스컬 종목 조정선수와 비선수의 로잉 동작의 운동학적 특성 비교: 선행연구

김진선[1] · 조한엽[1] · 한보람[1] · 윤소야[1] · 박선형[2] · 조현승[2] · 이주현[3] · 이해동[4,5]
[1]연세대학교 일반대학원 체육학과 .[2]연세대학교 심바이오틱라이프텍연구원 .[3]연세대학교 의류환경학과
[4]연세대학교 교육과학대학 체육교육학과 .[5]연세대학교 융합체육과학선도연구소

Comparison of Biomechanical Characteristics of Rowing Performance between Elite and Non-Elite Scull Rowers: Pilot Study

Jin-Sun Kim[1] · Hanyeop Cho[1] · Bo-Ram Han[1] · So-Ya Yoon[1] · Seonhyung Park[2] · Hyunseung Cho[2] · Joohyeon Lee[3]
Hae-Dong Lee[4,5]
[1]Department of Physical Education, Graduate School, Yonsei University, Seoul, Korea
[2]Department of Clothing & Textiles, Yonsei University
[3]Institute of Symbiotic Life-TECH, Yonsei University
[4]Department of Physical Education, College of Sciences in Education, Yonsei University, Seoul, Korea
[5]Frontier Research Institute of Convergence Sports Science, Yonsei University, Korea
Received 30 April 2015; Received in revised from 00 June 2015; Accepted 00 June 2015

ABSTRACT

Objective : This study aimed to examine the characteristics of joint kinematics and synchronicity of rowing motion between elite and non-elite rowers.

Methods : Two elite and two non-elite rowers performed rowing stroke (3 trials, 20 strokes in each trial) at three different stroke rates (20, 30, 40 stroke/min) on two stationary rowing ergometers. The rowing motions of two rowers were captured at once using a 3-dimensional motion analysis system (8-infrared camera VICON system, Oxford, UK). The range of motion (RoM) of the knee, hip, and elbow joints on the sagittal plane, the lead time (T_{Lead}) and the drive time T_{Drive}) for each joint, the elapsed time for the knee joint to maintain fully extended position (T_{Knee}) during the stroke were analyzed and compared between elite and non-elite rowers. Synchronicity of the rowing motion within and between groups was examined using coefficients of variation (CV) of the T_{Drive} for each joint.

Results : Regardless of the stroke rate, the RoM of all joints were greater for the elite compared with non-elite rowers, except for the RoMs of the knee joint at 30 stroke/min and the elbow joint at 40 stroke/min ($p < .05$). Although the T_{Lead} at all stroke rates were the same between the groups, the T_{Drive} for each joint were shorter for the elite compared with the non-elite rowers. During the drive phase, elite rowers kept the fully extended knee joint angle longer than the non-elite rowers ($p < .05$). The CV values of the T_{Drive} within each group are smaller for the elite compared with non-elite rowers, except for the CV values of the hip at all stroke/min and elbow at 40 stroke/min.

Conclusion : The elite, compared with non-elite, rowers seems to be able to perform more powerful and efficient rowing stroke with large RoM, short T_{Drive} with the same T_{Leads}.

Keywords: Human, rowing, kinematics, synchronicity, rowing ergometer

Corresponding Author : Hae-Dong Lee
Department of Physical Education, College of Sciences in Education,
Yonsei University, 50 Yonsei-ro, Seodaemun-gu, Seoul, 120-749 Korea
Tel : +82-2-2123-6188 / Fax : +82-2-2123-8375
E-mail : xbridge1997@yonsei.ac.kr
본 논문은 2014년도 문화체육관광부 스포츠산업기술개발사업(S07214112014)의 지원에 의하여 이루어짐.

Ⅰ. 서 론

조정 스트로크(stroke)는 캐치(catch)로 시작하여 드라이브(drive), 피니시(finish), 리커버리(recovery) 동작이 연속적으로

반복되는 동작이다. 노깃(blade)을 물속에 넣는 캐치 동작에 이어 드라이브 단계에서 발목, 무릎, 엉덩이와 허리 관절은 신전시키고 어깨와 팔꿈치 관절은 굴곡시키는 연속적인 움직임으로 이루어진다. 젓기가 끝나고 노깃을 물 밖으로 꺼내는 피니시 단계를 거쳐, 신전되어 있던 신체가 캐치 단계의 굴곡된 자세로 돌아가는 리커버리 단계를 순환하여 수행하게 된다. 2000 m 거리를 빠르게 주파하기 위하여 200회 이상 노를 저어야 하는 조정 경기에서 노를 젓는 동작은 네 단계를 가능한 한 정확하고 효율적으로 수행하는 것이 중요하며, 또한 스트로크의 일관성이 요구된다(Smith & Loschner, 2002).

이 연속적인 단계가 조화롭게 연결되는 최적의 조정 동작을 만들어내기 위하여 노의 핸들(handle), 의자(seat), 발판(stretcher) 등의 장비와 선수의 인체 분절 간의 상호작용이 필수적이다(Baudouin & Hawkins, 2002; Holt, P., Bull, A., Cashman, P., & McGregor, A., 2003). 또한 근력과 근지구력 등의 체력요인뿐만 아니라 척주(spine)와 몸통(trunk)이 팔과 다리에 의해 생성된 파워를 노깃으로 안정적으로 전달하기 위한 기반을 제공하기 때문에 스트로크에 중요한 역할을 한다(Holt et al., 2003; Lamb, 1989; Roy, S. H., De Luca, C. J., Snyder-Mackler, L., Emley, M. S., Crenshaw, R. L., & Lyons, J. P., 1990). 노의 지레 작용(lever)과 유체역학적 시스템 또한 노에 전달되는 힘에 영향을 미치지만, 전체적인 동작의 완성은 조정 선수의 체력과 힘의 적용을 최적화하는 능력에 달려있기 때문에 경기력 향상을 위하여 보다 정확한 스트로크 훈련과 피드백이 필요하다.

