

엘리트 수영 선수의 경기력 판단지표로서 혈중 젖산의 고찰

The study of blood lactate as an indicator in elite swimmers

김효식(한국체육대학교 교수) · 김태경*(한국체육대학교 교수)

Hyo-Sik Kim Korea National Sport University · Tae-Kyung Kim Korea National Sport University

요약

수영은 다양한 거리와 시간에 따라 훈련방법이 달라진다. 유산소, 무산소 운동 대사의 평가 지표로써 혈중 젖산은 중요한 구성 요인이므로 젖산 검사 결과를 신뢰하고 재연성을 보장하기 위한 구체적 접근이 필요하다. 따라서 운동 중 혈중 젖산 농도에 영향을 미칠 수 있는 다양한 변인들을 운동 종목별로 분석하고 모니터링하여 적절한 훈련 목표를 설정해야 한다. 수영 경기는 인체 내 모든 근육을 동원하는 대표적인 유, 무산소성 운동으로써, 생리학적 대사과정과 그에 따른 에너지 시스템 반응을 평가하는데 부가적인 요인이 적은 운동 종목이다. 수영에서 혈중 젖산 검사는 선수의 대사능력을 나타내줄 뿐만 아니라 훈련 강도, 훈련 기간에 따른 젖산 생산 및 제거 속도와 훈련에 대한 대사 적응을 모니터링하여 영법 (자유형, 배영, 접영, 평영)과 거리 (50, 100, 200, 400, 800, 1500m)에 적용시킬 수 있다. 특히, 거리와 강도 그리고 반복회수에 따른 테스트 방법의 다양성은 엘리트 수영 훈련에 필수적이다. 따라서, 전신 근육을 동원하여 빠른 기록 단축을 목표로 하는 엘리트 수영 종목에서, 대사과정 최종 물질인 젖산이 유, 무산소성 에너지 기여도에 미치는 영향력을 학습하여 운동 능력의 한계점을 이해하는 것이 필요하다. 따라서 본 고찰을 통해 엘리트 수영 선수의 혈중 젖산이 적절한 훈련 프로그램을 확립시키는 경기력 향상을 위한 주요 판단 지표인지에 대한 근거를 제공하고자 한다.

Abstract

In swimming, the training method changes according to various distances and times. As an evaluation index of aerobic and anaerobic exercise metabolism, blood lactate is an important component, so a specific approach is required to ensure reliability and reproducibility of lactate test results. Therefore, it is necessary to set an appropriate training goal by analyzing and monitoring various variables that can affect blood lactate concentration by exercise type. Swimming is not only a representative aerobic and anaerobic exercise that mobilizes all muscles in the human body, but also an exercise sport with few additional factors to evaluate physiological metabolic processes and the resulting energy system response. In swimming, blood lactate testing is an indication of an athlete's metabolic ability and can be applied to stroke (freestyle, backstroke, butterfly, breaststroke) and distance (50, 100, 200, 400, 800, 1500m, etc.) by monitoring metabolic adaptation by the rate of lactate production and elimination with training intensity and duration. In particular, the versatility of testing methods for distance, intensity and reps is essential for elite swimming training. Therefore, it is necessary to understand the limitations of exercise ability by learning the effect of lactic acid, the final substance of metabolic processes, on the contribution of lactate and anaerobic energy in elite swimming events that aim to shorten the record quickly by mobilizing whole-body muscles. Therefore, the purpose of this review is to provide a rationale for whether blood lactate in elite swimmers is a key judgmental indicator for performance improvement that establishes an appropriate training program.

Key words : Lactate, Elite Swimming, Swimming Test Protocol

* spt21@knsu.ac.kr

I. 서론

인체의 에너지 생성과 변형 측면에서 젖산은 포도당 생성 전구 물질로써 여러 대사 반응의 항상성 기능을 담당한다. 젖산은 신체의 유, 무산소 대사 조건에서 포도당이 젖산탈수소효소(LDH)를 통해 피루브산의 환원시킴 때 지속적으로 생성, 변형되며(de Bari & Atlante, 2018), 에너지를 만들기 위해 해당작용 세포와 산화작용 세포 간의 셔들을 조절한다고 잘 알려져 있다(Brooks, 2014; Mason, 2017). 이와같이 젖산의 형성이 신체 내 다른 세포 간의 중간 대사 조정 메커니즘에 주요 물질이므로(Gladden, 2004), 임상에서 만성 피로, 질병 및 기타 손상을 입은 환자들의 근본적인 병리 현상을 조사하기 위해서 젖산 변화를 분석하는 것이 필수적이다.

