한국운동역학회지, 2002, 제12권 1호, pp. 155-171
Korean Journal of Sport Biomechanics
2002, Vol. 12, No. 1, pp. 155-171

트레드밀 보행시 경사도와 속도에 따른 보행형태의 운동학적 분석

조 규 권 · 김 유 신
(강릉대학교)

Ⅰ. 서 론

1. 연구의 필요성 및 목적

인간을 비롯해서 지구에 살고 있는 발을 가진 모든 동물들은 걷기도 하고 뛰기도 한다. 직립보행은 인간 특유의 이동 운동으로 일상적인 활동의 기본이 되는 동작이라고 할 수 있다. Scott(1990)는 이러한 보행 동작은 의식 또는 무의식으로 수행되므로 단순한 신체의 움직임이라고 생각하기 쉬우나 실제로는 100여 개의 골격근이 상지와 하지의 여러 관절과 협응 동작을 이루고 있는 복잡한 신체활동이라고 하였다. 보행 동작에 관한 연구는 Marey(1895)의 사진분석기법에 의한 보행 분석(gait analysis)에서부터 시작되었으며, Luthanen 등(1978)은 신체 이동에 관한 초기의 연구는 영상기법을 이용한 보행, 달리기의 운동학적인 요인의 분석에 관한 것이 주종을 이루었다. 그러나 운동학(kinematics)적인 요인의 연구만으로는 명확한 보행 동작을 규명하기에는 한계가 있었다. 그러나 최근에는 보행 동작을 정확하게 파악하기 위하여 고속촬영기(high speed camera)를 이용하여 하지 관절의 운동학(kinematics)적 요인을 분석하고 압력판(force platform)과 근전도(EMG)를 이용하여 보행 동작에 관한 운동역학(kinetics)적인 요인을 분석하기에 이르렀다.

오늘날 세계는 과학기술의 발달로 생활이 더 편리해지고 자동화됨에 따라 인간에게 신체 활동의 기회를 제한하게 되었고, 이는 운동부족 현상을 초래하여 성인병 발생의 주요 원인으로 부각되고 있

는 실정에 있다. 그러나 한편으로는 효율적인 보행 동작이 현대인들이 갖게되는 운동 부족을 어느 정도 대체해줄 수 있다는 사실과 함께 잘못된 보행 동작은 관절, 근육, 뇌와 신체 구조 등에 질병을 야기시킬 수 있다는 것(Scott, 1990)은 현시점에서 매우 신선한 충격을 주는 획기적인 것이다.

이러한 상황들을 고려해 볼 때, 우리 나라 성인의 건강한 삶을 위한 정기적인 운동대처 방안으로 그 대상을 가장 신체 활동이 왕성한 시기인 대학생 보행 형태의 분석은 매우 유용한 연구라 생각된다. 따라서 본 연구는 신체활동이 왕성한 시기인 20세-25세의 대학생을 대상으로 경사도(오르막 경사:10%, 내리막 경사:-10%)와 보행 속도(3km/h, 4km/h, 5km/h)에 따른 보행 동작을 운동학적(kinematics)으로 비교 · 분석해봄으로써 보행 형태의 특성을 규명하고 보다 효율적인 보행에 관한 기초적인 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

2. 연구 제한점

1) 연구 대상자는 K대학의 대학생 6명으로 제한하였다.
2) 성장기의 발육 · 발달에 따른 개인차는 고려하지 않았다.
3) 보행 속도는 트레드밀 상의 속도로 구분하며, 각각 3km/h, 4km/h, 5km/h로 설정하였다.
4) 경사도는 트레드밀 상의 오르막 경사(10%)와 내리막 경사(-10%)로 설정하였다.
5) 연구의 범위는 오른발 뒤꿈치 착지에서 왼발을 지나 오른발 뒤꿈치 착지 후 왼발 이지까지로 한정하였다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구 대상자

본 연구의 대상자로는 정상적으로 보행하는 K대학의 20세-25세 대학생 6명을 임의로 선정하였다. 이러한 피험자의 구체적인 신체의 특성은 **<표 1>**과 같다.

<표 1> 피험자의 신체적 특성

대상자 (subject)	연 령 (age)	체 중 (kg)	신 장 (cm)	하지장길이 (cm)
1	25	71.3	181.7	91.6
2	24	72.4	166.9	86.2
3	20	69.4	180.8	89.8
4	22	57.7	166.6	86.4
5	22	61.9	170.4	88.8
6	20	57.9	163.2	82.7
M±SD	22.2±2.0	65.1±6.7	171.6±7.8	87.6±3.2