조정 동작과 관련하여 수행된 운동학적 및 운동역학적 연구들에서 조정 경기력 향상에 영향을 미치는 주요한 요인으로 일치성, 타이밍, 밸런스, 리듬 등을 제시하였다(Martin & Bernfield, 1979; Asami, T., Adachi, N., & Yamamoto, K., 1981; Schneider & Hauser, 1981; Nelson & Widule, 1982; Smith & Spinks, 1995; MacFarlane, D., Edmond, I., & Walmsley, A., 1997; Smith & Loschner, 2002; Barrett & Manning, 2004; Baudouin & Hawkins, 2004; Buckeridge, E., Bull, A., & McGregor, A., 2015). 이러한 연구 결과를 바탕으로 조정은 여러 명의 선수가 한 대의 보트에 탑승하여 경주하는 종목인 만큼 선수들 간의 동작의 동시성(synchronicity)을 확인하는 연구가 필요할 것이며, 선수들에게 보다 정확한 피드백을 제공하기 위해서는 선수와 비선수간의 조정 동작의 비교분석을 통해 엘리트 선수의 움직임에 있어 주요하게 나타나는 관절의 움직임을 파악하는 연구가 선행되어야할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 선수와 비선수가 세 가지 속도로 조정 동작을 수행하는 동안 상 · 하지 관절에서 나타나는 운동학적 움직임에 대하여 알아보았으며, 본 연구 결과를 통해 스포츠 과학자들과 현장 지도자들이 최적의 조정 동작에 대한 피드백을 제공하고 훈련시키는 데 있어 보다 정밀한 정보를 제공하는 것을 목표로 한다.

Ⅱ. 연구방법

1. 연구 대상자

본 연구에서는 상·하지의 근골격계 질환 및 과거 병력이 없는 조정 종목 선수 및 비선수를 대상자로 선정하였다. 선수 그룹의 대상자는 대한조정협회에 등록되어있는 선수경력 8년 이상의 중량급 선수 2명이 참여하였으며, 중량급 신체조건을 가지며 조정 경험이 없는 건강한 성인 2명이 비선수로 분류되어 실험에 참여하였다(Table 1). 실험 전 대상자들의 연구 목적과 절차에 대한 충분한 이해를 바탕으로 실험 참가 동의서에 자발적으로 서명한 후 실험을 실시하였다.

Table 1. Physical characteristics of subjects

Group	N	Age(years)	Weight(kg)	Height(cm)
Elite (E)	2	22	87.4±2.5	192
Non-elite (NE)	2	26.5±0.5	91.2±3	185.6±0.2
Total	4	24.3±2.3	89.3±3.4	188.8±3.2

2. 실험 장비 및 절차

본 실험에 앞서 대상자의 신장, 체중, 다리길이 및 무릎, 발목, 어깨, 팔꿈치, 손목 관절의 폭과 손두께를 측정하여 입력하고, 상·하지 분절의 3차원 영상 자료를 수집하기 위해 피험자와 로잉 에르고메타(Model D, Concept2, USA)에 14mm 구형 반사 마커를 부착하였다. 피험자에 부착되는 마커의 위치와 갯수는 Vicon에서 제공하는 Plug-In-Gait Full Body 마커셋으로 좌·우측 앞머리(over the temple), 뒷머리(horizontal plane of the front head), 7번째 경추(7th cervical vertebra), 10번째 흉추(10th thoracic vertebra), 목아래패임(junular notch), 칼돌기(xiphoid process), 우측견갑골 중앙(middle of the right scapula), 좌·우측 봉우리빗장관절(acromioclavicular joint), 가쪽위관절융기(lateral epicondyle approximating elbow joint), 노뼈붓돌기(styloid process of radius), 자뼈붓돌기(styloid process of ulna), 3번째 손허리뼈 근위(proximal 3th metacarpal bone), 위앞엉덩뼈가시(anterior superior iliac spine), 위뒤엉덩뼈가시(posterior superior iliac spine), 넓적다리(lower lateral 1/3 surface of the thigh), 가쪽위관절융기(lateral epicondyle of the knee), 정강이뼈(lower 1/3 of the shank), 가쪽복사(lateral

