

## 엘리트 카누 및 카약 선수의 생리학적 요구와 영양 전략에 대한 고찰

### A Review of the Physiological Needs and Nutritional Strategies of Elite Canoeing and Kayaking athletes.

김태경\* (한국체육대학교/교수)

Kim, Tae-Kyung *Korea National Sport University*

#### 요약

카누 및 카약은 다양한 형태의 패들링을 포함하는 스포츠로 정의한다. 선수들은 스트로크를 위한 상완근, 코어 및 복근의 발달이 요구되고, 세부종목에 따라 산소의 활용이 절대적으로 필요한 고강도의 종목이다. 엘리트 카누 및 카약 선수는 체지방률이 낮고 상체 지구력이 높으며, 폭발적인 무산소 파워 및 지속적인 최대근력을 갖는 것이 특징이다. 카누 및 카약은 고강도의 유, 무산소 대사 시스템이 복합적으로 작용하는 레이스 스포츠로써, 생리학적 특징을 분석하여 에너지원을 제시해야한다. 또한, 카누 및 카약과 같은 고강도의 지구성 운동은 연속적인 에너지 시스템에 모두 포함이 되어 있다는 특징이 있다. 에너지원의 기여도는 운동시간과 근육량에 절대적으로 영향을 받기 때문에, 세부종목에 따른 에너지 프로파일 분석은 훈련 프로그램 설계에 필수적이다. 엘리트 선수의 회복과 경기력 향상에는 주기적인 훈련기간 동안 적절한 영양 상태를 지속적으로 유지하는 것이 중요하다. 따라서 본 고찰을 통해 카누 및 카약 종목의 에너지 요구를 요약하고 생리적 특성을 조사하여 경기력을 향상시키는 영양학적 전략을 제안하고자 한다.

핵심 단어: 카누, 카약, 생리학적 요구, 영양전략, 경기력

#### Abstract

Canoeing and kayaking are defined as sports that include various forms of paddling, and players are required to develop upper arms, core, and abdominal muscles for strokes. Canoeing and kayaking are high-intensity sports that absolutely require the use of oxygen, depending on the specific type of sport. Elite canoeing and kayaking athletes are characterized by low body fat, high upper body endurance, explosive anaerobic power, and sustained maximal strength. Canoeing and kayaking are race sports in which the high-intensity, aerobic and anaerobic metabolic systems work together, and their physiological characteristics must be analyzed to suggest energy sources. Additionally, high-intensity endurance sports such as canoeing and kayaking have the characteristic that they are all included in a continuous energy system. Because the contribution of energy sources is absolutely influenced by exercise time and muscle mass, energy profile analysis for each specific event is essential for training program design. For elite athletes to recover and improve performance, it is important to maintain adequate nutrition during regular training periods. Therefore, through this review, we would like to summarize the energy requirements of canoeing and kayaking sports, investigate their physiological characteristics, and propose nutritional strategies to improve performance.

Key words: Canoe, Kayak, Physiological Energy Needs, Nutritional Strategies, Athlete's performance

\* spt21@knsu.ac.kr

## I. 서론

카누 및 카약은 경기 유형과 이동 거리에 따라 다양한 신체 기능을 요구하는 상체 스포츠이다(Shephard, 1987). 카누 및 카약은 패들을 사용하여 물의 저항을 이용하므로, 패들을 저을 때마다 등, 가슴, 어깨, 팔 등의 근육을 포함한 모든 코어가 자연스럽게 강화되어 근력이 크게 증가하고, 유연성을 향상시킬 수 있는 충격이 적은 운동 중 하나이다. 다른 엘리트 종목에 비해 카누 및 카약은 패들링을 기반으로 그 범위가 매우 다양하다. 가장 잘 알려진 종목으로는 직선 코스의 스프린트(200m, 500m, 1,000m)가 있으며, 변화할 수 있는 자연환경을 기반으로 한 슬라롬(200-300m), 와일드워터, 프리스타일, 오션 레이싱 등이 있다. 이외에도 2-3시간 정도 소요되는 카누 마라톤과 팀을 나누어 골대에 공을 넣는 패들링을 적극 활용한 폴로카누 종목도 알려진다.

모든 스포츠는 종목의 특성에 따라 필수로 가져야 하는 능력이 요구된다. 그 중에서도 특히, 카누 및 카약은 선수 개인이 추진 도구인 패들을 이용하여, 부력을 제공하는 보트를 조정하고, 물의 저항을 이용해야하는 반복적인 종목이므로, 이 모두를 높은 수준으로 작동할 수 있기 위해서는 잘 조절된 신체조건과 신체 구성이 필수적이다. 최고의 카누 및 카약 선수들은 근육에 산소를 효율적으로 공급하고, 폭발적이고 지속적인 최대근력을 갖추기 위해서 공통적으로 넓은 상완근과 코어에 집중된 강한 몸통 및 긴 팔을 가지고 있다. 엘리트 카누선수의 체지방 비율 역시 남성의 경우 약 7%~10%, 여성의 경우 10%~14%로 나타났다(Csaba, 2014). 엘리트 운동선수가 종목에 따른 이상적인 체지방률을 유지하기 위해서는 에너지 섭취와 소비 사이의 균형에 집중해야 한다. 상체 근력이 뛰어난 것으로 알려진 다른 운동 선수 그룹과 비교하여 카약 선수는 어깨 힘과 지구력이 높은 것으로 나타났으며(Shephard, 1987; Tesch, 1983), 무산소 에너지 시스템의 성공적인 활용이 경기력 향상을 위해 중요한 요인으로 알려진다(Michael et al., 2008).

카누 및 카약은 다양한 경기 유형과 세부종목에 따라 에너지 요구량이 변화하며, 유산소 및 무산소 시스템이 복합적으로 작용한다. 에너지 프로파일은 패들링 거리 및 시간에 따라 다양하다. 500m 및 1000m 거리는 유산소 시스템이 우세한 반면(상대적 유산소 기여도, Relative energy contribution of the aerobic, WAER%, 57.8% 및 76.2%), 200m에서는 무산소 시스템이 우세하다(상대적 유산소 기여도, WAER%, 31.1%~32.4%). 또한 유산소 시스템은 경기 시작 30-40초 후에 카약 종목 에너지 기여도의 대부분을 지배하고 있을 것으로 알려진다(Li, 2014).

엘리트 스포츠 선수의 영양학적 특성은 신체 부하, 운동 형태에 수반되어 나타나는 에너지 요구량에 따라 다르므로 운동선수가 아닌 사람들과 비교할 때 종목에 따라 구체적이고 과학적인 분석이 요구된다. 특히 카누 및 카약과 같은 고강도 종목은 훈련 기간 동안 적절한 영양 상태를 지속적으로 확보하는 것이 회복

과 경기력에 매우 중요하다(Beck et al., 2015).

따라서 본 고찰을 통해 1) 카누 및 카약 종목의 훈련 및 경기 종목에 따른 에너지 요구사항을 요약하고, 2) 엘리트 카누 및 카약 선수의 생리학적, 영양학적 특성을 조사하여, 3) 카누 및 카약 훈련 및 경기력 향상에 요구되는 권장사항을 제공하고 이를 논의하고자 한다.

## II. 카누 및 카약 종목의 생리학적 배경

카누 스프린트 종목은 1936년 올림픽에서 첫선을 보인 이후 80년 이상의 오랜 역사를 가지고있다. 올림픽 카누 스프린트는 카누 스프린트와 카약 스프린트로 구성되었으며, 처음 채택된 이래 4개 종목(500m, 1000m, 10,000m, 200m)이 출전했다. 이후 10,000m는 1960년에 취소되었고, 200m는 2009년에 새로운 종목으로 구성되어, 현재 올림픽 카누 스프린트에는 12개 종목이 경쟁한다. 1948년부터 2013년까지 남자 카약 개인 1000m(MK1-1000)와 여자 카약 개인 500m(WK1-500)의 경기 결과를 예를 들어 보면, MK1-1000 및 WK1-500의 레이스 결과는 각각 32.5% 및 42.1% 기록이 향상되었으며, 이는 10년마다 5.0% 및 6.5% 증가, 각 올림픽 주기마다 각각 2.0% 및 2.6% 증가를 보여주었다. 카누 스포츠의 성능 수준은 레이스 결과에서 알 수 있듯이 엄청난 향상을 보여주었고, 이러한 카누 종목의 향상은 인체측정, 생리학, 장비, 훈련 및 진단 등 다양한 요인에 기인할 수 있다. 그 중 인체학적 발달과 생리학적 지식은 훈련 철학을 정립하는 데 기반이 되었기 때문에 무엇보다 중요한 역할을 해왔다.

