사이클 페달링 시 숙련정도에 따른 운동역학적 특성비교

이근혁[1] · 강성선[1] · 김재정[2] · 홍아름[1] · 소재무[3]
[1] *건국대학교 일반대학원 체육학과*
[2] *한밭대학교 인문교양학부*
[3] *건국대학교 사범대학 체육교육과*

Comparison of Biomechanical Characteristics for the Skill Level in cycling pedaling

Geun-Hyuk Lee[1] · Jai-Jeong Kim[2] · Sung-Sun Kang[1] · Ah-Reum Hong[1] · Jae-Moo So[3]
[1] *Department of Physical Education, Graduate School of Konkuk University, Seoul, Korea*
[2] *College of Humanities & Social Sciences Division of humanities and Liberal Arts, Hanbat National University, DaeJeon, Korea*
[3] *Department of Physical Education, College of Education, Konkuk University, Seoul, Korea*

ABSTRACT

Objective : This study aimed to compare biomechanical data between elite and beginner cyclists during cycle pedaling by performing a comparative analysis and to provide quantitative data for both pedaling performance enhancement and injury prevention.

Method : The subjects of this study included 5 elite cyclists (age: 18 ± 0 year, body mass: 64.8 ± 9.52 kg, height: 173.0 ± 4.80 cm) and 5 amateur cyclists (age: 20 ± 0 year, mass: 66.6 ± 2.36 kg, height: 175.6 ± 1.95 cm). The subjects pedaled on a stationary bicycle mounted on rollers of the same gear (front: 50 T and rear: 17 T = 2.94) and cadence of 90. The saddle height was adjusted to fit the body of each subject, and all the subjects wore shoes with cleats. In order to obtain kinematic data, 4 cameras (GR-HD1KR, JVC, Japan) were installed and set at 60 frames/sec. An electromyography (EMG) system (Telemyo 2400T, Noraxon, USA) was used to measure muscle activation, and a total of 8 sets of data from both left and right lower extremities were obtained from 4 muscles (vastus medialis oblique [VMO], vastus lateralis oblique [VLO], and semitendinosus [Semitend], and lateral gastrocnemius[Gastro]) bilaterally by using a sampling frequency of 1500 Hz. Five sets of events (0°, 90°, 180°, 270°, and 360°) and 4 phases (P1, P2, P3, and P4) were set up for the data analysis. Imaging data were analyzed for kinematic factors by using the Kwon3D XP computer software (Visol, Korea). MyoResearch XP Master Edition (Noraxon) was used for filtering and processing EMG signals.

Results : The angular velocity at 360° from the feet was higher in the amateur cyclists but accelerations at 90° and 180° were higher in the elite cyclists. The amateur cyclists had greater joint angles at 270° from the ankle and wider knee joint distance at 0°, 180°, and 360° than the elite cyclists. The EMG measurements showed significant differences between P2 and P4 from both the right VLO and Semitend.

Conclusion : This study showed that lower body movements appeared to be different according to the level of cycle pedaling experience. This finding may be used to improve pedaling performance and prevent injuries among cyclists.

Keywords : Cycle, Pedaling, Cycle pedaling, Skill level, EMG

Corresponding Author : Jae-Moo So
Department of Physical Education, Konkuk University,
120 Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul 05029, Korea
Tel : +82-2-450-3828 / Fax : +82-2-453-6326
E-mail : human@konkuk.ac.kr
이 논문은 2014년도 건국대학교 KU학술연구비 지원에 의한 논문임

Ⅰ. 서 론

현대사회의 경제발전과 여가시간의 증대로 여가스포츠 활동에 사람들의 관심이 집중되고 있다. 그중 스포츠의 한 종목으

로서 사이클이 건강과 체력단련을 위한 레저기구로 각광받고 있으며 정부의 4대강 자전거 도로의 완공 및 친환경성과 기동성을 갖춘 대체교통수단으로 그 수요가 증가하고 있다.

자전거 페달링은 크랭크를 중심으로 원운동을 하는 단순 동작이지만 인체 하지가 어떻게 작용하느냐에 따라서 그 수행능력은 현격한 차이가 발생한다. 사이클에서 페달링은 회전운동으로 누르기와 끌기, 밀기 등의 조화를 통해 수행되며, 페달링 주기 중 페달을 아래로 밟아 구동력을 전달하는 경우는 고관절 신근군(Hip extensors), 슬관절 신근군(Knee extensors), 족관절 신근군(Plantar flexors)이 주동근이 되고 페달을 위로 끌어올릴 때는 고관절 굴근군(Hip flexors), 슬관절 굴근군(Knee flexors), 족관절 굴근군(Dorsi flexors)이 주동근이 되어 페달에 반복적인 힘을 전달하게 된다(Jun & Joo, 1996). 이때 하지에서 전달되는 수직전달력을 통해 페달파워로 나타나게 된다(Kang, Choi, Seo, Bae & Tack, 2012). 특히 페달파워는 무릎의 위치가 페달과 수직이 되게 함으로서 잠재적인 파워손실을 줄여 큰 페달파워를 내며(Sanner & O'Halloranet, 2000) 페달링 파워는 사이클 수행능력의 가장 기본적이며 중요한 요인이다(Atkinson, Peacock, St Clair Gibson, & Tucker, 2007). 때문에 사이클 운동에서 효율적인 페달링이 필요하다.