2. 실험에 필요한 도구

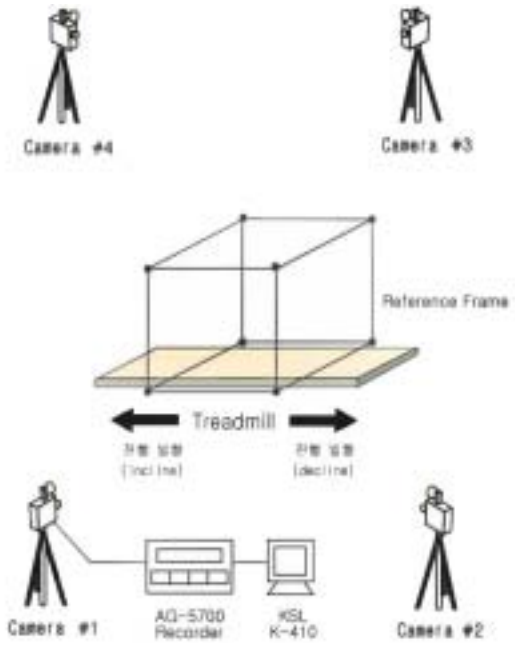
본 연구에서 사용된 영상 분석 도구에는 비디오 카메라(Panasonic AG-456) 4대, 비디오 카세트 레코더(Panasonic AG-5700), 모니터(KSL K-410), 트레드밀(DF-2010), 통제틀(reference frame), 반사마커(reflect marker)를 사용하였고, 자료 분석 도구에는 비디오 디지타이징 시스템(APAS 2000), Pentium Ⅲ 컴퓨터를 사용하였다.

3. 실험 방법 및 절차

본 실험의 방법 및 절차는 다음과 같다. 비디오 카메라는 트레드밀의 앞쪽과 뒤쪽에 각각 2대씩, 총 4대를 설치하여 3차원 영상분석을 실시하였다. 공간 좌표 설정을 위해 통제틀을 연구대상자의 보행동작을 완전히 포함할 수 있을 정도의 범위로 세우고 보행동작 전에 통제틀을 촬영하였다. 그리고, 촬영 후 통제틀을 제거하였다. 실험에 들어가기 전에 피험자에게 연구에 대한 사전 교육과 함께 가벼운 준비 운동을 실시하도록 하였다. 피험자들은 실험의 과제가 되는 오르막 경사와 내리막 경사의 3km/h, 4km/h, 5km/h 속도 조건에서의 보행을 트레드밀 위에서 실시하였다.

분석 시 디지탕이징을 정확하고 빠르고 쉽게 하기 위해 빛에 반사가 잘 되는 마커를 붙여 자동으로 디지타이징 하도록 하였다.

실험도구의 배치는 <그림 1>과 같다.



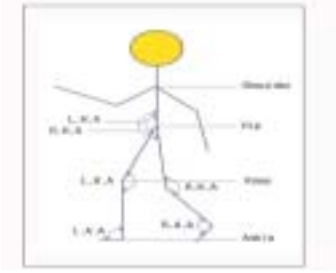
<그림 1> 실험도구의 배치

4. 변인 계산 방법

1) 각도

본 연구에서 분절간의 각을 상대각(relative angle)으로 계산하였다. 상대각이란 움직이고 있는 두 분절 혹은 벡터간의 사잇각으로 정의할 수 있다. 각도 변인은 발목관절 각도와 무릎관절 각도 그리고 고관절 각도가 있고, 이러한 각도는 각을 이루는 두 벡터를 A(Ax, Ay, Az), B(Bx, By, Bz)라고 할 때, 두 벡터가 이루는 각도는 다음의 식과 같이 A, B 두 벡터의 내적(dot product)으로 산출하였다.

$$\theta = \arccos \frac{AxBx + AyBy + AzBz}{\sqrt{Ax^2 + Ay^2 + Az^2}\sqrt{Bx^2 + By^2 + Bz^2}}$$



HA : angle of hip joint

KA : angle of knee joint

AA : angle of ankle joint

<그림 2> 하지 관절각의 정의

2) 각속도

분절의 각속도는 하퇴 분절과 발의 각속도를 의미하고 이에 대한 산출 방법은 분절 백터(S)와 이에 대한 1차 미분 백터(V)를 이용하였다. 1차 미분 백터 (V)는 분절 종축에 대해 직각이 아니므로 두 백터와 같은 평면에 있는 분절 백터에 직각인 V′을 정의하였다. 먼저 횡축에 대한 각속도(ωt)에 대한 단위 백터 ū는

$$\bar{u}=(S\times V)/\,|S\times V|\ \text{이며}$$

$$\text{여기서 } S\times V = S\times V' = |S|\,|V'|\,\bar{u},$$

$$|V'| = |\omega t\times S| = |\omega t|\,|S|\ \text{이므로}$$

$$= |S|\,|S|\,|\omega t|\,\bar{u}\text{가 된다.}$$

$$\text{따라서 } \omega t = |\omega t|\,\bar{u} = (S\times V)/\,|S|\,2$$

로 구할 수 있으며 종축에 대한 각속도(ω1)는 위의 식을 이용해 계산된 각속도를 종축 벡터(S1)에 투영시켜 구하였다.

5. 통계 처리

본 연구에서 실험의 통계처리는 SPSS 10.0 for windows 통계 package를 이용하여 two-way repeated ANOVA를 유의수준 .05에서 실시한 후 사후검증(post hoc test)은 Tukey의 HSD 방법으로 실시하였다.