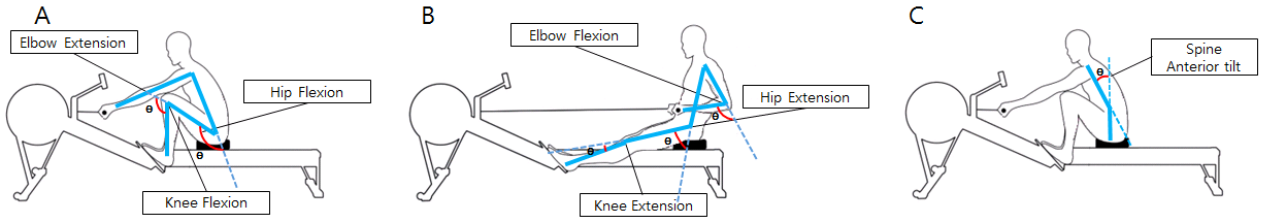


Figure 1. Definitions of stroke (A→B→C), drive(A→B) and joint angle

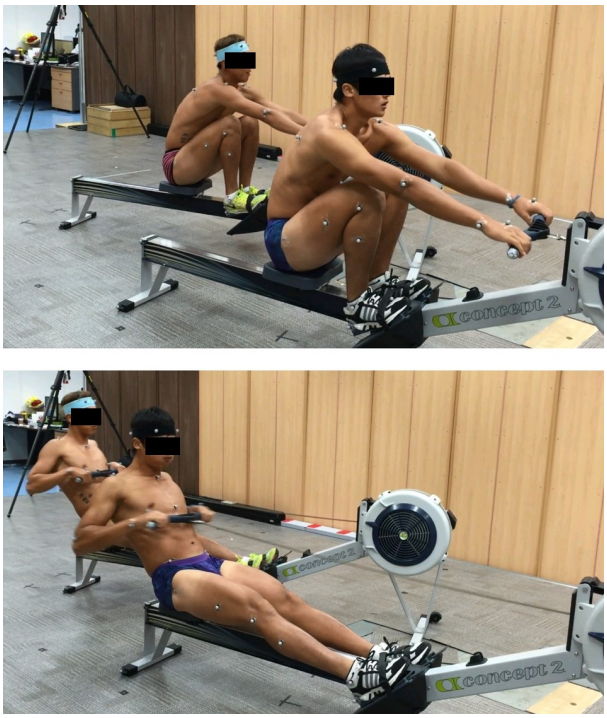


Figure 2. experimental setup for the measurements of the joint kinematics during rowing stroke(top: catch phase, bottom: finish phase)

malleolus, 발꿈치뼈(calaneus), 2번째 발허리뼈(2th metatarsal head) 총 35개이다. 로잉 에르고메타의 위치를 나타낼 수 있도록 기구의 좌·우측 앞지지대(front holder), 뒤지지대(back holder), 손잡이(handle), 발판(stretcher), 꼬리(tail)에 총 10개의 마커를 추가로 부착하였다. 로잉 에르고메타 2대를 앞, 뒤로 위치시키고 적외선 카메라(Vicon MX-f20, Oxford Metrics Ltd, Oxford, UK) 8대와 동작분석시스템(Vicon Motion Capture Systems, Oxford Metrics Ltd, Oxford, UK)을 사용하여 조정동작의 3차원 영상 촬영하였고, 200 Hz의 빈도로 2명의 대상자에 대한 데이터를 동시에 수집하였다. 수집한 데이터는 VICON Plug-In-Gait Full Body model을 이용하여 운동학적 변인을 분석하였다.

본 실험에서는 20, 30, 40 stroke/min의 세 가지의 속도(rate)로 같은 그룹의 두 대상자가 동시에 로잉동작을 실시하였으며, 측정에 앞서 로잉동작에 익숙해질 수 있도록 10분간 연습 시간이 주어졌다. 속도제어에 대한 신호는 메트로놈으로 제공하였으며 속도별로 3회씩 촬영하였다. 영상의 수집은 두 대상자의 동작이 주어진 속도에 맞추어지는 시점부터 총 20번의 스트로크(stroke)를 성공적으로 수행한 후 종료하였다. 피로에 따른 영향을 최소화하기 위하여 각 시행 사이에 최소 5분의 충분한 휴식시간이 제공되었다.

3. 자료 분석

수집된 자료를 분석하기 위하여 손잡이가 가장 앞쪽에 위치한 캐치 시점부터 다음 캐치 시점까지를 한 스트로크로 정의하였고(Figure 1), 촬영된 20회의 스트로크 중 연속적인 5개의 스트로크를 선별하여 한 명의 대상자 당 속도별 총 15회의 스트로크 자료를 수집하였다.

획득한 자료를 바탕으로 VICON Plug-In-Gait FullBody model을 사용하여 몸통관절(spine), 팔관절(elbow), 고관절(hip), 무릎관절(knee)의 운동학적(kinematic) 변인을 시상면(sagittal plane)에서 분석하였다.

관절각에 대한 정의는 엉덩관절, 무릎관절, 팔꿈치관절의 경우 관절을 이루는 두 분절의 상대각으로 굴곡이 양의 값, 신전이 음의 값을 나타낸다. 몸통관절의 경우 흉곽(thorax)과 골반(pelvis)의 상대각으로 흉곽이 골반보다 상대적으로 앞쪽 방향을 향해 기울면 양의 값, 뒤쪽으로 기울면 음의 값으로 표현된다. 흉곽과 골반은 광역좌표 기준의 절대각으로 앞기울림이 양의 값, 뒤기울림이 음의 값이다. 관절 가동범위는 각 관절 최대·최소각의 차이값으로 산출하였다(Figure 1). 스트로크 소요시간(Ts_{troke})은 에르고메타 핸들에 부착된 마커의 좌표를 추적하여 캐치 시점부터 다음 캐치 시점까지 소요된 시간을 계산하였다. 추가적으로 노깃을 물속에 넣는 캐치부터 노젓기를 마치고 노깃을 물 밖으로 꺼내는 피니시 구간까지 걸리는 드라이브 소요시간(T_{Drive}) 또한 핸들의 마커를 추적하여 산출하여, 스트로크동안 드라이브 구간의 비율을 분석하였다.

