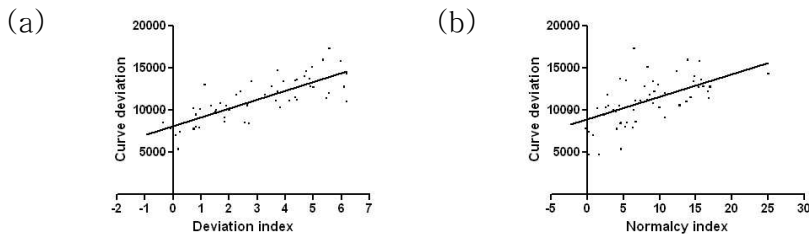


그림 2. 대상군의 지수와 편위 총합의 상관 관계. (a) 편위 지수와 편위 총합. 편위 총합=1050.454(편위 지수)+ 8109.685($R^2=0.614$, $p<0.01$). (b) 정상 지수와 편위 총합. 편위 총합=265.233(정상

지수)+ 8944.095($R^2=0.302$, $p<0.01$).

IV. 고찰

병적 보행은 뇌성마비, 뇌졸중, 척수손상 그리고 그 외에도 근골격계의 이상을 초래할 수 있는 질환 및 사고 등에 의해서 아주 다양하게 나타날 수 있으며, 이러한 병적 보행을 보이는 환자에게서 정확한 원인과 이상 부위를 찾아내어 객관화 및 수치화하여 비교, 평가함은 치료에 있어서 필수적이라 할 수 있으므로, 오래전부터 보행 분석을 위한 연구와 노력이 끊임없이 이어져 왔다.²⁷ 현재의 보행 분석은 운동형상학적 분석(kinematic analysis), 운동역학적 분석(kinetic analysis), 동적 근전도(dynamic electromyography), 에너지 소비량 측정(energy expenditure measure) 등이 포함된다.²⁸

병적 보행의 기전으로는 관절 구축, 근력 약화, 조절 장애, 통증이 있으며,¹ 뇌졸중 환자에서는 이러한 네 가지 기전이 모두 보행 양상에 영향을 줄 수 있다. 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행 훈련은 이러한 기전에 의한 병적 보행을 좀 더 정상인에 가깝게 만드는 것을 목표로 하고 있으나, 환자의 기능이 이러한 목표에 도달할 수 없는 정도일 경우에는 여러 보상적인 보행 양상이 나타나게 된다. 보행 훈련은 보행 분석처럼, 모양을 좀 더 정상인에 가깝게 만드는 운동형상학적인 부분과, 근력 강화 및 힘을 주는 시기를 좀 더 정상인에 가깝게 만드는 운동역학적인 부분이 복합되어 시행되게 된다.

본 연구 결과 정상인과 비교했을 때 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행 곡선의 편위된 정도는 에너지 소모량과 연관이 있었으며, 고관절 시상면, 고관절 곡선 편위 총합, 슬관절 시상면, 곡선 전체 편위 총합은 이환측과 비이환측 모두에서 연관이 있었다. 골반에서는 에너지 소모량과 연관된 곡선은 없었으며, 족관절 시상면은 비이환측에서만 에너지 소모량과 연관되었다. 이환측과 비이환측에서 곡선 전체 편위의 평균값을 비교했을 때 고관절 관상면에서만

비이환측이 이환측에 비해 통계학적으로 의미있게 편위가 컸고, 이를 제외하고는 통계학적으로 의미있는 차이는 없었다.

정상인에서는 골반 경사, 골반 회전, 입각기 슬관절 굴곡이 충격 흡수에 영향을 주어 에너지 소모량에 영향을 줄 것으로 생각되고 있으며,⁵ 관상면 골반 전위는 정상인에서 에너지 소모량의 중요한 예측 인자이다.²⁹ 본 연구에서는 골반의 최대 전방 경사와 평균 전방 경사, 골반의 횡단면 운동 범위는 이환측 및 비이환측 모두에서 에너지 소모량과 통계학적으로 유의한 상관 관계를 가지고 있었다. 그러나 슬관절의 입각기 최대 굴곡은 이환측에서는 통계학적으로 유의한 상관 관계가 있었으나 비이환측에서는 통계학적으로 유의하지 않았다. 또한, 골반의 관상면 운동 범위는 이환측 및 비이환측 모두에서 에너지 소모량과 통계학적으로 유의한 상관 관계가 없었다.

