

운동화 굴곡강도에 따른 주행효율(Running Economy)과 에너지 반환(Energy Return)과의 관계

곽창수* · 이충일(한림대학교) · 권영후(Texas Women's University), 전민주(한림성심대학교)

이 연구는 장거리달리기 선수의 경기력 향상을 위하여 운동화 굴곡강도의 증가가 주행효율과 하지의 에너지 반환에 어떠한 영향을 미치는 것인가를 규명하고 주행효율과 에너지 반환 사이의 관계를 규명하는데 그 목적이 있다. 이 연구의 피험자는 최근 1년 이내에 하지에 부상경험이 없는 자로서 건강한 남자 대학생 10명이었다. 굴곡강도가 각기 다른 4종류의 실험용 운동화를 대상으로 3차원 영상분석법과 호흡가스분석 측정장치를 이용하여 운동화 굴곡강도에 따른 에너지 반환과 에너지소비량을 구하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 첫째, 운동화 굴곡강도가 증가하면 할수록 통계적인 차이는 나타나지 않았으나 하지관절의 최대굴곡모멘트와 최대굴곡파워는 감소하는 경향을 나타냈고 최대신전모멘트와 최대신전파워는 증가하는 경향을 나타냈다. 둘째, 하지관절 에너지는 제1국면에서 통계적인 차이는 나타나지 않았지만 굴곡강도가 클수록 에너지 흡수가 적은 것으로 나타났고 제2국면에서는 에너지 생성이 더 많이 되는 것으로 나타났다. 굴곡강도가 클수록 에너지 효율성이 증대되는 것으로 나타났다. 셋째, 엉덩이관절의 굴곡모멘트와 에너지소비량과는 부적인 상관관계를 나타냈고($p < 0.05$), 발목관절 에너지와 에너지소비량은 제1국면에서 부적인 상관관계를 나타냈다($p < 0.05$). 이 연구를 통하여 운동화의 굴곡강도가 클수록 에너지소비량이 감소한다는 선행연구결과를 재확인했으며 굴곡강도가 클수록 에너지 효율성이 증대하였다. 에너지 반환변인과 에너지소비량과의 상관관계는 엉덩이관절과 발목관절의 최대굴곡파워, 발목관절의 에너지와 에너지소비량 사이에서 부적으로 나타났다. 또한 이 연구결과 발목관절에서 주로 에너지 손실의 감소가 이루어졌는데 이러한 원인이 발목관절의 운동범위를 제한한 것에 기인된 것인지는 추후연구를 통하여 이를 밝혀야 할 것이다.

주요어 : 굴곡강도, 주행효율, 에너지반환, 모멘트, 파워

서론

선수의 운동수행능력 향상은 주로 근골격계를 통한 세포에서 화학적 에너지가 기계적 에너지로 효율적으로 전환하는데 달려 있다. 기계적 에너지가 경기 중 선수들의 신체를 움직이게 하며, 이러한 기계적 에너지를 증가시키기 위한 전략은 근골격계를 최적화하는 것으로 첫째는 에너지 손실을 최소화시켜서 에너지 효율을 최대한

높이는 것이고, 둘째는 에너지 반환을 최대화시키는 것이다.

첫 번째 전략인 달리기 시 에너지 손실을 최소화시키는 주행효율(running economy)은 일반적으로 장거리 달리기를 하는 동안 소비한 산소량과 달리는 속도와의 관계를 의미하는 것으로 장거리 달리기 선수의 운동수행 능력과 밀접한 관계가 있다(Daniels, J.와 Daniels, N., 1992). 에너지를 효율적으로 사용하면 장거리달리기 경기에서 그 만큼 운동수행능력 발휘에 유리하기 때문에 주행효율은 매우 중요하다. 주행효율의 측정 방법은 생리학적으로는 최대하운동 상태에서 일정하게 유지되는 산소소비량을 산출하며, 역학적으로는 기계적인 파워를 측정하여 운동의 효율성을 판단한다.

논문 투고일 : 2014. 08. 20.

논문 수정일 : 2014. 09. 03.

게재 확정일 : 2014. 09. 11.

* 저자 연락처 : 곽창수(cskwak@hallm.ac.kr).

* 이 논문은 2013년도 국민체육진흥공단 체육과학연구원의 학술연구지원사업비에 의하여 연구되었음(KISS-B-A03003).

주행효율에 영향을 미치는 요인으로는 주행형태(Morgan 등, 1988), 연령(Daniels 등, 1978), 훈련정도(Conley 등, 1981), 스트라이드 거리와 빈도(Hogberg, 1952), 신발무게(Frederick, Daniels, Hayes, 1984), 바람(Daniels, C., Daniels, N., Baldwin, Bradley, 1986), 공기 저항(Daniels 등, 1985), 지면(McMahon & Gress, 1979) 등이 있다. 이 밖에도 선수의 유니폼, 착지형태, 지면형태, 피로 등도 주행효율에 미치는 추가적인 영향으로 볼 수 있다(Daniels, J와 Daniels, N., 1992).

이와 같이 달리기 운동수행능력을 향상시키기 위한 방안의 하나로서 주행효율에 대한 연구가 많이 수행되었으며, 그 중에서도 최근 여러 스포츠종목에서 많은 연구의 초점이 되는 요인이 운동화이다. 운동화 경도에 관한 연구의 경우 Frederick, Howley, & Powers(1986)은 연질의 EVA신발이 경질의 신발보다 약 2.8% 산소 소비량이 적게 나타났다고 하였고, Frederick 등(1983)은 약간의 차이는 있었지만 이와 비슷한 결과를 보였다고 하였다. Berg와 Sady(1985)는 충격 흡수력이 높은 100g의 운동화 깔창을 사용하였지만 에너지 소비량에 큰 차이를 나타내지 않았다고 하였다.

두 번째 전략인 에너지 반환은 경기력 향상을 위한 선수와 스포츠장비 사이의 에너지 전이의 최적화가 중요한 문제이기 때문에 그 동안 스포츠지면과 운동화를 대상으로 많은 연구가 이루어져 왔다(Nigg & Segesser, 1992). 예를 들면, 체조경기의 마루운동바닥, 육상경기의 지면 등은 에너지 반환이 잘 이루어지도록 한 것이다. 이러한 측면에서 선수의 경기력을 향상시키기 위한 운동화의 에너지 반환에 대한 연구도 시도해 볼 만하다.

에너지 반환과 손실에 대한 연구가 그 동안 많이 이루어졌다. Elftman(1993a, 1939b)은 관절과워핑형법(Joint Power Method)을 이용하여 하지의 기계적 에너지의 생성과 흡수에 대하여 연구하였다. 또한 부상으로 인한 이상 이동운동 중의 발목관절, 무릎관절, 엉덩이 관절 등의 관절 파워에 대한 연구가 많은 선행연구자들에게 의하여 이루어졌다(Buczek & Cavnangh, 1990; Czernicki, et al., 1991; Devita et al., 1992; Devita & Stribling, 1991; Goh et al., 1994; Martin et al., 1993; Simpson & Bates, 1990). 또한 스포츠 지면에 대한 연구가 성공적으로 이루어졌고(McMahon & Greene, 1979), 신발 개발 분야에서도 에너지 반환에 대한 제한적이긴 하지만 성공적으로 이루어

졌다(Alexander & Bennet, 1989; Turnball, 1989). 최근에는 신발부위의 에너지와 스포츠경기력과의 관계를 규명하려는 연구가 시도되고 있으나(Stefanyshyn & Nigg, 2000; Roy & Stefanyshyn, 2006) 아직은 초기단계에 있다고 할 수 있다.

