KJAB
Korean Journal of Applied Biomechanics 2025; 35(4): 272-281
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2025.35.4.272
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752

ORIGINAL

Analysis of Lower Limb Muscle Activation Patterns According to Performance Level in Adolescent Kayak Athletes

청소년 카약 선수의 경기력에 따른 하지 근 활성 패턴 분석

Yu-Hui Seo, Su-Yeon Park, Seok-Hyeon Joo, Soo-Kyung Kim, Ki-Hoon Han

Department of Physical Education, Pusan National University, Busan, South Korea

Received : 30 September 2025
Revised : 22 October 2025
Accepted : 24 October 2025

Corresponding Author
Ki-Hoon Han
Department of Physical Education / Department of Biomechanics, Pusan National University, 2, Busandaehak-ro 63beon-gil, Geumjeong-gu, Busan, 46241, South Korea
Email : happyhan@pusan.ac.kr

Objective: This study aimed to investigate differences in lower limb muscle utilization strategies according to performance level among adolescent kayak athletes, and to provide foundational data for developing customized training programs.

Method: The participants were nine adolescent athletes registered with the Korea Canoe Federation, categorized into a Medalist group (high performers) and a Non-medalist group (low performers) based on their national competition records within the past two years. Surface Electromyography (EMG) was used to collect muscle activation data for the Rectus Femoris (RF), Vastus Medialis Oblique (VMO), Vastus Lateralis (VL), Biceps Femoris (BF), Tibialis Anterior (TA), and Medial Gastrocnemius (MG) during stroke movements on a kayak ergometer. To compare muscle activation levels and muscle contraction onset timings between groups, the Mann-Whitney *U* test was employed.

Results: The results revealed significant differences between groups in the activation of VL and BF muscles ($p < .05$). Additionally, a significant difference was found in the onset timing of the VMO ($p < .05$). Although no statistically significant differences were observed in the RF and MG muscles, opposite patterns of muscle utilization were found between the two groups.

Conclusion: These findings suggest that the Medalist group was able to selectively recruit the necessary muscles in specific phases and optimize the timing of muscle contraction, thereby minimizing propulsion loss and energy consumption.

Keywords: Kayak, Stroke, Lower limb, Muscle activation, Activation onset timing

INTRODUCTION

카약 스프린트(Kayak Sprint)는 200 m, 500 m, 1,000 m 거리를 빠르게 질주하며 기록과 순위를 겨루는 수상 스포츠이다. 최근 개최된 2024년 카누 스프린트 주니어 & U-23 아시아 선수권대회에서 대한민국 청소년 선수들이 은메달과 동메달을 획득하며 국제 경쟁력을 일부 입증하였다. 그러나 Korea Canoe Federation (2024)에 따르면, 국내 청소년 카약 200 m 경기에서는 선수 간 평균 기록 차이가 약 4초에 이른다. 카약 스프린트 특성상 0.1초 단위의 차이도 승패를 결정짓는 점을 고려할 때, 국제 무대 경쟁력을 확보하기 위해서는 선수 간 격차를 줄이고 선수 전체 경기력을 향상시킬 수 방안이 강구

Copyright © 2025 Korean Journal of Applied Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

되어야 한다(Banks, Phillips, Turnock, Hudson & Taunton, 2014). 이에 따라 청소년 선수들의 경기력 편차를 줄이고 국제 경쟁력을 강화하기 위한 체계적이고 과학적인 훈련 프로그램의 도입이 요구되고 있다.

카약에서 추진력 생성은 스트로크(Stroke)를 통해 이루어지며, 이때 어깨 관절 주변의 대근육이 주요 역할을 한다고 보고되었다(Garnier et al., 2023; Trevithick, Ginn, Halaki & Balnave, 2007). 그러나 경기력에 영향을 미치는 요인은 상지 근육에만 국한되지 않으며, 하지의 움직임 또한 중요한 요소로 제시되고 있다(Brown, Lauder & Dyson, 2010). Nilsson과 Rosdahl (2015)은 스트로크 시 하지의 움직임을 제한했을 때, 스트로크 파워와 속도가 각각 21%, 16% 감소하는 것을 확인하였다. 또한 최근 연구에 따르면 스트로크 시 하지와 발판의 상호작용이 상지 움직임을 보조하는 것을 넘어서, 추진력을 생성하고 자세 안정성을 유지하는데 직접적인 역할을 하는 것으로 보고되었다(Brown & Peters, 2023). 특히 경기 후반부로 갈수록 카약 스트로크의 주근육인 상지 근육의 피로도가 높아지기 때문에 하지 근육을 함께 사용하여 추진력을 생성하는 것이 중요하다. 따라서 하지 근육의 활용 전략이 경기력 차이에 핵심적인 변수로 작용될 수 있다(Brown & Peters, 2023).

기존에 카약 스트로크에 관한 선행연구들은 단순히 하지 근육의 활성도를 분석하는 것에 머물렀으며, 숙련된 선수들의 근육 활용 전략, 특히 근수축 개시 시점 등 시퀀스와 같은 동작 메커니즘에 대한 분석은 상대적으로 부족하였다(Ryue, Nam & Lee, 2012; Klitgaard, Rosdahl, Brund, Hansen & de Zee, 2021; Murtagh, Brooks, Sinclair & Atkins, 2016). 선행연구에서는 발판을 밀며 생성된 힘이 하지-체간-상지를 거쳐 패들로 전달되는 시퀀스는 선수에 따라 다르다고 보고하였으나 (McKenzie & Berglund, 2019), 이러한 시퀀스가 경기력과 어떤 관련이 있는지에 대한 체계적인 규명이 미흡한 실정이다. 특히, 각 구간별 주요 근육이 어떠한 시점에, 어떤 방식으로 활성화되는지에 대한 분석이 이루어진 연구는 드물며, 이는 경기력 향상을 위한 근거기반 맞춤형 훈련 전략 개발에 한계를 초래하고 있다.