Ⅲ. 결과 및 논의

1. 관절의 각도

1) 발목관절 각도

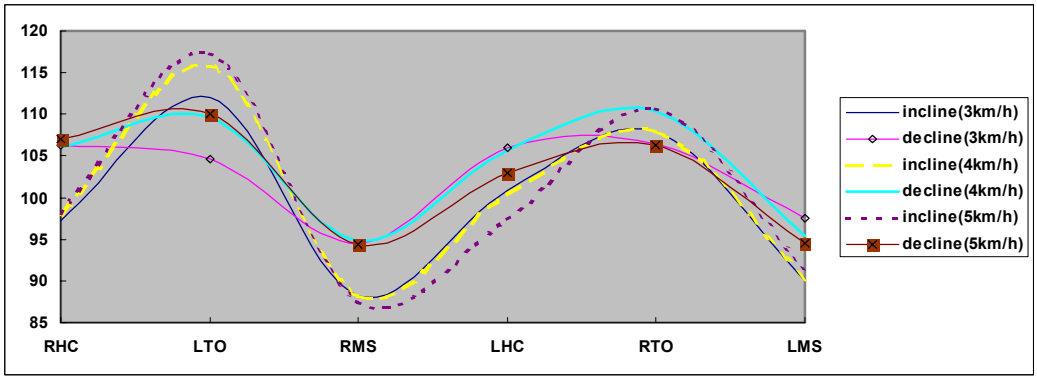
본 연구에서의 발목관절 각도는 발과 하퇴가 이루는 각도를 말하고, 각도 변인은 보행에서 주요 국면인 RHC(오른발 뒤꿈치 착지), LTO(왼발 앞꿈치 이지), RMS(오른발 중간 지지기), LHC(왼발 뒤꿈치 착지), RTO(오른발 앞꿈치 이지), LMS(왼발 중간 지지기)에 대한 결과를 제시하였다.

<표 2> 발목관절 각도 (단위 : degree)

속도	경사도	RHC	LTO	RMS	LHC	RTO	LMS
3km/h	incline	97.21±5.39	111.95±2.80	88.11±5.29	100.78±5.87	107.95±4.95	89.94±5.63
	decline	106.29±8.42	104.66±9.25	94.49±3.33	105.98±4.56	106.47±7.05	97.48±4.15
4km/h	incline	97.98±3.71	115.74±4.88	88.21±4.04	100.40±4.80	107.97±9.30	90.15±4.68
	decline	106.04±12.94	109.53±6.07	94.74±3.37	105.60±8.50	110.36±5.34	95.35±4.77
5km/h	incline	98.09±4.46	117.25±4.47	87.39±6.42	97.36±3.83	110.69±5.50	90.98±4.54
	decline	107.08±14.45	110.06±5.40	94.35±2.92	102.94±4.58	106.32±5.85	94.50±5.50

RHC 순간에서는 오르막 경사(10%)가 3km/h, 4km/h, 5km/h의 속도 별로 97.21±5.39, 97.98±3.71, 98.09±4.46 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)의 경우는 각각의 속도 별로 106.29±8.42, 106.04±12.94, 107.08±14.45 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 오르막 경사와 내리막 경사의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 한편, LTO 순간에서는 오르막 경사(10%)가 111.95±2.80, 115.74±4.88, 117.25±4.47 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 104.66±9.25, 109.53±6.07, 110.06±5.40degree로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이($p<.05$)를 나타냈고, 사후검증을 실시한 결과 3km/h<4km/h, 3km/h<5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서도 오르막 경사가 내리막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$). RMS 순간에서는 오르막 경사(10%)가 88.11±5.29, 88.21±4.04, 87.39±6.42 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 94.49±3.33, 94.74±3.37, 94.35±2.92 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이는 보이지 않았지만, 각도 변인의 비교에서는 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$). LHC 순간에서는 오르막 경사(10%)가 100.79±5.87, 100.40±4.80, 97.36±3.83 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 105.98±4.56, 105.60±8.50, 102.94±4.58 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. RTO 순간에서는 오르막 경사(10%)가 107.95±4.95, 107.97±9.30, 110.69±5.50 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 106.47±7.05, 110.36±5.34, 106.32±5.85 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. LMS 순간에서는 오르막 경사(10%)가 89.94±5.63, 90.15±4.68, 90.98±4.54 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 97.48±4.15, 95.35±4.77, 94.50±5.50 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 상호작용 효과는 유의한 것으로 나타났다.

이러한 결과는 속도가 증가함에 따라 발목관절 각도의 값이 큰 차이점을 나타내지 않았다고 보고한 정철수 외 4인(2001)의 연구 결과와 일치하는 결과로 나타났다.