곡선 전체의 편위가 에너지 소모량과 연관되나, 뇌졸중으로 인한 편마비 환자의 보행 곡선 전체를 보행 분석 없이 파악하는 것은 어려우므로, 운동형상학적 지표의 편위 중 곡선 전체의 편위와 연관되는 것을 살펴보았다. 이러한 지표들의 편위를 교정함으로써 곡선 전체의 편위가 교정되고, 이는 에너지 소모량의 감소를 가져올 것이다. 또한 이러한 운동형상학적 지표가 에너지 소모량 자체와도 연관성을 가진다면 이 지표를 교정하는 것이 직접적으로 에너지 소모량의 감소를 가져올 것이다.

에너지 소모량 및 각 관절의 곡선 편위의 총합 모두와 연관된 운동형상학적 지표 중에서 다중 회귀 분석 상 통계학적으로 의미있었던 지표는, 골반에서는 이환측 및 비이환측의 횡단면 운동 범위였고, 고관절에서는 이환측 및 비이환측의 발가락 떼기 시 신전이였다. 슬관절의 이환측에서는 유각기 최대 굴곡이었고 비이환측에서는 초기 접지 시 굴곡과 유각기 최대 굴곡이였다. 족관절의 이환측에서는 입각기 최대 배측굴곡이었고 비이환측에서는 통계학적으로 의미있는 지표는 없었다.

정상인에서는 에너지 소모량에 있어 골반의 관상면이 중요하나, 본 연구 결과 뇌졸중으로 인한 편마비 환자에서는 이환측 및 비이환측 골반의 횡단면이 중요하였다. 정상인에서는 체간의 횡단면에서의 회전을 억제하여 체간과 골반 사이에서의 비틀림을 통해 얻어진 탄성 에너지가 골반으로 다시 전달되는데 반해, 뇌졸중 환자에서는 체간의 횡단면에서의 회전이 증가되어 이러한 에너지의 이용이 저하되어³⁰ 에너지 소모량이 증가되게 될 것이다.

고관절에서는 이환측과 비이환측 모두에서, 전유각기를 나타내는 발가락 떼기 시 신전이 에너지 소모량과 연관되었다. 이는 보행 진행 및 가속에 중요하다고 알려진 지표이다.¹ 이환측 슬관절에서는 유각기 최대 굴곡이 중요하였으며, 이는 뇌졸중 환자에서 흔한 뼈짱다리 보행이 에너지 소모량과 연관됨을 보여주며, 이를 개선하는 것이 중요함을 나타낸다. 이환측 족관절에서는 입각기 최대 배측굴곡이 중요하였으며, 라커 작용(rocker action)을 통한 보행 진행이 에너지 소모량에 중요함을 나타낸다.

비이환측 슬관절에서는 초기 접지 시 굴곡과 유각기 최대 굴곡이 중요하였는데, 초기 접지 시 굴곡은 안정된 체중 지지에 관여한다고 알려진 지표이다. 또한 비이환측 슬관절의 유각기 최대 굴곡은 이환측 근력 약화로 인해 이환측 하지로는 한쪽다리딛기(single limb support)를 오래 할 수가 없는 것과 연관될 것이다. 가장 영향력있는 지표를 찾기 위한 최종 다중 회귀 분석에서는 이환측 슬관절의 유각기 최대 굴곡과 비이환측 슬관절의 초기 접지 시 굴곡이 통계학적으로 의미있었다. 관절 별 및 전체 보행 주기 편위를 산소 소모비에 대해 다중 회귀 분석하였을 때 이환측 슬관절 시상면이 통계학적으로 의미있었던 것과 연관시켜 보면, 에너지 소모량에는 이환측 슬관절의 유각기 최대 굴곡과 이를 지지하는 비이환측 슬관절의 초기 접지 시 굴곡이 중요함을 알 수 있었다. 이는 뼈짱다리 보행을 개선하는 것이 에너지 소모량을 감소시키는 데

도움이 될 수 있음을 시사한다.