카누 스프린터는 인간의 인체학적 발달과 함께 지난 수십 년 동안 키가 커지고, 신체 구성 또한 많은 변화를 보였다. 다양한 국가 대표팀의 카누 단거리 선수들의 인체학적 및 생리학적 특성 중 예를 들어, 스페인과 영국 남성 카약 선수의 평균 키와 몸무게는 183cm와 86kg(Garcia et al., 2010), 183cm와 85kg(Van & Palmer, 2003)이며, 또한 일부 국가 대표팀에는 키가 더 큰 패들러가 존재한다. Cole이 보고한 바와 같이, 대부분의 유럽 성인 인구의 키는 19세기 이후 10년마다 10-30cm씩 증가했으며(Cole, 2000), 이는 더 키가 크고 더 강한 노를 젓는 사람들을 모집하는 것이 가능했음을 의미한다. 뿐만아니라, 국제 패들러의 체질량과 최고산소섭취량(Peak Oxygen Consumption,  $VO_{2peak}$ )간의 양의 상관관계를 나타내며(Garcia et al., 2010), 인체측정의 증가는 지난 수십 년 동안 카누 스프린트에서 경기 결과의 발전 원인 중 하나가 될 수 있다는 점을 시사한다. 이와 같이, 세계 카누 단거리 선수들의 인체학적 발달은 국가 대표팀 간의 경기력 수준의 편차로 이어짐을 예상할 수 있으나, 구체적이고 과학적인 상관관계 분석은 여전히 부족할 실정이다. 이는 국제 패들러들로부터 많은 양의 데이터를 수집한다면 인체 측정의 발전 추세에 대한 보다 신뢰할 수 있는 정보가 가능할 것이다.

카누 스프린트의 생리학에 대한 광범위한 조사는 1970년대

까지 존재하지 않았다. 1976년에 카누 스프린트의  $VO_{2peak}$ 가 러닝머신에서 5.4 L/min이며, 500m 및 1000m 최대 패들링 후 혈액 젖산값이 각각 13.2mM 및 12.9mM임이 처음으로 보고되었다(Tesch et al., 1976). 그러나 물 위에서 휴대용 폐활량계를 사용하는 기술의 부족과 신뢰할 수 있는 카누 및 카약 에르고미터의 부족으로 인해 카누 스프린트에 대한 생리학적 정보는 매우 제한적일 수밖에 없었다. 일반적인 생리학적 연구는 사이클링 에르고미터(Pyke et al., 1973) 또는 가스 분석 기술(Tesch et al., 1976) 등과 같은 에너지 계산 및 에너지 프로파일에서 시작된다. 카약 에르고미터는 단기간의 고강도 카약의 생리적 요구를 시뮬레이션할 수 있는 대표적인 측정도구이다(Van et al., 2000). 이러한 방법을 응용하여, 카누 스프린트의 에너지 프로파일의 경우, 카누 스프린트의 세 가지 모의 경주 거리(200m, 500m 및 1000m)에서 상대 유산소 기여도(WAER %)의 방법을 주로 사용하였고, 에르고미터는 최대 누적 산소 결핍(Maximal Accumulated Oxygen Deficit, MAOD)의 에너지 계산 방법을 사용하여 생리학적 결과를 제공하였다.

카누 스프린트의 생리학적 특성 중 각 종목 경기에서의 에너지 기여도에 대한 지식은 매우 중요하다. 1970년 Astrand와 Rodahl이 제공한 데이터에 따르면 대근육이 관여된 2분 최대 운동 동안 에너지 공급의 50%는 유산소 대사 경로에서 비롯되었다고 한다(Astrand & Rodahl 1970). 따라서 마무리 시간이 약 2분과 4분인 500m와 1000m 카누 스프린트의 상대 유산소 기여도(WAER %)는 약 50%와 70%인 셈이다. 반면에 카누 및 카약 에르고미터를 사용한 카누 스프린트의 에너지 기여도에 대한 첫 번째 조사 결과에 따르면, 최대 2분 및 4분 패들링에서 WAER %가 60% 이상 및 80% 이상인 것으로 나타났다(Byrnes & Kearney, 1997). 이는 Astrand와 Rodahl이 제공한 데이터가 카누 스프린트 경기 시 최대 운동에서 WAER %를 과소평가했음을 의미한다(Gastin, 2001). 이후, WAER % 평가 내 에너지 공급 계산에 도입된 방식(최대 누적 산소 결핍; MAOD)으로 카누 및 카약 스포츠에서 WAER %에 대한 지식이 실제 생리학적 특성에 더 가까워진 반면, 방법에 대한 논쟁도 존재하게 되었다(Bangsbo, 1992). 일부 사례 연구에서는 최대 누적 산소 결핍(MAOD)이 축적된 산소 결핍(Oxygen Deficit, OD)을 결정하는 원리 때문에 혐기성 에너지 생산을 과소평가할 수 있음을 발견하기도 하였다(Bangsbo et al., 1990; Bangsbo et al., 1993; Bangsbo, 1998). 이외에도 에너지 기여도나 다양한 패들링 조건(에르고미터 vs 물) 역시 WAER %의 변동에 잠재적인 요소로 알려진다.

WAER %는 기본적인 생리학적 지식이므로 WAER %를 과소평가하게 되면, 결국 선수들의 유산소 지구력 훈련이 부족하게 이루어져 경기력에 직접적으로 영향을 미친다. 따라서, 이러한 분석 결과를 훈련에 반영하여 1990년대 초부터 독일 카누 단거리 선수들은 유산소 강도 구간에서 수중 훈련량의 75% 이상으로 훈련하였음을 보고하였고(Englert & Kiessler, 2009; Kahl, 1997), 이후 WAER %는 다양한 연구 등을 통해서 측정

되었다(Bishop, 2000; Nakagaki et al., 2008; Zamparo et al., 1999). 결과적으로, 카누 스프린트의 유산소 에너지 기여도에 대한 새로운 지식이 훈련 중 유산소 능력을 강조하게 하고, 이는 지난 수십 년 동안 경기력의 발전에도 기여했음을 알 수 있다.

또한, 다른 측면에서 에너지 프로파일의 분석에는 최대 젖산 정상 상태(Maximal Lactate Steady State, MLSS)와 에너지 비용(Energy Cost, C)이 포함된다. MLSS는 지속적인 젖산의 축적 없이 유지될 수 있는 가장 높은 작업 부하 상태를 말하며(Beneke, 1995; Heck et al., 1985), C는 단위 거리당 소모된 휴식 수준 이상의 에너지량으로 정의된다(Cerretelli & Di Prampero, 1990). MLSS는 주어진 움직임 패턴이 관련 근육량에 의존하는 것으로 보고되고 있다(Beneke, 2003). 카약의 경우 움직임의 패턴과 근육량이 경기력에 절대적으로 영향을 미치는 종목임에도 불구하고, MLSS를 강조한 연구는 거의 찾아볼 수 없다. C 역시도 수영(Capelli et al., 1998), 달리기, 자전거타기(Di Prampero, 1986)와 같은 운동에서 에너지 프로파일 분석에 사용되고 있으나, 카누 및 카약 종목에서는 구체화되고 있지 않다. 이외에도 에너지 계산 방법, 패들링 상태(물 위 vs. 에르고미터), 패들러의 성능 수준, 동기 부여, 근섬유 구성 등을 포함하여 여러 가지 요인이 에너지 프로파일 결과에 영향을 미치는 것으로 보고되었다.

### III. 엘리트 카누 및 카약 선수의 생리학적 적응과 훈련

카누 및 카약 스프린트 종목의 경우, 2012년 올림픽 기간 동안 6개 종목의 결승점 기록을 살펴보면 222.1초(카누 남자 1000m), 210.1초(남자 카약 1000m), 113.2초(카약 여자 500m), 45.5초(카약 여자 200m), 43.4초(카누 남자 200m), 36.8초(카약 남자 200m)이다. 거리와 경기 시간을 고려할 때, 카누 및 카약 스프린트의 대사 에너지 시스템의 활용은 200m의 무산소에서 1000m의 유산소까지 다양한 특징을 가진다(Byrnes & Kearney, 1997; Nakagaki et al., 2008; Zamparo et al., 1999; Zouhal et al., 2012). Beneke et al. (2002)은 빠른 산소 부채와 순 혈중 젖산 성분을 기반으로 운동 중 에너지 생산을 계산하는 또 다른 방법을 도입했으며, 이 방법은 가라테(Beneke et al., 2004; Bussweiler & Hartmann, 2012), 복싱(Davis et al., 2013) 및 기타 스포츠(Bernardi et al., 2007; Bertuzzi et al., 2007)에 적용되기도 하였다. 카누 및 카약 스프린트 경기에서 다양한 거리의 에너지 대사 프로파일을 이해하는 것은 훈련 전략을 개발하는 데 중요한 정보를 제공할 수 있다.