<그림 3> 발목관절 각도 비교

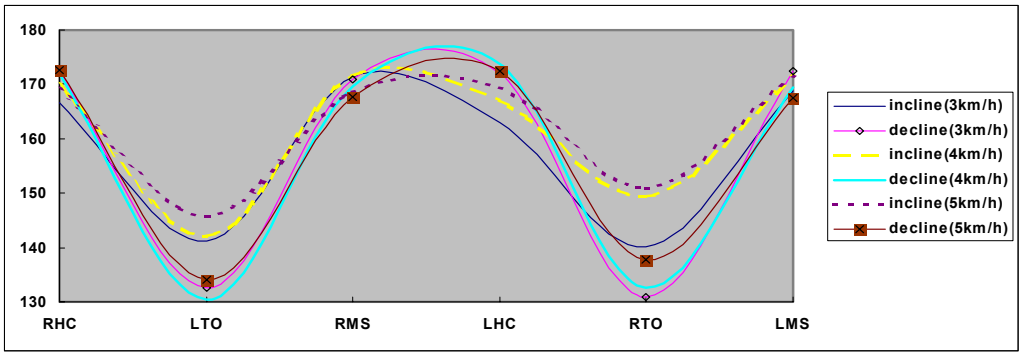
2) 무릎관절 각도

무릎관절 각도는 하퇴와 대퇴가 이루는 각도를 의미하는데, RHC 순간에서는 오르막 경사(10%)가 3km/h, 4km/h, 5km/h의 속도 별로 166.67±7.03, 169.84±6.33, 169.10±7.67 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)의 경우는 각각의 속도 별로 172.40±5.19, 171.92±4.74, 172.72±2.32 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 오르막 경사와 내리막 경사의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 한편, LTO 순간에서는 오르막 경사(10%)가 141.13±4.92, 142.05±5.96, 145.80±7.35 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 132.51±6.94, 130.49±3.42, 134.02±5.27 degree로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이($p<.05$)가 나타났으며, 사후검증을 실시한 결과 3km/h<5km/h, 4km/h<5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서도 오르막 경사가 내리막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$). RMS 순간에서는 오르막 경사(10%)가 171.42±4.41, 171.67±5.42, 168.62±6.81 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 170.87±5.74, 169.64±5.26, 167.80±4.11 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이($p<.05$)를 나타냈으며, 사후검증을 실시한 결과 3km/h>5km/h, 4km/h>5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. LHC 순간에서는 오르막 경사(10%)가 163.00±10.37, 167.14±6.08, 169.37±5.90 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 171.95±2.82, 173.80±3.42, 172.42±3.85 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이는 보이지 않았지만, 각도 변인의 비교에서는 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$). RTO 순간에서는 오르막 경사(10%)가 140.15±8.48, 149.46±5.61, 150.95±7.13 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 130.79±5.67, 132.61±5.62, 137.85±5.63 degree로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이($p<.05$)를 나타냈고, 사후검증을 실시한 결과 3km/h<4km/h<5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서도 오

르막 경사가 내리막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.05). LMS 순간에서는 오르막 경사(10%)가 168.77±5.52, 171.31±4.18, 171.56±5.04 degree로 나타났고 내리막 경사(-10%)에서는 172.47±4.24, 169.36±5.21, 167.57±5.53 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 상호작용 효과는 유의한 것으로 나타났다.

<표 3> 무릎관절 각도 (단위 : degree)

속도	경사도	RHC	LTO	RMS	LHC	RTO	LMS
3km/h	incline	166.67±7.03	141.13±4.92	171.42±4.41	163.00±10.37	140.15±8.48	168.77±5.52
	decline	172.40±5.19	132.51±6.94	170.87±5.74	171.95±2.82	130.79±5.67	172.47±4.24
4km/h	incline	169.84±6.33	142.05±5.96	171.67±5.42	167.14±6.08	149.46±5.61	171.31±4.18
	decline	171.92±4.74	130.49±3.42	169.64±5.26	173.80±3.42	132.61±5.62	169.36±5.21
5km/h	incline	169.10±7.67	145.80±7.35	168.61±6.81	169.37±5.90	150.95±7.13	171.56±5.04
	decline	172.72±2.32	134.02±5.27	167.80±4.11	172.42±3.85	137.85±5.63	167.57±5.53



<그림 4> 무릎관절 각도 비교

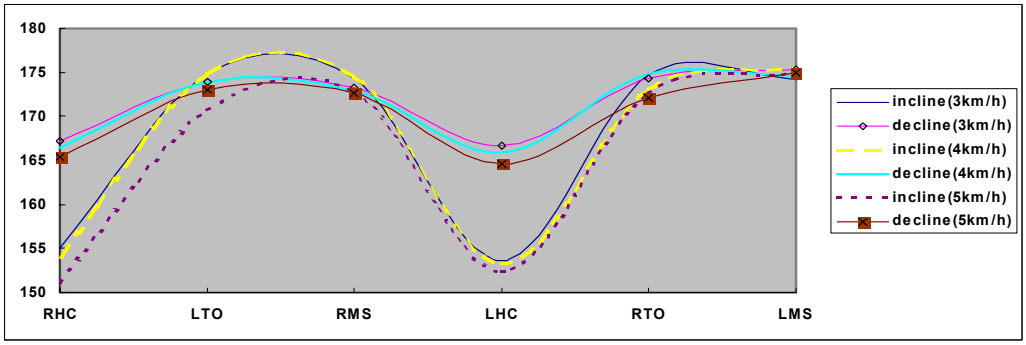
3) 고관절 각도

고관절 각도는 대퇴와 상체가 이루는 각도를 의미하는데, RHC순간에서는 오르막 경사(10%)가 3km/h, 4km/h, 5km/h의 속도 별로 155.03±3.16, 153.95±2.52, 151.15±3.01 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)의 경우는 각각 167.24±2.89, 166.42±3.60, 165.40±3.33 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이(p<.05)를 나타냈으며, 사후검증을 실시한 결과 3km/h>5km/h, 4km/h>5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서는 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.05). 한편, LTO 순간에서는 오르막 경사(10%)가 174.82±3.22, 174.89±2.75, 170.63±3.56 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는

173.91±2.35, 173.87±3.22, 172.97±4.92 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. RMS 순간에서는 오르막 경사(10%)가 174.37±3.95, 174.54±3.21, 172.70±2.86 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 173.28±2.38, 172.89±3.61, 172.61±3.05 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. LHC 순간에서는 오르막 경사(10%)가 153.64±3.13, 153.28±3.61, 152.36±4.63 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 166.69±4.37, 165.94±3.53, 164.56±5.71 degree로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았지만, 각도 변인의 비교에서는 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$). RTO 순간에서는 오르막 경사(10%)가 174.71±1.82, 173.06±1.30, 172.57±3.04 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 174.36±3.09, 174.80±2.80, 172.16±4.45 degree로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이와 각도 변인의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. LMS 순간에서는 오르막 경사(10%)가 174.13±1.59, 175.49±2.72, 174.89±3.78 degree로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 175.37±2.98, 174.53±2.44, 174.97±2.55 degree로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이와 각도 변인의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다.