지금까지의 선행연구 문제점을 살펴보면, 주행효율의 경우 일반적으로 신발의 무게가 무거우면 산소섭취량이 증가하여 주행효율이 감소하는 것은 잘 알려진 사실이다(Frederick, Daniels, & Hayes, 1984; Martin, 1985). 그러나 신발바닥의 경도가 부드러운 신발은 일반 운동화에 비하여 산소섭취량이 낮아진다는 연구도 있고 영향을 미치지 않는 연구도 있다(Frederick, Howley, & Powers, 1986). 따라서 신발의 경도와 주행효율의 관계에 대해서는 아직도 뚜렷한 증거가 없어서 결론에 도달하지 않는 상태에 있다. 에너지 반환에 대한 연구의 문제점은 하지관절이라고 하더라도 단일관절이나, 혹은 부분적인 에너지 전이에 대하여만 연구되었다. 또한 하지부위의 관절은 주로 3차원 공간상에서 회전운동이 일어나는데 대부분의 연구는 전후면상에서 2차원적 분석으로 시도되었다. 중족지골관절의 경우 관절축이 1 cm 전방으로 이동하게 될 때 에너지 흡수의 27%가 감소된다는 연구결과(Stefanyshyn & Nigg, 1997)로 볼 때 정확한 측정값을 얻기 위해서는 3차원적으로 분석되어야만 한다. 그리고 그 동안 신발연구에 사용된 재질의 형태는 연구의 특성상 에너지의 반환 측정이 용이한 것으로 딱딱한 것이었다.

지금까지 주행효율과 에너지 반환에 대한 연구는 대부분 각각 분리하여 이루어졌다. 주행효율은 에너지가 내부에서 외부로 나타난 결과의 생리학적 변인이고 에너지 반환은 기계적 에너지가 관절 사이에서 흡수되고 생성되는 에너지 전이를 나타내는 역학적 변인이다. 따라서 인체내부와 외부에서 나타나는 생리적 변인(결과)과 역학적 변인(원인) 사이의 상호관계를 규명하면 선수와 스포츠장비 사이의 상호작용을 잘 이해하게 되어 경기력 향상을 위한 스포츠장비 개발에 많은 도움이 될 수 있을 것이다.

따라서 본 연구의 목적은 주로 마라톤과 같은 장거리 달리기선수의 경기력 향상을 위하여 운동화의 굴곡강도의 증가가 주행효율과 하지의 에너지 반환에 어떠한 영향을 미치는 것인가를 규명하며, 또한 주행효율과 에너지 반환 사이의 관계를 규명하는데 있다.

연구방법

피험자 선정

본 연구에 동원된 피험자는 적어도 최근 1년 이상 부상 경험이 없는 자로서 건강한 남자대학생 10명을 선정하였다. 이들은 정상적인 발(normal foot)의 형태를 지니고 있으면서 후족착지형(heel striker)이었다. 이들은 본 연구의 취지를 설명들은 후 자발적인 연구 참여의사를 나타낸 사람들로서 연구윤리강령에 의거한 연구 참여 동의서에 서명한 사람들로만 피험자를 선정하였다. 피험자들의 신체적 특성은 <표 1>과 같다.

표 1. 피실험자의 신체적 특성

피험자	연령(yr)	신장(cm)	체중(kg)	운동화 크기(cm)
평균	23.80	176.60	70.70	268.0
표준편차	1.03	4.09	7.13	2.21

실험용 운동화

본 연구의 실험에 사용될 실험용 운동화는 4가지의 운동화 굴곡강도가 되도록 제작하였다. 먼저 굴곡강도가 본 연구에서 목표로 한 일정한 값 범위에 포함될 수 있도록 신발의 외저(outsole)와 내저(insole)의 물성경도를 조절하였다. 일반인이 착용하는 운동화의 가장 낮은 굴곡강도와 가장 높은 굴곡강도를 측정한 후 이를 4등급으로 나누어서 운동화를 제작하였다. 즉 본 연구에서 요구되는 운동화의 굴곡강도는 0.50 N/mm - 1.20 N/mm이다. 이를 위하여 운동화 중저의 경도가 shore A 40도, shore A 50도, shore A 60도, shore A 70도의



그림 1. 본 연구에 사용된 실험용 운동화

4가지 운동화를 대상으로 발포와 압축을 하여 제작하였다. 이와 같은 방법으로 제작하여 굴곡강도를 측정해 본 결과 4가지 운동화의 굴곡강도는 각각 0.56 N/mm, 0.74 N/mm, 0.96 N/mm, 1.21 N/mm이었다. 운동화의 크기는 피험자의 발 크기를 고려하여 270 mm로 하였다.

실험기자재

본 연구에 사용되는 실험기자재는 크게 에너지 효율 측정용 장비와 에너지 반환 측정용 장비로 분류할 수 있다. 에너지 효율을 측정하기 위한 측정장비는 호흡가스 분석기(Quinton Q-plex 1)와 트레드밀(Quinton Q 50)이고, 에너지 반환을 측정하기 위한 기자재는 영상분석장비로서 Motion Analysis System(Motion Analysis Corp., USA)의 적외선 카메라 12대와 지면반력 측정장비로서 Force Platform(Kistler-9260AA6) 1대이었다. 그 외에 지면반력자료와 영상분석자료를 동조시키는 이벤트동조기(National Instruments USB-6225)와 주행속도를 통제하는 구간속도측정기가 있다.

실험방법

에너지 소비량 측정 실험

에너지 효율을 산출하기 위한 에너지 소비량 실험은 트레드밀이 설치되어 있는 생리학실험실에서 수행하였다. 피험자별 운동강도는 실제 실험 전에 각 피험자마다 무산소성 역치(Anaerobic Threshold)를 구하여 무산소성 역치 수준의 80% 정도의 트레드밀 속도한 것으로 구하였다. 트레드밀 속도는 트레드밀 경사도가 고려된 상용화된 트레드밀 달리기 프로토콜이었다. 실제 실험시간은 모의실험결과에 따른 항정상태시간을 고려하여 15분으로 하였다.

본 연구의 실제실험은 다음과 같은 절차에 따라 진행하였다. 즉 해당 피험자는 실험 20분전에 실험실에 도착하여 10분 동안 의자에 앉아 휴식을 취하도록 하였다. 피험자의 심박수 변화를 보고 피험자가 안정을 찾았다고 판단되면 호흡순환계 반응을 측정하기 위하여 표면전극과 가스마스크를 착용시키고 안정시의 반응을 측정하였다. 그 후 3분간의 사전 준비운동을 시킨 후 정해진 실험 시간 동안 달리기를 실시하였다. 실험순서는 무순(random order)으로 하였으며 피험자별로 하루에 1조건씩

4일 동안 4번 달리기를 하며 실험에 영향을 미치는 요인인 day-by-day variation을 최소화시키기 위하여 운동량과 생활리듬을 일정하게 유지하도록 하였다.