선수와 비선수의 로잉동작 패턴을 비교, 분석하기 위하여 비교한 변인은 각 관절들이 드라이브 동작(최대 굴곡/신전)에 도달하는 시간과 관절들의 각속도, 무릎관절의 최대신전 유지시간이다. 드라이브 동작을 만들어 내는 관절들의 동작순서를 알아보기 위하여 각 관절의 최대 굴곡/최대 신전까지의 소요시간을 산출하여 비교하였으며 이 때 로잉동작 특성상 몸통관절, 고관절, 무릎관절의 경우 최대 신전(음의 값)까지 걸리는 시간으로 설정하였고, 팔꿈치관절은 최대 굴곡(양의 값)까지 걸리는 시간으로 계산하였다. 각 관절의 각속도는 RoM을 드라이브 소요시간으로 나누어 계산하였다. 무릎신전유지시간은 최대 무릎신전각도에서 ±5°까지를 신전구간으로 설정하여 유지시간을 산출하였다. 선수 그룹과 비선수 그룹 내 두 피험자의 로잉동작 시 관절별 속도 일치성을 비교하기 위해 두 피험자 간 드라이브 소요시간과 각 관절 각속도의 변동계수(coefficient of variation; CV) 값을 산출하여 분석하였다. A와 B의 값은 그룹 내 두 피험자의 드라이브 소요시간 및 관절 각속도의 값이다. 두 피험자 값의 차이가 작을수록 100에 가깝게 표현하기 위하여 수식 (1)을 이용하여 피험자 간 일치값을 산출하였다. 이를 통해 얻은 15회 스트로크의 평균 표준편차 값을 사용하여 수식 (2)와 같이 변동계수를 제시하였다.

Table 2. Angular joint kinematic data(MIN, MAX, and RoM of elite and non-elite rowers during rowing stroke(Mean±1SD)

	Rate (stroke/min)	Group		Joint angle					
				HIP	KNEE	ELBOW	THORAX	SPINE	PELVIS
MIN (unit: deg)	20	Elite	Mean±SD	25.93±3.06	0.03±3.43	40.21±6.10	-26.34±1.69	23.71±5.62	-49.65±3.08
		Non-Elite		39.13±6.65	-1.66±3.30	41.95±5.39	-15.73±4.87	19.88±7.33	-37.12±8.02
			Mann-Whitney U	39.00	309.00	354.00	35.00	272.00	77.00
			p	.000*	.037*	.156	.000	.008*	.000*
	30	Elite	Mean±SD	27.10±3.42	2.65±3.66	39.75±6.18	-23.81±2.62	25.80±1.70	-49.03±3.73
		Non-Elite		46.40±5.61	0.15±3.08	40.45±5.72	-12.75±4.50	17.23±9.04	-30.60±6.74
			Mann-Whitney U	.00	297.00	363.00	15.00	212.00	.00
			p	.000*	.024*	.198	.000*	.000*	.000*
	40	Elite	Mean±SD	27.14±4.70	3.47±4.32	39.65±5.82	-23.00±1.89	27.07±2.15	-49.24±4.27
		Non-Elite		45.57±6.67	3.69±2.84	38.46±6.22	-10.56±2.74	22.19±7.40	-33.15±8.17
			Mann-Whitney U	.00	412.00	317.00	.00	371.00	9.00
			p	.000*	.574	.049*	.000*	.243	.000*
MAX (unit: deg)	20	Elite	Mean±SD	104.12±2.99	138.90±2.03	148.52±3.22	33.43±1.88	56.88±6.30	-15.93±2.15
		Non-Elite		104.37±5.53	131.54±4.37	138.56±4.67	24.22±4.52	47.66±8.11	-18.00±4.76
			Mann-Whitney U	371.00	65.00	10.00	8.00	181.00	352.00
			p	.243	.000*	.000*	.000*	.000*	.147
	30	Elite	Mean±SD	104.43±4.09	133.99±2.60	149.47±1.19	33.06±0.80	54.21±2.32	-17.46±3.31
		Non-Elite		106.60±1.53	133.91±3.80	138.87±9.07	24.31±12.90	43.54±13.65	-16.56±3.65
			Mann-Whitney U	374.00	440.00	64.00	279.00	269.00	388.00
			p	.261	.882	.000*	.011*	.007*	.359
	40	Elite	Mean±SD	103.57±3.18	126.19±5.35	149.43±2.35	33.76±0.77	55.88±1.70	-18.86±1.08
		Non-Elite		100.55±3.04	119.90±4.82	143.19±4.05	29.68±6.74	51.02±9.77	-19.26±5.14
			Mann-Whitney U	233.00	176.00	64.00	336.00	419.00	448.00
			p	.001*	.000*	.000*	.092	.647	.976
RoM (unit: deg)	20	Elite	Mean±SD	78.19±3.24	138.87±2.81	108.30±3.28	59.78±3.25	33.16±8.35	33.71±2.33
		Non-Elite		65.23±8.00	133.20±2.95	96.60±8.12	39.95±8.22	27.78±6.33	19.11±4.04
			Mann-Whitney U	50.00	80.00	83.00	4.00	276.00	.000
			p	.000*	.000*	.000*	.000*	.010*	.000*
	30	Elite	Mean±SD	77.32±1.25	131.34±1.74	109.72±5.22	56.87±2.01	28.40±2.70	31.56±1.27
		Non-Elite		60.20±5.61	133.76±5.28	98.41±13.88	37.07±12.46	26.30±7.10	14.03±4.90
			Mann-Whitney U	.000	350.00	255.00	110.00	390.00	.000
			p	.000*	.139	.004*	.000*	.375	.000*
	40	Elite	Mean±SD	76.43±1.86	122.71±2.74	109.78±4.73	56.76±2.27	28.81±3.47	30.34±3.66
		Non-Elite		54.97±4.68	116.21±6.01	104.72±9.72	40.24±8.46	28.83±3.37	13.88±3.88
			Mann-Whitney U	.000	146.00	343.00	12.00	450.00	.000
			p	.000*	.000*	.114	.000*	1.00	.000*

피험자간일치값 = $100-|A-B|$ (1)

변동계수(CV)(%) = 표준편차/평균*100 (2)

세 가지 속도에서 로잉동작을 수행하는 동안 선수와 비선수 사이에 나타나는 상·하지 관절의 운동학적 변인과 로잉동작 패턴의 차이를 알아보기 위하여 Mann-Whitney U test를 사용하여 비교분석 하였으며 통계적 유의수준은 α = .05로 설정하였다.