<표 4> 고관절 각도 (단위 : degree)

속도	경사도	RHC	LTO	RMS	LHC	RTO	LMS
3km/h	incline	155.03±3.16	174.82±3.22	174.37±3.95	153.64±3.13	174.71±1.82	174.13±1.59
	decline	167.24±2.89	173.91±2.35	173.28±2.38	166.69±4.37	174.36±3.09	175.37±2.98
4km/h	incline	153.95±2.52	174.89±2.75	174.54±3.21	153.28±3.61	173.06±1.30	175.49±2.72
	decline	166.42±3.60	173.87±3.22	172.89±3.61	165.94±3.53	174.80±2.80	174.53±2.44
5km/h	incline	151.15±3.01	170.63±3.56	172.70±2.86	152.36±4.63	172.57±3.04	174.89±3.78
	decline	165.40±3.33	172.97±4.92	172.61±3.05	164.56±5.71	172.16±4.45	174.97±2.55



<그림 5> 고관절 각도 비교

2. 관절의 각속도

1) 발목관절의 각속도

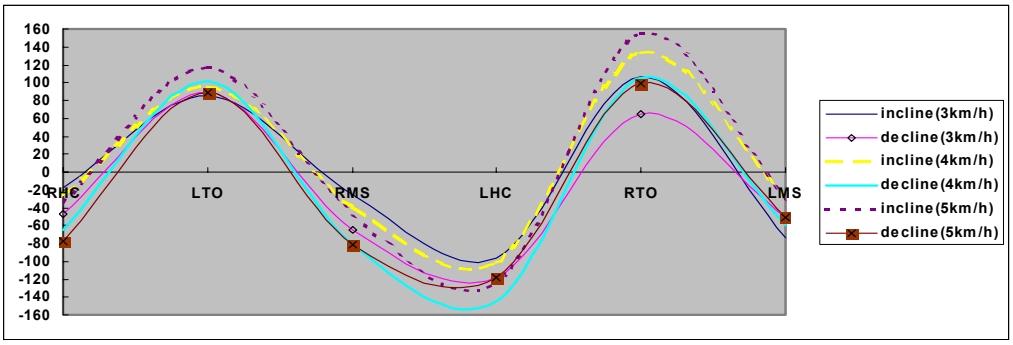
본 연구에서의 각속도는 보행 동작 시 순간 각속도를 말하고, 각속도 변인은 보행에서 주요 국면인 RHC, LTO, RMS, LHC, RTO, LMS에 대한 결과를 제시하였다.

<표 5> 발목관절 각속도 (단위 : degree/s)

속도	경사도	RHC	LTO	RMS	LHC	RTO	LMS
3km/h	incline	-17.30±10.24	85.70±8.77	-24.81±2.78	-96.99±9.48	106.43±19.00	-73.80±13.96
	decline	-47.19±24.81	88.64±16.89	-64.27±18.40	-118.10±9.31	65.12±19.35	-50.71±12.75
4km/h	incline	-24.85±3.98	95.02±7.02	-38.19±7.66	-101.55±8.30	132.86±22.40	-30.22±11.56
	decline	-64.75±21.16	101.61±30.95	-80.72±21.72	-144.38±12.69	105.37±15.27	-59.68±11.16
5km/h	incline	-32.48±7.64	117.31±24.34	-48.46±4.13	-124.29±16.18	154.38±16.90	-30.64±11.26
	decline	-77.31±16.21	88.60±16.85	-80.72±20.60	-118.10±9.31	99.18±13.37	-50.71±12.75

발목관절 각속도로는 RHC 순간에서 오르막 경사(10%)가 경우3km/h, 4km/h, 5km/h의 속도 별로, -17.30±10.24, -24.85±3.98, -32.48±7.64 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 -47.19±24.81, -64.75±21.16, -77.31±16.21 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이($p<.05$)를 나타냈고, 사후검증을 실시한 결과 3km/h<4km/h<5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서는 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$). LTO 순간에서는 오르막 경사(10%)가 85.70±8.77, 95.02±7.02, 117.31±24.34 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 88.64±16.89, 101.61±30.95, 88.60±16.85 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이($p<.05$)를 나타냈으며, 사후검증을 실시한 결과 3km/h<4km/h<5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 상호작용 효과는 유의한 것으로 나타났다. RMS 순간에서는 오르막 경사(10%)가 -24.81±2.78, -38.19±7.66, -48.46±4.13 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 -64.27±18.40, -80.72±21.72, -80.72±20.60 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이($p<.05$)를 나타냈고, 사후검증을 실시한 결과 3km/h<4km/h, 3km/h<5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서도 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$). LHC 순간에서는 오르막 경사(10%)가 -96.99±9.48, -101.55±8.30, -124.29±16.18 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 -118.10±9.31, -144.39±12.69, -118.10±9.31 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의