에너지 반환 실험

본 연구에서 구하고자 하는 에너지 반환과 관련된 분석변인은 3차원 영상분석법에 의한 영상자료와 지면반력 자료를 이용하여 하지관절에서의 합 모멘트와 관절 각속도를 산출하였다.

실험장비의 배치는 <그림 2>와 같이 지면반력판이 매설된 주로 옆에 달리기 속도를 통제하기 위하여 구간속도측정기를 설치하였다. 하지부위의 3차원 좌표를 구하기 위하여 12대의 적외선 카메라를 양 측면에 각각 설치하였다. 영상분석자료와 지면반력자료의 동조는 지면반력판의 전압 변화에 따른 타이머의 작동을 이용하였다.

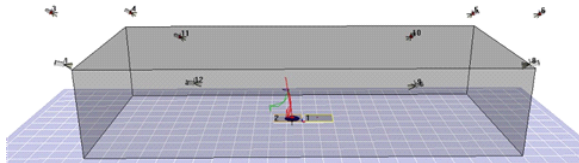


그림 2. 실험장비의 배치

표 2. 관절점 및 해부학적 표시점

분절	관절점 및 해부학적 표시점
골반 (Pelvis)	좌, 우 전상장골극 : L., R. ASIS
	천골 ; Sacrum
대퇴 (Thigh)	좌, 우 대전자 : L., R. Greater Trochanter
	좌, 우 대퇴 중앙 : L., R. Mid-Thigh
하퇴 (Shank)	좌, 우 외측상과 : L., R. Lateral Epicondyle
	좌, 우 내측상과 : L., R. Medial Epicondyle
	좌, 우 하퇴 중앙 : L., R. Mid-Shank
하지 (Leg)	좌, 우 외측 복사 : L. R. Lateral Malleolus
	좌, 우 내측 복사 : L. R. Medial Malleolus
발 (Foot)	좌, 우 중족골두 : L., R. Head of Metatarsal Bone
	좌, 우 종골 : L., R. Calcaneus
	우, Right Upper Achilles
후족 (Rear foot)	우, Right Lower Achilles
	우, Right Upper Heel
	우, Right Lower Heel

실제실험은 모든 실험장비가 배치된 다음 먼저 실 공간좌표를 산출하기 위하여 실험 전과 후에 L자형 Frame 과 T형 Wand를 사용하여 60초 동안 전역좌표계(global coordinate system)를 형성하는 캘리브레이션(calibration)을 실시하였으며 이때 Sampling rate는 120frames/sec로 설정하였다. 각 카메라는 데이터 케이블을 통하여 동조(synchronization)되어 있으며 1대의 마스터 카메라는 랜 케이블을 통하여 측정용 데스크톱 컴퓨터로 데이터를 전송하게 된다. 전송된 데이터는 Cortex 3.0(Motion Analysis, USA)버전을 이용하여 저장하였다. 복장은 마커로 오인할 수 있는 영향을 배제하기 위하여 검은색 타이즈를 착용 시킨 후 하지 관절과 일부 분절 및 운동화에 반사마커를 부착하였다<표 2><그림 3>. 실험은 무순(random order)으로 실시하였으며 각 시기마다 3회 반복 측정하였다. 실험 시 주행 속도는 4.0±0.4 m/sec로 하였다. 관찰자와 피험자가 동시에 만족한 시기만을 성공한 횟수로 간주하고 만족스러울 때까지 계속 실험을 실시하였다.



그림 3. 하지 마커 부착 위치

자료처리방법

에너지 효율 산출

에너지 효율을 산출하기 위한 에너지 소비량은 먼저 각 시기별 항정상태에서 매 20 초마다 입력되는 산소 소비량에 비단백성 R(호흡률)과 산소 1 리터 산화 시의 에너지 생산량을 곱하여 각각을 구하여 5 분간의 에너지 소비량을 합산한 다음 12 배를 하여 60 분간의 에너지 소비량을 구하였다. 에너지 소비량 산출식은 다음과 같다.

$$\text{에너지 소비량} = \text{산소 소비량} \times \text{비단백성 R} + \text{산소}$$

1리터 산화 시 에너지 생산량

그 외 산소 섭취량, 이산화탄소 배출량 등은 5 분간의량을 합산한 후 총 값과 평균값을 구하였다.

에너지 반환 산출

본 연구에서 3D 좌표값의 산출은 Motion Analysis System(USA, Santa Rosa, CA)의 Cortex 3.0 (Motion Analysis, USA) 프로그램을 활용하여 좌표화와 인체관절중심점의 좌표화, 동조 등을 한 후 c3d 포맷으로 변환하였다. 사후분석은 Visual3D(C-motion Inc., Germantown, MD, USA)을 이용하여 회내운동 관련 변인과 각 관절모멘트를 산출하였다. 지면반력 변인은 반복 측정된 자료 중에서 지면반력 그래프를 이용하여 가장 정상적인 구간을 선택하여 Fz의 힘과 시간 변인을 구하였다.

산출된 3차원 영상자료와 지면반력자료를 활용하여 하지관절의 합 모멘트와 각속도를 산출하였다. 각 관절의 합 모멘트는 inverse dynamics를 이용하여 구하였고, 일량(work)은 관절 파워 곡선을 적분(integration)하여 구하였다.

통계처리

운동화 굴곡강도에 따른 에너지 효율 변인과 에너지 반환 변인의 평균과 표준편차를 구하였다. 각 분석변인에 대한 굴곡강도 사이에 차이가 있는지를 규명하기 위하여 반복이 있는 일원변량분석(one way repeated measures ANOVA)을 실시하고, 이 때 유의수준은 $\alpha = 0.05$ 로 한다. 만약 굴곡강도 사이에 차이가 있으면 a paired t-test를 실시한다. 에너지 효율과 에너지 반환 사이의 관계를 규명하기 위하여 상관분석을 하였다.

연구 결과

에너지 반환 변인

관절모멘트

발목관절, 무릎관절, 엉덩이관절의 최대 굴곡모멘트와 최대 신전모멘트는 운동화의 굴곡강도 사이에 통계적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나 전체적으로 최대 굴곡모멘트의 경우 굴곡강도가 클수록 증가하는 경향을 나

타낸 반면 최대 신전모멘트의 경우 굴곡강도가 클수록 감소하는 경향을 나타냈다.

표 3. 하지관절의 최대모멘트 분석결과 (단위 : N.m/B.W.*ht.)