카누 폴로 경기는 10분씩 2피리어드로 구성되며 피리어드 사이에 3분 휴식이 있으며, 경기는 각각 5명의 선수로 구성된 두 팀 사이에서 진행된다. 이와 같이 카누 폴로는 두 개의 10분 하프 구성된 고강도의 간헐적 팀 스포츠이며, 카누 폴로 경기의 69%는 인공호흡기 임계치 이상에서 진행되는 것으로 알려 진



다. 이와 같은 운동 강도와 간헐적 특성으로 인해 아데노신삼인산 (Adenosine Triphosphate, ATP)의 재 인산화는 비 산화 및 산화 에너지 시스템을 동시에 사용하여 발생시키는 특징을 가진다. 따라서, 카누 폴로의 생리학적 목표는 유산소 및 무산소의 힘과 능력을 향상시키고 근력과 근지구력을 증가시켜 카누 폴로 특정 기술을 향상시키는 것이다. 카누 폴로 선수가 체지방률이 낮고 상체 유산소 및 무산소 파워가 높은 이유가 여기에 있다. 카누 폴로 선수의 일주기 훈련을 살펴보면, 3~5회의 패들링 및 전술 훈련 세션(1~2시간 이상 소요), 2~3회의 저장 훈련 세션(세션당 1시간), 1~2회의 교차 훈련(일반적으로 달리기)으로 이루어져 있다. 이는 기술 훈련을 제외한 각 훈련의 세션이 다양하고, 신경 근력 발달과 지구력을 동시에 포함하고 있음을 보여준다. 카누 폴로 선수는 훈련 주기 동안 경쟁을 위해 여러 번 최고의 체력에 도달해야 한다. 전문 카누 폴로 선수들 사이에서 긴 경기 일정 동안 특정 컨디셔닝 프로그램을 수행하는 데 “시간 부족”이 가장 일반적인 장애이라는 점을 고려할 때, 이러한 선수들은 단기간에 높은 수준의 경쟁 체력을 달성하기 위한 특정 운동 프로그램이 필요하다.

정기적인 지구력 훈련(Endurance Training, CET)은 운동 능력 향상을 촉진하는 혈액학적, 생화학적 및 생리학적 적응을 유도시킨다(Gibala et al., 2006; Helgerud et al., 2007; Laursen, 2010; Little et al., 2010). 이러한 적응은 신체 활동 증가가 심폐 건강 개선, 만성 질환의 위험 감소, 강화된 면역 체계 및 전염병에 대한 저항력(Fisher et al., 1985)과 연결되어있기 때문에 상당한 임상적, 과학적 관련성을 가지고 있다. 유산소성 대사를 향상시킬 수 있는 훈련 프로그램은 최소 6주 이상의 기간을 기반으로 하며, 이러한 프로그램은 지속적인 지구력 훈련으로 이루어진다(Rodas et al., 2000). 고강도 인터벌 트레이닝(High Intensity Interval, HIIT)은 단기간에 유산소 및 무산소 성능을 향상시키기 위한 지구력 훈련의 대안이 될 수 있고, 대부분의 연구에서 반복된 Wingate 테스트로 구성된 훈련 프로토콜을 사용하기도 하였다(Boutellier, 1998; Damgaard et al., 2005; Guiraud et al., 2013; Macpherson et al., 2011).

다양한 유형의 고강도 인터벌 트레이닝(HIIT)은 경기력의 성과 및 관련된 생리학적 및 생화학적 변수를 개선하는 데 효과적이고(Farzad et al., 2011; Guiraud et al., 2013; Laursen, 2010; Lemaitre et al., 2013), 잘 알려진대로 트레이닝 적응 속도는 훈련의 양, 강도 및 빈도에 따라 매우 가변적이다(Wells et al., 2005). 이전 연구들에서는 광범위한 스포츠(Esfarjani & Laursen, 2007; Laursen & Jenkins, 2002) 중목 훈련시 HIIT 후에 유산소 능력과 무산소 능력이 모두 향상될 수 있으며, HIIT는 골격근 대사 적응을 유도하고 기능적 운동 능력을 향상시키는 강력하고 시간 효율적인 전략(Macpherson et al., 2011)임을 보고하였다. 고강도 인터벌 트레이닝은 총운동량이 지구력 훈련(CET)에 비해 75% ~ 90% 더 낮음에도 불구하고, CET와 유사한 수많은 생리적 적응을 유

도한다(Laursen, 2010; Little et al., 2010; Parra et al., 2000). 또한 고강도 인터벌 트레이닝은 중강도 연속 운동보다 심장 및 근육 기능, 대사 조절 지표 및 내피 기능(Guiraud et al., 2013)에 더 우수한 효과가 있는 것으로 알려진다.

카누 폴로는 대부분의 다른 팀 스포츠와 달리 미리 정해진 위치가 없기 때문에 모든 선수가 다양한 기술(예: 드리블 피벗, 패스, 구르기, 슈팅)과 신체 능력(속도, 힘, 유산소 능력, 근지구력/강도)을 개발해야 한다. 또한, 카누 폴로 경기는 짧은 시간 동안 중 저강도 패들링이 산재되어 있고, 고강도의 폭발적인 경기력이 포함되어 있다(Alves et al., 2011; Forbes et al., 2013). 이와 같이 카누 폴로 경기에서는 폭발적인 활동과 유산소 능력이 모두 필요하기 때문에 코치가 선수의 이러한 능력을 동시에 향상시키는 것이 주된 훈련의 관심사일수 밖에 없다.

적당한 강도의 운동은 면역 체계를 자극하고 전염병에 대한 저항력을 향상시키지만, 과도한 양의 장기간 운동은 면역 기능을 손상시킬 수 있으며 심한 신체적 스트레스 후에 발생하는 일시적인 면역 억제의 모델이 될 수 있다고 보고된다(Fisher et al., 1985; Pedersen & Hoffman, 2000). 이것은 프로 운동 선수들에게 매우 우려되는 사항인데, 경미한 감염도 운동 능력 저하와 힘든 훈련을 지속할 수 있는 능력을 저하시킬 수 있다는 것이 잘 알려져 있기 때문이다(Gleeson, 2007). 훈련된 운동선수에게 다양한 유형의 HIIT 후에 발생하는 생리학적 적응에 대해 직접적으로 관련된 데이터가 부족하기 때문에 잘 훈련된 운동선수의 면역 기능, 혈액학적 적응을 개선하는데 어떤 HIIT 프로토콜이 더 효과적인지 명확하게 아는 것이 필요하다.

카누 폴로 선수에게 점진적(세션별)으로 강도 및 운동량을 증가시키는 프로그램을 3주간 적용한 결과, 호기성, 무산소성 능력이 향상되는 것으로 보고되었다. 또한, 남성 카누 폴로 선수를 대상으로 3주 동안 주당 3회의 60분 패들링 세션(75%  $VO_{2peak}$ ; 최고산소섭취량)과 다양한 볼륨(각각 첫 번째 세션부터 아홉 번째 세션까지 세션당 6, 7, 8, 9, 9, 9, 8, 7, 6회 반복)과 강도(각각 100, 110, 120, 130, 130, 130, 120, 110, 100%  $VO_{2peak}$ )의 인터벌 패들링 반복을 비교하였다. 그 결과 고강도 인터벌 트레이닝 훈련은 사전 테스트와 비교하여 최고 산소 섭취량( $VO_{2peak}$ )과 환기 역치(Ventilatory Threshold, VT)에서의 심박수가 유의하게 증가하였고, 최고 및 평균 무산소 출력, 총 테스트스테론, 평균 혈소판 용적, 평균 적혈구 헤모글로빈 농도, 적혈구 분포 폭 및 림프구 세포 수 역시 증가하였다(Sheykhlovand et al., 2018). 이 연구에서 패들링 기반 HIIT가 3주 동안 면역 체계에 부정적인 영향을 미치지 않으면서 유산소 능력과 호흡 조절 능력을 향상시킨다는 것을 보여주었다.

격렬한 운동이 혈액의 농축을 유발할 수 있다는 것은 잘 알려진 현상이다. 신체 활동은 신체에 많은 생리적 변화를 일으키기 때문에 여러 가능성이 존재하고, 그 과정 역시 복잡하거나 다원적일 가능성이 높다. 운동 중 근육 내에 대사물들의 농도는 증가 되고, 대사물의 변화로 인해 혈액 삼투압의 구배를 향상시킬

수 있다(Poortmans et al., 1978). 결국, 이는 자율신경계 활성, 동맥압의 증가 및 혈장이 간질 공간으로 여과되는 결과를 가져 온다(Sjogaard & Saltin, 1982). 강렬한 운동 중 아드레날린성 수축으로 인해 농축된 적혈구 역시 혈액 농축에 기여하고(Schagatay et al., 2020), 혈액 농축을 통해 증가된 적혈구 수는 ATP뿐만 아니라 내피 혈관 확장 일산화 질소(Nitric Oxide, NO) 합성을(Stamler et al., 1997) 직접적으로 증가시켜 말초 혈관 저항을 국소적으로 감소시킬 수 있다(Gonzalez et al., 2002). 또한, 혈관을 활성화시키는 아드레날린성 조절 외에도 모세혈관 저항 세동맥을 확장시켜 근육의 혈류를 증가시킨다. 생리학적인 혈액 농축의 결과로 격렬한 운동 중에 헤모글로빈 수치가 증가하여, 근육 세포로의 산소공급이 개선되면 근육이 보다 경제적으로 기능을 할 수 있게 되는 것이다. 따라서, 수분이 부족한 상태에서 생리학적인 혈액 농축은 운동 수행능력을 증가시킬 수 있으며 체액 보충은 단기간의 고강도 운동 시 수행능력을 저하시킬 수도 있다고 알려진다(Holland et al., 2017).