사이클 주행 시 페달링 자세는 부상을 방지하고 경기력을 향상시키는 중요한 요인이 된다(Seo, Choi, Kang, Bar & Tack, 2012). 만약 자전거를 타는 자세가 올바르지 않으면 라이딩이 즐겁지 않고 자전거 타는 것이 고통이 되며 선수들의 경우에는 부상으로 이어져 선수생활에 큰 영향을 미칠수 있다. 때문에 라이딩 후에 통증이 지속될 경우에는 반드시 자세의 교정이 무엇보다 중요하며 자전거의 페달과 발이 안정적으로 세팅이 되어야 골반과 대퇴를 통해 무릎으로 전달되는 하중이 이상적인 상태로 작용할 수 있는 환경이 되는 것이다.(Han, 2013) Pruitt와 Matheny(2006)의 사이클 선수와 부상에 관하여 고찰한 문헌에 따르면 페달링은 다른 운동에 비해 반복 동작(Repetitive movement)이 특징이기에 좋지 않은 자세나 부하가 발생될 경우 쉽게 부상이 발생할 수 있다고 강조하였다. Bailey, Maillardet과 Messenger(2003)의 연구에서 과손상 이력의 유무에 따라 시상면의 관절각도에는 큰 차이가 없으나 전두면에서의 무릎관절 각도의 차이가 나타났다. 따라서 Elite와 Amateur 사이에 페달링 기술 및 발현 근육의 차이가 있을 것으로 예상되기에 효율적인 페달링 수행 여부를 평가하기 위하여 페달링과 관련된 관절과 근육의 활성화를 확인해 볼 필요성이 제기된다. 또한 파워를 효율적으로 생산할수 있는 하지의 균형잡힌 자세를 이루어 경기력 향상 및 부상의 예방을 할 수 있는 과학적인 자료의 필요성이 대두된다.

따라서 본 연구는 생체역학적인 관점에서 사이클 페달링시 Elite와 Amateur의 비교분석을 통해 오류를 밝혀내고 페달링 수행능력의 향상 및 상해예방을 위한 정량적인 데이터를 제공하는데 그 목적이 있다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구의 피험자는 대한사이클연맹 소속선수 5명 (age: 18±0 yrs, mass: 64.8±9.52 kg, height: 173.0±4.80 cm)을 숙련자집단으로 선정하였고 사이클 경험이 있는 K대학 소속 학생 5명 (age: 20±0 yrs, mass: 66.6±2.36 kg, height: 175.6±1.95 cm)을 Amateur 집단으로 선정하였다. 이들은 모두 사이클 페달링을 수행하기에 무리가 없는 자들이었으며 참여대상자들에게는 본 연구의 목적과 내용을 충분히 설명하였고, 연구 참여에 구두로 동의하였다.

Table 1. Characteristic of the subjects

	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	career (years)
Amateur (M±SD)	20±0	175.6±1.9	66.6±2.3	-
Elite (M±SD)	18±0	173.0±4.8	64.8±9.5	2.4±0.9

2. 실험 절차

피험자들은 고정식 롤러에 장착된 자전거에서 페달링을 하였으며 동일한 기어비(Front 50 T, rear 17 T = 2.94)를 적용시켰으며 1분당 자전거 페달링의 횟수를 나타내는 케이던스(Cadence)는 Lucia, A., Hoyos, J. & Chicharro, J. L.(2001)의 연구를 참조하여 프로선수들의 평균 케이던스인 90으로 설정하였다. 이때 프로사이클 선수 Lemond가 제안한 안장높이 조절방법으로 인심의 길이에 0.883을 곱한 값을 산출(Lemond method)하여 피험자들의 신체에 맞춘 안장높이로 조절하였으며 클릿신발을 착용하였다. 실험장비는 4대의 카메라(GR-HD1KR, JVC, Japan)를 설치하였고 60 frame/sec의 캠코더 속도와 노출시간(exposure time)은 1/500 sec로 설정하였다. 운동학적 자료(각속도, 각 가속도, 관절각도, 슬관절 간격)를 획득하기 위하여 toe, heel, lateral malleolus, knee, anterior superior iliac spine, shoulder에 좌우로 총 12개의 기준점에 인식마커를 부착하였다. 근육의 활성화를 측정하기위해 근전도 측정시스템(Telemyo 2400T, NORAXON, USA)을 사용하였으며 샘플링 주파수 1500hz로 내측광근(vastus medialis