구분	발목관절	무릎관절	엉덩이관절	
	M±SD	M±SD	M±SD	
굴곡	굴곡강도1	0.104 ±0.054	0.233 ±0.155	1.245 ±0.290
	굴곡강도2	0.152 ±0.127	0.272 ±0.292	1.395 ±0.288
	굴곡강도3	0.217 ±0.244	0.363 ±0.250	1.432 ±0.409
	굴곡강도4	0.186 ±0.215	0.280 ±0.135	1.424 ±0.323
신전	굴곡강도1	-2.78 ±0.336	-1.69 ±0.258	-2.67 ±0.336
	굴곡강도2	-2.66 ±0.421	-1.66 ±0.328	-2.61 ±0.458
	굴곡강도3	-2.68 ±0.637	-1.63 ±0.459	-2.47 ±0.674
	굴곡강도4	-2.63 ±0.519	-1.65 ±0.305	-2.50 ±0.404

관절파워

발목관절, 무릎관절, 엉덩이관절의 최대 굴곡파워와 최대 신전파워는 운동화의 굴곡강도 사이에 통계적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나 하지관절의 최대 굴곡파워는 굴곡강도가 클수록 감소하는 경향을 나타냈고, 최대 신전파워는 굴곡파워와는 대조적으로 굴곡강도가 클수록 증가하는 경향을 나타냈다.

표 4. 하지관절의 최대파워 분석결과 (단위 : watt/B.W.)

구분	발목관절	무릎관절	엉덩이관절	
	M±SD	M±SD	M±SD	
굴곡	굴곡강도1	-16.46 ±3.973	-15.97 ±4.848	-0.980 ±0.883
	굴곡강도2	-16.71 ±4.764	-15.12 ±3.286	-0.959 ±0.953
	굴곡강도3	-15.74 ±6.067	-15.52 ±4.778	-0.567 ±1.045
	굴곡강도4	-15.14 ±5.572	-13.89 ±3.784	-0.644 ±1.044
신전	굴곡강도1	28.52 ±3.832	0.806 ±0.660	27.24 ±5.305
	굴곡강도2	28.30 ±5.128	0.883 ±0.921	28.79 ±5.244
	굴곡강도3	30.74 ±8.314	0.858 ±0.935	28.89 ±8.691
	굴곡강도4	30.99 ±5.085	0.951 ±0.731	29.81 ±3.788

에너지

제1국면에서의 발목관절, 무릎관절, 엉덩이관절 에너지는 운동화의 굴곡강도 사이에 통계적인 차이를 나타내지 않았다. 제1국면은 발뒤꿈치가 지면에 접지하고 난 후부터 중간지지기 까지를 나타내며 주로 에너지 흡수가 일어나는 시기이다. 운동화 굴곡강도 사이에 통계적인 차이는 나타내지 않았지만 굴곡강도가 클수록 에너지가

적게 흡수되는 경향을 나타냈다.

제2국면에서의 발목관절, 무릎관절, 엉덩이관절 에너지는 운동화의 굴곡강도 사이에 차이를 나타내지 않았다. 제2국면은 중간지지기 부터 발앞꿈치가 이지하는 순간까지를 나타내며 주로 에너지 생성되는 시기이다. 운동화 굴곡강도 사이에 통계적인 차이는 나타내지 않았지만 굴곡강도가 클수록 에너지가 많이 생성되는 경향을 나타냈다.

표 5. 하지관절의 에너지 분석결과 (단위 : J/B.W.)

구분	발목관절	무릎관절	엉덩이관절	
	M±SD	M±SD	M±SD	
1국면	굴곡강도1	0.069 ±0.009	0.435 ±0.043	1.45 ±0.138
	굴곡강도2	0.067 ±0.014	0.430 ±0.050	1.43 ±0.161
	굴곡강도3	0.063 ±0.006	0.426 ±0.043	1.42 ±0.193
	굴곡강도4	0.063 ±0.01	0.426 ±0.055	1.41 ±0.194
2국면	굴곡강도1	0.072 ±0.008	0.435 ±0.037	1.13 ±0.144
	굴곡강도2	0.071 ±0.009	0.444 ±0.038	1.16 ±0.169
	굴곡강도3	0.073 ±0.010	0.449 ±0.041	1.15 ±0.126
	굴곡강도4	0.074 ±0.008	0.445 ±0.038	1.16 ±0.156

생리적 반응 변인

체중 1kg당 산소 섭취량

운동화의 굴곡강도에 따른 체중 1kg당 산소 섭취량은 <표 6>에서 보는 바와 같이 43.26-47.68 ml/min/kg의 범위로서 굴곡강도 사이에 통계적인 차이를 나타냈다 ($p<0.05$). 사후검증결과 가장 굴곡강도가 적은 강도1과 굴곡강도가 큰 강도3과 강도4사이에 차이를 나타냈다. 또한 굴곡강도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다.

표 6. 굴곡강도에 따른 체중 1kg당 산소 섭취량의 일원배치 분산분석 결과 (단위 : ml/min/kg)

구분	Mean	SD	F	p	post hoc (LSD)
굴곡강도1	47.68	4.36	3.215	.034***	강도1>
굴곡강도2	46.28	4.10			강도3,
굴곡강도3	44.24	2.12			강도1>
굴곡강도4	43.26	2.99			강도4

에너지 소비량

운동화 굴곡강도에 따른 분당 에너지 소비량은 <표 7>

에서 보는 바와 같이 4.89-4.82 Kcal/min의 범위로서 굴곡강도 사이에 통계적인 차이를 나타냈다($p<0.05$). 사후검증결과 가장 굴곡강도가 큰 강도4와 굴곡강도가 작은 강도1과 강도2사이에 차이를 나타냈다. 또한 굴곡강도가 증가할수록 감소하는 경향을 나타냈다. 시간당 에너지 소비량도 <표 8>에서 보는 바와 같이 289.3-293.1 Kcal/h의 범위를 나타냈고 분당 에너지 소비량과 같은 경향을 나타냈다. 이러한 결과는 이론적으로 굴곡강도가 가장 큰 운동화가 가장 작은 운동화에 비하여 약 1.3%의 에너지 절약을 가져오는 수치이다.

표 7. 굴곡강도에 따른 분당 에너지 소비량의 일원배치 분산 분석 결과 (단위 : Kcal/min)

구분	Mean	SD	F	p	post hoc (LSD)
굴곡강도1	4.89	.050	2.910	.048*	강도1>
굴곡강도2	4.87	.050			강도4,
굴곡강도3	4.85	.050			강도2>
굴곡강도4	4.82	.040			강도4

표 8. 시간당 에너지 소비량의 일원배치 분산분석결과

(단위 : Kcal/h)

구분	Mean	SD	F	p	post hoc(LSD)
굴곡강도1	293.1	2.80	3.377	.029***	강도1>
굴곡강도2	292.3	3.27			강도4,
굴곡강도3	291.0	2.84			강도2>
굴곡강도4	289.3	2.30			강도4

에너지 반환변인과 에너지소비량변인의 상관관계 분석 결과

하지관절모멘트와 에너지소비량변인과 상관관계를 분석한 결과는 <표 9>에서 보는 바와 같다. 발목관절의 최대신전모멘트와 산소섭취량($r=0.313$), 체중 1kg당 산소섭취량($r=0.336$)과는 상관성이 유의한 것으로 나타났다. 무릎관절의 최대굴곡모멘트와 산소섭취량($r=0.346$), 이산화탄소배출량($r=0.319$)과는 상관성이 유의한 것으로 나타났다. 엉덩이관절의 최대굴곡모멘트와 분당 에너지소비량($r=-0.424$), 시간당 에너지소비량($r=-.413$)과는 역상관의 관계를 나타냈다.