III. 결 과

선수와 비선수 간 시상면에서의 몸통관절, 팔꿈치관절, 고관절, 무릎관절의 운동학적 변인에 대한 각도 및 시간 결과는 <Table 2, 3, 4, 5>에 요약하였다.

1. 관절각도(최소각도[MIN], 최대각도[MAX], 관절가동범위[RoM])

20, 30 stroke/min의 속도에서 엉덩관절, 무릎관절, 몸통관절, 흉곽, 골반의 최소각도는 선수와 비선수 간에서 유의한 차이를 보였으며(p<.05), 팔꿈치관절에서는 차이가 나타나지 않았다. 가장 빠른 40 stroke/min의 속도에서는 엉덩관절과 팔꿈치관절, 흉곽, 골반에서 유의한 차이를 나타내었고(p<.05), 무릎관절과 몸통관절에서는 유의한 차이를 보이지 않았다.

최대각도는 20 stroke/min의 속도에서 무릎관절, 팔꿈치관절, 몸통관절, 흉곽에서 선수와 비선수 간 유의한 차이를 보였고(p<.05), 엉덩관절과 골반에서 유의한 차이를 나타내지 않았다. 30 stroke/min의 속도에서는 팔꿈치관절, 흉곽, 몸통관절에서 유의한 차이를 나타내었으며(p<.05), 엉덩관절, 무릎관절, 골반에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 40 stroke/min의 속도에서는 엉덩관절, 무릎관절, 팔꿈치관절에서 유의한 차이를 관찰 할 수 있었고(p<.05), 흉곽과 골반 그리고 몸통관절에서는 유의한 차이를 보이지 않았다.

관절가동범위는 20 stroke/min의 속도일 때 선수가 비선수보다 더 크게 엉덩관절, 무릎관절, 팔꿈치관절, 몸통관절, 흉곽, 골반 모두에서 유의한 차이가 나타났다(p<.05). 30 stroke/min에서는 엉덩관절, 팔꿈치관절, 흉곽, 골반에서 큰 유의한 차이가 나타났으며(p<.05), 무릎관절과 몸통관절에서는 차이가 보이지 않았다. 40 stroke/min 시에는 엉덩관절, 무릎관절, 흉곽, 골반에서 유의한 차이가 관찰되었고(p<.05), 팔꿈치관절과 몸통관절에서는 차이가 나타나지 않았다.

Table 3. The time elapsed for a single stroke and drive(mean±1SD)

Group		20 stroke/min	30 stroke/min	40 stroke/min
Elite	T_{stroke}(unit: sec)	3.07±0.01	1.93±0.04	1.50±0.06
	T_{Drive}(unit: sec)	0.99±0.03	0.88±0.03	0.73±0.02
	T_{Drive} CV(%)	0.02	0.01	0.009
Non-Elite	T_{stroke}(unit: sec)	2.99±0.09	2.00±0.03	1.48±0.03
	T_{Drive}(unit: sec)	1.35±0.09	0.98±0.02	0.75±0.02
	T_{Drive} CV(%)	0.08	0.02	0.01

2. 스트로크, 드라이브 소요시간

메트로놈을 사용하여 20 stroke/min(40 bpm), 40 stroke/min(60 bpm), 60 stroke/min(80 bpm)의 세 가지 기준 속도가 주어졌을 때 선수와 비선수 그룹에서 보이는 한회의 스트로크, 드라이브 소요시간에 대한 결과를 <Table 3>에 정리하였다. 20 stroke/min의 속도에서 선수의 스트로크는 3.07±0.01초, 드라이브는 0.99±0.03초, 비선수는 각각 2.99±0.09초, 1.35±0.09초를 나타냈다. 30 stroke/min의 속도에서는 선수는 1.93±0.04초, 0.88±0.03초, 비선수는 2.00±0.03초, 0.98±0.02초를 기록하였다. 40 stroke/min의 속도에서는 선수가 1.50±0.06초, 0.73±0.02초, 비선수가 1.48±0.03초, 0.75±0.02초를 기록하였다. 드라이브 소요시간에 대한 CV값은 20 stroke/min에서 선수는 0.02, 비선수는 0.08, 30 stroke/min에서 선수그룹은 0.01, 비선수 그룹은 0.02를 보였으며, 40 stroke/min에서는 선수그룹이 0.009, 비선수 그룹이 0.01으로 산출되었으며, 모든 속도에서 선수들이 낮은 CV값을 나타내었다.

3. 동작의 속도

선수와 비선수의 RoM과 드라이브 소요시간을 통하여 각 관절별 드라이브 동작 시 각속도를 계산하고 그룹 간 비교하였다. 40 stroke/min의 몸통관절을 제외한 모든 속도와 관절에서 선수가 비선수보다 빠른 각속도를 보였으며, 결과 값은 <Table 4>에 정리하였다.

4. 동작순서

각 관절의 동작순서를 알아보기 위해 몸통관절, 고관절, 무릎관절이 최대 신전(음의 값)까지 걸리는 시간과 팔꿈치관절이 최대 굴곡(양의 값)까지 걸리는 시간을 나타냈다(Table 4).

20 stroke/min일 때 선수의 동작은 무릎관절(Knee) → 몸통

관절(Spine) → 흉곽(Thorax) → 골반(Pelvis) → 엉덩관절(Hip) <Table 4>에 정리하였다.