물론 극도로 덥거나 습한 환경에서 장기간 운동이나 훈련을 하는 동안에는 혈관 내 혈액 농도는 계속 증가하게 되는데, 이때는 탈수로 인해 혈액 농축의 적응 효과가 점차 사라지고 성능이 저하되거나, 경우에 따라서 건강 손상이나 위험한 상태가 발생할 수 있다. 체중의 2% 이상에 해당하는 총 체수분 손실은 장기간 최대 이하 운동에서 성능을 크게 저하시킬 수 있으며(Sawka, 1992; Sawka et al., 2001), 근력 및 기능 감소를 유발할 수 있다(Belval et al., 2019). 열 탈수 동안 근육 세포막을 가로지르는 수분의 재분배는 주로 삼투 구배와 이온 펌프의 활동에 따라 달라지는데(Sawka, 1992; Senay & Pivarnik, 1985), 흥미로운 것은 이 외부 열에 의한 탈수 효과가 운동과 결합되면 근육 활동으로 인한 대사 변화로 인해 골격근 조직으로의 수분 이동을 조절할 수 있다는 것이다. 결국, 생리학적 관점에서 혈액 농축 현상이 얼마나 오래 지속되고, 그것이 스포츠 수행에 얼마나 유익한가를 인지하고 있는 것이 중요하다. 몇몇 연구에서는 농축된 헤모글로빈과 헤마토크릿이 단기간 무산소 운동 30분 후에 휴식 수준으로 돌아간다는 것을 보여주었다(Kordi, 2016; Komka et al., 2022). 뿐만 아니라, 운동으로 인한 혈액 농축에 관한 연구는 고강도 인터벌 트레이닝(HIIT) 후에도 보고되고 있다. HIIT 직후 헤모글로빈과 헤마토크릿 수치가 증가하고 운동 3시간 후 휴식 수준으로 돌아가기 시작하며 운동 6시간 후에야 완전히 휴식 수준으로 돌아오므로 운동 강도에 따라 과잉 보상이 발생할 수 있다고 보고된다

(Belviranli et al., 2017). 최근 엘리트 카누 및 카약 선수 12명을 대상으로 120분의 다이내믹한 유산소 운동을 적용한 후 혈액 농축, 탈수 및 혈액 희석에 관해 연구하였다. 그 결과 탈수는 회복기간 동안 혈액 농축 또는 혈액 희석에 영향을 미치지 않았으며, 혈장 삼투압은 탈수 그룹에서 헤모글로빈 및 헤마토크릿의 감소와 일치하지 않았다. 따라서, 대사산물(포도당, 젖산염, 나트륨, 칼륨, 염화물, 중탄산염 이온, 혈액 요소 질소) 유도 삼투압은 혈액 농도 및 운동 후 혈액 희석 조절에 중요한 역할을 하지 않을 수 있으며, 특히, 혈액 농축이 운동의 강도에 주로 의존한다고 보고되었다. 즉, 탈수와 혈액 농축 및 혈액 희석 정도를 운동 종목의 특성에 따라 조사하는 것이 필요하다.

#### IV. 엘리트 카누 및 카약 선수의 영양상태와 요구량

적절하고 균형 잡힌 식단은 운동선수의 건강 및 신체 작업 능력 지표를 향상시키고 오래 지속되는 신체 부하로 인한 신체장애 및 부상을 줄이는 데 도움이 된다. 따라서 에너지 섭취와 소비 사이의 균형은 운동선수의 주요 관심사이다. 엘리트 카누 및 카약 선수를 효과적으로 관리하기 위해서는 그들의 영양 상태와 신체발달 및 이들 간의 상호관계에 대한 연구가 선행되어야 한다.

유럽 및 세계 선수권대회에서 우승한 12명의 카누 및 카약 선수들의 체성분 및 신체발달을 다주파 생체전기임피던스 분석법(Bioelectrical Impedance Analysis, BIA)을 이용하여 분석한 결과, 체지방지수(Fat Mass Index, FMI)는 평균에 불과했다. 남자 선수의 경우 발달된 근육량에 비하면 상대적으로 높은 체지방수준을 보인다고 보고하였다. 따라서 더 많은 근육량을 보유해야 하는 엘리트 카누 및 카약 선수는 지방과 단백질, 필수 아미노산, 비타민 B(B1, B6, B9) 및 마그네슘이 풍부한 음식을 섭취하여 근육의 발달을 증가시켜야 한다. 또한, 이 선수들의 식이 에너지 섭취는 에너지 소비를 완전히 커버하지 못하였으며, 식단에 탄수화물, 식이 섬유, 오메가-3 지방산, 비타민 D가 부족하고 지방, 포화 지방산 및 콜레스테롤이 너무 많음을 보고하였다. 92%의 선수들이 보충제를 섭취하고, 대부분 선수의 건강 보조 식품에는 탄수화물(73.9%), 아미노산(73.9%), 미네랄(73.9%), 비타민(65.2%) 및 종합 비타민(65.2%)이 포함되나, 엘리트 카누 및 카약 선수의 영양 상태와 신체발달은 에너지 요구사항을 충족시키지 못하였다(Baranauskas et al., 2014). 따라서, 식단을 개인과 카누 및 카약 종목의 특성에 맞게 최적화시켜야 한다(정종환 등, 2018). 예를 들어 훈련시에 선수의 신

표 1. 카누 및 카약 종목에 따른 에너지원 공급

경기시간 (분)	경기 종목	최대산소섭취량 (Approx. %VO <sub>2max</sub> )	에너지 기여도 (%)		
			포스파겐 분해 (Phospho)	비산화적 해당과정 (Glycolysis)	산화적 인산화 (Oxidative)
1.5 - 2	500-m canoe/kayak	113 - 130	~5	~29 - 45	~50 - 66
3 - 5	1000-m canoe/kayak	103 - 115	~2	~14 - 28	~70 - 84
5 - 8	2000-m rowing	98 - 102	<1	~ 10 - 12	~88 - 90



체발달을 향상시키고, 신체적 부하에 대한 적응력을 최대화하기 위해서 지방 섭취를 줄이면서 탄수화물 섭취를 2배로 하고, 고단백 식이로 구성된 식단을 권장하기도 한다.

1000m 종목의 세계 챔피언, 유럽 챔피언 및 런던 올림픽 은메달리스트인 남성 카약 선수의 시합 전 7일의 준비기간 동안 음식 섭취량을 조사하였다. 일일 평균 에너지 섭취량은  $3174 \pm 306$  kcal이고, 이 중 탄수화물 섭취량은  $47.8 \pm 9.3\%$  ( $4.4 \pm 1.2$ g/kg/day), 단백질  $20.8 \pm 4.3\%$  ( $1.9 \pm 0.3$ g/kg/day), 지방섭취량은  $31.4 \pm 5.2\%$  ( $1.3 \pm 0.2$ g/kg/day)이며, 섬유질 평균 소비량은  $23.6 \pm 9.2$ g/day이었고 콜레스테롤은  $638 \pm 218$ g/day이었다. 요오드와 폴리비타민을 제외한 매크로 미네랄 섭취량은 일반인의 식이 참조 섭취량(Dietary Reference Intakes, DRI) 이내였다. 또한, 수용성 비타민은 권장량 이내였고, 지용성 비타민과 베타카로틴은 운동선수 권장량 이하였으며, 오메가-6/오메가-3 지방산의 불균형 비율이 관찰되었다(Rodrigues et al., 2022). 이 엘리트 카약 스프린터는 훈련 요구사항에 적합한 칼로리 섭취량을 가지고 있으나, 종목에 따른 식이 권장 사항을 달성하기 위해서는 지방 섭취를 줄이고 탄수화물을 늘리는 것이 촉진되어야 한다. 또한, 보충제를 이용하여 지용성 비타민과 베타카로틴의 낮은 섭취량을 보완해야 하는 지침이 필요하다.

에너지 시스템 및 신체 연료 활용에 대한 기전이 결국 영양 권장 사항의 구조를 결정하게 된다. 따라서 다양한 에너지 시스템과 아데노신 삼인산(ATP) 생성에 필요한 연료에 대한 이해는 반드시 고려되어야 한다. ATP를 제공하는 에너지 시스템은 크게 포스파겐 분해, 비 산화적 해당작용(“혐기성” 해당작용), 산화적 인산화(“호기성”대사)으로 나뉜다(표 1). 탄수화물은  $75\% \text{VO}_{2\text{max}}$  이상의 고강도 운동을 위한 연료의 대부분을 제공할 뿐 아니라, 비 산화적 해당 과정과 산화적 인산화 모두에 사용되는 연료이며, 반면에 지방은 산화적 인산화를 통해서만 대사되어진다. 산화적 인산화는 주로 Type I 근육 섬유를 활용하여 저장도 운동 중에 ATP 공급의 대부분을 제공한다. 그러나 운동 강도가 증가하는 동안 산화적 인산화에 의한 ATP 생산이 ATP 가수분해 속도와 일치하지 않을 때 ATP 공급에 부족한 부분은 기질 수준 인산화에 의해 충족된다. 포스파겐 이용과 근육 글리코겐 및 혈장 포도당의 대사를 통해 에너지를 공급하고, 젖산 형성과 함께 해당 경로를 통해 에너지를 제공한다. 에너지 수요가 매우 높은 파워 스포츠에서 Type IIb 근육 섬유는 포스파겐 분해 및 해당작용을 통해 ATP 공급이 유지되므로 극한 수준의 젖산 생산으로 이어진다. 따라서 파워 운동선수는 다양한 형태의 운동 강도로 이어지는 훈련에 맞는 대사 요구량을 처리해야만 한다. 그러기 위해서 더 큰 근육 완충 능력, 인산의 결합력, 탄수화물 및 지방의 다양한 혼합을 활용하는 고도로 발달된 에너지 생성 경로를 가지고 있어야 한다. 대부분의 엘리트 파워 스포츠 선수는 최대 10분 동안 지속되는 레이스에서 최대 산소 섭취량( $\text{VO}_{2\text{max}}$ )의 이상에서 매우 높은 에너지 생산 속도( $20\text{kcal/min}$ )를 유지할 수 있으나, 운동 후 혈중 젖산 농도는