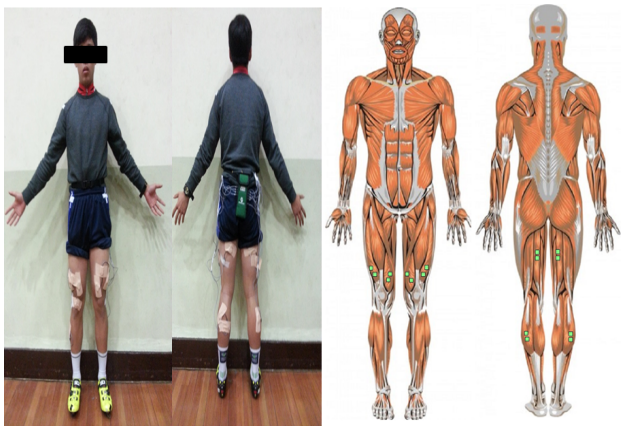

Figure 1. Electrode attachment position

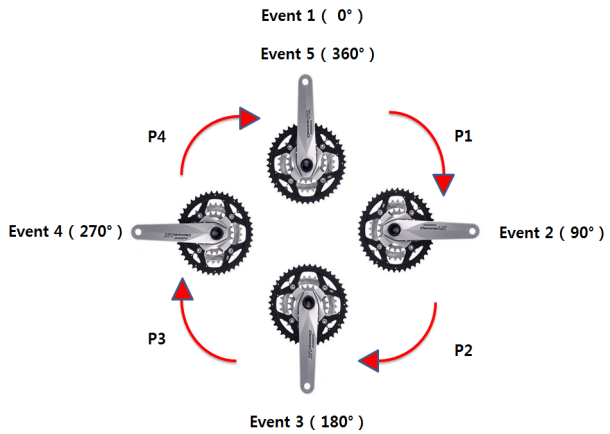

Figure 2. Setting of the event and phase

obliquus = VMO),외측광근(vastus lateralis obliquus = VLO), 반건양근(semitendinous = SEMITEND), 장딴지근(gastrocnemius = GASTRO)의 좌측과 우측 총 8군데의 데이터를 획득하였다. 연구대상자 각각의 근전도 자료를 정규화하기 위하여 근육별 수의적 등척성 수축(Maximum Voluntary Isomeric Contraction; MVIC)값을 측정해서 표준화하여 %MVIC값을 계산하였다.

3. 자료의 분석

자료의 분석을 위하여 5개의 이벤트(o°, 90°, 180°, 270°, 360°)와 4개의 구간(P1, P2, P3, P4)을 설정하였다. 영상자료는 Kwon3D XP(VISOL, Korea) 프로그램을 사용하였고 디지타이징 후 동조하여 얻은 2차원 좌표로부터 3차원 좌표를 산출하기 위해 공간좌표를 이미 알고 있는 통제점(2 × 2 × 1 m)을 활용하는 DLT(direct linear transformation)방법을 이용하였다(Abdel-Aziz & Karara, 1971). 디지타이징 시 발생하는 오차를 제거하기 위해서 butterworth의 저역통과필터(low-pass filter)법을 이용하였고 이때 차단주파수(cut-off frequency)는 6Hz로 설정하였다. 피험자의 좌우를 X축, 전후를 Y축, 상하를 Z축으로 설정하였고 페달링 시 하지 관절의 각도는 다음과 같이 정의하였다.

① 고관절(hip joint angle) : 동체와 대퇴가 이루는 상대 각도
② 슬관절(knee joint angle) : 대퇴와 하퇴가 이루는 상대 각도
③ 족관절(ankle joint angle) : 하퇴와 발이 이루는 상대 각도
④ 슬관절 간격(knee joint distance) : X축을 기준으로 좌우의 knee 간격

근전도 신호는 MyoResearch XP Master Edition(NORAXON, USA)을 이용하여 필터링 한 후 노이즈를 최소화하였고, 이후 얻어진 RMS(root mean square)값을 MVIC값으로 표준화하여 %MVIC값을 계산 하였다.

4. 통계 처리

본 연구의 통계처리는 SPSS Statistics 22를 이용하여 사이클 페달링시 숙련정도에 따른 하지에 대한 운동학적 변인 및 근 활성도의 평균(M)과 표준편차(SD)를 산출한 후 도표화하였고, 평균 차이를 검증하기 위하여 독립 t-검증을 실시하였다. 이때 유의수준은 α=.05로 설정하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 각속도의 분석

사이클 페달링시 숙련정도에 따른 하지 각속도의 결과는 <Table 2>와 같다. 대퇴의 각속도의 측정결과 Amateur 집단이 90°일 때 183.8 deg/s, 180°일 때 97.4 deg/s, 270°일 때 173.5 deg/s 360°일 때 88.5 deg/s이고 Elite 집단은 90°일 때 210.2 deg/s, 180°일 때 60.1 deg/s, 270°일 때 156.7 deg/s, 360°일 때 123.2 deg/s로 나타났으며 두 집단 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

하퇴의 각속도는 Amateur 집단이 90°일 때 112.9 deg/s, 180°일 때 96.5 deg/s, 270°일 때 144.8 deg/s 360°일 때 155.2 deg/s이고 Elite 집단은 90°일 때 122.1 deg/s, 180°일 때 120.6 deg/s, 270°일 때 157.4 deg/s, 360°일 때 138.7 deg/s로 나타났으며 두 집단 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

발의 각속도는 Amateur 집단이 90°일 때 100.4 deg/s, 180°일 때 162.2 deg/s, 270°일 때 89.4 deg/s, 360°일 때 223.2 deg/s이고 Elite 집단은 90°일 때 127.9 deg/s, 180°일 때 169.6 deg/s, 270°일

Table 2. Comparisons of Angular Velocity

			90°	180°	270°	360°
Angular Velocity (deg/s)	Thigh	Amateur	183.8 ± 20.2	97.4 ± 48.6	173.5 ± 31.1	88.5 ± 38.3
		Elite	210.2 ± 34.4	60.1 ± 32.6	156.7 ± 29.5	123.2 ± 55.8
		t	-2.092	2.017	1.239	-1.625
		p	0.051	0.059	0.231	0.121
	Leg	Amateur	112.9 ± 26.1	96.5 ± 36.4	144.8 ± 35.7	155.2 ± 27.3
		Elite	122.1 ± 28.0	120.6 ± 30.0	157.4 ± 43.6	138.7 ± 40.3
		t	-0.760	-1.618	-0.711	0.421
		p	0.457	0.123	0.486	0.678
	Foot	Amateur	100.4 ± 45.9	162.2 ± 55.6	89.4 ± 50.3	223.2 ± 47.6
		Elite	127.9 ± 45.8	169.6 ± 33.8	105.9 ± 38.9	184.9 ± 46.9
		t	-1.830	-0.358	-1.178	2.286
		p	0.084	0.724	0.254	0.035*

* p<.05

때 105.9 deg/s, 360°일 때 184.9 deg/s로 나타났으며 360°일 때 두 집단 간의 유의한 차이가 나타났다.