카약에서 주로 사용되는 하지 근육은 무릎 신전을 통해 발판을 밀어내는 넙다리곧은근(Rectus Femoris; RF), 안쪽넓은근(Vastus Medialis Oblique; VMO), 가쪽넓은근(Vastus Lateralis; VL)이 스트로크 과정에서 추진력을 생성하고 자세 안정성에 중추적인 역할을 한다. 이 중 RF는 카약 동작에서의 하지를 얼마나 활용하였는지 평가하는 지표이며(Ryue et al., 2012), VMO와 VL은 슬개골의 안정성을 유지하고 부상 예방에 기여한다. 특히 VMO의 낮은 활성도나 지연된 근수축 개시 시점은 슬개골 불안정성과 피로 누적, 나아가 경기력 저하로 이어질 수 있다(Choi, Kim & Jeon, 2011; Koh, Lee & Jung, 2011). 또한, 발판을 밀어낼 때 족관절의 저측굴곡을 유도하는 안쪽장딴지근(Medial Gastrocnemius; MG)이 추진력 생성을 보조하고 반대로 발판을 당길 때는 배측굴곡을 유도하는 넙다리두갈래근(Biceps Femoris; BF)과 앞정강근(Tibialis Anterior; TA)이 신체와 보트를 안정적으로 지지한다. 이처럼 하지 근육들은 스트로크 전 구간에서 기능을 분담하며, 자세 안정성을 확보시키고 추진력을 생성하여 스트로크의 효율성을 확보한다.

이에 본 연구는 청소년 카약 선수를 경기력에 따라 우수 그룹(Medalist)과 비우수 그룹(Non-medalist)으로 분류한 후, 스트로크 수행 시 나타나는 하지 근활성도와 근수축 개시 시점을 비교·분석하는 것을 목적으로 한다. 이를 통해 그룹 간 하지 활용 전략의 차이를 규명하고, 우수 선수의 근육 활용 메커니즘을 구체화함으로써 비우수 선수에게 실질적인 개선 방향을 제시하고자 한다. 궁극적으로 본 연구는 하지 활용 기반의 맞춤형 훈련 프로그램 개발에 기초 자료를 제공하고, 청소년 카약 선수의 경기력 향상 및 국제 경쟁력 제고에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

METHOD

1. 연구대상

본 연구의 대상자는 대한카누연맹에 등록된 중·고등부 남녀 엘리트 카약 선수 9명이다. 최근 2년 이내 전국 단위 대회 입상 여부를 기준으로 우수 그룹(Medalist) 4명과 비우수 그룹(Non-medalist) 5명으로 구분하였다. 모든 대상자는 최근 6개월 이내 근골격계 부상이나 수술 이력이 없으며, 연구 목적과 절차에 대한 설명을 듣고 자발적으로 참여하였다. 또

Table 1. Participants (*n*=9)

Group	M ± SD			Sex (M/F)
	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	
Medal	17.00±0.64	173.80±12.09	74.00±14.76	2/2
Non	16.20±1.30	167.00±8.25	66.00±10.65	3/2

Note. significant at *p < .05

한, 심리적 요인을 통제하기 위해 그룹 분류 기준은 대상자에게 사전에 고지하지 않았다. 대상자의 일반적 신체 특성은 <Table 1>과 같다.

2. 실험절차 및 방법

1) 실험 전 준비 및 장비 세팅

하지 근육의 근활성도 측정을 위해 Ultium Electromyography (EMG) 시스템(Noraxon, Scottsdale, AZ, USA)을 사용하였다. EMG 전극을 부착한 후에는 장비 적응을 위해 준비 운동과 카약 에르고미터(Dansprint PRO Kayak Ergometer) 세팅 시간을 제공하였다. 에르고미터는 실제 훈련 환경과 유사하게 시트와 발판 거리, 패들 그립 너비를 대상자가 평소 사용하는 방식대로 조정하였다.

정확한 EMG 측정을 위해 전극 부위는 제모 후 알코올 솜으로 정리하였으며, 표면 근전도 센서는 SENIAM 가이드라인에 따라 왼쪽 하지의 6개 근육에 부착하였다(Figure 1). 스트로크 이벤트 구간을 식별하기 위해 가속도계 센서를 왼쪽 손등에 부착하였고, 전극 및 센서는 위치 이탈과 노이즈 방지를 위해 키네지오 테이프로 고정하였다.

근전도 신호와 동작 간 시간 동기화를 위해 Noraxon 소프트웨어에 Freeative HIGHEND FHD 웹카메라(AFC80FHD)를 연동하여 실시간 영상 데이터를 함께 수집하였다. EMG 신호와 실제 동작을 동일 화면에 동기화함으로써 근수축 개시 시점과 스트로크 시작 시점을 정밀하게 비교·분석하였다.

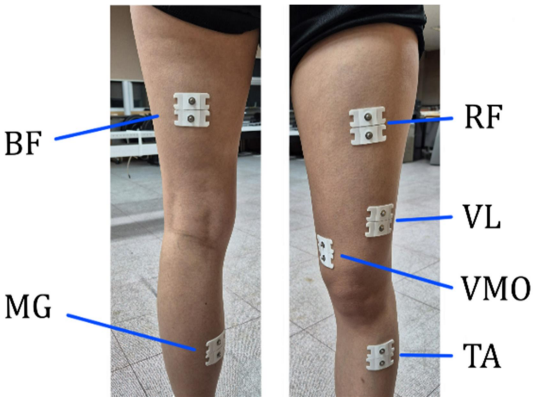

Figure 1. EMG Electrode Placement

2) 최대 수의적 등척성 수축

근전도 데이터를 정규화하기 위해 각 연구 대상자의 근육별 최대 수의적 등척성 수축(Maximal Voluntary Isometric Contraction; MVIC)을 측정하였다(Kim et al., 2005). 측정에 앞서 연구 보조자에게 MVIC 측정법과 보조 요령을 교육하였고, 대상자에게는 동작 설명 후 예비 수축을 통해 최대 수축을 유도하였다. MVIC 측정은 맨손 근력 검사(Manual Muscle Test; MMT)를 참고하였다. 근육별로 적절한 자세에서 5초간 3회 반복으로 수행하였고 그 중 가장 높은 수치를 보이는 데이터를 사용하였다(Hislop & Montgomery, 1995). 인접 관절의 보상 작용을 방지하고 정확한 수축 유도를 위해 연구 보조자 3인이 협력하였으며, 측정 간에는 근피로를 줄이기 위해 충분한 휴식을 제공하였다(Kim & Lee, 2019; Markovic, Dizdar, Jukic & Cardinale, 2007).