특히 운동은 신체의 에너지 대사 경로를 다양하게 조절하는 대표적인 변화이며, 지속적인 근수축으로 인해 근육세포와 혈액 내 젖산 축적이 의미하는 바는 지속적으로 보고되고 있다. 과거에는 운동 중 젖산의 의미를 크게 두 가지 측면에서 강조되고 있는데, 첫째, 탄수화물 연료 공급원으로써 중강도 이상의 운동 시에 혈액의 젖산이 클루코스의 농도를 초과할 수 있다는 측면(Hermansen & Stensvold, 1972)과 둘째, 고강도 운동으로 축적된 젖산이 조직 손상과 피로를 유발시킨다(Karlssohn & Saltin, 1970)는 관점이다. 일반적인 운동은 혈중 젖산의 농도를 증가시키며, 혈중 젖산은 운동 강도(Rogatzki et al., 2014; Vescovi et al., 2011) 및 운동 거리(Keskinen et al., 2007; Vescovi et al., 2011)와 관련되어 있다고 알려져 있다. 400m 무산소 단거리 운동 후 혈중 젖산의 최대 농도는 3,000m 유산소 장거리 혹은 비훈련자보다 유의미하게 높았으며(Ohkuwa et al., 1984), 레그 프레스 운동의 반복 횟수가 증가함에 따라 혈중 젖산 농도가 높아지는 것으로(Gorostiaga et al., 2014), 많은 선행 연구에서 운동 거리 및 강도와 유의미한 상관관계는 꾸준히 보고되고 있다.

엘리트 운동선수의 종목별 훈련 중에 신체가 어떤 조건에서 적절한 에너지를 소비하고 생산하는지를 인식하는 것이 중요하다. 즉, 젖산은 더이상 피로물질이 아니 에너지원으로서 세포 내 ATP(adenosine triphosphate) 항상성 유지에 도움을 주는 대사과정의 중요한 매개물질이며 클루코스 항상성 유지에 기여한다고 알려져 있다. 이를 종목의 특성에 맞게 분석하여 선수의 훈련 반응 능력에 맞는 체계적인 프로그램 개발이 요구되어 왔다.

특히, 수영 경기는 신체 내 모든 근육을 동원하는 대표적인 유, 무산소성 운동으로써, 생리학적 대사과정과 그에 따른 에너지 시스템 반응을 평가하고 생리학적 검사로부터 얻어진 정보를 적용하여 활용할 수 있는 대표적인 종목이라고 할 수 있으며(Colwin, 2002) 부가적인 고려 요인이 적은 고강도 운동 종목으로 알려져 있다. 과학적 훈련 지원 모니터링의 맥락 내에서 혈중 젖산의 측정은 엘리트 수영 운동선수의 대사능력을 분석하여, 적절한 훈련 목표, 강도 및 양을 정의할 수 있고, 훈련에 대한 대사적응을 평가하여, 훈련의 효율을 높이는 주기화 프로그램을 설정하는데 필수적인 방법으로 판단되어야 한다. 본 고찰은 수영 경기력 판단 지표로써 혈중 젖산의 의미를 제시하고 수영 영법과 수영 거리에 따라 구체화 하는데 그 목적이 있다.

II. 수영 경기력 판단지표의 변천과정

수영은 아주 짧은 시간에 순간적인 파워를 요구하는 무산소 과정과 해당 과정 및 세포 내 산소를 이용하는 유산소 대사과정 모두 적용되는 경쟁적 기록 경기이다. 1950년대 후반에서 1960년대 중반에 스웨덴 과학자들은 다양한 운동시간과 휴식 시간 그리고 젖산 축적과 관련된 연구를 발표했다(Astrand et al., 1960; Christensen, 1962; Christensen, Hedman, & Saltin, 1960). Astrand & Rodahl(1977)은 운동 시간이 충분히 짧고 운동 강도는 매우 높으며 회복 기간이 짧으면 젖산 축적이 발생하지 않으면서 에너지가 기계적으로 효율적인 “빠른(fast)” 운동을 유지한다는 것을 보고 하였다. 수영은 영법(자유형, 배영, 평형, 접영)에 따라 사용되는 근육의 조화와 사용이 다르며, 거리(50m ~ 1,500m)에 따른 에너지 대사 시스템 이용이 다양한 종목이다. 무산소 능력과 파워, 심폐지구력 훈련 및 경기 후 회복력은 전 연령대의 엘리트 수영 선수 경기력에 중요한 영향을 미치기 때문에(Matoss & Winsley, 2007; Nasirzade et al., 2014) 적절한 생리학적 제어 평가 방안을 통한 훈련 프로그램 코칭이 요구된다(Anderson et al., 2008; Peyrebrune et al., 2014).

과거 지상에서 측정된 수영 선수의 생리학적 변화 관찰 및 평가 항목은 잘 알려진 대로 매우 다양하며, 젖산, 호르몬, 심박수, 무산소성 능력 검사 (원게이트 테스트), 점증적 최대운동검사(VO₂max, 최대산소섭취량) 등이 대표적이다. 거리를 기준으로 볼 때 200m 수영 선수는 무산소성 파워 능력을 400m 수영 선수는 심폐지구력 및 무산소성 파워를 모두 고려하여 훈련 프로그램을 구성하는 것이 경기력 향상에 효과적인 것으로 제시하였다(강창범 등, 2012). 하지만 수영이란 종목은 물속에서 이루어지는 종목의 특성에 따라 다양한 테스트 또한 물속에서 이루어져야 한다고 많은 연구들에서 그 적용의 타당성을 보이고 있는데 그 예로 선수의 기술 수준과 스트로크(Chollet et al., 1997), 최대산소섭취량과 스트로크(Costill et al., 1985), 종목에 따른 스트로크의 변화(Chengalur & Brown, 1992), 경기 거리에 따른 스트로크와 젖산의 변화(권형태 외, 2018; Arellano et al., 1994; Craig et al., 1985) 그리고 연령에 따른 스트로크 관련 연구들(Vorontsov et al., 1999; Vorontsov & Binevsky, 1991) 그리고 최대산소섭취량과 스트로크에 관한 연구들은 오래전부터 꾸준히 보고되고 있으며(Costill et al., 1985), 자유형 100m 인터벌 트레이닝 후 회복시 심박수와 혈중 젖산의 농도가 연령에 따른 스트로크 빈도와 거리에 상관관계가 있는 것으로 알려졌다(이지현 등, 2012).