$20\text{mmol}$ 을 초과한다. 이러한 운동선수는 에너지 시스템의 연속체를 활용한 ATP 생산으로 에너지 요구사항을 충족하고 내생적으로 저장된 연료에 전적으로 의존한다고 볼 수 있다. 운동 전 낮은 수준의 근육 글리코겐은 고강도 운동선수의 에너지 활용 성능을 감소시키므로 일일 탄수화물 섭취는 훈련 및 경기 단계 전반에 걸쳐 강조되어야 한다. 또한, 단백질 섭취의 시기, 유형 및 양이 운동 후 회복 및 적응에 영향을 미친다는 다양한 연구결과가 보고된다. 대부분의 파워 스포츠는 근육 글리코겐 재합성을 최적화하는데 초점화되어 보다 공격적인 영양 회복 전략을 특징으로 한다.

에너지 및 영양학적 요구사항은 개인에 따라 어느 정도 차이가 있지만, 높은 수준의 제지방 근육량을 유지하는 카약 패들러의 경우 많은 양과 빈도의 훈련량을 충족해야하기 때문에 매우 높은 편이다. 이는 최고 수준의 훈련과 경쟁적 스포츠는 에너지 부족과 양립할 수 없다는 이야기와 같다. 특히, 만성 에너지 부족은 엘리트 카누선수에게 중요한 속근 섬유의 크기를 감소시킨다고 알려진다(Henriksson, 1992). 운동선수는 힘든 훈련시 에너지 요구량을 맞추기에 불충분한 영양소가 탄수화물일 경우 만성 피로를 경험할 수 있으며(Costill et al., 1988), 카약 패들링이 대부분  $75\% \text{VO}_{2\text{max}}$  이상의 고강도임을 고려할 때 탄수화물에서 대부분의 연료를 얻는다는 것을 알 수 있다(Stellingwerff, 2011). 이는 축구나 풋살 선수를 대상으로 한 연구들에서 다양하게 연구되어온 주제이다(Rodrigues & Vasconcelos 2009; Rodrigues et al., 2013; Silva et al., 2012). 엘리트 카약 선수의 훈련은 유산소 및 무산소 능력뿐만 아니라 근력의 파워 향상에 초점을 맞추며, 물 위(보트) 및 물 밖(체육관, 달리기, 자전거, 수영)의 세션에 따라 다르다. 이러한 유형의 훈련은 매우 복잡하고 힘들기 때문에, 영양 또는 에너지 부족이 경기력과 운동선수의 건강 상태를 모두 손상시킬 수 있다(Lee & Lim, 2019). 파워 기반 스포츠인 엘리트 스프린트 카누 및 카약 선수는 고에너지 요구에 대한 부족한 탄수화물과 단백질 섭취량을(Doering et al., 2016) 적절한 방식을 통해 유지해야 한다. 이를 통해 체중 조절과 적절한 체성분뿐만 아니라 미량영양소(비타민과 미네랄)의 필요를 충족시키고 경기력의 향상을 가져오게 된다.

이처럼 엘리트 카누 및 카약 선수의 영양 상태와 신체발달을 파악하는 것이 부상 방지, 훈련계획, 경기력 향상 및 회복을 위해 필수적이지만, 아직까지는 카약 패들러의 영양 정보가 제한적이어서 더 많은 연구가 필요하다.

## V. 엘리트 카누 및 카약 선수의 훈련을 위한 영양주기와 보충제

중거리 달리기, 트랙 사이클링, 조정, 카누/카약 및 수영 등을 포함하여 1~10분 동안 지속되는 파워 기반 운동선수는 단기간 및 장기간 고강도 훈련, 경쟁 훈련, 주기적 훈련 등을 특징으로 하고 있으며, 이 운동선수들은 까다로운 경기 일정과 미시적 및

거시적 훈련 주기의 복잡성을 동시에 포함하고 있다. 따라서 훈련 프로그램에 맞는 주기적인 영양 접근 방식을 통해 이상적인 영양학적 요구량을 해결할 수 있다.

훈련 주기화의 개념은 1950년대부터 존재해 왔지만 훈련과 영양 및 체성분 주기화의 결합적 개념은 오래되지 않았다(Stellingwerff et al., 2007). 주기화를 통해 다양한 훈련 단위(크고 작은 훈련 주기 및 세션)에서 의도적인 순서를 설정하여 운동선수가 최적의 맞춤형 성과를 위해 원하는 생리학적 준비 상태를 달성할 수 있다(Bompa & Carrera, 2005). 주기화는 '일반 준비 단계', '특정 준비 단계', '경쟁 단계' 및 '전환 단계'의 4가지 주요 거시 주기로 훈련되는데, 이처럼 여러 단계 동안 훈련 자극은 강도와 양 측면에서 크게 다를 수 있다. 따라서 이러한 단계에서 필요한 ATP를 생성하는 데 사용되는 연료의 유형과 에너지의 양은 주기적인 영양학적 접근을 통해 해결해야 한다. 70kg 엘리트 파워 스포츠 선수의 50주간 다양한 연간 훈련 단계 동안의 주기적 영양 권장 사항을 예를 들면 다음과 같다. '일반 준비 단계'에는 훈련을 지원하기 위해 높은 칼로리 섭취와 선수가 원하는 종목의 체성분, 훈련 후 회복에 집중하며, 총 3500-5000kcal/day, 탄수화물 6-12g/kg/day, 단백질 1.5-1.7g/kg/day, 지방 1.5-2g/kg/day를 권장한다. '특정 준비 단계'에는 고강도 훈련에 맞는 영양이므로, 핵심적인 기술을 위한 구체적인 지원 및 회복에 집중하며, 총 3000-4500kcal/day, 탄수화물 6-10g/kg/day, 단백질 1.5-1.7g/kg/day, 지방 1-1.5g/kg/day를 권장한다. '경쟁 단계'에는 레이싱에 맞는 영양단계로, 레이싱 중 훈련량 감소로 체중증가 방지에 집중하며, 총 2800-4300kcal, 탄수화물 6-10g/kg/day, 단백질 1.5-1.7g/kg/day, 지방 0.8-1.2g/kg/day를 권장한다. 마지막 '전환 단계'에는 활동적 상황에서 일반적 상황으로 약간의 체중증가가 예상되는 영양단계로, 총 2000-3000kcal, 탄수화물 4-6g/kg/day, 단백질 0.8-1.2g/kg/day, 지방 1-1.5g/kg/day를 권장한다(Burke et al., 2001; Tarnopolsky, 1999; Tipton & Wolfe, 2004). 위와 같은 예에서 제시한 바와 같이, 전환 단계에서 대부분의 운동선수는 훈련량과 강도가 일반적으로 매우 낮고 정신적, 육체적 회복을 위해 휴식을 취한다. 이 단계에서 약간의 체중증가는 자연스러운 현상이며, 훈련의 감소 또는 부재로 인해 이 기간의 에너지 섭취량은 일반 대중과 유사한 영양 권장 사항으로 감소되어야 한다고 제안한다. 많은 연구들에서 훈련 및 시합 중 운동선수를 위한 일반적인 다량 영양소 및 에너지 섭취 권장 사항을 제시하지만(Burke et al., 2011; Loucks et al., 2011; Phillips & Van Loon, 2011), 훈련 및 시합 주기에 따라 구체화 시킨 보고가 많지 않으며, 카누 및 카약과 같은 중복별 파워 운동선수에 대한 추가 권장 사항이 제시되지 못하고 있다.

장거리 패들링은 스프린트 분야에서 경쟁하는 카약 선수에게 필요한 훈련이다. 이때 발생하는 탈수는 훈련 및 경주에서 중요한 문제이며 종종 선수들이 "벽에 부딪히는 것"이라고 묘사하는 원인이 된다. 이러한 현상을 최소화하고 훈련이나 경주의 중단

을 줄이면서 선수의 효율적인 수분 보충을 가능하게 하려면 패들링 중에 겪는 탈수의 정도를 조절해주는 것이 중요하다. 보트의 무게는 경기력에 절대적으로 영향을 미치지 때문에, 싱글 카약(K1)이 약 8kg, 더블 카약(K2)이 12kg로 매우 가볍고, 공간 역시 제한적이다. 따라서 선수에게 적절한 수분 보충을 보장하면서 수분 보충 시스템을 최소한으로 유지해야 한다. 22명의 국가대표 카약 선수를 대상으로 장거리 마라톤에 적합한 강도로 1시간 동안 카약 에르고미터를 진행하여 수분 손실량과 탈수를 및 물과 스포츠음료(Gatorade, USA) 사이의 재수화 효능을 조사하였다(Sun et al., 2008). 수분 보충을 한 카약 선수들의 운동 인지 등급(Ratings of Perceived Exertion, RPE)이 더 높았고, 스포츠음료로 수분을 보충하는 그룹이( $0.72 \pm 0.18\%$ ) 물로 수분을 보충하는 그룹( $1.10 \pm 0.22\%$ )에 비해 탈수를 덜 겪었으며, 스포츠음료로 수분 보충을 한 그룹이( $0.46 \pm 0.17\text{kg}$ ) 물로 수분 보충을 받은 그룹에 비해 ( $0.70 \pm 0.29\text{kg}$ ) 체질량 손실이 훨씬 적었다. 스포츠음료의 수분 공급 효능이 물보다 우수한 것으로 확인되었지만, 카약 운동선수의 적절한 수분 공급에 미치지 못하였으며, 종목에 특성을 고려하여 카약을 타는 선수들의 탈수 및 재수화 문제를 해결하기 위해 구체적인 전략을 개발해야 한다.