3) 카약 에르고미터 패들링 수행

본 실험에서는 카약 에르고미터를 활용하여 패들링 동작을 수행하였으며, 양쪽 스트로크를 1회로 간주하여 총 10회 반복하였다. 실험 중에는 메트로놈을 60 BPM으로 설정하여 대상자가 일정한 리듬을 유지하도록 유도하였다. 이는 Limonta 등 (2010)의 선행연구와 같이 사이클 간 변동성을 최소화함으로써 근활성도 및 근수축 개시 시점 분석의 정밀도와 선수 간 비교의 타당성을 확보하기 위함이다. 출발 자세는 대상자에게 익숙한 실제 경기 상황과 유사하게 설정하였고, 모든 대상자가 왼쪽 입수(Entry) 자세에서 스트로크를 시작하도록 통일하였다.

3. 데이터 처리

본 연구의 근전도 및 가속도계 데이터 처리는 Noraxon 사의 MR 3.20 소프트웨어를 통해 처리하였으며 이후 Excel 2019 (Microsoft Co., Ltd., USA)를 이용해 평균과 표준편차 등을 산출하였다.

1) 신호 처리

EMG 데이터는 장비의 사전 Calibration 기능으로 교류 신호의 영점을 보정한 후 기록을 시작하였다. 데이터는 2,000 Hz의 샘플링 주기로 수집되었으며, 10-500 Hz 범위의 4th-order Bandpass filter를 적용하여 노이즈를 제거하였다(Ryue et al., 2012). 이후 Full-wave Rectification으로 모든 신호를 절댓값으로 변환하고, 50 ms RMS (Root Mean Square) windowing을 적용하여 신호를 Smoothing하였다. 이 과정을 통해 원시 EMG 신호의 변동성을 최소화하고 분석의 정확도를 높였다. MVIC 데이터는 수축 중 발생할 수 있는 일시적인 오류나 노이즈를 줄이기 위해 처음과 끝 1초를 제외한 중간 3초 구간

을 분석하였으며, 해당 구간의 RMS 값을 통해 평균 MVIC를 산출하였다. 패들링 동작에서 측정된 EMG 신호도 동일한 기준으로 처리하여 데이터 간 일관성을 유지하였다. 가속도계(Accelerometer) 데이터는 20 Hz의 4th-order Lowpass filter로 노이즈를 제거하였으며(Mikkola, 2012), 이를 통해 이벤트 구간 설정의 신뢰성을 확보하였다.

2) 데이터 분석

근활성도 분석을 위해 패들링 동작 시 측정된 EMG 데이터 총 10회 스트로크 중 중앙 3회를 추출하여 그 평균값을 분석 데이터로 사용하였다. 연구 대상자 간 분석을 용이하게 하기 위해 MVIC 값으로 나눈 뒤 100을 곱하여 백분율(%MVIC)로 정규화하였다.

$$EMG_{Norm} = \frac{MeanEMG_{phase}}{MVIC} \times 100$$

근수축 개시 시점은 이벤트 구간 내 EMG 신호 최댓값의 30%를 초과하는 시점으로 정의하였다(Kasović, Mejovšek, Matković, Janković & Tudor, 2011).

이를 위해 근활성도 분석과 동일한 중앙 3회 스트로크의 평균값을 분석 데이터로 사용하였다. 분석을 용이하게 하기 위해 근수축 개시 시간(Time onset)을 전체 구간 시간(Time total)으로 나누어 백분율로 환산하였다.

$$Time_{Norm} = (\frac{Time_{onset}}{Time_{total}}) \times 100$$

3) 이벤트 구간 설정

본 연구에서는 스트로크 동작에서 하지 근육의 역할을 명확히 분석하기 위해 전체 패들링 동작을 왼쪽 스트로크(Phase 1)와 오른쪽 스트로크(Phase 2)로 구분하였다(Figure 2). 각 Phase는 패들의 블레이드가 물속에 들어가는 입수(Entry), 물에 잠긴 블레이드를 몸쪽으로 끌어오는 당기기(Pull), 블레이드를 수면 밖으로 빼는 출수(Exit), 물 밖에서 반대쪽 입수 자세를 준비하는 회복(Recovery)의 네 단계로 구성된다(Liu, Wang, Qiu, Zhang & Hao, 2021). 본 연구에서는 Entry와 Recovery로 이벤트 구간을 식별하였다.

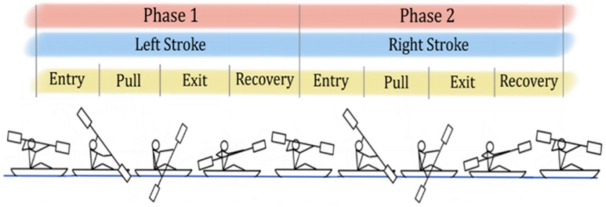

Figure 2. Stroke sections and phases

4. 통계 처리

본 연구에서 수집된 모든 자료는 SPSS for Windows version 26.0 프로그램을 사용하여 분석하였다. 비모수 검정 방법인 Mann-Whitney *U* Test를 실시하였고 모든 통계적 분석은 유의수준 α = .05로 설정하였다.