하지만 최근에는 수영 훈련에서 젖산을 통한 훈련 모니터링과 함께 경기력을 예측할 수 있는 다양한 측정방법이 제시되고 있다. 그 대표적인 방법은 Pyne, Lee & Swanwick(2001)가 제시한 스텝테스트(step test)이다. 이 방법은 수영선수가 수영 200m 7회를 반복하면서 운동의 강도를 단계적으로 높임으로서 수영속도와 젖산농도를 평가하여 경기력에 반영한다는 것이다. 또한 Maglischo (2003)는 T-30이란 측정방법을 통해 동일한 거리를 주어진 속도로 30회 반복함으로써 나타나는 젖산 변화를 훈련 및 경기력 예측 모델로

제시하였다. 최근에서 매우 짧은 거리를 반복하는 USRPT(ultra short race pace training) 트레이닝이 수영 훈련에 대한 전통적 훈련의 단점을 보완한 훈련으로 대두되고 있다(Rushall, 1967, 1970; Rushall, 2003; Rushall & Pyke, 1991). 최근 David et al.(2020)는 25m 거리를 고강도의 주어진 속도로 20회 반복하여 나타나는 생리적 변화를 훈련 모니터링에 적용하였다. 이렇게 수영에서 젖산을 통한 경기력의 판단 지표의 변화는 다양한 방법으로 지금도 연구되고 있다.

III. 수영과 혈중 젖산

일반적으로 수영에 대한 평가 도구로서의 젖산 연구는 훈련(Pelayo et al., 1996; Smith et al., 2002; Anderson et al., 2006) 및 상호 경쟁 상태(Greenwood et al., 2008)에서 수행되어지기 때문에, 훈련 적응을 원활하게 하고(Pyne et al., 2001; Anderson et al., 2006; Toubekis et al., 2011), 유, 무산소 컨디션닝(Costa et al., 2013; Figueiredo et al., 2014; Peyrebrune et al., 2014)에 대한 최적의 강도를 설정하여 기록을 단축하는데 도움이 된다고 보고되고 있다. 또한 젖산은 기록경기의 특성상 신체의 최대치 대사 반응 자극 후 회복력을 평가하는데 중요한 도구가 될 수 있으며(Greenwood et al., 2008; Vescovi et al., 2011), 개인의 주기화 코칭 시 오버 트레이닝을 제어할 수 있다(Jeukendrup & Hesselink, 1994; Pelayo et al., 1996; Bosquet et al., 2001). 수영 100m 경기 시 전면 스크롤의 수행 및 기술적인 능력과 한 사이클 당의 거리가 혈중 젖산의 농도와 직접적 상관관계가 있으며(Lätt et al.,

2010), 8주간의 단계별 젖산 검사가 수영 훈련시 모니터링 및 기록 예측에 매우 주요한 인자로 보고된다(김효식, 2016). Matsunami et al. (2000)은 젖산과 속도가 훈련에서 다른 지속적인 수영 노력에 따라 변한다고 보고했다. 꾸준한 수영 속도로 인터벌 세트가 수행되었을 때 심박수와 혈중 젖산은 여전히 달랐다. 레이스가 아닌 특정 속도, 반복 횟수 및 휴식 간격이 서로 다른 인터벌 세트는 다른 에너지 구성 요소를 훈련시킬 가능성이 높으며, 이 모든 요소는 단일 노력 경기(single-effort races) 또는 경기 시뮬레이션(race simulation)과 관련이 없다고 보고하였다. Baltaci & Ergun(1997)은 6개월 동안 4mM의 젖산을 끌어내는 강도로 수영 선수를 훈련시켰다. 유산소 및 순환 요인은 시간이 지남에 따라 변했지만 연구에서는 경기 준비를 위한 그러한 작업의 부적절성에 대해 언급하지 않았다. Anderson et al.(2003)은 스텝 테스트(Step test)에서 테이퍼가 도입될 때까지 훈련 시즌에 걸쳐 결과가 변화되었음을 보여주었고 훈련의 효과가 입증되었다. 그러나 테이퍼 이전의 동일한 측정치는 최종 시간과 관련이 없었다고 보고하였다.