2. 각 가속도의 분석

사이클 페달링시 숙련정도에 따른 하지 각 가속도의 결과는 <Table 3>과 같다. 대퇴의 각 가속도의 측정결과 Amateur 집단이 90°일 때 1120.2 deg/s^2, 180°일 때 1881.2 deg/s^2, 270°일 때 572.2 deg/s^2, 360°일 때 2335.9 deg/s^{2}이고 Elite 집단은 90°일 때 824.6 deg/s^2, 180°일 때 2043.1 deg/s^2, 270°일 때 903 deg/s^2, 360°일 때 2190.2 deg/s^{2}으로 나타났으며 두 집단 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

하퇴의 각 가속도의 측정결과 Amateur 집단이 90°일 때 1489.9 deg/s^2, 180°일 때 1592.7 deg/s^2, 270°일 때 1616 deg/s^2, 360°일 때 1670.7 deg/s^{2}이고 Elite 집단은 90°일 때 874.6 deg/s^2, 180°일 때 2050.7 deg/s^2, 270°일 때 1855 deg/s^2, 360°일 때 1253.4 deg/s^{2}으로 나타났으며 180°일 때 두 집단 간의 유의한 차이가 나타났다.

발의 각 가속도의 측정결과 Amateur 집단이 90°일 때 1501.6 deg/s^2, 180°일 때 1719.2 deg/s^2, 270°일 때 2931.6 deg/s^2, 360°일 때 1797.9 deg/s^{2}이고 Elite 집단은 90°일 때 2108.6 deg/s^2, 180°일 때 1699.1 deg/s^2, 270°일 때 2838.4 deg/s^2, 360°일 때

Table 3. Comparisons of Angular Acceleration

			90°	180°	270°	360°
Angular Accele ration (deg/s^2)	Thigh	Amateur	1120.2 ± 473.0	1881.2 ± 496.3	572.2 ± 409.0	2335.9 ± 519.1
		Elite	824.6 ± 257.8	2043.1 ± 504.2	903.0 ± 453.5	2190.2 ± 615.0
		t	1.148	-.724	-1.713	.573
		p	.266	.479	.104	.574
	Leg	Amateur	1489.9 ± 487.9	1592.7 ± 387.1	1616.0 ± 400.4	1670.7 ± 480.7
		Elite	874.6 ± 386.6	2050.7 ± 465.1	1855.0 ± 359.6	1253.4 ± 623.7
		t	1.602	-2.393	-1.991	2.077
		p	.127	.028*	.062	.052
	Foot	Amateur	1501.6 ± 426.1	1719.2 ± 487.3	2931.6 ± 552.3	1797.9 ± 478.7
		Elite	2108.6 ± 372.2	1699.1 ± 361.5	2838.4 ± 678.8	1827.4 ± 528.5
		t	-2.835	.105	1.782	-1.904
		p	.011*	.917	.092	.073

* p<.05

1827.4 deg/s^{2}으로 나타났으며 90°일 때 두 집단 간의 유의한 차이가 나타났다.

3. 관절각도의 분석

사이클 페달링시 숙련정도에 따른 하지 관절각도의 결과는 <Table 4>와 같다. 고관절 각도의 측정결과 Amateur 집단이 0°일 때 71.9°, 90°일 때 80.9°, 180°일 때 104.9°, 270°일 때 91.9°, 360°일 때 67.4°이고 Elite 집단은 0°일 때 66°, 90°일 때 78.4°, 180°일 때 106.8°, 270°일 때 93.9°, 360°일 때 65.5°로 나타났으며 두 집단 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

슬관절 각도의 측정결과 Amateur 집단이 0°일 때 87.6°, 90°일 때 123.7°, 180°일 때 147.1°, 270°일 때 108.2°, 360°일 때 86.1°이고 Elite 집단은 0°일 때 83.2°, 90°일 때 120.7°, 180°일 때 151.7°, 270°일 때 108.2°, 360°일 때 83.3°로 나타났으며 두 집단 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

족관절 각도의 측정결과 Amateur 집단이 0°일 때 104.2°, 90°일 때 107.1°, 180°일 때 113.2°, 270°일 때 115.8°, 360°일 때 102.2°이고 Elite 집단은 0°일 때 103.7°, 90°일 때 102.1°, 180°일 때 112.1°, 270°일 때 109.8°, 360°일 때 102.7°로 나타났으며 270°일 때 두 집단 간의 유의한 차이가 나타났다.