RESULTS

본 연구에서는 청소년 카약 선수를 경기력 수준에 따라 우수 그룹(Medalist)과 비우수 그룹(Non-medalist)으로 구분한 후 스트로크 수행 시 RF, VMO, VL, BF, TA, MG의 근활성도 및

Table 2. Between-group comparison of muscle activation in Phase 1 (unit: %)

Part	*U*	M ± SD		*z*	*p*
		Med	Non		
RF	7.00	13.55±7.00	21.98±16.72	-0.73	.55
VMO	4.00	17.22±5.50	35.01±19.01	-1.47	.19
VL	.00	15.56±3.80	50.55±22.48	-2.44	**.01***
TA	9.00	13.11±8.41	13.18±6.89	-0.24	.90
BF	.00	22.01±7.90	6.02±4.98	-2.44	**.01***
MG	5.00	30.56±4.08	21.34±14.27	-1.22	.28

*p < .05; U: Mann-Whitney *U*; Med: Medalist; Non: Non-medalist

근수축 개시 시점을 분석하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

1. 우수 및 비우수 그룹 간 구간별 근활성도 비교

우수 그룹과 비우수 그룹의 구간별 하지 근활성도 평균값과 이에 따른 그룹 간 비교 결과는 각각 <Table 2, 3>에 제시되어 있다. RF, VMO, TA의 경우 두 구간에서 모두 우수 그룹이 비우수 그룹보다 근활성도 평균값이 낮게 나타났으며 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다. 하지만 VL의 경우 두 구간에서 모두 우수 그룹이 비우수 그룹보다 근활성도 평균값이 낮게 나타났으며 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(p < .05). BF의 경우에는 두 구간에서 우수 그룹이 비우수 그룹보다 근활성도 평균값이 높게 나타났으며 통계적으로 유의한 차이가 나타났다(p < .05). MG의 경우 Phase 1에서는 우수 그룹이 비우수 그룹보다 근활성도 평균값이 높게 나타났으며 Phase 2에서는 우수 그룹이 비우수 그룹보다 낮게 나타났으나 두 구간 모두 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

2. 우수 및 비우수 그룹 간 Phase 1 근수축 개시 시점 비교

우수 및 비우수 선수의 Phase 1에서 근수축 개시 시점 평균값은 <Table 4>와 같다. 해당 데이터를 바탕으로 Phase 1에서 그룹 간의 하지 근수축 개시 시점을 비교한 결과는 <Table 5>와 같다. RF의 경우 우수 그룹이 비우수 그룹보다 근수축 개시 시점이 빨랐던 것으로 나타났지만 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았다. VMO의 경우 우수 그룹이 비우수 그룹보다 근수축 개시 시점이 빨랐으며 통계적으로 유의미한 차이가 나타났다(p < .05). VL의 경우 우수 그룹이

Table 3. Between-group comparison of muscle activation in Phase 2 (unit: %)

Part	U	M ± SD		z	p
		Med	Non		
RF	4.00	4.01±0.46	10.58±6.61	-1.47	.19
VMO	6.00	6.90±4.82	10.39±6.83	-0.98	.41
VL	.00	3.19±1.30	17.45±9.07	-2.44	**.01***
TA	4.00	34.53±2.30	43.75±9.57	-1.47	.19
BF	.00	23.88±2.30	9.93±5.57	-2.46	**.01***
MG	8.00	8.73±4.49	11.17±8.22	-0.49	.73

*p < .05; U: Mann-Whitney U; Med: Medalist; Non: Non-medalist

Table 4. Mean Muscle Onset Time in Phase 1 for Medalist and Non-Medalist (unit: %)

Player	RF	VMO	VL	TA	BF	MG
Med-1	22.94	12.85	17.24	N/A	44.69	9.80
Med-2	17.44	22.56	16.42	N/A	21.18	20.97
Med-3	15.14	15.49	16.40	N/A	41.96	19.98
Meda-4	22.45	14.34	19.01	N/A	25.64	21.96
Non-1	35.34	32.48	30.86	N/A	N/A	27.86
Non-2	21.63	22.96	22.75	N/A	N/A	20.79
Non-3	26.74	27.04	25.86	N/A	N/A	N/A
Non-4	9.33	16.32	12.14	N/A	59.42	24.36
Non-5	40.33	38.80	40.76	N/A	66.90	42.45

Med: Medalist; Non: Non-medalist; Activation timing as a percentage of the total stroke phase (%); N/A: Not activated

Table 5. Comparison of Muscle Onset Time in Phase 1 between Medalist and Non-Medalist (unit: %)

Part	*U*	M ± SD		*z*	*p*
		Med	Non		
RF	6.00	19.49±3.82	26.67±12.12	-0.98	.41
VMO	1.00	16.31±4.30	27.52±8.64	-2.20	**.03***
VL	4.00	17.27±1.23	26.47±10.52	-1.47	.19
TA	10.00	N/A	N/A	-.00	1.00
BF	8.00	33.37±11.69	25.26±34.70	-0.49	.73
MG	6.00	18.18±5.64	23.09±15.31	-0.98	.41

*p <. 05; U: Mann-Whitney *U*, Med: Medalist; Non: Non-medalist; Activation timing as a percentage of the total stroke phase (%); N/A: Not activated

비우수 그룹보다 근수축 개시 시점이 빨랐지만 통계적 유의미한 차이는 나타나지 않았다. TA의 경우, Phase 1이 발판을 밀어내는(push) 동작이 주가 되는 구간이므로 족관절의 배측굴곡 근육인 TA는 두 그룹 모두에서 활성화되지 않았다. 따라서 그룹 간 근수축 개시 시점 비교를 수행하지 않았다 BF의 경우 우수 그룹이 비우수 그룹보다 근수축 개시 시점이 느리게 나타났지만 통계적으로 유의미한 차이는 나타나지 않았다. MG의 경우 우수 그룹이 비우수 그룹보다 근수축 개시 시점이 빠르게 나타났지만 통계적 유의미한 차이는 나타나지 않았다.

DISCUSSION

본 연구는 청소년 카약 선수들의 스트로크 동작 시 필요한 주요 하지 근육들의 근활성도와 근수축 개시 시점의 차이를 분석하고, 훈련 프로그램 설계를 위한 과학적 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다. 이를 위해 연구 대상자들의 대회 입상 성적과 같은 경기력을 기준으로 우수 그룹과 비우수 그룹으로 구분하고 왼쪽 스트로크 구간인 Phase 1과 오른쪽 스트로크 구간인 Phase 2에서 각 근육의 근활성도를 분석하였고 Phase 1에서의 근수축 개시 시점을 비교하였다.