고강도 수영 운동의 속도를 체계적으로 결정하기 위해 수영자의 등급을 12가지로 분류하여, 50m(자유형, 배영, 평형, 접영)를 3가지의 각기 다른 인터벌 프로그램을 적용하여 젖산을 측정 한 결과, 젖산의 농도는 예측인자로서 높은 상관관계를 보였다. 표 1에서 보는 바와 같이 엘리트 수영에서 거리, 영법 등에 따른 혈중 젖산 농도의 변화는 다양하게 나타나고 있다. 특히, 젖산의 농도가 여자 수영 선수보다는 남자 수영 선수에게서 더 높았으며, 상관도 수준은 접영, 평형, 배영, 자유형 순으로 나타났다(Issurin, et al., 2001). 398명의 남, 녀 수영 선수에게서 젖산이 갖는 경기력 진단의 도구적 의미를 Cross-sectional 분석법으로 나타난 결과, 남성

표 1. 엘리트 수영 거리, 영법 등에 따른 혈중 젖산 농도의 변화

수영 거리 및 반복	인터벌	운동형태 (강도)	훈련	영법	대상		혈중 젖산 결과	참고문헌
					남성= 수, 연령	여성= 수, 연령		
50m				자유형,배영,평형,접영	14	8	1. 남성 > 여성 2. 접영 > 평형 > 배영 > 자유형	Issurin et al., 2001
100,200,400m				자유형,배영,평형,접영	228 (19.10±3.17)	170 (16.94± 2.78)	1. 남성 > 여성 2. 100m, 400m : 유의미	Holfelder et al., 2013
800m				자유형	12 (14~18세)		1. 운동 전, 후, 회복기 : 유의미 2. 운동 30분전 > 회복 24시간 후	Nikseresht et al., 2017
50m X 4회	10sec		15주	자유형	8 (15.7 ± 2.2)		운동 후 : 12min > 0 min > 3min > 7min	Tucher et al., 2018
100m X 5회	2min	컨디션닝 운동		자유형	대학:10 (19.9±1.6) 중,고등:11(15.8±1.3) 초등, 10 (9.9±1.0)		1. 경기중: 대학 = 중고등 > 초등 2. 회복기: 대학 = 중고등 > 초등	이지현 외, 2012
200m x 5회	6min	점진적 운동 (80%~100%)	8주	자유형,배영,평형,접영	대학:12 (20.82±1.08) 중,고등:10(15.2±1.32) 초등:8(11.75±1.04)		1. 훈련전, 후 : 유의미 2. 대학 > 중고등 = 초등	김효식, 2016
50,100,200,400m				자유형,배영,평형,접영	132		1. 남성 > 여성 2. 100m, 200m, 400m > 50m 3. 자유형, 배영, 평형 > 접영 4. 50m : 자유형 > 평형, 접영 5. 100m : 자유형, 배영 > 접영	권형태 외, 2018
200m x 5회	6min	점진적 운동 (80%~100%)		자유형,배영,평형,접영	33 (12.79±1.87)	21 (12.29±2.07)	고강도(강도 100%) : 여성 > 남성	손희정 외, 2020

이 여성에 비해, 특히 자유형 100m, 400m 에서 유의미하게 증가를 확인하였다(Holfelder et al., 2013). 청소년기 남자 엘리트 수영 선수의 경우에도 800m 수영 전, 후, 회복기에 혈중 젖산이 개인의 에너지 생산 조건 판단지표로써 스포츠 훈련 중 부상 방지에 유효함을 보였다(Nikseresht et al., 2017). 최근에는 청소년 수영 선수가 50m 거리를 4번 반복한 후 회복기 동안의 혈중 젖산의 농도를 분석하여 젖산 회귀 모델을 제시하여 예측 인자로써의 타당성을 제안하였다(Tucher et al., 2018).

연령별 남자 수영선수의 자유형 100m 인터벌 운동시에 젖산의 변화에 따른 수영의 수행능력 결과, 인터벌 운동시 및 회복기에 아동기의 젖산 농도가 청소년기와 성인에 비해 전반적으로 낮고, 아동기 젖산 농도 변화가 기술적 요인에 영향을 미치는 것으로 나타났다(이지현 등, 2012). 8주간 트레이닝 후 자유형을 통한 지구성 점진 운동(스텝 테스트)의 경우 젖산이 트레이닝 전, 후 변화를 모니터링하는데 유의미하며, 이때는 대학 수영 선수가 중고등, 초등 선수에 비해 높은 젖산 수준을 보였다(김효식, 2016). 경기중 선수의 혈중 젖산 농도가 수영 운동강도의 지표임을 검증하기 위해 132명의 엘리트 수영 선수의 젖산 농도를 측정하여 상관관계를 측정하였다. 이 연구에서 전체적으로 남성이 여성보다, 100m, 200m, 400m 의 장거리가 단거리 무산소 운동인 50m에 비해 증가되어 있고, 접영 집단이 다른 영법에 비해 낮은 것으로 나타났다. 거리에 따른 영법의 젖산 농도 변화는 50m의 경우 자유형이, 100m의 경우 자유형, 배영이 증가하였다고 보고하였으며, 경기력과 관련해서는 혈중 젖산과 수영 속도와 정적 상관관계임을 밝혔다(권형태 등, 2018). 청소년의 경우 점진적 고강도 수영 운동시 운동 강도가 증가함에 따라 젖산의 농도는 여성집단이 더 높으며, 청소년 남녀 모두 수영속도와 젖산 농도는 정적 상관관계가 있음을 보고하였다(손희정 등, 2020).