하지관절과위와 에너지소비량변인과의 상관관계는

표 9. 하지관절모멘트와 에너지소비량변인과의 상관관계 분석결과

구분		VO2	VCO2	VO2/ kg	분당 에너지 소비량	시간당 에너지 소비량
발목 관절	최대 굴곡	.113	.091	.183	-.155	-.147
	최대 신전	.313*	.274	.336*	-.118	-.106
무릎 관절	최대 굴곡	.346*	.319*	.170	-.086	-.071
	최대 신전	.198	.186	.226	-.025	-.018
엉덩이 관절	최대 굴곡	.288	.183	.143	-.424**	-.413**
	최대 신전	.014	-.005	.001	.252	-.252

표 10. 하지관절과위와 에너지소비량변인과의 상관관계 분석결과

구분		VO2	VCO2	VO2/kg	분당 에너지 소비량	시간당 에너지 소비량
발목 관절	최대 굴곡	-.145	-.087	-.158	.273	.276
	최대 신전	.166	.110	.262	-.188	-.189
무릎 관절	최대 굴곡	.026	.023	.030	-.164	-.145
	최대 신전	-.184	-.152	.048	.231	.223
엉덩이 관절	최대 굴곡	-.178	-.103	-.162	.308	.295
	최대 신전	-.371*	-.344*	-.261	.046	.030

표 11. 하지관절에너지와 에너지소비량변인과의 상관관계 분석결과

구분		VO2	VCO2	VO2/kg	분당 에너지 소비량	시간당 에너지 소비량
발목 관절	흡수	.332*	.218	.067	-.226	-.376*
	생성	-.190	-.167	-.176	-.003	-.049
무릎 관절	흡수	.195	.098	-.224	-.123	-.282
	생성	-.268	-.246	-.240	-.012	-.048
엉덩이 관절	흡수	-.230	-.247	-.267	-.062	-.061
	생성	-.775***	-.706***	-.298	-.012	-.002

〈표 10〉에서 보는 바와 같이 엉덩이관절의 최대신전과 위와 산소섭취량($r=-0.371$), 이산화탄소배출량($r=-0.344$)과는 역상관의 관계가 있는 것으로 나타났다. 통계적인 유의성을 나타내지 않았지만 발목관절의 최대 굴곡과위와 분당 에너지소비량($r=0.273$), 시간당 에너지 소비량($r=0.276$)과는 비교적 다른 분석변인에 비하여 높은 상관을 나타냈다.

하지관절에너지와 에너지소비량변인과의 상관관계는

〈표 11〉에서 보는 바와 같이 발목관절에너지의 경우 에너지가 흡수되는 제1국면에서 산소섭취량($r=0.332$)과 시간당 에너지소비량($r=-0.376$) 변인에서 유의한 상관을 나타냈고, 엉덩이관절에너지의 경우 에너지가 생성되는 제2국면에서 산소섭취량($r=-0.775$)과 이산화탄소 배출량($r=-0.706$) 변인에서 유의한 상관을 나타냈다.

논 의

신체활동과 관련된 에너지 측면에서 선수의 경기력을 향상시키기 위한 전략은 에너지 손실을 최소화하여 에너지 효율을 최대화 하는 것과 에너지 반환을 최대화 하는 것이다. 첫 번째 전략인 달리기 시 에너지 손실을 최소화시키는 주행효율(running economy)에 대한 연구가 많이 수행되었으며, 그 중에서도 최근 여러 스포츠 종목에서 많은 연구의 초점이 되는 요인이 운동화이다. 운동화 경도에 관한 연구의 경우 Frederick, Howley, & Powers(1986)은 연질의 EVA신발이 경질의 신발보다 약 2.8% 산소 소비량이 적게 나타났다고 하였고, Frederick 등(1983)은 약간의 차이는 있었지만 이와 비슷한 결과를 보였다고 하였다. Berg와 Sady(1985)는 충격 흡수력이 높은 100g의 운동화 깔창을 사용하였지만 에너지 소비량에 큰 차이를 나타내지 않았다고 하였다.

두 번째 전략인 에너지 반환은 경기력 향상을 위한 선수와 스포츠장비 사이의 에너지 전이의 최적화가 중요한 문제이기 때문에 그 동안 스포츠지면과 운동화를 대상으로 많은 연구가 이루어져 왔다(Nigg & Segesser, 1992). 예를 들면, 체조경기의 마루운동바닥, 육상경기의 지면 등은 에너지 반환이 잘 이루어지도록 한 것이다. 이러한 측면에서 선수의 경기력을 향상시키기 위한 운동화의 에너지 반환에 대한 연구도 시도해 볼 만하다.

지금까지의 선행연구 문제점으로서 주행효율의 경우 신발의 경도와 주행효율의 관계에 대해서는 아직도 뚜렷한 증거가 없어서 결론에 도달하지 않는 상태에 있다. 에너지 반환에 대한 연구의 경우 하지관절이라고 하더라도 단일관절이나, 혹은 부분적인 에너지 전이에 대하여만 연구되었다. 또한 하지부위의 관절은 주로 3차원 공간상에서 회전운동이 일어나는데 대부분의 연구는 전후면상에서 2차원적 분석으로 이루어졌다. 그리고 그 동안

신발연구에 사용된 재질의 형태는 연구의 특성상 에너지의 반환 측정이 용이한 딱딱한 것이었다.

그리고 지금까지 주행효율과 에너지 반환에 대한 연구는 대부분 각각 분리하여 이루어졌다. 그러나 주행효율은 에너지가 내부에서 외부로 나타난 결과의 생리학적인 변인이고 에너지 반환은 기계적 에너지가 관절 사이에서 흡수되고 생성되는 에너지 전이를 나타내는 역학적 변인이다. 따라서 인체내부와 외부에서 나타나는 생리적 변인(결과)과 역학적 변인(원인) 사이의 상호관계를 규명하면 선수와 스포츠장비 사이의 상호작용을 잘 이해하게 되어 경기력 향상을 위한 스포츠장비 개발에 많은 도움이 될 수 있을 것이다.

본 연구에서는 이러한 점을 착안하여 운동화의 굴곡강도의 증가가 주행효율과 하지관절의 에너지 반환에 어떠한 영향을 미치는 것인가를 규명하며 주행효율과 에너지 반환 사이의 관계를 규명하고자 하였다.

우선 하지관절의 모멘트에 대한 걷기나 달리기와 같이 인체동작 시 부상의 원인을 규명할 때 이용되는 분석 변인이다. 지금까지 신발과 관련된 모멘트 연구에서는 신발의 경도가 많이 이용되었다(전민주, 2013; 광창수 등, 2008). 본 연구에서 시도되는 신발의 굴곡강도를 대상으로 하지관절의 모멘트에 대한 연구는 거의 없다. 본 연구결과 하지관절의 모멘트에 대한 운동화의 굴곡강도 사이에 통계적인 차이를 나타내지 않았다. 그러나 Roy와 Stefanyshyn(2006)의 연구에서는 무릎관절과 엉덩이관절의 모멘트는 차이가 없었지만 발목관절 모멘트에는 차이가 있다고 하였다. 아마도 본 연구결과와 다르게 차이를 나타낸 원인은 본 연구에 사용된 굴곡강도의 차이 때문이 아닌 사료된다. 최대굴곡모멘트는 발목관절, 무릎관절, 엉덩이관절 순으로 몸통으로 갈수록 더 크게 나타났고 최대신전모멘트는 발목관절이 가장 크게 나타났다. 최대굴곡모멘트가 최대신전모멘트보다 모든 관절에서 더 크게 나타났는데, 이것은 우리 인체의 경우 굴근보다 신근이 강한 것과 같은 측면을 보여준 것이라고 할 수 있다.