Table 4. Comparisons of joint kinematics

		0°	90°	180°	270°	360°
Hip Joint Angle (°)	Amateur	71.9 ± 10.9	80.9 ± 8.2	104.9 ± 7.7	91.9 ± 7.9	67.4 ± 8.4
	Elite	66.0 ± 7.6	78.4 ± 8.2	106.8 ± 5.6	93.9 ± 9.2	65.5 ± 6.9
	t	1.412	.690	-.645	-.517	.564
	p	.175	.499	.527	.612	.580
Knee Joint Angle (°)	Amateur	87.6 ± 6.3	123.7 ± 5.4	147.1 ± 5.9	108.2 ± 4.9	86.1 ± 3.2
	Elite	83.2 ± 3.6	120.7 ± 4.9	151.7 ± 8.2	108.2 ± 6.9	83.3 ± 4.7
	t	1.887	1.334	-1.445	-.011	1.526
	p	.075	.199	.166	.991	.144
Ankle Joint Angle (°)	Amateur	104.2 ± 14.4	107.1 ± 7.3	113.2 ± 8.9	115.8 ± 6.2	102.2 ± 10.5
	Elite	103.7 ± 7.3	102.1 ± 5.1	112.1 ± 7.9	109.8 ± 4.9	102.7 ± 7.1
	t	.095	1.791	.287	2.424	-.107
	p	.925	.090	.777	0.026*	.916

* p<.05

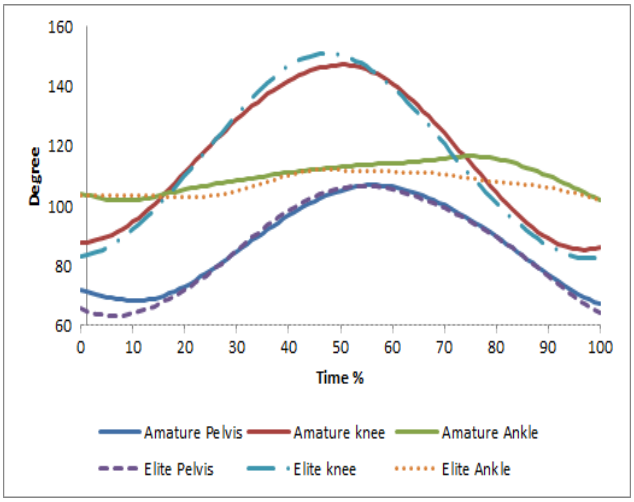

Figure 3. profiles of normalizing joint angle during cycle pedaling

4. 슬관절 간격의 분석

사이클 페달링시 숙련정도에 따른 슬관절 간격의 결과는 <Table 5>와 같다.

슬관절 간격의 측정결과 Amateur 집단이 0°일 때 34.55cm, 90°일 때 32.19cm, 180°일 때 35.17cm, 270°일 때 32.85cm, 360°일 때 34.56cm이고 Elite 집단은 0°일 때 30.12cm, 90°일 때 30.32cm, 180°일 때 31.15cm, 270°일 때 31.12cm, 360°일 때 31.17cm로 나타났으며 0°, 180°, 360°일 때 두 집단 간의 유의한 차이가 나타났다.

Table 5. Comparisons of knee joint distance

	0°	90°	180°	270°	360°
Amateur	34.55	32.19	35.17	32.85	34.56
Elite	30.12	30.32	31.15	31.12	31.17
t	.811	.687	.301	.313	.264
p	.002*	.187	.001*	.169	.001*

* p<.05

5. EMG의 분석

사이클 페달링시 숙련정도에 따른 EMG의 결과는 <Table 6>과 같으며 엘리트 그룹의 피험자 중 1명의 근활성 패턴 원자료는 <Figure 4>와 같다.

VMO의 %MVIC IEMG 측정결과 P1, P2, P3, P4일 때 Amateur 집단이 왼쪽하지 22.7%, 9.3%, 12%, 21.2% 오른쪽하지 21.2%, 15%, 15.7%, 9%이고 Elite 집단은 왼쪽하지 28.1%, 21.1%, 12.4%, 19.1% 오른쪽하지 29.4%, 16.8%, 14.2%, 10.7%로 나타났으며 두 집단 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

VLO의 %MVIC IEMG 측정결과 P1, P2, P3, P4일 때 Amateur 집단이 왼쪽하지 18.3%, 8.7%, 6%, 8.8% 오른쪽하지 12.1%, 19.2%, 18.7%, 14.2%이고 Elite 집단은 왼쪽하지 22.3%, 11.1%, 9.8%, 12.6% 오른쪽하지 18.5%, 24.5%, 29%, 16%로 나타났으며 오른쪽하지 P2와 P4에서 두 집단 간의 유의한 차이가 나타났다.

SEMITEND의 %MVIC IEMG 측정결과 P1, P2, P3, P4일 때 Amateur 집단이 왼쪽하지 18.3%, 8.7%, 6%, 8.8% 오른쪽하지 12.1%, 19.2%, 18.7%, 14.2%이고 Elite 집단은 왼쪽하지 22.3%,

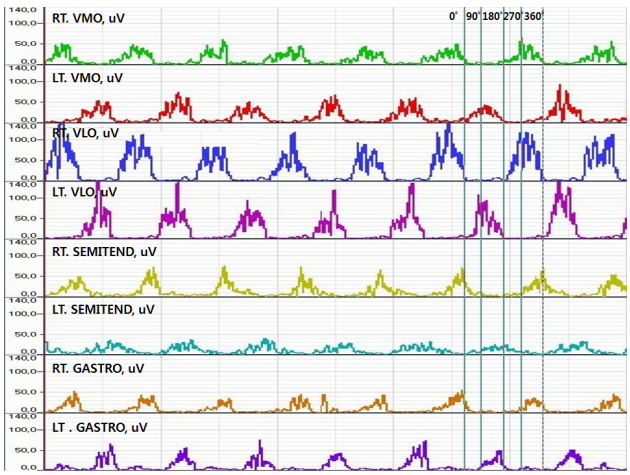

Figure 4. EMG raw data representative of elite group subject

Table 6. Comparisons of the normalized IEMGs (%MVIC) at different pedaling phases