Table 4. The elapsed time of the drive phase for the joints(Mean±1SD)

Rate	Group		HIP	KNEE	ELBOW	THORAX	SPINE	PELVIS
20	Elite	Sequence	5	1	6	3	2	4
		Time(sec)	0.97±0.10	0.72±0.03	1.00±0.04	0.91±0.03	0.90±0.04	0.94±0.07
		Velocity(deg/sec)	81.25±7.75	192.44±9.08	108.62±6.82	65.54±4.04	36.74±8.64	36.14±3.31
		CV(%)	5.27	11.34	3.22	2.99	9.85	2.56
	Non-Elite	Sequence	4	1	6	3	2	5
		Time(sec)	1.32±0.11	1.07±0.10	1.35±0.10	1.24±0.13	1.17±0.18	1.33±0.11
		Velocity(deg/sec)	49.73±6.91	125.39±10.53	71.42±4.08	32.30±6.07	24.02±5.92	14.38±3.05
		CV(%)	5.90	9.94	2.34	6.96	6.51	3.02
30	Elite	Sequence	3	1	6	3	2	5
		Time(sec)	0.80±0.03	0.64±0.03	0.89±0.04	0.80±0.03	0.79±0.05	0.82±0.02
		Velocity(deg/sec)	97.28±3.41	205.82±13.10	124.17±11.66	71.17±5.01	36.14±4.39	38.57±1.79
		CV(%)	5.25	8.74	2.20	2.66	3.86	2.02
	Non-Elite	Sequence	3	1	6	4	2	5
		Time(sec)	0.84±0.06	0.75±0.05	0.98±0.03	0.86±0.06	0.83±0.06	0.92±0.10
		Velocity(deg/sec)	71.31±5.29	180.32±14.00	100.03±13.63	43.22±14.54	31.16±7.67	15.55±5.75
		CV(%)	4.10	15.71	9.63	16.85	8.23	5.31
40	Elite	Sequence	2	1	6	4	4	3
		Time(sec)	0.64±0.03	0.53±0.03	0.75±0.03	0.66±0.03	0.66±0.03	0.65±0.02
		Velocity(deg/sec)	120.62±7.23	228.31±10.79	147.75±11.52	86.45±6.43	43.55±4.25	46.93±6.31
		CV(%)	5.37	4.43	3.97	3.62	3.76	3.63
	Non-Elite	Sequence	3	1	6	2	4	5
		Time(sec)	0.65±0.03	0.57±0.03	0.77±0.02	0.64±0.03	0.66±0.03	0.66±0.09
		Velocity(deg/sec)	84.46±6.32	203.89±15.49	136.51±15.07	62.75±14.02	43.75±4.98	21.53±7.21
		CV(%)	6.19	17.96	9.50	10.59	4.12	6.45

→ 팔꿈치관절(Elbow)의 순으로 나타났으며, 비선수는 무릎관절 → 몸통관절 → 흉곽 → 엉덩관절 → 골반 → 팔꿈치관절 순으로 나타났다.

30 stroke/min일 때 선수의 동작은 무릎관절 → 몸통관절 → 흉곽 → 엉덩관절 → 골반 → 팔꿈치관절 순으로, 비선수는 무릎관절 → 몸통관절 → 엉덩관절 → 흉곽 → 골반 → 팔꿈치관절로 비선수의 경우는 무릎관절 → 몸통관절 → 엉덩관절 → 흉곽 → 골반 → 팔꿈치관절로 관찰되었다.

40 stroke/min일 때 선수의 동작은 무릎관절 → 엉덩관절 → 골반 → 몸통관절 → 흉곽 → 팔꿈치관절 순으로, 비선수는 무릎관절 → 흉곽 → 엉덩관절 → 몸통관절 → 골반 → 팔꿈치관절의 순서로 동작패턴이 나타났다.

5. 동작 일치성

선수, 비선수 그룹에서 나타내는 두 피험자 간 동작의 일치성을 관찰하기 위하여 각 관절의 각속도에 대한 CV값을

6. 무릎 신전 유지 시간

스트로크 동안 선수는 무릎을 최대신전상태로 비선수보다 긴 시간 동안 유지하는 것으로 관찰되었다. 20 stroke/min에서 선수가 1.06±0.11초, 비선수가 0.44±0.08, 30 stroke/min에서 선수는 0.43±0.03초, 비선수는 0.2±0.07초, 40 stroke/min에서 선수가 0.26±0.05초, 비선수가 0.17±0.04초로 관찰되었고, 모든 rate에서 선수와 비선수간의 유의하게 큰 차이가 나타났다 (Table 5, Figure 2).

Table 5. The time that the knee joint was maintained extended during the drive phase(mean±1SD)

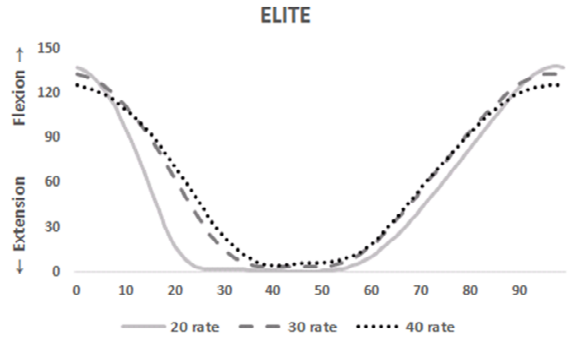
Group		20 rate	30 rate	40 rate
Elite		1.06±0.11	0.43±0.03	0.26±0.05
Non-Elite		0.44±0.08	0.2±0.07	0.17±0.04
	Mann-Whitney U	.000	2.50	89.50
	p	.000	.000	.000