각 관절에서 에너지 소모량 및 해당 관절의 곡선 편위의 총합에 대해 편상관분석 및 다중 회귀 분석 모두에서 통계학적으로 유의한 것으로 나타난 운동형상학적 지표 8가지에 대해 주성분분석을 시행하여 편위 지수를 얻었다. 편위 지수의 지표 8가지와 정상 지수의 지표 16가지가 겹치는 것은 슬관절 초기 접지 시 굴곡과 족관절 입각기 최대 배측굴곡의 2가지였다. 편위 지수와 정상 지수는 에너지 소모량에 대한 편상관분석에서 통계학적으로 의미있었다. 또한 편위 지수와 정상 지수 사이에는 통계학적으로 의미있는 상관 관계가 있었다.

보행 속도는 산소 소모율과 정비례의 관계가 있고 산소 소모비와는 반비례의 관계가 있다.^{1,5} 따라서 정상 지수에서 보행 속도만을 제외하여 다시 주성분분석을 시행하여 이러한 지수가 에너지 소모량과 상관 관계가 있는지를 살펴 보았다. 속도를 제외한 정상 지수는 에너지 소모량에 대한 편상관분석에서 통계학적으로 의미가 없었으며, 정상 지수와도 통계학적으로 의미있는 상관 관계가 없었으나 편위 지수와는 통계학적으로 의미있는 상관 관계가 있었다. 편위 지수 및 정상 지수를 에너지 소모량에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였을 때, 편위 지수와 정상 지수 모두 통계학적으로 유의하게 양의 상관 관계를 보였고 이 중 편위 지수가 가장 영향력있는 지표였다. 산소 소모비에 대한 단순 회귀 분석에서 편위 지수와 정상 지수 모두 통계학적으로 의미있었고 비슷한 정도의 결정 계수를 보여, 유사한 정도로 산소 소모비와 직선적 관계에 있음을 알 수 있었다.

곡선 전체 편위 총합에 대한 편상관분석에서도 편위 지수 및 정상 지수는 통계학적으로 의미있었으나, 속도를 제외한 정상 지수는 통계학적으로 의미있는 상관 관계가 없었다. 편위 지수 및 정상 지수를 곡선 전체 편위 총합에 대해 다중 회귀 분석을 시행하였을 때, 편위 지수가 통계학적으로 유의하게 양의 상관 관계를 보였다. 또한

곡선 전체 편위 총합에 대한 단순 회귀 분석에서는 편위 지수와 정상 지수 모두 통계학적으로 의미있었으나, 결정 계수는 정상 지수에 비해 편위 지수에서 높았으며, 이는 곡선 전체 편위 총합에 대해서는 정상 지수에 비해 편위 지수가 더욱 직선적 관계에 있음을 나타낸다.

정상 지수는 에너지 소모량과 유의한 상관 관계가 있었으나, 이는 보행 속도가 정상 지수에 포함되어 있기 때문이며, 이를 제외한 정상 지수는 에너지 소모량과 상관 관계가 없었다. 본 연구에서 제안된 편위 지수는 곡선 전체 편위를 대변할 수 있고 에너지 소모량과 연관되는 변수들로 만들어져 있어, 보행의 운동형상학적 양상과 에너지 소모량을 동시에 기술할 수 있을 것으로 생각되었으며, 실제 결과도 이를 잘 나타내고 있다. 편위 지수는 에너지 소모량에 있어서는 정상 지수와 비슷한 정도의 상관 관계를 보였고, 곡선 전체 편위 총합에 있어서는 정상 지수보다 월등히 높은 상관 관계를 보였다.

따라서, 편위 지수가 커질수록 정상 보행으로부터의 편위가 커지며, 에너지 소모량도 증가될 것이다. 보행 시 상기 8가지 변수를 측정하여 편위 지수에 대입하여 계산하면 보행의 편위된 정도 및 에너지 소모량을 예측할 수 있게 될 것이며, 이러한 편위를 교정하는 것이 중요하다고 말할 수 있는 것이다.