이렇게 다양한 사례 연구와 수영 현장에서의 연구 모델을 사용한 Thompson et al.(2006)는 3년 동안 세계적인 수준의 평영 수영 선수를 추적하였고 젖산 검사는 유용한 정보를 거의 발견하지 못했으며 다른 측정과 병행했을 때만 나타났다고 보고하였다. 따라서 수영선수들의 반응의 다양성과 개성은 집단 연구에서 형성된 원칙으로부터 개인의 반응을 예측하는 것이 얼마나 어려운지를 단적으로 보여 주었다.

IV. 수영 경기력의 젖산 활용

최근 수영 훈련은 매우 강도 높은 훈련의 연속성을 가지면서 경기와 같은 훈련을 표방한 USRPT 훈련이 경기력 향상 훈련으로 제시되고 있다. 과거 전통적인 훈련 방법의 연구에 따르면 생리적 능력이 개선되면(예: VO2max) 경기력이 반드시 향상되는 것은 아니며 이는 생리학적 역량을 측정하는 활동이 수행 활동과 관련이 없는 경우에 특히 그렇다. 강도 높은 훈련이 일부 생리학적 측정치에 해로운 영향을 미칠 수 있지만 경기력의 성과에 부정적인 영향을 미치지 않는다고 보고하였다(Pedersen et al., 2010). 보다

전통적인 형태의 유산소 훈련(연속 또는 긴 간격/반복 작업)과 비교했을 때 고강도 인터벌 훈련은 더 나은 유산소 효과를 만들어낸다고 보고하였다(Helgerud et al., 2006; Wee, McGregor, & Light, 2007). 하지만 고강도 훈련으로 인한 경기력의 향상은 대사 및 생리학적 요인과 관련이 없다(Kubukeli et al., 2000)고도 하며 고강도 훈련은 이미 훈련된 것으로 간주되는 운동선수에게 거의 즉각적인 향상을 가져온다는 연구도 존재한다(Laursen, Blanchard, & Jenkins, 2002).

Bartlett & Etzel (2007)과 Avalos et al.(2003)도 유사한 훈련 프로그램에 노출되었을 때 개별 수영선수들의 적응 속도와 반응 변화의 정도를 보고했는데 Howat & Robson (1992)의 연구가 참조되지는 않았지만 단순한 연구에서 대다수의 훈련 집단 구성원들이 코치가 설계한 방식이나 사용한 훈련 개념에 의해 예측된 방식으로 생리학적으로 적응하지 않았다고 보고했다. 이러한 적응은 수영속도와 수영 효율성에 따라 달라진다. 즉, 수영 속도에 따라 기술의 변화가 오고(Pelarigo, 2010; Toussaint et al., 1990) 에너지 요구량도 스트로크마다 다르다(White & Stager, 2004). 훈련이 진행되는 속도에 따라 수영 영법의 효율성이 발전되기 때문에 경기력을 향상시키려면 스트로크마다 경기 속도에 맞는 훈련으로 효율성을 높여야만 가능하다. 일부 영법(예: 접영)은 최상의 훈련 효과를 얻기 위해 항상 경기 속도로 수영해야 할 수 있다(Chollet et al., 2006; de Jesus et al., 2010). Rushall(2013, 2018)은 혈중 젖산의 꾸준한 축적 없이 수영을 극대화할 수 있는 증거 기반 유산소 훈련 프로토콜로 USRPT를 적용했다. 결과는 4명의 스프린트 수영선수들이 7.7 ± 2.4 mmol/L의 젖산 농도에 도달했음을 보여준다. 이 값은 최종 스프린트 이후 평균 13.6 ± 3.1 mmol/L로 증가하였다. 또한 수영선수들은 USRPT 3분 후에도 여전히 높은 젖산 농도(11.3 ± 2.6 mmol/L)를 보였다. 짧은 휴식 간격으로 격렬한 운동을 하는 동안 젖산과 H⁺가 수축근에 축적되고(Juel et al., 2004), 피로를 결정하는 주요 요인으로 알려져 있다(Monedero and Donne, 2000). 기술은 요구되는 젖산 및 유산소 에너지 구성 요소가 변경될 때 변화되며(Wakayoshi, 1996), 이는 종종 혼합 또는 다양한 훈련의 결과이기도 하다. 기술은 수영 성공(Cappaert, Pease, & Troup, 1996; Chollet et al., 1997; D'Acquisto et al., 2004; Nagle et al., 1998)과 효율성(Toussaint, 1988)을 결정하는 주된 요인이다. Rushall(2018)은 훈련 프로토콜은 지속적인 훈련 방법으로 일관되게 사용해야 한다고 주장하였다. 즉 관찰된 심박수와 혈중 젖산 프로파일은 이러한 훈련 스타일의 강도를 추가로 정량화한다는 것이다.