(unit: sec)

IV. 논 의

본 연구에서는 조정 선수와 비선수가 세 가지 속도로 조정 동작을 수행하는 동안 상·하지 관절에서 나타나는 운동학적 움직임에 대하여 알아보았다. 선수와 비선수 사이에 각 관절의 최대 굴곡/신전 각도에서 유의한 차이를 볼 수 있으며, 각 관절의 가동범위(RoM)는 20 stroke/min의 속도일 때는 모든 관절, 40 stroke/min일 때에는 엉덩관절, 팔꿈치관절, 흉곽, 골반, 60 stroke/min일 때에는 엉덩관절, 무릎관절, 흉곽, 골반의 값이 선수에게서 유의하게 높게 나타났다. 두 그룹의 스트로크 소요시간은 유사하나, 선수의 경우 드라이브 소요시간이 35.61% 증가되어 비교적 일정한 반면 비선수의 경우 80% 증가함에 따라 드라이브 소요시간(T_{Drive})의 변화폭이 높게 나타났다. 각 관절이 최대로 굴곡/신전 각도에 도달하는 순서 또한 선수와 비선수 사이에 다른 양상을 보였으나 속도 변화에 따라 일관성은 확인되지 않았다. 그러나 무릎관절의 최대신전 유지시간은 선수가 유의하게 높게 나타났다.

한 회의 스트로크를 수행하는데 소요되는 시간(Ts_{troke})은 선수와 비선수 간의 차이가 0.1초미만으로 유사하게 나타난다. 또한 드라이브 소요시간은 선수가 비선수보다 짧은 것으로 관찰되었고, 속도가 증가하면서 선수가 비선수보다 드라이브 소요시간 감소폭이 작게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 이는 선수가 드라이브 구간의 비율을 유지하는 대신 빠른 리커버리 동작으로 짧은 스트로크 시간을 만들어 낸다고 해석된다. 선수의 드라이브 소요시간이 짧게 나타남에도 불구하고 전체 동작의 움직임을 구성하는 각 관절이 최대로 굴곡/신전 되는 각도와 관절가동범위(RoM)가 선수의 경우 유의하게 크게 나타남으로써(Table 2), 비선수보다 선수가 단위시간 내에 움직이는 속도는 더 빠른 것을 알 수 있다(Table 4). 특히 <Table 2>에 나타난 바와 같이 선수의 경우 엉덩관절의 가동범위가 크고 최소각이 유의하게 작은 것을 볼 수 있다. 조정 동작을 수행하는 동안 하지 관절로 전달되는 힘의 양을 직접 측정하기는 어렵지만, 하지 관절의 가동범위가 유사한 스쿼트 동작과 수직점프 동작을 살펴보면 하지 관절의 각도가 클수록 더 큰 파워가 발현되며(Lee, Han, Kim, Oh, Cho & Yoon, 2015), 발목과 무릎관절보다 엉덩관절에서 더 큰 모멘트가 발생하기 때문에(Flanagan, S., Salem, G. J., Wang, M.-Y., Sanker, S. E., & Greendale, G. A., 2003; Chiu & Salem, 2006; Kim & Kim, 2009, Kim & Eun, 2009), 스트로크를 할 때 엉덩관절의 가동범위가 크고 캐치 시점에 엉덩관절의 굴곡이 크게 나타나는



것은 발에 전달되는 총 힘의 양이 크다는 것을 의미한다(Buckeridge et al., 2015). 따라서 선수는 위와 같은 관절의 움

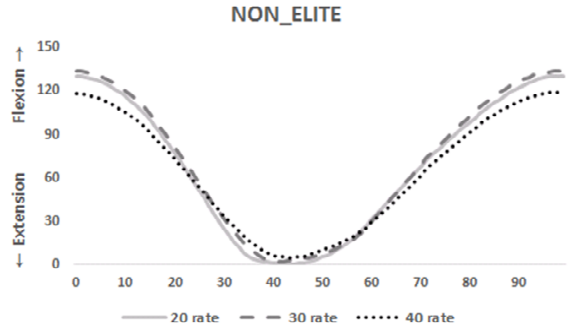


Figure 3. Knee joint angle of rowing stroke at all rates

직임을 통해 더욱 큰 힘을 발현하여 보트가 나아가는 속도를 빠르게 할 수 있을 것이다.

선수의 경우 최적의 동작을 수행하기 위한 순차적인 관절의 움직임이 나타날 것이라는 예상 하에 각 관절의 가동범위가 최대가 되는 시점까지 걸리는 시간을 산출하여 나열한 결과, 선수와 비선수 모두에게서 일정한 패턴은 발견되지 않았다(Table 4). 그러나 변동계수(CV)를 산출하여 그룹 내 두 피험자의 드라이브 소요시간 및 각 관절 각속도의 일치성을 확인한 결과에서 드라이브 소요시간에서는 두 그룹 모두 상당히 높은 일치성을 보였고, 각속도에서는 선수가 엉덩관절과 무릎관절을 제외한 관절에서 높은 일치성을 보이는 것으로 나타났다. 선수와 비선수 간 상대적인 비교에서도 선수가 비선수보다 일치하다는 결과를 보였다. 이에 더하여 무릎을 펴고 상체를 뒤로 젖히는 드라이브 단계에서 선수의 경우 무릎이 최대로 신전된 상태를 유지하는 시간이 비선수에 비해 두 배 가량 유의하게 큰 것을 볼 수 있다(Table 5, Figure 3). 이러한 움직임은 다리로 발판을 미는 힘이 그대로 노깃에 전달됨으로써 파워 손실을 최소화 하여 보다 더 큰 힘을 발현하기 위한 것으로 해석할 수 있다.