또한, 엘리트 파워 운동선수는 시즌 동안 체중 대비 파워 비율을 높이는 실용적인 영양 권장 사항을 얻는 것을 목적으로, 영양보충제를 고려하기도 한다.

파워 엘리트 선수를 대상으로 한 연구들에서 고탄수화물 식단( $>6\text{g/kg/day}$ )은 훈련 및 경기 중에 비 산화적 ATP 재 인산화를 지원하는 기전으로 제안되고 있고, 훈련 후에는 빠르게 소화되는 함량이 높은 단백질(예: 유청 단백질, 20-40g)을 제공하면 근육 단백질 합성 반응을 최대화할 수 있다. 보조제로써  $\beta$ -알라닌, 중탄산나트륨, 크레아틴, 카페인 및 질산염은 고강도 운동 성능을 향상시키는 것으로 잘 알려져 있으며, 카누 폴로 선수에게 도움이 될 수 있다고 보고된다. 특히,  $\beta$ -Hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate (HMB)는 단백질 대사의 주요한 조절 아미노산인 류신의 대사 유도체로써, 섭취한 류신의  $\sim 5\%$ 는 체내에서 HMB로 전환된다. 칼슘  $\beta$ -히드록시- $\beta$ -메틸부티레이트(또는 HMB-Ca)는 HMB의 칼슘염을 나타내는 영양보충제이며 인간의 단백질 분해 감소와 관련이 있다(Nair et al., 1992; Nissen et al., 1996; Nissen & Abumrad, 1997).

일반인을 대상으로 HMB-Ca 보조제를 1.5-3g/day의 농도로 3-4주 사용하였을 때, 저항운동 후 근력 향상을 보였으며, 훈련 중 이화작용을 감소시켰다(Nissen & Abumrad, 1997). 이외에도 성인 남성과 노인을 대상으로 다양한 연구들에서 HMB-Ca 보조제 처치가 체지방량(FFM)과 근력 증가를 증가시킬 수 있음을 확인하였다(Peterson et al., 1999; Vukovich et al., 1997).

카누 및 카약과 같은 고강도 스프린트 종목으로는 1997년 처음으로 훈련된 사이클리스트를 대상으로 HMB-Ca 보충제를 2주간 3g/day로 처치한 후 탈진 시간, 젖산 역치 및  $\text{VO}_{2\text{peak}}$

를 상당히 증가시켰다고 보고했다(Vukovich & Adams, 1997). HMB-Ca 보충이 고강도의 강렬한 운동 중에 에르고제닉으로써 가치가 있음을 보여주는 의미 있는 제안이었지만(Pinheiro et al., 2012; Zanchi et al., 2011), 메커니즘은 불분명하였다. 엘리트 카약 선수를 대상으로 2014년에 Ferreira 등은 3g/day HMB-Ca를 보충했을 때 저항 훈련과 관련된 제지방량 및 근력이 상당히 증가했음을 보고하였고(Ferreira et al., 2014), 이후 20명의 엘리트 카누선수에게 HMB-Ca를 37.5mg/day의 농도로 12주 처치하여 12주의 근력 훈련 동안 추적한 결과, 지구력 훈련과 관련된 근력 향상에 요구되는 제지방량( $76.70 \pm .92$ 에서  $80.95 \pm 2.17$ )이 꾸준히 증가 되고, 혈청 크레아티닌의 상당한 차이로 훈련 스트레스를 받았을 때 골격근 손상을 감소시킬 수 있음을 나타냈다(Ferreira et al., 2015).

## VI. 결론 및 제언

야외스포츠의 발달로 카누 및 카약에 관심과 인기가 높아지고 있으며, 국제경기 역시 다이내믹한 종목이 개발되면서 종목의 다양화가 이루어지고 있다.

본 고찰을 통해서 엘리트 카누 및 카약 스포츠의 생리학적 요구와 에너지에 대해 검토하고, 선수들의 적응과 훈련에 적용된 생리학적 변수들의 사례를 구체화하였다. 또한, 종목의 특성에 따른 다양한 변인들(에너지 시스템, 신체 구성, 근력, 심폐 능력 및 생화학적 대사지표 등)을 요약 분석하여 영양 권장 사항을 제공하였다. 이 정보는 운동선수, 코치, 스포츠 전문가가 훈련 및 경기 성과를 향상시키기 위해 사용할 수 있다.

그러나 본 고찰에서 제안하고자 하는 엘리트 카누 및 카약 선수의 에너지 소비 및 대사 분석부터 주기적 훈련 프로그램 개발을 위한 영양 정보 제공에 이르기까지는 향후 더 구체적이고, 다양한 과학적 평가가 필요하다고 판단된다.

## 참고문헌

정종환, 김창균, 이진석 (2018). 국가대표 카누 선수의 종목별 신체구성, 체력, 수상 수행능력 및 카약 시뮬레이션 비교. **한국체육과학회지**, 27(6), 1255-1264.

Astrand, P. O., & Rodahl. K. (1970). *Textbook of work physiology*. New York: McGraw-Hill.

Bompa, T. O., & Carrera, M. (2005). *Periodization training for sports: Science-based strength and conditioning plans for 17 sports* (2nd edn.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Davis, P., Leith, U. R., & Beneke. R. (2013). The energetics of semi-contact 3 x 2 min amateur boxing. *International Journal of Sports Physiology and Performance*.

Kahl, J. (1997). *Der Einfluss der komplexen Leistungsdiagnostik in den Sportarten Kanurennsport und Kanuslalom auf das trainingsmethodische Vorgehen bei der Entwicklung der Wettkampfleistung im Jahresverlauf*. In IAT (Ed.), *Entwicklungstendenzen der Trainings- und Wettkampfsysteme in den Ausdauersportarten mit Folgerungen fuer den Olympiazzyklus 1996-2000* (pp. 43-59).

Tarnopolsky, M. A. (1999). *Protein metabolism in strength and endurance activities*. In D. R., Lamb & R. Murray (Eds.), *Perspectives in exercise science and sports medicine: The metabolic basis of performance in exercise and sport* (Vol. 12, pp. 125-164). Carmel, IN: Cooper Publishing Group.

Alves, C. R., Pasqua, L., Artioli, G. G., Roschel, H., Solis, M., & Tobias, G. (2011). Anthropometric, physiological, performance, and nutritional profile of the Brazil National Canoe Polo Team. *Journal of Sports Sciences*, 30, 305-311.

Bangbo, J., Gollnick, P. D., Graham, T. E., Juel, C., Kiens, B., Mizuno, M., & Saltin, B. (1990). Anaerobic energy production and O2 deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 422, 539-559.

Bangsbo, J. (1992). Is the O2 deficit an accurate quantitative measure of the anaerobic energy production during intense exercise? *Journal of Applied Physiology*, 73(3), 1207-1209.

Bangsbo, J., Michalsik, L., & Petersen, A. (1993). Accumulated O2 deficit during intense exercise and muscle characteristics of elite athletes. *International Journal of Sports Medicine*, 14(4), 207-213.

Bangsbo, J. (1998). Quantification of anaerobic energy production during intense exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30(1), 47-52.

Baranauskas, M., Tubelis, L., Stukas, R., Švedas, E., Samsonienė, L., & Karanauskienė, D. (2014). Nutrition status of high performance rowers, canoeists and kayakers. *Biomedical sciences*, 1(92), 16-25.

Beck, K. L., Thomson, J. S., Swift, R. J., & Von Hurst, P. R. (2015). Role of nutrition in performance enhancement and post-exercise recovery. *Open Access Journal of Sports Medicine*, 6, 259-267.

Belval, L. N., Hosokawa, Y., Casa, D. J., Adams, W. M., Armstrong, L. E., Baker, L. B., ....et al. (2019). Practical Hydration Solutions for Sports. *Nutrients*, 11(7).