분석 결과, 근활성도에서는 Phase 1과 Phase 2 모두에서 BF와 VL 간 그룹 차이가 가장 크게 나타났다. 우수 그룹은 비우수 그룹보다 BF를 더 많이 활용한 반면, VL은 더 낮게 활용하였다. 이 외에도 Phase 1에서는 VMO, Phase 2에서는 TA의 근활성도가 우수 그룹에서 더 크게 증가하였다. 근수축 개시 시점에서는 VMO가 우수 그룹에서 평균 약 11% 빠르게 활성화되었다. 또한 거의 모든 근육에서 우수 그룹의 근활성도 및 개시 시점 표준편차가 비우수 그룹보다 낮아, 스트로크 시 근육의 활용 패턴이 일관적이였다.

하지 근육의 후면부인 햄스트링은 하지에서 발생한 힘을 체간과 상지로 전달하는 과정에 기여하는 근육군으로 제시된 바 있다(Almansoof, Nuhmani & Muaidi, 2023). 따라서 힘을 효율적으로 활용하기 위해서는 하지 후면부 근육의 역할이 중요하며, 본 연구에서도 Phase 1과 Phase 2 모두에서 그룹 간 BF의 근활성도가 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p < .05; Table 2, 3). 이러한 결과는 스트로크 중 우수 그룹이 비우수 그룹보다 BF를 더 적극적으로 활용했을 가능성을 보여주며, 다관절 신전 근육의 활성화 패턴이 하지에서 생성된 힘을 상지로 전달하는 기전과 연계될 수 있음을 시사한다. 실제로 Nilsson과 Rosdahl (2015)은 하지 근력 제한 시 패들 힘이 약 16-21% 감소한다고 보고하였고, Kellis 등 (2022)은 햄스트링 근육이 고관절에서 슬관절보다 더 유리한 모멘트 암을 갖는다고 제시한 바 있다. 또한 선행연구에서는 BF가 슬관절 굴곡에 관여하기 때문에 Phase 1보다 Phase 2에서 더 높은 활성도가 나타나는 경향이 보고되었다(Laatikainen-Raussi, 2024; Nemet, Terebessy, Szőke & Bejek, 2021). 그러나 본 연구에서는 Phase 2 뿐만 아니라 Phase 1에서도 우수 그룹이 비우수 그룹보다 BF 활성도가 평균 16% 높게 나타났으며, 이는 BF가 단순히 슬관절 굴곡에만 관여하는 것이 아니라 구조적 특성과 주변 조직과의 상호작용을 통해 발판에서 발생한 힘이 골반-체간 방향으로 전달되는 데 기여할 수 있음을 시사한다. 다만, Brown과 Peters (2023)와 Fohanno, Begon, Lacouture와 Colloud (2014)가 언급한 바와 같이 이러한 해석은 근육-건 특성 및 운동학적 맥락을 함께 고려할 필요가 있다.

BF 근수축 개시 시점에 대한 분석 결과는 <Table 4>와 같다. 일부 비우수 선수들은 Phase 1에서 BF를 거의 활용하지 못한 것으로 나타났으며, 이는 스트로크 시 BF 활용 부족이 경기력 저하와 연관될 가능성을 보여준다. VMO와 VL은 슬개골 정렬을 조절하는 데 관여하는 근육으로, 슬개골과 대퇴골

사이의 관절은 신체에서 접촉 면적이 가장 좁은 관절이라 올바른 이동 경로를 유지하여 접촉 부위의 압력을 줄이는 것이 매우 중요하다. 선행연구에 따르면 안정적인 슬개골의 움직임을 위해서는 슬개골을 외측으로 견인시키는 VL이 활성화되기 전, VMO가 선행적으로 수축되어야 한다. 만약 VMO의 활성화가 지연될 경우 VL의 근활성도가 과도하게 증가하는 경향이 나타날 수 있고 무릎 관절의 안정성을 확보하지 못하며 에너지의 손실로 이어질 수 있다(Cavazzuti, Merlo, Orlandi & Campanini, 2010). 본 연구에서는 <Table 2, 3, 5>와 같이 우수 그룹이 비우수 그룹에 비해 VL의 근활성도가 낮았으며 (p< .05), VMO의 근수축 개시 시점이 빠른 것을 확인하였다 (p< .05). 이와 같은 결과로 미루어보아, 우수 그룹은 안정적인 슬개골과 무릎 관절의 안정성을 확보하고 에너지를 효율적으로 사용한 것으로 사료된다. 또한 지속적으로 비우수 그룹과 같이 VL의 과활성화나 VMO의 활성화 지연은 슬개대퇴관절의 정렬 이상 및 불안정성과 연관되며, 이로 인해 반복적인 과부하가 누적될 경우 통증과 연골 손상 위험이 증가할 수 있다(Chester et al., 2008; Elias, Kilambi, Goerke & Cosgarea 2009). 특히 반복 동작이 많은 스포츠에서는 이러한 기전이 만성 손상으로 이어질 가능성이 제기된다(Halabchi, Mazaheri & Seif-Barghi, 2017). 카약에서는 발판을 고정점으로 삼고 하지에서 발생한 힘이 연쇄적으로 체간을 거쳐 상지로 전달되는 닫힌 운동 사슬(Closed Kinetic Chain; CKC) 패턴이 중요한 역할을 한다. 실제로 발판 기능을 제한했을 때 패들 스트로크 힘이 평균 21% 감소한다는 실험적 보고가 있으며, 이는 하지 근력 작용이 패들 성능에 유의하게 기여함을 시사한다(Nilsson & Rosdahl, 2015). 또한, 스프린트 카약을 대상으로 한 운동역학 연구에서도 하지 push - pull 작용이 발판을 매개로 체간 및 상지 근육 활성과 연계된다는 설명이 제시된 바 있다(Kristensen, 2021).