		P1(Left)	P2(Left)	P3(Left)	P4(Left)	P1(Right)	P2(Right)	P3(Right)	P4(Right)
VMO	Amateur	22.7 ± 11.5	9.3 ± 4.5	12.0 ± 0.6	9.4 ± 4.3	21.2 ± 10.7	15.0 ± 13.1	15.7 ± 7.6	9.0 ± 6.6
	Elite	28.1 ± 12.1	21.1 ± 17.1	12.4 ± 16.3	19.1 ± 9.5	29.4 ± 11.7	16.8 ± 14.2	14.2 ± 14.2	10.7 ± 7.4
	t	-.728	-1.492	-1.472	-.821	.097	-.208	.115	-.385
	p	.487	.174	.215	.435	.925	.841	.911	.710
VLO	Amateur	18.3 ± 10.2	8.7 ± 3.6	6.0 ± 1.9	8.8 ± 11.3	12.1 ± 8.1	19.2 ± 13.9	18.7 ± 8.8	14.2 ± 3.7
	Elite	22.3 ± 13.6	11.1 ± 3.4	9.8 ± 7.5	12.6 ± 10.4	18.5 ± 22.4	24.5 ± 12.5	29.0 ± 13.3	16.0 ± 7.6
	t	-.367	-1.055	-1.965	-.852	-2.006	-.631	-.936	-2.420
	p	.723	.322	.112	.419	.106	.545	.377	.042*
SEMITEND	Amateur	10.7 ± 5.1	18.8 ± 20.1	13.7 ± 8.6	8.6 ± 4.8	11.1 ± 7.1	9.8 ± 5.2	8.5 ± 2.6	6.4 ± 2.9
	Elite	15.1 ± 16.3	17.9 ± 6.1	21.5 ± 15.4	12.7 ± 8.8	16.7 ± 18.8	11.2 ± 8.4	27.0 ± 10.7	11.4 ± 8.7
	t	-1.868	.097	-.977	-.909	-1.457	-4.820	-1.670	-2.687
	p	.099	.925	.357	.390	.216	.001*	.133	.049*
GASTRO	Amateur	12.9 ± 10.8	29.8 ± 10.9	25.7 ± 11.3	9.5 ± 2.5	18.2 ± 8.6	30.4 ± 7.9	27.2 ± 7.9	8.1 ± 1.4
	Elite	20.0 ± 14.8	30.9 ± 11.9	20.9 ± 11.5	20.6 ± 16.2	23.2 ± 15.1	25.2 ± 12.9	25.0 ± 19.4	12.3 ± 5.7
	t	-1.216	-.077	.665	-1.508	-.754	.294	-.753	-1.595
	p	.259	.940	.525	.170	.473	.776	.473	.149

* $p<.05$

11.1%, 9.8%, 12.6% 오른쪽하지 18.5%, 24.5%, 29%, 16%로 나타났으며 오른쪽하지 P4에서 두 집단 간의 유의한 차이가 나타났다.

GASTRO의 %MVIC IEMG 측정결과 P1, P2, P3, P4일 때 Amateur 집단이 왼쪽하지 12.9%, 29.8%, 25.7%, 9.5% 오른쪽하지 18.2%, 30.4%, 27.2%, 8.1%이고 Elite 집단은 왼쪽하지 20%, 30.9%, 20.9%, 20.6% 오른쪽하지 23.2%, 25.2%, 25%, 12.3%로 나타났으며 두 집단 간의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

Ⅳ. 논 의

본 연구는 사이클 페달링시 Elite와 Amateur의 비교분석 실시하여 운동역학적 변인들을 산출하여 얻어진 결과를 가지고 페달링의 오류를 밝혀내고 수행능력의 향상 및 상해예방을 위하여 실시되었다.

사이클 페달링은 구동축을 중심으로 인체의 하지를 이용하는 원운동의 대표적인 종목으로 기준점에 대하여 물체가 회전하는 속도를 측정한 물리량인 각속도가 중요하다. 본 실험에서 측정된 각속도의 변화를 살펴보면 발이 360° 일 때 유의한 차이는 나타나지 않았지만 Amateur는 대퇴에서 각속도가 줄어들었고 발에서는 통계적으로 유의하게 높은 각속도로 Elite보다 발을 더 사용하고 있다는 것을 알 수 있다. 또한 이벤트 시점에 따라 각속도의 낙폭량이 이벤트 시점에 따라 두집단 사이에 차이가 있는 것을 볼수 있다. 이는 두 집단사이에 페달링의 양상이 다르다는 것을 예측할 수 있게 한다.