- Belviranlı, M., Okudan, N., & Kabak, B. (2017). The Effects of Acute High-Intensity Interval Training on Hematological Parameters in Sedentary Subjects. *Medical Sciences*, 5(3).
- Beneke, R. (1995). Anaerobic threshold, individual anaerobic threshold, and maximal lactate steady state in rowing. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 27(6), 863–867.
- Beneke, R., Pollmann, C., Bleif, I., Leithauser, R. M., & Hutler, M. (2002). How anaerobic is the Wingate anaerobic test for humans? *European Journal of Applied Physiology*, 87(4–5), 388–392.
- Beneke, R. (2003). Maximal lactate steady state concentration (MLSS): Experimental and modelling approaches. *European Journal of Applied Physiology*, 88(4–5), 361–369.
- Beneke, R., Beyer, T., Jachiner, C., Erasmus, J., & H Tler, M. (2004). Energetics of karate kumite. *European Journal of Applied Physiology*, 92(4), 518–523.
- Bernardi, M., Quattrini, F. M., Rodio, A., Fontana, G., Madaffari, A., Brugnoli, M., & Marchetti, M. (2007). Physiological characteristics of America's cup sailors. *Journal of Sports Sciences*, 25(10), 1141–1152.
- Bertuzzi, R. C., Franchini, E., Kokubun, E., & Kiss, M. A. (2007). Energy system contributions in indoor rock climbing. *European Journal of Applied Physiology*, 101(3), 293–300.
- Bishop, D. (2000). Physiological predictors of flat-water kayak performance in women. *European Journal of Applied Physiology*, 82(1), 91–97.
- Bompa, T. O., & Carrera, M. (2005). *Periodization training for sports: Science-based strength and conditioning plans for 17 sports* (2nd edn.). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Boutellier, U. (1998). Respiratory muscle fitness and exercise endurance in healthy humans. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 30, 1169–1172.
- Burke, L. M., Cox, G. R., Cummings, N. K., & Desbrow, B. (2001). Guidelines for daily carbohydrate intake: Do athletes achieve them? *Sports Medicine*, 31, 267–299.
- Burke, L. M., Hawley, J. A., Wong, S. H. S., & Jeukendrup, A. E. (2011). Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sport Sciences*, 29, S17–S27.
- Bussweiler, J., & Hartmann, U. (2012). Energetics of basic karate kata. *European Journal of Applied Physiology*, 112(12), 3991–3996.
- Byrnes, W. C., & Kearney, J. T. (1997). Aerobic and anaerobic contributions during simulated canoe/kayak sprint events 1256. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29(5), 220.
- Capelli, C., Pendergasst, D. R., & Termin, B. (1998). Energetics of swimming at maximal speeds in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 78(5), 385–393.
- Cerretelli, P., & Di Prampero, P. E. (1990). A multidisciplinary approach to the study of the effects of altitude on muscle structure and function. *International Journal of Sports Medicine*, 11(1), S1–2.
- Cole, T. J. (2000). Secular trends in growth. *Proceedings of the Nutrition Society*, 59(2), 317–324.
- Costill, D. L., Flynn, M. G., Kirwan, J. P., Houmard, J. A., Mitchell, J. B., Thomas, R., ...et al. (1988). Effects of repeated days of intensified training on muscle glycogen and swimming performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 20(3), 249–254.
- Csaba Szanto. (2014). *Canoe Spinrt Coaching Manual*. Coaches Education Programm. ICF Coach's Educational level 2
- Damgaard, M. & Norsk, P. (2005). Effects of ventilation on cardiac output determined by inert gas rebreathing. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 25, 142–147.
- Di Prampero, P. E. (1986). The energy cost of human locomotion on land and in water. *International Journal of Sports Medicine*, 7(2), 55–72.
- Doering, T. M., Reaburn, P. R., Cox, G., & Jenkins, D. G. (2016). Comparison of post-exercise nutrition knowledge and post-exercise carbohydrate and protein intake between Australian masters and younger triathletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26(4), 338–346.
- Englertr, M., & Kiessler, R. (2009). Analysen und Erkenntnisse aus der Sicht des Spitzensports im Kanurennsport und Kanuslalom. *Z Angew Trainingswiss*, 1, 24–39.
- Esfarjani, F., & Laursen, P. B. (2007). Manipulating high-intensity interval training: Effects on VO<sub>2</sub>max, the lactate threshold and 3000 m running performance in moderately trained males. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 10, 27–35.
- Farzad, B., Gharakhanlou, R., Agha-Alinejad, H., Curby, D. G., Bayati, M., Bahraminejad, M., & Mastu, J. (2011). Physiological and performance changes from the addition of a sprint interval program to wrestling training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25, 2392–2399.
- Ferreira, H. F., Loures, J. P., Oliveira, R. M. R., Gill, P.,

- & Fernandes, L. C. (2014). Correlations between performance and 4-min maximum efforts in olympic kayaking athletes. *Journal of Exercise Physiology*, 17, 34–41.
- Ferreira, H. F., Gill, P., Fernandes Filho, J., & Fernandes, L. C. (2015). Effects of 12-Weeks of Supplementation with  $\beta$ -Hydroxy- $\beta$ -Methylbutyrate-Ca (HMB-Ca) on athletic performance. *Journal of Exercise Physiology*, 18(2), 85–94.
- Fisher, G., Schwartz, D. D., Quindry, J., Barberio, M. D., Foster, E. B., Jones, K. W., & Pascoe, D. D. (1985). Lymphocyte enzymatic antioxidant responses to oxidative stress following high-intensity interval exercise. *Journal of Applied Physiology*, 110, 730–737.
- Forbes, S. C., Kennedy, M. D., & Bell, G. J. (2013). Time-motion analysis, heart rate, and physiological characteristics of international canoe polo athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27, 2816–2822.
- Garcia, P. J., Garcia, F. M., Sanchez, M. L., & IZQUIERDO, M. (2010). Performance changes in world-class kayakers following two different training periodization models. *European Journal of Applied Physiology*, 110(1), 99–107.
- Gastin, P. B. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Medicine*, 31(10), 725–741.
- Gibala, M. J., Little, J. P., van Essen, M., Wilkin, G. P., Burgomaster, K. A., Safdar, A., Raha, S., & Tarnopolsky, M. A. (2006). Short-term sprint interval versus traditional endurance training: Similar initial adaptations in human skeletal muscle and exercise performance. *The Journal of Physiology*, 575, 901–911.
- Gleeson, M. (2007). Immune function in sport and exercise. *Journal of Applied Physiology*, 103, 693–699.
- González-Alonso, J., Olsen, D. B., & Saltin, B. (2002). Erythrocyte and the regulation of human skeletal muscle blood flow and oxygen delivery: role of circulating ATP. *Circulation Research*, 91(11), 1046–1055.
- Guiraud, T., Labrunee, M., Gaucher-Cazalis, K., Despas, F., Meyer, P., Bosquet, L., Gales, C., Vaccaro, A., Bousquet, M., Galinier, M., Seard, J. M., & Pathak, A. (2013). High-intensity interval exercise improves vagal tone and decreases arrhythmias in chronic heart failure. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 45, 1861–1867.
- Heck, H., Mader, A., Hess, G., Muecke, S., Mueller, R., & Hollmann, W. (1985). Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine*, 6, 117–130.
- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R., & Hoff, J. (2007). Aerobic high-intensity intervals improve VO<sub>2</sub>max more than moderate training. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39, 665–671.
- Henriksson, J. (1992). *Energy metabolism in muscle: its possible role in the adaptation to energy deficiency*. In JM Kinney, HN Tucker (eds.), *Energy Metabolism: Tissue determinants and cellular corollaries*, 345–365.
- Holland, J., J, Skinner, T. L., Irwin, C. G., Leveritt, M. D., & Goulet, E. D. B. (2017). The Influence of Drinking Fluid on Endurance Cycling Performance: A Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 47(11), 2269–2284.
- Hull, C. M., & Harris, J. A. (2013). *Venous thromboembolism and marathon athletes*. *Circulation*, 128.
- Jacob, S. M., Kieron, B. R., & Richard, S. (2008). The Metabolic Demands of Kayaking: A Review. *Journal of Sports Science and Medicine*, 7(1), 1–7.
- Knechtle, B., & Nikolaidis, P. T. (2018). *Physiology and pathophysiology in ultra-marathon running*. *Frontiers in Physiology*, 9.
- Komka, Z., Szilagyi, B., Molnar, D., Sipos B, Toth, M., Elek, J., ...et al. (2022). High-Resolution Dynamics of Hemodilution After Exercise-Related Hemoconcentration. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1–10.
- Kordi, N. (2016). The effects of acute high intensity interval exercise of judo on blood rheology factors. *Turkish Journal of Kinesiology*, 2, 6–10.
- Laursen, P. B., & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: Optimizing training programmes and maximizing performance in highly trained endurance athletes. *Sports Medicine*, 32, 53–73.
- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: Highintensity or high-volume training? *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 2, 1–10.
- Lee, S., & Lim, H. (2019). Development of an evidence-based nutritional intervention protocol for adolescent athletes. *Journal of Exercise Nutrition and Biochemistry*, 23(3), 29–3
- Nakagaki, K., Yoshioka, T., & Nabekura, Y. (2008). The relative contribution of anaerobic and aerobic energy systems during flat-water kayak paddling. *Japanese Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 57, 261–270.