선행연구에 따르면 MG는 족관절 저측굴곡을 통해 발끝을 눌러 추진력을 생성하는 근육으로, 특히 Phase 1에서 중요한 역할을 수행하며 CKC 패턴을 구현하는 데 핵심적인 근육으로 작용한다(Farris & Sawicki, 2012). 비록 본 연구에서 MG의 근활성도 차이는 통계적으로 유의하지 않았으나, Phase 1에서 우수 그룹이 비우수 그룹보다 높은 근활성도를 보였으며 <Table 2>, 활성 시점 또한 보다 일관되게 스트로크 구간 약 20% 부근에서 나타났다(Table 4). 반면 비우수 그룹은 활성 시점이 지연되거나 불규칙하게 나타났고, 표준편차 역시 크게 나타나 근활성의 안정성이 부족함을 보여주었다. 이러한 결과는 경기 후반부와 같이 피로가 누적되는 상황에서 근육 동원의 타이밍과 일관성이 경기력 유지에 중요하다는 Garnier 등(2023)의 결과와 같다. 선행연구에서는 경기 후반부와 같이 피로가 누적되는 상황에서 근육 동원의 타이밍과 일관성이 경기력 유지에 중요하다고 보고하였으며(Garnier et al., 2023), MG가 지근섬유(type I fiber)가 풍부하여 장시간 반복 운동 시 피로 저항성이 높다고 보고된 바 있다(Shin & Sohn, 2019; Borges, Bullock & Coutts, 2013; Johnson, Polgar, Weightman & Appleton, 1973). 그러나 본 연구에서 근피로나 근섬유 타입을 직접 측정한 것은 아니므로, 우수 그룹이 지근섬유 중심의 MG를 전략적으로 활용하여 경기 후반 추진력 저하를 방지했다고 단정 짓기에는 한계가 있다. 다만 통계적으로 유의미하지는 않았음에도 우수 그룹에서 일관된 근육의 활성 패턴이 관찰되었다. 향후 경기 후반부 피로 시점과 근육 동원 전략 간의 관계를 규명할 후속 연구가 필요할 것으로 사료된다.

넙다리 근육은 전체 하지 근육의 55-60%를 차지하고 신체의 주요 힘 생성을 담당하는 파워존(Power Zone)의 핵심으로 알려져 있다(Fuller et al., 1999; Handsfield, Meyer, Hart, Abel & Blemker, 2014; Stockbrugger & Haennel, 2001). 선행연구에 따르면 넙다리 근육 중에서도 RF는 카약 스트로크에서 추진력에 기여하는 근육으로, RF에서 발생한 힘이 무릎 관절의 회전축에 거의 수직으로 작용해 에너지 손실 없이 강한 신전력을 만들어낸다(Ryue et al., 2012; Brown et al., 2010). 그러나 본 연구에서는 RF의 근활성도에서 그룹 간 유의미한 차이가 나타나지 않았으며, 우수 그룹에서 평균적인 활성도가 상대적으로 낮게 유지되는 경향을 보였다. 이는 Nemet 등 (2021)의 연구에서 RF가 주동근으로 작용하기보다 보조적인 역할을 수행하면서 움직임의 효율성과 관절 안정성 유지에 기여한다고 보고한 것과 일치하였다. 속근섬유(Type II) 비율이 높은 RF의 피로 특성을 언급하기도 하였으나(Karp, 2001), 본 연구에서 근섬유 타입을 측정하지 않았기에 이를 근거로 해석하는 것은 한계가 있다. 오히려 주목할 점은 비우수 그룹에서 나타난 높은 표준편차이다(Table 2, 3). 이는 우수 그룹은 RF의 활성도를 일관되게 낮게 유지하는 경향을 보인 반면, 비우수 그룹은 선수 간 편차가 크고 일관된 근육 활용 패턴을 보이지 않는 경향이 있었다.

결론적으로, 우수 그룹과 비우수 그룹의 차이는 근활성도의 크기 뿐만 아니라 근수축 개시 시점을 포함한 하지 근육 활용 방식에서도 다른 것으로 해석된다. 특히 통계적으로 유의미한 차이가 관찰되지 않은 RF, MG 등에서도 비우수 그룹의 표준편차가 우수 그룹보다 크게 나타났다. 이는 우수 그룹이 일관된 근육 동원 패턴을 갖는 반면 비우수 그룹은 선수 간 개인차가 크고 비효율적인 패턴을 보일 가능성을 시사한다. 이는 근육 간 협응과 동원 타이밍이 경기력 유지에 핵심적 요인임을 강조한 기존 보고들과도 일치한다(Garnier et al., 2023; Chester et al., 2008). 따라서 본 연구의 결과를 활용해 비우수 선수들의 경기력 향상을 위한 훈련 전략 수립에 기초자료를 제공할 수 있다.

이를 위해 첫째, VMO의 조기 활성화를 통한 슬관절 안정

성 확보가 강조된다. 선행연구에 따르면 고관절 내전 기반 훈련은 VMO 활성도를 높이고 VL의 상대적 우위를 줄여 슬개골 안정성을 향상시킬 수 있음이 보고되었다(Choi et al., 2011; Coqueiro et al., 2005; Jeon & Yeom 2021; Elias et al., 2009). 둘째, BF 활성화를 통한 CKC 강화가 요구된다. 카약 패들링에서 하지-체간-상지의 연계는 발판에서 발생한 추진력을 상지로 전달하는 데 중요한 역할을 하며(Nilsson & Rosdahl, 2015), 이를 위해 글루트 햄 레이즈(glute-ham raise)와 같은 훈련이 효과적일 수 있다(McAllister et al., 2014). 셋째, 하지 원위부 근육을 활용한 발판 지지력 및 피로 저항성 훈련이 필요하다. Begon, Colloud와 Sardain (2010)은 발판 지지력이 체간과 상지의 추진력 생성에 직접적으로 연결됨을 보고하였으며, 특히 지근섬유 비율이 높은 하지 원위부 근육은 경기 후반부 일관된 추진력 유지에 기여할 수 있다(Johnson et al., 1973).