이상의 결과에서 보았을 때, 운동형상학적 편위는 에너지 소모량과 관계가 있으며, 각도 및 시기를 정상인에 가깝게 교정하는 보행 훈련은 낙상 및 관절 손상을 방지하는 효과 뿐만 아니라 에너지 효율 측면에서도 이득이 있음을 알 수 있었다. 이러한 결과는 보행 훈련 시 어떠한 부분에 중점을 두어야 하는지 결정할 때에 도움이 될 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 56명의 독립적 보행이 가능한 뇌졸중으로 인한 편마비 환자를 대상으로 정상인과 비교하여 운동형상학적 지표와 에너지 소모량과의 상관 관계를 분석하였으며, 골반의 횡단면 운동 범위, 고관절의 발가락 떼기 시 신전, 이환측의 뼈짚다리 보행 및 라커 작용, 이환측 하지 근력 약화에 영향을 받는 비이환측 슬관절의 유각기 최대 굴곡이 중요하다는 결과를 얻었다. 편위 지수 및 정상 지수는 에너지 소모량 및 전체 보행 주기 편위와 연관성이 있었으며, 편위 지수는 운동형상학적 편위 및 에너지 소모량을 예측하는데 이용될 수 있음을 알았다. 이러한 결과는 보행 훈련의 목표 설정 및 실제 시행에 도움이 될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. Perry J. Gait analysis—normal and pathological function. 1st ed. Thorofare: SLACK; 1992.
2. De Quervain IA, Simon SR, Leurgans S, Pease WS, McAllister D. Gait pattern in the early recovery period after stroke. *J Bone Joint Surg Am* 1996;78:1506-14.
3. Wagenaar RC, Beek WJ. Hemiplegic gait: a kinematic analysis using walking speed as a basis. *J Biomech* 1992;25:1007-15.
4. Collen FM, Wade DT, Bradshaw CM. Mobility after stroke: reliability of measures of impairment and disability. *Int Disabil Stud* 1990;12:6-9.
5. Waters RL, Mulroy S. The energy expenditure of normal and pathologic gait. *Gait Posture* 1999;9:207-31.
6. Michael KM, Allen JK, Macko RF. Reduced ambulatory activity after stroke: the role of balance, gait, and cardiovascular fitness. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86:1552-6.
7. Platts MM, Rafferty D, Paul L. Metabolic cost of overground gait in younger stroke patients and healthy controls. *Med Sci Sports Exerc* 2006;38:1041-6.
8. Svantesson U, Takahashi H, Carlsson U, Danielson A, Sunnerhagen KS. Muscle and tendon stiffness in patients with upper motor neuron lesion following stroke. *Eur J Appl Physiol* 2000;82:275-9.
9. 김덕용, 박창일, 장용원, 안소영, 나상일, 박영선. 편마비 환자에서 체중부하 정도와 뼈짚다리 보행과의 상관관계. 대한재활의학회지

2004;28:20-5.

10. Kerrigan DC, Bang MS, Burke DT. An algorithm to assess stiff-legged gait in traumatic brain injury. *J Head Trauma Rehabil* 1999;14:136-45.

11. Kim CM, Eng JJ. Magnitude and pattern of 3D kinematic and kinetic gait profiles in persons with stroke: relationship to walking speed. *Gait Posture* 2004;20:140-6.

12. Hsu AL, Tang PF, Jan MH. Analysis of impairments influencing gait velocity and asymmetry of hemiplegic patients after mild to moderate stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2003;84:1185-93.

13. Danielsson A, Sunnerhagen KS. Energy expenditure in stroke subjects walking with a carbon composite ankle foot orthosis. *J Rehabil Med* 2004;36:165-8.

14. 서정환, 고명환, 김연희. 편마비 환자의 보행시 신발 교정에 따른 에너지 소모의 감소. *대한재활의학회지* 1999;23:17-23.

15. Macko RF, Smith GV, Dobrovolny CL, Sorkin JD, Goldberg AP, Silver KH. Treadmill training improves fitness reserve in chronic stroke patients. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82:879-84.