각 가속도를 살펴보면 대퇴를 제외한 하퇴와 발에서 두집단 사이에 차이가 나타났는데 Elite 집단이 Amateur 집단보다 90°에서 발을, 180°에서 하퇴를 빠르게 가속하였다. 각 가속도는 원운동하는 물체에 힘의 모멘트가 작용할 때 생기는 물리량으로 이것으로 인해 물체의 회전속도가 변화된다. 따라서 이러한 차이는 두 집단이 같은 속도로 페달링을 할지라도 그 패턴이나 양상은 다르다 할 수 있으며 Yuk, Kim과 Yoo (2002)는 페달링이나 힘을 발휘하는 기술은 근력과 하지분절의 운동학적 자세에 기인한다고 하였다.

관절각도를 살펴보면 고관절과 슬관절은 두집단 간의 차이가 나타나지 않았고 패턴도 다르지 않았다. 그러나 발목관절 270°에서는 차이가 나타났는데 각속도와 각 가속도의 결과로 미루어 보아 Elite집단은 Amateur 집단보다 발목을 고정한채 대

퇴와 하퇴의 움직임을 더 사용하는 것으로 추정되며 이와는 다르게 Amateur집단은 Elite 집단보다 발목을 더 많이 사용하여 페달링 하는 것으로 여겨진다. 이러한 차이가 발생되는 이유는 Elite집단의 경우 신체에 적응된 페달링 전략이 있는 것으로 사료되며 Seo 등 (2012)은 고관절과 슬관절이 발목관절에 비해 움직임의 범위가 고정이 되어있어 발목관절의 움직임이 크게 나타난다고 보고 하였는데 이는 본 연구의 Amateur 집단과 일치하는 부분이다. Yuk 등(2002)의 연구에서는 선수군은 속도가 변화되어도 발목관절 각의 크기 변화는 거의 일정하나 비선수군의 발목의 각이 속도가 빨라짐에 따라 각의 변화가 작게 나타났다고 하였으며 이는 발목관절의 각변화가 속도가 올라감에 따라 효과적으로 사이클 페달링에 작용한 것으로 해석하였다. 따라서 추후에 관절각도에 따른 두 집단사이에 차이점을 좀 더 명확하게 알기위해서는 속도의 변화 혹은 상황의 변화(업힐, 다운힐)등에 따른 추가적인 연구가 진행되어야 할 것이다.

페달링시 슬관절 간격의 측정 결과 0°, 180°, 360°일 때 두집단 사이에 차이가 나타났는데 Amateur의 경우 하지가 최대로 접히거나 펴지는 시점에 Elite 집단보다 무릎 간격이 벌어졌다. 효율적인 페달링을 위해선 하지가 전두면에서 수직으로 움직여야 하는데 Amateur집단은 그렇지 못하고 외반되어 페달링이 수행되어졌다 할 수 있다. 이는 수직으로 발생되어야할 힘과 토크가 좌우로 분산되어 효율성에 차이를 가져올 것이라 예상할 수 있는데 Kang 등 (2012)의 연구에서는 최적 페달링 수행을 위한 적정 안장높이를 조절하기 위해서는 시상면의 무릎관절 각도에 대한 영향보다 전두면에서의 무릎관절 각도에 대한 변동성이 페달 파워와의 가장 높은 상관관계를 나타내었다고 보고하였다. 이처럼 슬관절 사이 간격의 차이는 페달링의 효율 및 숙련도와 밀접한 관련이 있다고 할 수 있다. 또한 올바르지 못한 페달링은 힘벡터 방향이나 특정부위에 쏠리는 부적절한 하중 등에 의한 부상이 발생할 수 있는 우려(Holmes, Pruitt & Whalen, 1994; Pruitt & Matheny, 2006)가 있으며 Park, Kwak과 Kim (2010)은 사이클링 시 잘못된 훈련습관을 보다 체계적이고 과학적으로 계획하면 슬관절에 의학적인 위험요인을 예방 할 수 있다고 하였다. 결론적으로 슬관절 사이 간격은 페달링 수행능력 뿐만 아니라 상해를 예방하는데 활용될 수 있을 것이다.

페달링시 EMG 분석을 살펴보면 오른쪽 외측광근 P4, 오른쪽 반건양근 P2와 P4에서 유의한 차이가 나타났는데 페달링 주기를 내리는 구간과 올리는 구간으로 나눌 경우 Elite 집단이 모든 구간에서 활발하게 근육을 발현하여 계속해서 원운동에 근육을 발현시키는 반면에 Amateur 집단은 내측광근 P1에서만이 Elite 집단과 비슷하게 활성화 되며 내리는 구간에만 근활성이 활발한 것을 알 수 있다. 이는 운동학적 요인들과 함께 종합해봤을 때 두집단의 페달링 패턴이 다르다 할 수 있는데 Elite 집단은 하지의 주요근육으로 계속해서 페달링을 하는 반면에 Amateur 집단은 하지의 주요근육을 활용하지 못하고 내리기만 하는 페달링으로 근육들이 활성화 되는 패턴이 다른 것으로 추정된다. Shin과 Kim (2008)은 페달링 방향에 따른 근전도 분석에서 페달링 방향이 바뀜에 따라 근활성에 차이를 확인하였는데 이처럼 실제로 페달링 자세의 변화 따라 하지 근육의 활성화 강도와 시점의 변화가 발생하게 되며 이에 따라 최적의 효율성이 결정될 수 있다(Dorel, Couturier & Hug 2009; Matsumoto, Tokuyasu & Ohba (2009))