운동화의 굴곡강도와 관련하여 본 연구결과 굴곡강도가 크면 클수록 통계적인 차이는 나타내지 않았으나 모든 하지관절에서 최대굴곡모멘트는 감소하는 경향을 나타냈고 최대신전모멘트는 증가하는 경향을 나타냈다. 우리 인체 운동의 경우 제1국면인 충격력이 흡수되는 국면에서 굴곡모멘트가 적으면 그 만큼 유리하고 제2국면인

추진력이 발휘되는 국면에서 신전모멘트가 크면 더 유리하기 때문에 굴곡강도가 큰 운동화가 유리하다고 할 수 있다. 능동적으로 지면에 힘을 가하는 국면인 제2국면에서 굴곡강도가 클수록 신전모멘트가 증가한 것은 운동화 바닥의 굴곡강도가 증가함으로써 모멘트 팔(moment arm)이 증가했기 때문인 것으로 유추할 수 있다. 한편 Cavanagh 등(1980)의 연구결과에 따르면 착지 시 모멘트가 크면 클수록 발목부상의 원인이 된다고 한 점을 고려하면 굴곡강도가 큰 운동화는 운동수행력에는 도움이 될 수 있지만 부상 발생률이 높다는 것도 고려해야 한다고 할 수 있다.

관절 파워는 관절모멘트와 각속도의 곱으로 구하며, 파워의 +값은 모멘트와 각속도가 동시에 같은 방향으로 값이 나올 때이고 이 때 파워가 생성되는 것이다. 모멘트와 각속도가 다른 방향일 때는 -값이 나오고 이때는 흡수되는 것이라고 할 수 있다. 제1국면에서 굴곡파워는 수동적인 파워로서 운동 중 충격흡수 파워를 의미하는 것으로 파워가 증가하는 것은 관절에 그 만큼 부하가 증가하는 것을 말한다(Zhang, Bates, & Dufek, 2000). 하지관절의 굴곡파워 크기는 발목관절, 무릎관절, 엉덩이관절 순으로 나타났고 그 값이 -를 나타내어 흡수가 되는 것으로 나타났다. 운동화 굴곡강도가 클수록 감소하는 것으로 나타나 운동화 바닥이 딱딱할수록 파워의 흡수가 적게 되는 것으로 나타났다.

제2국면에서 관절의 신전파워는 능동적인 파워로서 Beli, Kyrolainen, & Komi(2002)는 달리기 속도가 증가하면 관절의 신전파워도 증가한다고 하였다. 본 연구결과 하지관절의 신전파워는 발목관절이 가장 크게 나타났고 무릎관절이 가장 작게 나타났다. 제2국면에서의 값이 +를 나타내어 파워가 생성되는 것으로 나타났다. 파워 생성의 측면에서 통계적인 차이는 나타나지 않았지만 발목관절이 가장 많이 생성되었고 무릎관절의 파워가 가장 적게 생성되는 것으로 나타났다. 또한 운동화 굴곡강도가 클수록 관절 파워도 크게 나타나서 굴곡강도가 클수록 파워 생성이 많이 되는 것으로 나타났다. 따라서 굴곡강도가 큰 운동화를 착용할 경우 착지 시 파워 손실이 적게 되고 도약 시에는 파워 생성이 더 많이 된다고 할 수 있다.

하지관절별 에너지는 본 연구결과 에너지가 흡수되는 제1국면에서 발목관절, 무릎관절, 엉덩이관절의 순으로 크게 나타났다. 에너지가 생성되는 제2국면에서 하지관

절별 에너지는 제1국면과 같은 순으로 크기를 나타냈다. 이러한 연구결과는 전민주(2013)가 배구화를 대상으로 실시한 연구결과와 유사하게 나타났다. 또한 하지관절별 에너지는 제1국면에서 통계적인 차이는 나타나지 않았지만 운동화 굴곡강도가 클수록 에너지 흡수가 적게 되는 경향을 나타내어서 에너지 손실이 적게 되는 것으로 나타났다. 에너지가 생성이 되는 제2국면에서도 굴곡강도가 증가함에 따라 통계적인 차이는 나타나지 않았지만 에너지가 더 많이 생성되는 것으로 나타났다.

본 연구결과 굴곡강도 사이에 통계적인 차이가 나타나지 않는 것은 아마도 본 연구에 사용된 운동화가 일반적으로 스포츠장에서 사용되는 것으로 운동화 사이에 굴곡강도가 크게 차이가 나타나지 않았기 때문에 나타난 결과라고 사료된다. 만약 축구화나 단거리 스파이크와 같은 신발바닥의 굴곡강도가 강한 신발을 사용하면 아마도 신발사이에 통계적인 차이를 나타낼 것으로 판단된다.

본 연구에서 굴곡강도가 생리적변인에 미치는 영향을 분석하기 위한 분석변인으로는 체중 1kg당 산소섭취량, 에너지소비량이다.

체중 1kg당 산소섭취량은 43.26-47.68 ml/min/kg의 범위를 나타내어 광창수(2003)의 21.07-23.97 ml/min/kg보다 2배 이상 높게 나타났다. 이렇게 높게 나타난 이유는 운동강도가 빠른 보행속도보다 강했기 때문이라고 사료된다. 또한 굴곡강도가 가장 낮은 굴곡강도1의 경우가 굴곡강도가 가장 높은 굴곡강도4에 비하여 산소섭취량이나 체중 1kg당 산소섭취량이 10% 정도 높게 나타났다. 반대로 설명하면 굴곡강도가 높은 운동화가 낮은 운동화에 비하여 10% 정도 낮게 나타나서 에너지 효율성이 높다고 할 수 있다. 본 연구결과와 운동화의 굴곡강도가 크면 체중 1kg당 산소섭취량이 감소하는 경향을 나타냈기 때문에 굴곡강도가 크면 클수록 에너지 효율성이 증대된다고 할 수 있다.

에너지 소비량의 경우 분당 에너지 소비량은 4.89-4.82 Kcal/min의 범위를 나타냈고 시간당 에너지 소비량은 289.3-293.1 Kcal/h의 범위를 나타냈다. 이러한 수치는 강석호(2001)의 30분간 에너지 소비량인 179.2-206.0 Kcal보다 낮게 나타난 것이다. 이렇게 본 연구의 결과값이 낮게 나타난 것은 전술한 바와 같이 운동강도, 피험자, 실험장비 등의 차이 때문이라고 사료된다. 굴곡강도가 가장 큰 운동화의 에너지 소비량이 굴곡강도가 가장 작은 운동화에 비하여 약 1.3% 적게 나

타났다. 이러한 결과는 Roy와 Stefanyshyn(2006)의 1%보다 크게 나타난 것이고 Nigg와 Segesser(1992)의 2%보다는 작게 나타난 것이다. 본 연구결과와 선행 연구결과를 종합하면 굴곡강도를 크게 하면 결국 에너지 소비량의 감소로 이어져서 에너지 효율성을 증대시킬 수 있다. 굴곡강도도 증족지골관절 주변을 크게 하여 운동 범위를 제한함으로써 에너지 흡수를 감소시켜 결국 에너지 효율성을 증대시켜서 이와 관련된 운동종목의 경기력을 향상시킬 수 있다.