16. 김덕용, 박창일, 장원혁, 박태훈, 안소영, 이선경, 이돈신. 슬관절 골관절염 환자의 계단 오르기 동작의 특징. *대한재활의학회지* 2005;29:654-61.

17. Schutte LM, Narayanan U, Stout NL, Selber P, Gage JR. An index for quantifying deviations from normal gait. *Gait Posture* 2000;11:25-31.

18. Romei M, Galli M, Motta F, Schwartz M, Crivellini M. Use of the normalcy index for the evaluation of gait pathology. *Gait Posture*

2004;19:85-90.

19. Riley PO, Paolini G, Della Croce U, Paylo KW, Kerrigan DC. A kinematic and kinetic comparison of overground and treadmill walking in healthy subjects. *Gait Posture* 2007;26:17-24.

20. 박창일, 박은숙, 신지철, 김성우, 김덕용, 안재기. 경직성 뇌성마비 환자의 비복근내 보틀리눔 독소 주사후 경직 및 보행 양상의 변화. *대한재활의학회지* 1999;23:504-15.

21. 김덕용, 박창일, 안소영, 나상일, 박태훈, 남희승, 양은주, 이돈신. 정상 성인에서의 모의 뺨정다리 보행. *대한재활의학회지* 2007;31:310-6.

22. 김덕용, 박창일, 박은숙, 한수봉. 보행에서의 상지 움직임의 역할. *대한재활의학회지* 2001;25:1031-40.

23. 김덕용, 박창일, 장용원, 박사윤. 계단 오르기 동작과 평지 보행과의 운동형상학적 및 운동역학적 비교 분석. *대한재활의학회지* 2001;25:1048-58.

24. 김덕용, 박창일, 최용석, 문자영, 임종엽, 김덕영, 이돈신. 느린 보행 속도에 의한 보행 변화. *대한재활의학회지* 2007;31:317-23.

25. 박은숙, 박창일, 김덕용, 김용균, 방인걸, 서정훈, 조운수. 경직성 편측 뇌성마비 환자에서 보행 형태의 운동형상학적 분석. *대한재활의학회지* 2001;25:579-88.

26. 박창일, 신지철, 배하석, 김덕용, 최용석. 국산 다축성 입각기 및 유각기 동시제어 인공 슬관절의 평가. *대한재활의학회지* 2001;25:1059-68.

27. 윤승호, 김봉옥, 이제운, 박상균, 김철중, 박세진. 3차원 동작 분석기를 이용한 정상보행 분석. 1992;16:399-406.

28. 김봉옥. 임상 보행 분석의 방법. *대한재활의학회지*

1999;18:191-202.

29. Kerrigan DC, Viramontes BE, Corcoran PJ, LaRaia PJ. Measured versus predicted vertical displacement of the sacrum during gait as a tool to measure biomechanical gait performance. *Am J Phys Med Rehabil* 1995;74:3-8.

30. Kubo M, Holt KG, Saltzman E, Wagenaar RC. Changes in axial stiffness of the trunk as a function of walking speed. *J Biomech* 2006;39:750-7.

Abstract

Correlation between kinematic deviation and energy consumption in the hemiplegic gait

Jong Youb Lim

*Department of Medicine
The Graduate School, Yonsei University*

(Directed by Professor Deog Young Kim)

The aim of this study is to evaluate the correlation between kinematic deviation and energy consumption in the hemiplegic gait. Gait analysis and energy consumption analysis of 56 hemiplegic patients and 12 normal persons were collected. Curve deviation and energy consumption in the hip, knee, and ankle were statistically correlated. Correlation analysis between energy consumption and kinematic deviation which is statistically correlated to curve deviation of each joint showed that some of this deviation was statistically correlated to energy consumption. In consideration of correlation with energy consumption, transverse plane of the pelvis, hip extension at toe-off, stiff-knee gait and rocker action of the affected side, and maximal flexion of the unaffected knee during swing phase which is influenced by the weakness of the affected side were important. Deviation index describing gait was derived from principal component analysis, and this index and normalcy index were statistically correlated to energy consumption and gait curve deviation. These results can be useful to gait training of hemiplegic patients.

Key Words : hemiplegic gait, kinematic deviation, energy consumption