종합해보면 사이클 페달링은 원운동을 하는 단순한 동작이지만 숙련정도에 따라 인체 하지가 움직이는 패턴이 다르게 나타났다. Elite 선수들이 Amateur보다 뒤쪽으로 돌릴때의 힘을 활용하였으며 전두면의 하지 정렬이 보다 수직에 가까웠다. 따라서 사이클 페달링 시 페달을 밟는게 아닌 효과적인 회전을 위한운동이 될 수 있는 동작수행 필요하며 추후에 보다 다양한 상황에서의 추가적인 연구도 이루어져야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 사이클 페달링 수행능력의 향상 및 상해예방을 위하여 Elite와 Amateur를 대상으로 사이클 페달링의 비교분석을 실시하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Amateur가 Elite보다 360°에서 높은 각속도를 가져갔으며 이벤트 시점의 변화에 따라 Elite 집단은 각속도가 일정한 반면 Amateur는 일정하지 못하고 낙폭량이 컸다.

2. 각 가속도에서 Elite집단이 Amateur 집단보다 90°에서 발을, 180°에서 하퇴를 빠르게 가속하였다. 따라서 하지의 근력으로 원운동하는 페달링 힘의 모멘트가 다른 것을 알 수 있으며 이로인해 두집단의 페달링의 패턴이 다른 것을 알 수 있다.

3. 관절각도에서 고관절과 슬관절은 두집단 간의 차이가 나타나지 않았고 패턴도 다르지 않았으나 발목관절에서는 차이가 나타났는데 Elite집단의 경우 신체에 적응된 페달링 전략이 있는 것을 알 수 있다.

4. 페달링시 슬관절 간격의 측정 결과 0°, 180°, 360°일 때 두집단 사이에 차이가 나타났는데 Amateur의 경우 하지가 최대로 접히거나 펴지는 시점에 간격이 벌어졌으며 이는 수직으로 발생되어야할 힘과 토크가 좌우로 분산되고 올바르지 못한 페달링의 힘벡터 방향이나 특정부위에 쏠리는 부적절한 하중 등에 의한 부상이 발생할 수 있다.

5. 페달링시 EMG 분석을 살펴보면 오른쪽 외측광근 P4, 오른쪽 반건양근 P2, P4에서 유의한 차이가 나타났고 페달링 패턴의 변화에 따라 하지 근육의 활성화 강도와 시점의 변화가 발생하게 됨을 알 수 있다.

추후 본 연구에서 분석된 결과 값을 이용하여 실제 라이딩

시 나타나는 다양한 상황과 폭넓은 대상으로 후속 연구가 이루어지길 제언한다.

참고문헌

Abdel-Aziz, Y., & Karara, H. M. (1971). Direct linear transformation into object space coordinates in close-range photogrammetry, in proc. symp. close-range photogrammetry. *Urbana-Champaign*, 1-18.

Atkinson, G., Peacock, O., Gibson, A. S. C., & Tucker, R. (2007). Distribution of power output during cycling. *Sports Medicine*, 37(8), 647-667.

Bailey, M. P., Maillardet, F. J., & Messenger, N. (2003). Kinematics of cycling in relation to anterior knee pain and patellar tendinitis. *Journal of Sports Sciences*, 21(8), 649-657.

Dorel, S., Drouet, J. M., Couturier, A., Champoux, Y., & Hug, F. (2009). Changes of pedaling technique and muscle coordination during an exhaustive exercise. *Medicine+ Science in Sports+ Exercise*, 41(6), 1277.

Han, W. S. (2013). Sport science : Cycle fitting and Sport science. *Sport Science*, 124(0): 46-55

Holmes, J. C., Pruitt, A. L., & Whalen, N. J. (1994). Lower extremity overuse in bicycling. *Clinics in Sports Medicine*, 13(1), 187-203.

Kang, D. W., Choi, J. S., Seo, J. W.,Bae, J. H., Tack, G. R. (2012). A study on trajectory and angle of knee joint in sagittal and Frontal plane during cycle pedaling. *Korean Journal of Sport Science*, 23(4): 794-801.

Lucia, A. L. E. J. A. N. D. R. O., Hoyos, J. E. S. Ú. S., & Chicharro, J. L. (2001). Preferred pedalling cadence in professional cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(8), 1361-1366.

Matsumoto, S., Tokuyasu, T., & Ohba, K. (2009). A study on postural optimization for bicycle exercise based on electromyography. *Artificial Life and Robotics*, 14(2), 144-149.

Park, C. H., Kwak, Y. S. & Kim, T. U. (2010) Triathlon-related overuse injury and medical issues. *Journal of Life Science*, 20(2), 314-320.

Pruitt, A. L., & Matheny, F. (2006). *Andy Pruitt S Complete Medical Guide for Cyclists*. VeloPress.

Sanner, W. H., & O'Halloran, W. D. (2000). The biomechanics, etiology, and treatment of cycling injuries. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 90(7), 354-376.

Seo, J. W., Choi, J. S., Kang, D. W., Bae, J. H., & Tack, G. R. (2012). Relationship between lower-limb joint and muscle activity due to saddle height during cycle pedaling. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 22(3), 357-363.

Shin, E. S. & Kim, H. J. (2008). Electromyographic analysis of a uphill propulsion of a bicycle by forward · backward pedaling. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(4), 171-177.

Yuk, S. S., Kim, T. Y., & Yoo. K. S. (2002). Kinematic and electromyographic analysis of lower limb to cycling. *Journal of Sport and Leisure Studies*, 18(2), 1231-1243.