지금까지 에너지 반환 관련 연구에서 운동화의 굴곡강도는 에너지의 효율성을 향상시키는 데는 기여했지만 그 원인에 대해서는 명확하게 밝혀지지 않았다. 이러한 점을 착안하여 본 연구에서는 그 원인에 해당하는 운동역학적변인과 결과에 해당하는 에너지소비량과의 상관관계를 분석하였다. 본 연구의 분석결과 하지관절모멘트 분석변인에서는 엉덩이관절의 굴곡모멘트와 에너지소비량과 부적 상관관계를 나타냈다. 즉 굴곡모멘트가 증가할수록 충격흡수가 일어나는 제1국면에서 에너지소비량은 감소하는 것으로 나타났다. 운동화의 굴곡강도가 증가하면 엉덩이관절의 굴곡모멘트도 증가하는 결과를 나타냈는데 결국 운동화의 굴곡강도가 증가하면 에너지소비량은 감소하는 결과와 같은 의미로 해석할 수 있다. 실제 생리적 반응 실험에서 굴곡강도가 증가하면 에너지 소비량은 감소하는 연구결과를 나타냈다.

하지관절과워와 에너지소모량과의 상관분석결과 엉덩이관절과 발목관절의 최대굴곡과워와 에너지소비량과는 통계적인 유의성은 없지만 약간 높은 정도의 상관을 나타냈다. 그러나 하지관절에너지와 에너지소비량과의 상관관계분석결과 발목관절의 제1국면에서 부적 상관관계를 나타냈다. 즉 제1국면에서 발목관절의 에너지 흡수(손실)가 많이 되면 에너지소비량은 감소한다는 것을 의미한다. 본 연구결과와 운동화 굴곡강도가 증가하면 발목관절의 에너지 흡수는 감소하는 경향을 나타냈는데 이러한 현상 때문에 굴곡강도가 증가하면 할수록 에너지 효율성이 증가하여 에너지가 절약된다고 할 수 있다. 이러한 연구결과는 Roy와 Stefanyshyn(2006)의 연구결과와 일치하는 것으로 실제로 굴곡강도가 발목관절의 운동을 제한하여 에너지 손실의 감소를 유발했는지는 앞으로 연구해 볼 과제라고 생각된다.

결 론

본 연구는 선수의 경기력 향상을 위하여 운동화의 굴곡강도의 증가가 주행효율과 하지의 에너지 반환에 어떠한 영향을 미치는 것인가를 규명하고 주행효율과 에너지 반환 사이의 관계를 규명하는데 그 목적이 있다.

본 연구에 동원된 피험자는 최근 1년 이내에 하지에 부상경험이 없는 자로서 건강한 남자 대학생 10명이었다. 본 연구에 사용된 실험용 운동화는 4종류로서 굴곡강도가 각각 0.56 N/mm, 0.74 N/mm, 0.96 N/mm, 1.21 N/mm이었다. 3차원 영상분석법과 호흡가스분석 측정장치를 이용하여 운동화의 굴곡강도에 따른 에너지 반환과 에너지소비량을 구하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 운동화의 굴곡강도가 증가하면 할수록 통계적인 차이는 나타나지 않았으나 모든 하지관절에서 최대굴곡모멘트는 감소하는 경향을 나타냈고 최대신전모멘트는 증가하는 경향을 나타냈다.
2. 최대굴곡파위의 크기는 발목관절, 무릎관절, 엉덩이관절 순으로 나타났고 운동화의 굴곡강도가 클수록 감소하는 것으로 나타났고, 최대신전파위는 운동화의 굴곡강도가 클수록 증가하는 것으로 나타났다.
3. 하지관절별 에너지는 제1국면에서 통계적인 차이는 나타나지 않았지만 운동화 굴곡강도가 클수록 에너지 흡수가 적게 되는 경향을 나타냈고, 제2국면에서는 굴곡강도가 증가함에 따라 통계적인 차이는 나타나지 않았지만 에너지가 더 많이 생성되는 것으로 나타났다.
4. 굴곡강도가 가장 낮은 운동화가 가장 높은 운동화에 비하여 산소섭취량이나 체중 1kg당 산소섭취량이 10% 정도 높게 나타나서 굴곡강도가 클수록 에너지 효율성이 증대되는 것으로 나타났다.
5. 굴곡강도가 가장 큰 운동화의 에너지 소비량이 가장 작은 운동화에 비하여 약 1.3% 적게 나타났고, 굴곡강도가 클수록 에너지 효율성이 증대되었다.
6. 엉덩이관절의 굴곡모멘트와 에너지소비량과는 부적 상관관계를 나타냈다($p < 0.05$). 엉덩이관절과 발목관절의 최대굴곡파위와 에너지소비량과는 통계적인 유의성은 없지만 약간 높은 정도의 상관을

나타냈다. 발목관절 에너지와 에너지소비량과의 상관관계분석결과 제1국면에서 부적 상관관계를 나타냈다($p < 0.05$).

본 연구를 통하여 운동화의 굴곡강도가 클수록 에너지소비량이 감소한다는 선행연구들의 연구결과를 재확인하였다. 본 연구결과 굴곡강도가 가장 큰 운동화의 에너지 소비량이 가장 작은 운동화에 비하여 약 1.3% 적게 나타났고, 굴곡강도가 클수록 에너지 효율성이 증대되었다. 또한 운동화의 굴곡강도는 에너지의 효율성을 향상시키지만 그 원인에 대해서는 아직까지 명확하게 밝혀지지 않았다. 이러한 점을 착안하여 에너지 반환변인과 에너지소비량과의 상관관계를 분석한 결과 엉덩이관절과 발목관절의 최대굴곡파위 및 발목관절의 에너지와 에너지소비량과는 부적인 상관관계를 나타냈다. 본 연구결과 발목관절에서 주로 에너지 손실의 감소가 이루어졌는데, 이러한 원인이 발목관절의 운동범위를 제한한 것에 기인된 것인지는 추후연구를 통하여 이를 밝혀야 할 것이다.