한 차이(p<.05)를 나타냈으며, 사후검증을 실시한 결과 3km/h<4km/h, 3km/h<5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그러나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 상호작용 효과는 유의한 것으로 나타났다. RTO 순간에서는 오르막 경사(10%)가 106.43±19.00, 132.86±22.40, 154.38±16.90 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 65.12±19.35, 105.37±15.27, 99.18±13.37 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이(p<.05)를 나타냈고, 사후검증을 실시한 결과 3km/h<4km/h, 3km/h<5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서도 오르막 경사가 내리막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.05). LMS 순간에서는 오르막 경사(10%)가 -73.80±13.96, -30.22±11.56, -30.64±11.26 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 -50.71±12.75, -59.68±11.16, -50.71±12.75 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이(p<.05)를 나타냈고, 사후검증을 실시한 결과 3km/h>4km/h, 3km/h>5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서도 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.05). 그리고 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 상호작용 효과에서도 유의한 차이를 나타났다. 이러한 결과는 원위분절로 갈수록 각속도의 크기가 커진다고 보고한 Winter D. A. 등(1974)의 연구 결과와 상반되는 결과로 나타났으며, 반대로 발목관절의 각속도가 무릎관절과 고관절에 비해 큰 수치를 보이지 않았다고 보고한 윤남식 외 2인(1998)의 연구 결과와 일치하는 결과로 나타났다.



<그림 6> 발목관절 각속도 비교

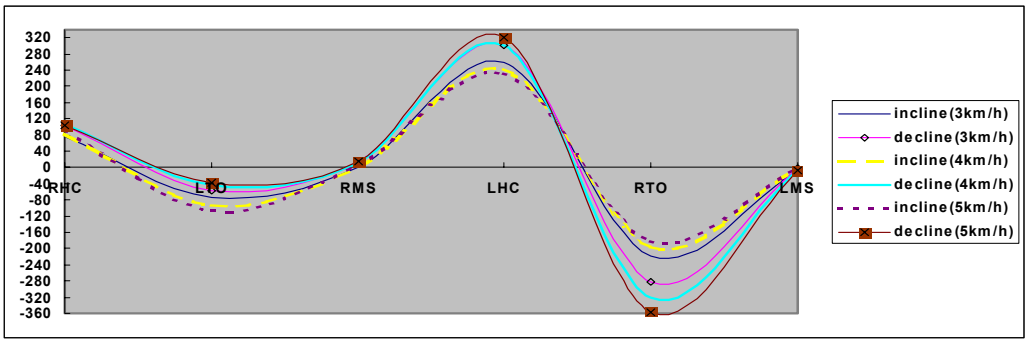
2) 무릎관절 각속도

무릎관절 각속도로는 RHC 순간에서 오르막 경사(10%)가 경우3km/h, 4km/h, 5km/h의 속도 별로, 75.13±9.40, 85.39±10.07, 93.84±7.45 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 103.53±8.47, 106.68±11.55, 104.53±8.92 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로

유의한 차이를 나타내지 않았지만, 각도 변인의 비교에서 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.05). LTO 순간에서는 오르막 경사(10%)가 -72.56±6.76, -92.16±6.23, -108.34±20.81 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 -58.20±15.10, -42.25±10.90, -36.46±13.31 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이와 각도 변인의 비교에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. RMS 순간에서는 오르막 경사(10%)가 0.39±4.56, 0.93±2.17, 5.67±5.11 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 14.98±7.61, 13.23±6.03, 14.72±6.83 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았지만, 각도 변인의 비교에서 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.05). LHC 순간에서는 오르막 경사(10%)가 258.52±27.22, 242.35±15.83, 232.33±19.78 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 301.66±15.13, 301.09±13.61, 321.58±26.66 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았지만, 각도 변인의 비교에서 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.05). 그리고 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 상호작용 효과에서도 유의한 차이를 나타났다. RTO 순간에서는 오르막 경사(10%)가 -219.38±19.84, -197.10±10.83, -182.12±15.14 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 -282.61±28.52, -320.22±24.35, -356.66±17.21 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았지만, 각도 변인의 비교에서 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.05). 그리고 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 상호작용 효과에서도 유의한 차이를 나타났다. LMS 순간에서는 오르막 경사(10%)가 -7.38±13.81, -2.68±4.97, -1.32±1.88 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 -2.12±8.07, -5.67±3.85, -5.91±3.91 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았지만, 각도 변인의 비교에서 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(p<.05).