V. 결론 및 제언

Nugent et al.(2017)에 따르면 32개 종목 중 26개 종목 또는 81%가 200m 이하이며 일반적으로 최대 운동 강도의 시간은 2분 20초 이하이다. 따라서 '빠른 경쟁을 위해 빠르게 훈련하라'는 슬로건은 논리적이다. 그러나 이 젖산을 기반으로 한 강도 높은 세트 또는

훈련 모니터링에서 얻은 생리학적 결과를 고려할 때 과잉 훈련, 피로 및 후속 부상 가능성을 젖산 모니터링을 통해서 어느 정도의 정보를 얻을 수 있는지는 연구와 테스트 방법마다 다르다고 할 수 있다. 엘리트 수영의 경기력 판단지표로써 혈중 젖산은 탄수화물을 기반으로한 무산소성 에너지 능력과 수영 훈련 시 유산소 이용에 따른 지구성 대사를 판단 지표로써 매우 유용하다고 보고되고 있지만, 아직까지 다양한 사례와 근거가 매우 부족하고, 특히 엘리트 선수를 대상으로 하여 경기력 분석과 훈련에 적용될 수 있는 사례들에 대한 고찰은 없는 실정이다. 본 고찰은 수영 운동에서 에너지 사용 및 생성 동안 혈액 젖산의 역할을 설명하는데 도움이 될 것이며, 엘리트 수영 선수와 지도자에게 과학적이고 구체적인 신체 시스템을 기반으로 한 훈련 프로그램 모니터링을 확립하여 경기력 향상을 가져올 수 있는 근거가 될 것으로 생각된다.

참고문헌

- 강창범, 고진호, 정수련, 안나영, 김기진 (2012). 남자 수영선수의 200m 및 400m 기록에 따른 생리적 특성 비교. **코칭능력 개발지**, 14(3), 184-189.
- 권형태, 임승택, 김효식 (2018). 엘리트 수영선수의 경기 직후 연령, 성별, 거리와 영법에 따른 혈중 젖산농도 비교. **한국스포츠학회지**, 16(4), 1439-1448.
- 김효식 (2016). 지구성 훈련기에 따른 단계별 젖산검사와 수영 훈련모니터링. **스포츠 사이언스**, 34(1), 75-82
- 손희정, 권형태, 김효식 (2020). 청소년 수영선수들의 고강도 운동 중 혈중 젖산농도 모니터링. **한국스포츠학회지**, 18(2), 1327-1335.
- 이지현, 김효식, 김기정 (2012). 연령별 남자수영선수의 자유형 100m 인터벌 운동에 따른 생리적 요인과 스트로크 요인의 변화. **체육과학연구**, 23(1), 167-175.
- Anderson, M., Hopkins, W., Roberts, A., & Pyne, D. (2003). Monitoring long-term changes in test and competitive performance in elite swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(5), Supplement abstract 194.
- Anderson, M., Hopkins, W., Roberts, A., & Pyne, D. (2008). Ability of test measures to predict competitive performance in elite swimmers. *J Sports Sci*, 26(2), 123-130.
- Anderson, M., Hopkins, W., Roberts, A., & Pyne, D. (2006). Monitoring seasonal and long-term changes in test performance in elite swimmers. *Eur J Sport Sci*, 6(3), 145-154.
- Arellano, R., Brown, P., Cappaert, J., & Nelson, R.C. (1994). Analysis of 50-100-and 200-m freestyle swimmers at the 1992 Olympic Games. *J Appl Biomech*, 10, 189-199.
- Astrand, I., Astrand, P., Christensen, E., & Hedman, R. (1960). Intermittent muscular work. *Acta Physiologica Scandinavica*, 48, 448-453.
- Astrand, P., & Rodahl, K. (1977). Textbook for work physiology. *New York, NY: McGraw-Hill*.
- Avalos, M., Hellard, P., & Chatard, J. (2003). Modeling the training-performance relationship using a mixed model in elite swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35, 838-846.
- Baltaci, G., & Ergun, N. (1997). Effect of endurance training on maximal aerobic power of competitive swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(5), Supplement abstract 1260.
- Bartlett, M., & Etzel, E. (2007). A single case design approach to monitoring the effects of intense training on immune function and mood state in swimmers. *ACSM Annual Meeting New Orleans*, Presentation Number, 2014.
- Bosquet, L., Léger, L., & Legros, P. (2001). Blood lactate response to overtraining in male endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*, 84(1), 107-114.
- Brooks GA. (2014). Lactate: glycolytic end product and oxidative substrate during sustained exercise in mammals - the "lactate shuttle." In: Gilles R, editor. Circulation, Respiration and Metabolism: Current Comparative Approaches. *Human Kinetics*, 3-65.
- Cappaert, J., Pease, D., & Troup, J. (1996). Biomechanical highlights of world champion swimmers. *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*, 76-80. London: E & FN Spon.
- Chengalur, S., & Brown, P. (1992). An analysis of male and female Olympic swimmers in the 200-meter events. *Can J Sports Sci*, 17, 104-109.
- Chollet, D., Tourny, C., Gleizes, F., Sidney, M., & Pelayo, P. (1997). Comment les nageurs experts structurent le 100m nage libre [How expert swimmers structure the 100m freestyle]. *Sci et Sports*, 12, 232-240.
- Chollet, D., Seifert, L., Boulesteix, L., & Carter, M. (2006). Arm to leg coordination in elite butterfly swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 27(4), 322-329.
- Christensen, E. (1962). *Speed of work. Ergonomics*, 5, 7-13.
- Christensen, E., Hedman, R., & Saltin, B. (1960). Intermittent and continuous running. *Acta Physiologica Scandinavica*, 50, 269-286.
- Colwin, C. (2002). Breakthrough Swimming. *Champaign, IL: Human Kinetics*.
- Costa, M., Bragada, J., Meijas, J., Louro, H., Marinho, D., Silva, A., &