참고문헌

- 강석호(2001). 보행 시 덤벨의 중량차이가 심박수와 에너지소비량에 미치는 영향, *운동영양학회지*, 제5권, 제2호, pp.71-80.
- 박창수, 이계산, 김희석(2003). 신발의 무게가 보행효율에 미치는 영향, *한국체육학회지*, 제42권, 제3호, pp. 677-686.
- 전민주(2013). 하지관절의 에너지 반환을 이용한 배구화 Sole의 최적 굴곡강도(Bending Stiffness) 연구, 한림대학교 대학원 박사학위논문, pp.79-102.
- Alexander, R. M., and M. Burnett.(1989). How elastic is a running shoe, *New Scientist July*, 15:45-46.
- Belli, A., Kyrolainen, H., and Komi, P. V.(2002). Moment and power of lower limb joints in running, *International J. of Sports Med.*, 23(2) : 136-141.
- Berg, K., & Sady, S.(1985). Oxygen cost of running at submaximal speeds while wearing shoe inserts. *Research Quarterly*, 56(1), 86-89.
- Buczek, F. L., & Cavanagh, P. R.(1990). Stance phase knee and ankle kinematics and kinetics during level and downhill running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, pp.669-677.
- Conley, D., G. Krahenbuhl, and L. Burkett. Training for aerobic

- capacity and running economy. *Physician Sports Med.* 9: 107-115, 1981.
- Czernieki, J. M., Gitter, A., & Munro, C. (1991). Joint moment and muscle power output characteristics of below knee amputees during running: the influence of energy storing prosthetic feet. *Journal of Biomechanics*, 24, 63-75.
- Daniels, J., P. Bradley, N. Scardina, P. Van Handel, and J. Troup. Aerobic responses to submax and max treadmill and track running at sea level de(Abstract). *Med. and Sci. in Sports Exercise*, 12(4), 288-294.
- Daniels, J., N. Oldridge, F. Nagle, and B. White(1978). Differences changes in VO₂ among young runners 10 to 18 years of age. *Med. and Sci. in Sports & exer.* 10: 200-203.
- Daniels, N., J. Daniels, C. Baldwin, and P. Bradley(1986). The effect of wind on the aerobic demand of running. Presented at the annual convention of The American College of Sports Medicine, Indianapolis, IN.
- Daniels, J. T. and Danniels, N.(1992). Running economy of elite male and elite female runners. *Med. and Sci. in Sports & Exer.*, 24: 483-489.
- Devita, P. & Stribling, J. (1991). Lower extremity joint kinetics and energetics during backward running. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 23, 602-610.
- Devita, P., Blankenship Hunter, P., & Skelly, W. A. (1992). Effects of a functional knee brace on the biomechanics of running. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 24, 797-806.
- Elftman, H. (1939a). Forces and energy changes in the leg during walking. *Am. Journal of Physiology*, 125, 339-356.
- Elftman, H. (1939b). The function of muscles in locomotion. *Am. Journal of Physiology*, 125, 357-366.
- Frederick, E. C., Clarke, T. E., Larsen, J. L., & Cooper, L. B.(1983). *The effects of shoe cushioning on the oxygen demands of running.* In B. M. Nigg & B. A. Kerr(ed.), *Biomechanical aspects of sport shoes and playing surfaces.* (pp.107-114). Calgary, AB: University of Calgary.
- Frederick, E. C., Daniels, J. T., & Hayes, J. W. (1984). The effect of shoe weight on the aerobic demands of running. In L. Prokop(Ed.), *Proceedings of the word Congress on sports Medicine*(pp.616-625). Vienna : World Congress on Sports Medicine.
- Frederick, E. C., Howley, E. T., & Powers, S. K.(1986). Lower oxygen demands of running in soft-soled shoes, *Research Quarterly for Exercise and sports*, 57(e), 174-177.
- Goh, J. C., Tan, P. H., Toh, S. L., & Tay, T. E.(1994). Gait analysis study of an energy storing prosthetic foot-a preliminary report. *Gait and posture* 2, pp. 95-101.
- Hogberg, P.(1952). How do stride length and stride frequency influence the energy output during running. *Arbeitsphysiologie* 14:437-441.
- Martin, P. E.(1985). Mechanical and physiological responses to lower extremity loading during running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(4), 427-433.
- Martin, P. E., Heise, G. D., & Morgan, D. W. (1993). Interrelationships between mechanical power, energy transfers, and walking and running economy. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 25: 508-515.
- McMahon, T.A., & Gress, P.R.(1979). The influence of track compliance on running. *Journal of Biomechanics*, 12, 893 - 904.
- Morgan, D. W., Martin, P. E., Baldini, F. D., and Krahenbuhl, S.(1988). Biomechanical correlates of economical running (Abstract). *Med. and Sci. in Sports and Exer.* 20(Suppl. 2): S49.
- Nigg, B. M., & Segesser, B.(1992). Biomechanical and orthopedic concepts in sport shoe construction. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 24: 595-602.
- Roy, J-P. R. & Stefanyshyn, D. J. (2006). Shoe Midsole Longitudinal Bending Stiffness and Running Economy, Joint Energy, and EMG. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 38: 562-569.
- Simpson, K. J. & Bates, B. T.(1990). The effects of running speed on lower extremity joint moments generated during support phase. *Inter. J. of sport Biomechanics*, 6: 309-324.
- Stefanyshyn, D. J. & Nigg, B. M.(1997). Mechanical energy contribution of the metatarsophalangeal joint to running and sprinting. *Journal of Biomechanics*, Vol. 30, No.11/12, pp.1081-1085.
- Stefanyshyn, D. J. & Nigg, B. M.(2000). Influence of midsole bending stiffness on joint energy and jump height performance. *Medicine and Science in Sports & Exercise*, 32: 471-476.
- Turnball, A.(1989). The race for a better running shoe. *New Scientist July* 15:42-44.
- Zhang, S. N., Bates, B. T., & Dufek, J. S.(2000). Contribution of lower extremity joints to energy dissipation during landings, *Med. and Sci. in Sports and Exer.*, 32(4) : 812 -819.

Relationships between Running Economy and Energy Return with varying Bending Stiffness of Running Shoes

Kwak Chang-Soo¹, Lee Chung-II¹, Kwon Young-Hoo², & Jeon Min-Ju³

¹Hallym University, ²Texas Women's University, & ³Hallym polytechnic University

The purpose of this study was to investigate the effect of running economy and energy return in lower extremities according to the increase of bending stiffness of the shoes, furthermore to investigate the relationship between running economy and energy return for the improvement of sports performance.

Subjects employed for this study were 10 healthy male college students who have not had the experiences in lower extremities injuries. Four different kinds of shoes in bending stiffness as with 0.56 N/mm, 0.74 N/mm, 0.96 N/mm, 1.21N/mm were used respectively. 3-D cinematography and pulmonary gas analyzer were utilized for energy return and energy consumption data during running according to the increase of bending stiffness of the shoes to obtain the following results.

As the bending stiffness of running shoes increased, the statistical significance were not founded, however, the tendency of decrease in max. flexion moment and power, increase in max. extension moment and power in lower extremity joint were showed. Joints energy showed no statistical significance in phase 1, however, the tendency of lesser absorption as the bending stiffness of running shoes increased were showed. More energy were generated as the bending stiffness of running shoes increased in phase 2 with no statistical significance. Energy economy increased according to the increase of bending stiffness of running shoes. Negative correlation were showed between flexion moment of hip joint and energy consumption($p < 0.05$). Slightly higher degree of correlation between max. flexion power of hip and ankle joint and energy consumption were showed without statistical significance. Negative correlation were showed between joints energy and energy consumption for ankle joint in phase 1($p < 0.05$).

Key Words: Bending Stiffness, Running Economy, Energy Return, Moment, Power 