<표 6> 무릎관절 각속도 (단위 : degree/s)

속도	경사도	RHC	LTO	RMS	LHC	RTO	LMS
3km/h	incline	75.13±9.40	-72.56±6.76	0.39±4.56	258.52±27.22	-219.38±19.84	-7.38±13.81
	decline	103.53±8.47	-58.20±15.10	14.98±7.61	301.66±15.13	-282.61±28.52	-2.12±8.07
4km/h	incline	85.39±10.07	-92.16±6.23	0.93±2.17	242.35±15.83	-197.10±10.83	-2.68±4.97
	decline	106.68±11.55	-42.25±10.90	13.23±6.03	301.09±13.61	-320.22±24.35	-5.67±3.85
5km/h	incline	93.84±7.45	-108.34±20.81	5.67±5.11	232.33±19.78	-182.12±15.14	-1.32±1.88
	decline	104.53±8.92	-36.46±13.31	14.72±6.83	321.58±26.66	-356.66±17.21	-5.91±3.91



<그림 7> 무릎관절 각속도 비교

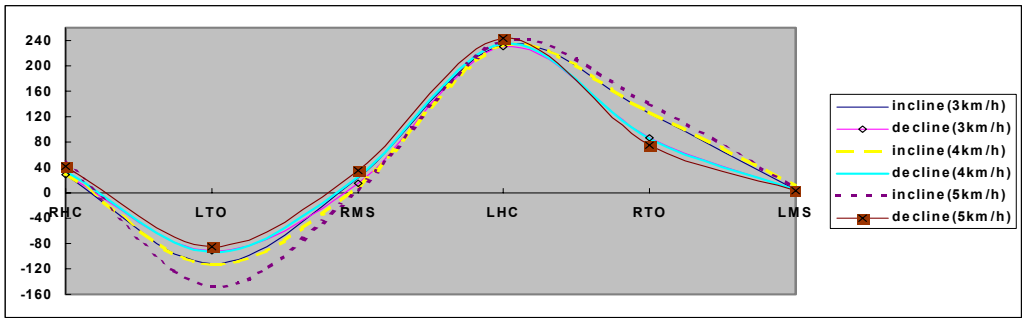
3) 고관절 각속도

고관절 각속도로는 RHC 순간에서 오르막 경사(10%)가 경우 3km/h, 4km/h, 5km/h의 속도 별로, 28.56±3.68, 31.91±4.24, 46.08±11.27 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 28.79±4.01, 33.28±5.29, 40.89±3.25 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도의 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈으며($p<.05$), 사후검증을 실시한 결과 3km/h<5km/h, 4km/h<5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서는 오르막 경사와 내리막 경사의 비교에서 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. LTO 순간에서는 오르막 경사(10%)가 -112.31±6.15, -112.72±12.19, -148.92±10.28 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 -92.48±6.17, -92.69±6.69, -84.91±6.44 degree/s로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다. RMS 순간에서는 오르막 경사(10%)가 23.41±8.85, 10.75±2.61, 5.36±3.36 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 14.40±4.29, 25.58±7.23, 35.37±4.64 degree/s로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이는 보이지 않았지만, 각도 변인의 비교에서는 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$). 그리고 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 상호작용 효과에서도 유의한 차이를 나타났다. LHC 순간에서는 오르막 경사(10%)가 234.10±23.37, 231.49±12.24, 238.22±12.29 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 230.15±11.70, 234.44±11.92, 243.30±9.48 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 통계적으로 유의한 차이를 나타냈고($p<.05$), 사후검증을 실시한 결과 3km/h<5km/h, 4km/h<5km/h의 순으로 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다. 각도 변인의 비교에서도 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$). 그리고 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 상호작용 효과에서도 유의한 차이를 나타났다. RTO 순간에서는 오르막 경사(10%)가 124.50±8.78, 128.91±15.67, 140.68±12.62 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 86.25±8.16, 84.84±5.36, 74.99±6.41 degree/s로 나타나 속도 변인에서 속도에 의한 차이는 보이지 않았지만, 각도 변인의 비교에서는 오르막 경사가 내리막 경사에 비해 통계적으

로 유의한 차이를 나타냈다(p<.05). 그리고 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 상호작용 효과에서도 유의한 차이를 나타났다. LMS 순간에서는 오르막 경사(10%)가 5.06±5.62, 11.03±9.63, 8.48±6.40 degree/s로 나타났고, 내리막 경사(-10%)에서는 4.52±2.12, 4.53±2.50, 3.98±3.44 degree/s로 나타나 속도 변인에서의 속도에 의한 차이와 각도 변인의 비교에서도 통계적으로 유의한 차이를 나타내지 않았다.

<표 7> 고관절 각속도 (단위 : degree/s)

속도	경사도	RHC	LTO	RMS	LHC	RTO	LMS
3km/h	incline	28.56±3.68	-112.31±6.15	23.41±8.85	234.10±23.37	124.50±8.78	5.06±5.62
	decline	28.79±4.01	-92.48±6.17	14.40±4.29	230.15±11.70	86.25±8.16	4.52±2.12
4km/h	incline	31.91±4.24	-112.72±12.19	10.75±2.61	231.49±12.24	128.91±15.67	11.03±9.63
	decline	33.28±5.29	-92.69±6.69	25.58±7.23	234.44±11.92	84.84±5.36	4.53±2.50
5km/h	incline	46.08±11.27	-148.92±10.28	5.36±3.36	238.22±12.29	140.68±12.62	8.48±6.40
	decline	40.89±3.25	-84.91±6.44	35.37±4.64	243.30±9.48	74.99±6.41	3.98±3.44



<그림 8> 고관절 각속도 비교

Ⅳ. 결 론

본 연구는 경사도와 보행 속도에 따른 보행 동작을 비교·분석하고 이를 바탕으로 보행 형태에 관한 기초적인 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

이러한 연구 목적을 달성하기 위하여 연구 대상자는 20세-25세의 대학생 6명을 대상으로 3km/h, 4km/h, 5km/h의 트레드밀 속도에 따른 보행 동작을 수행 시켰으며, 보행 동작의 촬영을 위해 4대

의 비디오 카메라를 이용하였고, 촬영의 속도는 60 프레임/초로 하였다.