위 결과와 같이 조정 동작을 수행함에 있어 선수에게서 나

타나는 특징을 바탕으로 추후 여러 명의 선수를 대상으로 동일한 실험을 수행한다면 최적의 동작을 이루는 관절의 움직임 패턴을 파악할 수 있을 것으로 사료되며, 관절의 조화로운 움직임은 조정 동작을 구성하는 매우 주요한 요인이므로 후속 연구가 필수적일 것이다.

V. 결 론

본 연구에서는 조정 선수가 로잉 동작을 수행하는 동안 나타나는 상·하지 관절의 운동학적 특성을 비선수와 비교 분석하였다. 선수와 비선수 사이에 각 관절의 최대 굴곡/신전 각도, 그리고 관절의 가동범위(RoM)에서 유의한 차이가 나타났다. 스트로크 소요시간은 유사하게 나타났다. 하지만 드라이브 소요시간에서는 선수가 작은 경향을 보였고, 드라이브 구간에서의 각 선수가 비선수보다 모든 관절에서 빠른 각속도를 보였다. 각 관절이 최대로 굴곡/신전 각도에 도달하는 순서 또한 선수와 비선수 사이에 다른 양상을 보였으나 속도변화에 따라 일관성은 확인되지 않았다. 그러나 선수의 경우 각 관절이 움직이는 속도가 상대적으로 높은 일치성을 보이며, 또한 무릎 관절의 최대신전 유지시간이 유의하게 높게 나타나는 특징을 확인할 수 있었다.

본 연구 결과를 통해 스포츠 과학자들과 현장 지도자들이 비숙련자에게 최적의 조정 동작에 대한 피드백을 제공하고 훈련시키는 데 보다 정밀한 정보를 제공할 뿐만 아니라, 현장 훈련에 적용할 수 있는 스마트 의류 및 웨어러블 시스템을 구현하는 데 있어 기초적인 자료로 활용될 것으로 기대한다.

참고문헌

Asami, T., Adachi, N., & Yamamoto, K. (1981). Biomechanical analysis of rowing performances. *Biomechanics VII-B*, 442-446.

Barrett, R., & Manning, J. (2004). Rowing: Relationships between rigging set-up, Anthropometry, physical capacity, Rowing kinematics and Rowing performance. *Sports Biomechanics,* 3(2), 221-235.

Baudouin, A., & Hawkins, D. (2002). A biomechanical review of factors affecting rowing performance. *British Journal of Sports Medicine,* 36(6), 396-402.

Buckeridge, E., Bull, A., & McGregor, A. (2015). Biomechanical determinants of elite rowing technique and performance. Scandinavian *Journal of Medicine & Science in Sports,* 25(2), e176-e183.

Chiu, L. Z., & Salem, G. J. (2006). Comparison of joint kinetics during free weight and flywheel resistance exercise. *The Journal of Strength & Conditioning Research,* 20(3), 555-562.

Flanagan, S., Salem, G. J., Wang, M.-Y., Sanker, S. E., & Greendale, G. A. (2003). Squatting exercises in older adults: kinematic and kinetic comparisons. *Medicine and science in sports and exercise*, 35(4), 635.

Holt, P., Bull, A., Cashman, P., & McGregor, A. (2003). Kinematics of spinal motion during prolonged rowing. *International journal of sports medicine,* 24(8), 597-602.

Kim, Y. U. & Kim, Y. J. (2009). Biomechanical Comparison of Good and Bad Performances within Individual in Maximum Vertical Jump. *Korean Journal of Sports Biomechanics,* 19(3), 489-497.

Kim, Y. U. & Eun, S. D. (2009). The Effects of Restricted Trunk Motion on the Performance of Maximum Vertical Jump. *Korean Journal of Sports Biomechanics,* 19(1), 27-36.

Lamb, D. H. (1989). A kinematic comparison of ergometer and on-water rowing. *The American journal of sports medicine,* 17(3), 367-373.

Lee, H. D., Han, B. R., Kim, J. S., Oh, J. H., Cho, H. Y. & Yoon, S. Y. (2015). Differences in the length change pattern of the medial gastrocnemius muscle-tendon complex and fascicle during gait and one-legged and two-legged vertical jumping. *Korean Journal of Sports Biomechanics,* 25(2), 175-182.

MacFarlane, D., Edmond, I., & Walmsley, A. (1997). Instrumentation of an ergometer to monitor the reliability of rowing performance. *Journal of Sports Sciences,* 15(2), 167-173.

Martin, T. P., & Bernfield, J. S. (1979). Effect of stroke rate on velocity of a rowing shell. *Medicine and science in sports and exercise,* 12(4), 250-256.

Nelson, W. N., & Widule, C. J. (1982). Kinematic analysis and efficiency estimate of intercollegiate female rowers. *Medicine and science in sports and exercise,* 15(6), 535-541.

Roy, S. H., De Luca, C. J., Snyder-Mackler, L., Emley, M. S., Crenshaw, R. L., & Lyons, J. P. (1990). Fatigue, recovery, and low back pain in varsity rowers. *Medicine and science in sports and exercise,* 22(4), 463-469.

Schneider, E., & Hauser, M. (1981). *Biomechanical analysis of performance in rowing.* Biomechanics VII-B, 430-435.

Smith, R. M., & Loschner, C. (2002). Biomechanics feedback for rowing. *Journal of Sports Sciences*, 20(10), 783-791.

Smith, R. M., & Spinks, W. L. (1995). Discriminant analysis of biomechanical differences between novice, good and elite rowers. *Journal of Sports Sciences*, 13(5), 377-385.