- Barbosa, T. (2013). Effects of swim training on energetics and performance. *Int J Sports Med*, 34(6), 507-513.
- Costill, D., Kovaleski, J., Porter, D., Fielding, R., & King, D. (1985). Energy expenditure during front crawl swimming: Predicting success in middle distance events. *Int J Sports Med*, 6, 266-270.
- D'Acquisto, L., Berry, J., Boggs, G., & Mattern, P. (2004). Swimming performance and velocity at OBLA are linked to propelling efficiency. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(5), Supplement abstract 1409.
- David W., McCarthy, E., & Ditroilo, M., (2020). Acute Physiological Responses to Ultra Short Race-Pace Training in Competitive Swimmers. *Journal of Human Kinetics*, 75, 95-102.
- de Bari L, & Atlante A. (2018). Including the mitochondrial metabolism of L-lactate in cancer metabolic reprogramming. *Cell Mol Life Sci*. 75, 2763-2776. doi: 10.1007/s00018-018-2831-y
- de Jesus, K., de Jesus, K., Figueiredo, P., Gonçalves, P., Vilas-Boas, J., & Fernandes, R. (2010). Kinematical analysis of butterfly stroke: Comparison of three velocity variants. A paper presented at the XIth *International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming*, 16-19.
- Figueiredo, P., Nazario, R., Sousa, M., Pelarigo, J., Vilas-Boas, J., & Fernandes, R. (2014). Kinematical analysis along maximal lactate steady state swimming intensity. *J Sports Sci Med*, 13(3), 610-615.
- Gladden LB. (2004). Lactate metabolism: a new paradigm for the third millennium. *J Physiol*. 558(1), 5-30.
- Gorostiaga, E., Navarro-Amezqueta, I., Calbet, J., Sanchez-Medina, L., Cusso, R., Guerrero, M., Granados, C., Gonzalez-Izal, M., Ibanez, J., & Izquierdo, M. (2014). Blood Ammonia and Lactate as Markers of Muscle Metabolites During Leg Press Exercise. *J Strength Cond Res*, 28, 2775-2785.
- Greenwood, J., Moses, E., Bernardino, F., Gaesser, G., & Weltman, A. (2008). Intensity of exercise recovery, blood lactate disappearance, and subsequent swimming performance. *J Sports Sci*, 26(1), 29-34.
- Helgerud, J., Høydal, K., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C., Hjorth, N., Bach, R., & Hoff, J. (2006). Differential response to aerobic endurance training at different intensities. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(5), Supplement abstract 2581.
- Hermansen, L., & Stensvold, I. (1972). Production and removal of lactate during exercise in men, *Acta Physiol Scand*, 86, 191-201.
- Holfelder, B., Brown, N., & Bubeck, D. (2013). The Influence of Sex, Stroke and Distance on the Lactate Characteristics in High Performance Swimming. *PLoS one*, 8, e77185.
- Howat, R., & Robson, M. (1992). Heartache or heartbreak. *The Swimming Times*, 35-37.
- Issurin, V., Kaufman, L., & Tenenbaum, G. (2001). Modeling of velocity regimens for anaerobic and aerobic power exercises in high-performance swimmers. *J Sports Med Phys Fitness*, 41, 433-440.
- Jeukendrup, A., & Hesselink, M. (1994). Overtraining: what do lactate curves tell us? *Br J Sports Med*, 28(4), 239-240.
- Juel C, Klarskov C, Nielsen J, Krstrup P, Mohr M, & Bangsbo J. (2004). Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H⁺ release from human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab*, 286(2), E245-E251.
- Karlsson J, & Saltin B. (1970). Lactate, ATP and CP in working muscles during exhaustive exercise in man. *Journal of Applied Physiology*, 29(5), 596-602.
- Keskinen, O., Keskinen, K., & Mero, A. (2007). Effect of pool length on blood lactate, heart rate, and velocity in swimming. *Int J Sports Med*, 28, 407-413.
- Kubukeli, Z., St. Clair Gibson, A., Collins, M., Noakes, T., & Dennis, S. C. (2000). The effects of high intensity interval training, taper, and 6 weeks of habitual training on 100-km time trial performance in endurance trained cyclists. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(5), Supplement abstract 538.
- Lätt, E., Jürimäe, J., Mäestu, J., Purge, P., Rämson, R., Haljaste, K., Keskinen, K., Rodriguez, F., & Jürimäe, T. (2010). Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *J Sports Sci Med*, 9(3), 398-404.
- Laursen, P., Blanchard, M., & Jenkins, D. (2002). Acute high-intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly trained males. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 27, 336-348.
- Maglischo, E. (2003). Swimming fastest. *Human Kinetics*, Champaign, IL
- Matos, N., & Winsley, R. (2007). Trainability of young athletes and overtraining. *J Sports Sci Med*, 8(3), 353-367.
- Matsunami, M., Taimura, A., Suga, M., Taba, S., & Taguchi, M. (2000). An effective field test to determine the endurance training speed for competitive swimmers.

- Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(5), Supplement abstract 1690.
- Monedero J, & Donne B. (2000). Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int J Sports Med*, 21(8), 593-597.
- Nagle, E., Robertson, R., Zoeller, R., Moyna, N., & Goss, F. (1998). Prediction of swimming performance times using a mixed model of physiological and stroke variables. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(5), Supplement abstract 279.
- Nasirzade, A., Ehsanbakhsh, A., Argavani, H., Sobhkhiz, A., & Aliakbari, M. (2014). Selected anthropometrical, muscular architecture, and biomechanical variables as predictors of 50-m performance of front crawl swimming in young male swimmers. *Sci Sports*, 29(5), e75-e81.
- Nikseresht, A., Iman Yabande, Rahmanian, K., & Jahromi, A. (2017). Blood lactate level in Elite boy swimmers after lactate tolerance exercise test. *Biomed Res Ther* 4(5), 1318-1326.
- Nugent, F., Comyns, T., Burrows, E., & Warrington, G. (2017). Effects of Low-Volume, High-Intensity Training on Performance in Competitive Swimmers: A Systematic Review. *J Strength Cond Res*, 31(3), 837-847.
- Ohkuwa, T., Kato, Y., Katsumata, K., Nakao, T., & Miyamura, M. (1984). Blood lactate and glycerol after 400-m and 3,000-m runs in sprint and long distance runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 53(3), 213-218.
- Pedersen, M., Kilen, A., Larsson, T., Jørgensen, M., Rocha, B., & Nordsborg, N. (2010). Increased training intensity and reduced volume for 12 weeks has detrimental effects on swimmers' maximal oxygen uptake. A paper presented at the XIth *International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming*, 16-19.
- Pelarigo, J., Denadai, B., Fernandes, B., Santiago, D., César, T., Barbosa, L., & Greco, C. (2010). Stroke phases and coordination index around maximal lactate steady-state in swimming. A paper presented at the XIth. *International Symposium for Biomechanics and Medicine in Swimming*, 16-19.
- Pelayo, P., Mujika, I., Sidney, M., & Chatard, J. (1996). Blood lactate recovery measurements, training, and performance during a 23-week period of competitive swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 74(1), 107-113.
- Peyrebrune, M., Toubekis, A., Lakomy, H., & Nevill, M. (2014). Estimating the energy contribution during single and repeated sprint swimming. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 24(2), 369-376.
- Pyne, D., Lee, H., & Swanwick, K. (2001). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, 33(2), 291-297.
- Rogatzki, M., Wright, G., Mikat, R., & Brice, A. (2014). Blood Ammonium and Lactate Accumulation Response to Different Training Protocols Using the Parallel Squat Exercise. *J Strength Cond Res*, 28, 1113-1118.
- Rushall, B. (1967). The scientific bases of circulorespiratory training. Unpublished master's thesis, Indiana University, Bloomington, Indiana.
- Rushall, B. (1970). An aspect of sprint training. *Compete*, 2(2), 1-2.
- Rushall, B. (2003). Foundational principles of physical conditioning. Spring Valley, CA: *Sports Science Associates*.
- Rushall, B., & Pyke, F. (1991). Training for sports and fitness. Melbourne, Australia: Macmillan of Australia.
- Smith, D., Norris, S., & Hogg, J. (2002). Performance evaluation of swimmers: scientific tools. *Sports Med*, 32(9), 539-554.
- Toubekis, A., Tsami, A., Smilios, I., Douda, H., & Tokmakidis, S. (2011). Training-induced changes on blood lactate profile and critical velocity in young swimmers. *J Strength Cond Res*, 25(6), 1563-1570.
- Toussaint, H. (1988). Differences in propelling efficiency between competitive and triathl.
- Toussaint, H., Knops, W., De Groot, G., & Hollander, A. (1990). The mechanical efficiency of front crawl swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22, 402-408.
- Tucher G., Castro F., Garrido N., & Fernandes R. (2018). Blood Lactate Estimation in age group after a sprint swimming test. *Journal of Physical Education and Sport*, 18, 1123-1129.
- Vescovi, J., Falenchuk, O., & Wells, G. (2011). Blood lactate concentration and clearance in elite swimmers during competition. *Int J Sports Physiol Perform* 6(1), 106-117.
- Vorontsov, A., & Binevsky, D. (1991). Time and dynamic parameters of front crawl arm pull in boy-swimmers 11-16 years of age. *Annual scientific report of Swimming Department*. Central State Institute of Physical Culture, Moscow.
- Vorontsov, A., Dyrco, V., Binevsky, D., Solomatin, V., & Sidorov, N. (1999). Patterns of growth for some characteristics of

-
- physical development, functional and motor abilities in boy-swimmers 11-18 years. In: *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII*.
- Wakayoshi, K., D'Acquisto, J., Cappaert, J., & Troup, J. (1996). Relationship between metabolic parameters and stroking technique characteristics in front crawl. *Biomechanics and Medicine in Swimming VII*, 152-158.
- White, J., & Stager, J. (2004). The relationship between drag forces and velocity for the four competitive swimming strokes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(5), Supplement abstract 93.
- Wee, R., McGregor, S., & Light, W. (2007). Intermittent 30s intervals performed at 100 and 70 % VO₂Peak Power (pVO₂peak) allow trained cyclists to maintain VO₂peak longer than continuous intervals at 100% pVO₂peak. *ACSM Annual Meeting* New Orleans, Presentation Number, 2417.