- Lemaitre, F., Coquart, J. B., Chavallard, F., Castres, I., Mucci, P., Costalat, G., & Chollet, D. (2013). Effect of additional respiratory muscle endurance training in young well-trained swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 12, 630-638.
- Little, J. P., Safdar, A., Wilkin, G. P., Tarnopolsky, M. A., & Gibala, M. J. (2010). A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: Potential mechanisms. *The Journal of Physiology*, 588, 1011-1022.
- Loucks, A. B., Kiens, B., & Wright, H. H. (2011). Energy availability in athletes. *Journal of Sport Sciences*, 29, S7-S15.
- Macpherson, R. E., Hazell, T. J., Olver, T. D., Paterson, D. H., & Lemon, P. W. (2011). Run sprint interval training improves aerobic performance but not maximal cardiac output. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43, 115-122.
- Nair, K. S., Schwartz, R. G., & Welle, S. (1992). Leucine as a regulator of whole body and skeletal muscle protein metabolism in humans. *American Physiological Society Journal*, 263, 928-934.
- Nissen, S. L., & Abumrad, N. N. (1997). Nutritional role of the leucine metabolite  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate (HMB). *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 8, 300-311.
- Nissen, S., Sharp, R., & Ray, M. (1996). Effect of leucine metabolite beta-hydroxy-beta-methylbutyrate on muscle metabolism during resistance exercise training. *Journal of Applied Physiology*, 81, 2095-2104.
- Parra, J., Cadefau, J. A., Rodas, G., Amigo, N., & Cusso, R. (2000). The distribution of rest periods affects performance and adaptations of energy metabolism induced by high-intensity training in human muscle. *Acta Physiologica Scandinavica*, 169, 157-165.
- Pedersen, B. K., & Hoffman-Goetz, L. (2000). Exercise and the immune system: Regulation, integration, and adaptation. *Physiological Reviews*, 80, 1055-1081.
- Peterson, A. L., Qureshi, M. A., Ferket, P. R., Fuller, J. C. J. (1999). Enhancement of cellular and humoral immunity in young broilers by dietary supplementation of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate. *Immunopharmacol Immunotoxicol*, 21, 307-330.
- Phillips, S. M., & Van Loon, L. J. C. (2011). Dietary protein for athletes: From requirements to optimum adaptation. *Journal of Sport Sciences*, 29, S29-S38.
- Pinheiro, C. H., Gerlinger-Romero, F., Guimaraes-Ferreira, L., de Souza-Jr, A. L., Vitzel, K. F., Nachbar, R. T., Nunes, M. T., & Curi, R. (2012). Metabolic and functional effects of beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) supplementation in skeletal muscle. *European Journal of Applied Physiology*, 112(7), 2531-2537.
- Poortmans, J. R., Delescaille-Vanden Bossche, J., & Leclercq, R. (1978). Lactate uptake by inactive forearm during progressive leg exercise. *Journal of applied physiology: respiratory, environmental and exercise physiology*, 45(6).
- Pyke, F. S., Baker, J. A., & Scrutton, E. W. (1973). Metabolic and circulatory responses to work on a canoeing and bicycle ergometer. *The American Journal of Sports Medicine*, 5(6), 22-31.
- Rodas, G., Ventura, J. L., Cadefau, J. A., Cusso, R., & Parra, J. A. (2000). Short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *European Journal of Applied Physiology*, 82, 480-486.
- Rodrigues dos Santos, J. A., & Vasconcelos, C. E. G. C. (2009). Nutrition and body composition in young Football players. *Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício*, 8(3), 113-120.
- Rodrigues dos Santos, J. A., Amorim, T. P., Gadelho, S. F. N. A., & Silva, D. J. L. (2013). Nutritional intake of female middle-distance runners. *Revista Brasileira de Fisiologia do Exercício*, 12(6), 336-348.
- Sawka, M. N. (1992). Physiological consequences of hypohydration: exercise performance and thermoregulation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 24(6), 657-670.
- Sawka, M. N., Montain, S. J., & Latzka, W. A. (2001). Hydration effects on thermoregulation and performance in the heat. *Comparative Biochemistry and Physiology Part A, Molecular & integrative physiology*, 128(4), 679-690.
- Santos, J. A. R., Silva, D. J. L., & Pizarro, A. (2022). Nutritional Status and Adequacy of Dietary Intake of an Elite 1000m Flat Water Kayak Paddler. *Athens Journal of Sports*, 9(3), 161-174.
- Schagatay, E., Lunde, A., Nilsson, S., Palm, O., & Lodin-Sundstro, A. (2020). Spleen contraction elevates hemoglobin concentration at high altitude during rest and exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 120(12).
- Senay, L. C. J., & Pivarnik, J. M. (1985). Fluid shifts during exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 13, 335-387.
- Sheykhlouvand, M., Gharaat, M., Khalili, E., Agha-Alinejad, H., Rahmaninia, F., & Arazi, H. (2018). Low-Volume High-



- Intensity Interval Versus Continuous Endurance Training: Effects on Hematological and Cardiorespiratory System Adaptations in Professional Canoe Polo Athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(7), 1852–1860.
- Shphard, R. J. (1987). Science and medicine of canoeing and kayaking. *Sports Medicine*, 4(1), 19–33.
- Silva, D. J. L., Silva, N. R. M., & Rodrigues dos Santos, J. A. (2012). Assessment of nutritional intake in futsal. Study with Portuguese male players of the 1st, 2nd and 3rd divisions. *Revista Brasileira de Futsal e Futebol*, 4(11), 23–37.
- Sjogaard, G., & Saltin, B. (1982). Extra- and intracellular water spaces in muscles of man at rest and with dynamic exercise. *The American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 12(2).
- Stamler, J. S., Jia, L., Eu, J. P., McMahon, T. J., Demchenko, I. T., Bonaventura, J., ....et al. (1997). Blood flow regulation by S-nitrosohemoglobin in the physiological oxygen gradient. *Science*, 276(5321), 2034–2037.
- Stellingwerff, T., Boit, M. K., & Res, P. (2007). Nutritional strategies to optimize training and racing in middle-distance athletes. *Journal of Sports Sciences*, 25, S17–S28.
- Stellingwerff, T., Maughan, R. J., & Burke, L. M. (2011). Nutrition for power sports: middle-distance running, track cycling, rowing, canoeing/kayaking, and swimming. *Journal of Sports Science*, 29(1), S79–89.
- Sun, J. M. F., Chia, J. K. K., Aziz, A. R., & Tan, B. (2008). Dehydration rates and rehydration efficacy of water and sports drink during one hour of moderate intensity exercise in well-trained flatwater kayakers. *Annals of the Academy of Medicine of Singapore*, 37(4), 261–265.
- Tarnopolsky, M. A. (1999). *Protein metabolism in strength and endurance activities*. In D. R., Lamb & R. Murray (Eds.), *Perspectives in exercise science and sports medicine: The metabolic basis of performance in exercise and sport* (Vol. 12, pp. 125–164). Carmel, IN: Cooper Publishing Group.
- Tesch, P. A., Piehl, K., Wilson, G., & Karlsson, J. (1976). Physiological investigations of Swedish elite canoe competitors. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 8(4), 214–218.
- Tesch, P. A. (1983). Physiological characteristics of elite kayak paddlers. *Canadian journal of applied sport sciences*, 8(2), 87–91.
- Tipton, K. D., & Wolfe, R. R. (2004). Protein and amino acids for athletes. *Journal of Sports Sciences*, 22, 65–79.
- Van, S. K., Phillips, G. R., & Palmer, G. S. (2000). Comparison of physiological responses to open water kayaking and kayak ergometry. *International Journal of Sports Medicine*, 21(3), 200–204.
- Van, S. K., & Palmer, G. S. (2003). Prediction of 200-m sprint kayaking performance. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 28(4), 505–517.
- Vukovich, M. (1997). The effect of dietary beta-hydroxy-beta-methylbutyrate (HMB) on strength gains and body composition changes in older adults. *The Federation of American Societies for Experimental Biology Journal*, 11, 376–378.
- Vukovich, M. D., & Adams, G. D. (1997). Effect of  $\beta$ -hydroxy- $\beta$ -methylbutyrate (HMB) on VO<sub>2</sub>peak and maximal lactate in endurance trained cyclists. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 29, 252–254.
- Wells, G. D., Plyley, M., Thomas, S., Goodman, L., & Duffin, J. (2005). Effects of concurrent inspiratory and expiratory muscle training on respiratory and exercise performance in competitive swimmers. *European Journal of Applied Physiology*, 94, 527–540.
- Yongming, Li. (2014). Energetics of 200m Kayaking. *Sport Research*, 35(1), 62–65.
- Zamparo, P., Capelli, C., & Guerrini, G. (1999). Energetics of kayaking at submaximal and maximal speeds. *European Journal of Applied Physiology*, 80(6), 542–548.
- Zanchi, N. E., Gerlinger-Romero, F., Guimaraes-Ferreira, L., de Siqueira Filho, M. A., Felitti, V., Lira, F. S., Seelaender, M., & Lancha, A. H. Jr. (2011). HMB supplementation: Clinical and athletic performance-related effects and mechanisms of action. *Amino Acids*, 40(4), 1015–1025.
- Zouhal, H., Le Douairon, L. S., Ben, A. A., Minter, G., Herbez, R., & Castagna, C. (2012). Energy system contribution to Olympic distances in flat water kayaking (500 and 1,000 m) in highly trained subjects. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(3), 825–831.