이와 같은 맞춤형 훈련 프로그램은 하지 근육 간 협응성과 타이밍을 개선하고, 스트로크 효율성과 추진력 유지 능력을 향상시키는 데 기여할 수 있다. 궁극적으로 본 연구는 비우수 선수들이 기술적 한계를 극복하고 우수 그룹과의 경기력 차이를 줄이며, 국제 경쟁력을 확보하는 데 실질적인 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

CONCLUSION

본 연구 결과, 우수 그룹은 VMO의 조기 활성화를 통해 슬개골 안정성을 확보하고, VL의 상대적 과활성화를 억제하여 효율적인 하지 근육 활용 패턴을 보였다. 이러한 경향은 VMO의 시기적 활성화가 슬개대퇴관절 안정성과 부하 분산에 기여한다는 기존 연구(Chester et al., 2008; Elias et al., 2009)의 결과가 동일하다. 또한 우수 그룹은 BF를 적극적으로 활용하여 발판-하지-체간을 연계하는 CKC를 보다 안정적으로 구현함으로써 스트로크 추진력 유지에 기여한 것으로 해석된다(Nilsson & Rosdahl, 2015; Kristensen, 2021). 반면 RF, TA, MG에서는 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으나, 우수 그룹은 일관된 활성 패턴을 보였고 비우수 그룹은 개인차와 변동성이 크게 나타났다. 이러한 결과는 단순한 근활성도 크기보다는 근수축 개시 시점과 근육 간 협응 패턴이 경기력 차이를 결정짓는 중요한 요인임을 시사한다.

본 연구는 청소년 카약 선수의 하지 근육 활용 전략에 대한 기초 자료를 제시하였으나, 몇 가지 보완할 점이 있다. 첫째, 실험실 환경에서 카약 에르고미터를 활용하여 분석하였기에 실제 수상 환경에서 발생할 수 있는 다양한 변수나 불균형을 완벽히 반영하지는 못하였다. 둘째, 표본 수가 제한적이고 청소년 선수만을 대상으로 하였기 때문에 성인 선수나 다른 수준의 선수 집단으로 결과를 확장하기에는 신중할 필요가 있다.

이러한 점들을 고려할 때, 향후 연구에서는 실제 수상 환경에서의 근활성 패턴을 검증하여 본 연구의 결과를 보완할 필요가 있다. 또한 성별 특성과 다양한 연령·수준의 선수를 포함한 대규모 표본을 활용한다면 보다 일반화된 결론을 도출할 수 있을 것이다. 마지막으로, 하지 근육뿐만 아니라 체간 및 상지 근육과의 협응 양상을 함께 분석한다면 카약 스트로크의 역학적 메커니즘을 보다 통합적이고 정밀하게 이해할 수 있을 것으로 기대된다.

REFERENCES

Almansoof, H. S., Nuhmani, S. & Muaidi, Q. (2023). Role of kinetic chain in sports performance and injury risk: a narrative review. *Journal of Medicine and Life*, *16*(11), 1591.

Banks, J., Phillips, A. B., Turnock, S. R., Hudson, D. A. & Taunton, D. J. (2014). Kayak blade–hull interactions: A body force approach for self-propelled simulations. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part P: *Journal of Sports Engineering and Technology*, *228*(1), 49-60.

Begon, M., Colloud, F. & Sardain, P. (2010). Lower limb contribution in kayak performance: modelling, simulation and analysis. *Multibody System Dynamics*, *23*, 387-400.

Borges, T. O., Bullock, N. & Coutts, J. A. (2013). Pacing characteristics of international sprint kayak athletes. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, *13*(2), 353-364.

Brown, M. B. & Peters, R. (2023). Contribution of trunk rotation and abdominal muscles to sprint kayak performance. *Journal of Human Kinetics*, *90*, 5.

Brown, M., Lauder, M. & Dyson, R. (2010). Activation and contribution of trunk and leg musculature to force production during on-water sprint kayak performance. *ISBS-Conference Proceedings Archive*.

Cavazzuti, L., Merlo, A., Orlandi, F. & Campanini, I. (2010). Delayed onset of electromyographic activity of vastus medialis obliquus relative to vastus lateralis in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Gait & Posture*, *32*(3), 290-295.

Chester, R., Smith, T. O., Sweeting, D., Dixon, J., Wood, S. & Song, F. (2008). The relative timing of VMO and VL in the aetiology of anterior knee pain: A systematic review and meta-analysis. *BMC Musculoskeletal Disorders*, *9*, 64.

Choi, B., Kim, M. & Jeon, H. (2011). The effects of an isometric knee extension with hip adduction (KEWHA) exercise on selective VMO muscle strengthening. *Journal of Electro-*

myography and Kinesiology, *21*(6), 1011-1016.

Coqueiro, K. R. R., Bevilaqua-Grossi, D., Bérzin, F., Soares, A. B., Candolo, C. & Monteiro-Pedro, V. (2005). Analysis on the activation of the VMO and VLL muscles during semisquat exercises with and without hip adduction in individuals with patellofemoral pain syndrome. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *15*(6), 596-603.

Elias, J. J., Kilambi, N., Goerke, D. R. & Cosgarea, A. J. (2009). Improving vastus medialis obliquus function reduces pressure applied to lateral patellofemoral cartilage. *The American Journal of Sports Medicine*, *37*(9), 1769-1775.

Farris, D. J. & Sawicki, G. S. (2012). Human medial gastrocnemius force-velocity behavior shifts with locomotion speed and gait. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *109*(3), 977-982.

Fohanno, V., Begon, M., Lacouture, P. & Colloud, F. (2014). Estimating joint kinematics of a whole body chain model with closed-loop constraints. *Multibody System Dynamics*, *31*, 433-449.

Fuller, N. J., Hardingham, C. R., Graves, M., Screaton, N., Dixon, A. K., Ward, L. C. & Elia, M. (1999). Predicting composition of leg sections with anthropometry and bioelectrical impedance analysis, using magnetic resonance imaging as reference. *Clinical Science*, *96*(6), 647-657.