보행과 관련된 주요 운동학적 변인들은 발목 관절각도, 무릎 관절각도, 고관절각도, 발목 각속도, 무릎 각속도, 고관절 각속도로 설정하였으며, 본 연구의 통계처리는 SPSS 10.0 for windows 통계 package를 사용하여 유의수준 .05에서 실시하였다.

이러한 연구 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 트레드밀 보행 시 속도가 증가함에 따라 발목관절 각도의 값은 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로는 대부분 유의한 차이를 나타내지 않았다. 그리고 경사도에 따라 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 발목관절 각도의 값이 더 큰 경향을 나타내었으나 통계적으로는 대부분이 유의한 차이를 나타내지 않았다.
2. 트레드밀 보행 시 속도가 증가함에 따라 무릎관절 각도의 값은 증가하는 경향을 보였고 통계적으로 LTO, RMS, RTO 순간에서 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$). 그리고 경사도에 따라 LTO, LHC, RTO 순간에서도 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$).
3. 트레드밀 보행 시 속도가 증가함에 따라 고관절 각도의 값은 감소하는 경향을 보였으나 통계적으로는 대부분 유의한 차이를 나타내지 않았다.
4. 트레드밀 보행 시 속도가 증가함에 따라 발목관절 각속도의 값은 증가하는 경향을 보였고 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$). 그리고 경사도에 따라 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 발목관절 각속도의 값이 더 큰 경향을 나타냈고 통계적으로 RHC, RMS, RTO, LMS 순간에서도 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$).
5. 트레드밀 보행 시 무릎관절 각속도의 값은 경사도에 따라 내리막 경사가 오르막 경사에 비해 더 큰 경향을 나타냈고 통계적으로도 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$).
6. 트레드밀 보행 시 속도가 증가함에 따라 고관절 각속도의 값은 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 RHC, LHC 순간에서만 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$). 그리고 경사도는 오르막 경사가 내리막 경사에 비해 고관절 각속도의 값이 더 큰 경향을 나타내었으나 RMS, LHC, RTO 순간에서만 유의한 차이를 나타냈다($p<.05$).

참 고 문 헌

김기만(1989). 남녀 고등학교 학생의 보행 형태 분석. 충남 대학교 교육대학원.

김로빈(2000). 보행시 속도와 보폭 변화에 따른 하지관절의 운동역학적 분석. 연세대학교 박사학위논문.

배성제, 허영진(1996). 아동 및 청소년의 연령별 보행 형태 분석. 한국운동역학회지, 제 6권 2호, 157-175.

신인식, 우상연, 임비오(1997). 성인남자의 연령별 보행분석. 한국운동역학회지, 제 7권 2호, 207-223.

윤남식, 이경옥, 김지연(1998). 경사도에 따른 보행의 운동학적 비교. 한국여성체육학회지, 제 13권 1호, 89-101.

정철수 외 4인(2001). 연령과 속도에 따른 보행 형태와 역학적 효율성 분석. 한국운동역학회지, 제 10권 2호, 205-219.

정철정, 이종훈(1996). 100m 달리기의 운동학적 요인 분석. 한국운동역학회지, 제 6권 1호, 1-13.

Luthanen, P, P. V. Komi(1978). Mechanical factors influencing running speed. *Biomechanics,* V-6, 23-29.

Marey, E. J.(1895). *Movement* : Translated by Pritchard. E. Appleton, New York.

Scott, S. H. & Winter, D. A.(1990). Interner forces at chronic running injury sites. *Medicine Science Sports Exercise,* 22-3, 357-369.

Winter D. A. et al.(1974). Biomechanical motor patterns in normal walking. *J. Motor Behavior,* 15, 302-330.

ABSTRACT

Analysis of kinematics in gait motions on different grades and speeds of treadmill gait.

Cho, Kyu-Kwon, Kim, You-Sin
(Kangnung National University)

The purpose of this study was to provide basic data for a form of gait by comparing and analyzing gait motions on different grades and speeds.

In order to accomplish the purpose, 6 university students, whose ages between 20 - 25, were selected. They have gaited on 3Km/h, 4Km/h, 5Km/h of speed and 4 video cameras were used to film them. The speed of filming was 60 frame / seconds.

The special variations of kinematics in gait were fixed with ankle joint angle, knee joint angle, hip joint angle, ankle angular velocity, knee angular velocity and hip angular velocity.

In this study, the SPSS 10.0 for windows statistical package was used to operate on significant level of .05 for statistical management.

From the result of this study, we have succeeded to obtain following conclusions;

1. As the speed increased, the value of ankle joint angle increased. Also the value of ankle joint angle was larger on decline than on incline.
2. As the speed increased, the value of knee joint angle was increased.
3. As the speed increased, the value of hip joint angle was decreased.
4. As the speed increased, the value of ankle angular velocity increased. And the value of ankle angular velocity became higher on decline than on incline.
5. The value of knee angular velocity showed higher on decline than on incline.
6. As the speed increased, the value of hip angular velocity was increased. Also the value of hip angular velocity became higher on incline than on decline.