Garnier, Y. M., Hilt, P. M., Sirandre, C., Ballay, Y., Lepers, R. & Paizis, C. (2023). Quantifying paddling kinematics through muscle activation and whole body coordination during maximal sprints of different durations on a kayak ergometer: A pilot study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *20*(3), 2430.

Halabchi, F., Mazaheri, R. & Seif-Barghi, T. (2017). Patellofemoral pain in athletes: Clinical perspectives. *Asian Journal of Sports Medicine*, *8*(3), e43343.

Handsfield, G. G., Meyer, C. H., Hart, J. M., Abel, M. F. & Blemker, S. S. (2014). Relationships of 35 lower limb muscles to height and body mass quantified using MRI. *Journal of Biomechanics*, *47*(3), 631-638.

Hislop, H. J. & Montgomery, J. (1995). *Daniels and Worthingham's muscle testing: techniques of manual examination 6th edition*.

Jeon, K. & Yeom, S. (2021). Effects of kinematics and kinetics of the lower extremities joint during drop landing in adult women with patellofemoral pain syndrome. *Korean Journal of Applied Biomechanics*, *31*(1), 64-71.

Johnson, M., Polgar, J., Weightman, D. & Appleton, D. (1973). Data on the distribution of fibre types in thirty-six human muscles: an autopsy study. *Journal of the Neurological Sciences*, *18*(1), 111-129.

Karp, J. R. (2001). Muscle fiber types and training. *Strength & Conditioning Journal*, *23*(5), 21.

Kasović, M., Mejovšek, M., Matković, B., Janković, S. & Tudor, A. (2011). Electromyographic analysis of the knee using fixed-activation threshold after anterior cruciate ligament reconstruction. *International Orthopaedics*, *35*, 681-687.

Kellis, E. & Blazevich, A. J. (2022). Hamstrings force-length relationships and their implications for angle-specific joint torques: a narrative review. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *14*(1), 166.

Kim, H. & Lee, J. (2019). Effects of squat postures on muscle activation: An electromyographic analysis. *Journal of Korean Physical Therapy Science*, *31*(4), 215-222.

Kim, J. J., Lee, M. H., Kim, Y. J., Chae, W. S., Han, Y. S. & Kwon, S. O. (2005). Comparison of the maximum EMG levels recorded in maximum effort isometric contractions at five different knee flexion angles. *Korean Journal of Applied Biomechanics*, *15*(1), 197-206.

Klitgaard, K. K., Rosdahl, H., Brund, R. B., Hansen, J. & de Zee, M. (2021). Characterization of leg push forces and their relationship to velocity in on-water sprint kayaking. *Sensors*, *21*(20), 6790.

Kristensen, K. K. (2021). *Kinetics and kinematics of sprint kayaking on-water*, Doctoral dissertation, Aalborg University, Denmark.

Koh, E. K., Lee, K. H. & Jung, D. Y. (2011). The effect of isometric hip adduction and abduction on the muscle activities of vastus medialis oblique and vastus lateralis during leg squat exercises. *Korean Journal of Applied Biomechanics*, *21*(3), 361-368.

Korea Canoe Federation. (2024). Competition information - Competition records. *Seoul: Korea Canoe Federation*.

Laatikainen-Raussi, I. (2024). *Biceps femoris long head architecture and passive tissue stiffness and their relations to performance variables*.

Limonta, E., Squadrone, R., Rodano, R., Marzegan, A., Veicsteinas, A., Merati, G. & Sacchi, M. (2010). Tridimensional kinematic analysis on a kayaking simulator: key factors to successful performance. *Sport Sciences for Health*, *6*, 27-34.

Liu, L., Wang, H., Qiu, S., Zhang, Y. & Hao, Z. (2021). Paddle stroke analysis for kayakers using wearable technologies. *Sensors*, *21*(3), 914.

Markovic, G., Dizdar, D., Jukic, I. & Cardinale, M. (2007). Reliability and factorial validity of squat and countermovement jump tests. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *21*(3), 763-773.

McAllister, M. J., Hammond, K. G., Schilling, B. K., Ferreria, L. C., Reed, J. P. & Weiss, L. W. (2014). Muscle activation during various hamstring exercises. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *28*(6), 1573-1580.

McKenzie, D. & Berglund, B. (2019). *Handbook of Sports Medicine and Science: Canoeing*. Wiley Online Library.

Mikkola, S. (2012). *Comparison of acceleration and EMG signals in quantifying physical activity*.

Murtagh, M., Brooks, D., Sinclair, J. & Atkins, S. (2016). The lower body muscle activation of intermediate to experienced kayakers when navigating white water. *European Journal of Sport Science*, *16*(8), 1130-1136.

Nemet, B. K., Terebessy, T., Szőke, G. & Bejek, Z. (2021). Biomechanical motion analysis of elite flat water kayakers with special focus on footrest. *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, *65*(3), 792-797.

Nilsson, J. & Rosdahl, H. (2015). Contribution of leg muscle forces to paddle force and kayak speed during maximal effort flat-water paddling. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *11*(1).

Ryue, J. J., Nam, K. J. & Lee, C. H. (2012). Effect of saddle to pedal length in kayak ergometer on rowing motion and EMG activation in elite kayak players. *Korean Journal of Applied Biomechanics*, *22*(1), 65-73.

Shin, K. T. & Sohn, J. H. (2019). A Study on the enhancement of athletic performance by analyzing lap times in kayak 1,000 m sprint. *Journal of the Korea Convergence Society*, *10*(2), 301-307.

Stockbrugger, B. A. & Haennel, R. G. (2001). Validity and reliability of a medicine ball explosive power test. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *15*(4), 431-438.

Trevithick, B. A., Ginn, K. A., Halaki, M. & Balnave, R. (2007). Shoulder muscle recruitment patterns during a kayak stroke performed on a paddling ergometer. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, *17*(1), 74-79.