

엘리트 수영 선수들의 레이스 페이스 수영 훈련을 위한 새로운 전환

The new paradigm for race-pace swimming training with elite swimmers

김효식*(한국체육대학교 교수)

Hyo-Sik Kim* Korea National Sport University

요약

경영은 종목의 거리와 영법에 따라 훈련강도와 훈련 량 등의 접근 방법은 달라지며 훈련 중 유, 무산소성 운동 대사의 모니터링은 젖산과 기록의 활용 그리고 심박수와 자각도 등 다양한 변인을 통해 즉각적인 개입을 중요시한다. 그리고 경영은 유, 무산소성 운동의 인체 내 모든 근육을 동원하여 생리학적 대사과정과 그에 따른 에너지 시스템 반응을 훈련 현장에서 적용할 수 있는 운동 종목이다. 따라서 현장 적용 종목에서 꾸준히 대두되는 운동량과 운동강도의 변화는 새로운 훈련 방법의 적용으로 이어지고 있다. 전통적 훈련에서 낮은 강도와 레이스 페이스의 불만은 초단기 레이스 페이스 훈련(Ultra Short Race Pace Training: USRPT)으로 정의되는 고강도의 매우 짧은 수영거리를 반복하는 훈련이 제기되었다. USRPT 훈련은 훈련과 경기 활동이 동일해야 된다는 가정 하에 훈련의 강도가 대회 레이스 수준으로 매우 높은 강도와 수영 속도로 설정된 훈련 방법이다. 이러한 방법은 훈련은 과거 고강도 훈련(High Intensity Training: HIT)의 과생으로 볼 수 있는 견해도 있지만 운동 강도에 따른 반복 횟수에서 차이를 보이고 있다. 반면 과거로부터 꾸준한 전통적 훈련 방법의 딜레마는 운동 영역에서 심박수와 젖산 및 운동강도의 중첩으로 인해 어떤 운동을 명확하게 하고 있는지에 대하여 알 수 없다는 것이다. 따라서 높은 운동 강도에서 전통적 훈련과 USRPT훈련의 생리학적 이점을 모두 포함한 하이브리드형 훈련방법의 이해와 적용이 필요하다. 본 고찰을 통해 엘리트 수영 선수의 새로운 훈련방법의 전환이 훈련 프로그램을 확립시키고 경기력 향상을 위한 주요 판단 지표에 대한 근거를 제공하고자 한다.

Abstract

In swimming, approaches such as training intensity and training amount vary depending on the distance and stroke of the event. Monitoring of anaerobic and anaerobic metabolism during training requires immediate intervention through various variables such as lactate and records, and heart rate and awareness. value it In addition, swimming is an exercise sport that can apply physiological metabolic processes and the resulting energy system reactions to the training field by mobilizing all muscles in the human body of aerobic and anaerobic exercise. Therefore, changes in the amount of exercise and exercise intensity that are constantly emerging in field-applied events are leading to the application of new training methods. Dissatisfaction with the low intensity and race pace in traditional training has been raised by high-intensity, very short swimming distance repetitions defined as Ultra Short Race Pace Training (USRPT). USRPT training is a training method in which training intensity and swimming speed are set at a very high intensity and swimming speed similar to that of competition races, under the assumption that training and competition activities should be the same. Although this method can be viewed as a derivative of the past High Intensity Training (HIT), there is a difference in the number of repetitions according to the intensity of the exercise. On the other hand, the dilemma of the traditional training method steadily from the past is that it is not possible to know which exercise is being clearly performed due to the overlap of heart rate, lactic acid and exercise intensity in the exercise area. Therefore, it is necessary to understand and apply a hybrid training method that includes both the physiological benefits of traditional training and USRPT training at high exercise intensity. Through this review, the conversion of a new training method for elite swimmers will establish a training program and provide the basis for key judgment indicators for performance improvement.

Key words : Ultra Short Race Pace Training (USRPT), High Intensity Training (HIT), Elite Swimmers, Swimming Training

* hyosik@knsu.ac.kr

I. 서론

수영경기는 크게 경영, 수구, 다이빙, 아티스틱 스위밍과 오픈워터로 나누어지며 올림픽에서 가장 많은 메달이 주어지는 종목이다. 특히 다양한 거리와 영법에서 적용되는 경영 훈련 프로그램은 과학적 기반이 충실하게 강조되고 있음에도 불구하고 지난 수십 년 동안 그리고 오늘날에도 여전히 훈련의 양과 훈련의 질에 대한 논쟁은 꾸준히 제기되어 왔다(Francisco et al., 2021). 이러한 훈련의 양과 질에는 기본적으로 운동 강도 설정과 인체의 생리적 기능, 특히 운동 생리학 및 3가지 대사 에너지 시스템에 대한 주요 초점이 수영 훈련 프로그램에 맞춰지고 있었다.

경영 경기에서 경기력 향상은 생리학적 매개변인과 관련된 훈련 프로그램을 달성하기 위해서는 많은 양의 훈련이 필요하다는 견해들이 있다(Greenwood et al., 2008; Nugent et al., 2017). 이러한 이유로 코치는 글리코겐 고갈과 젖산 축적[La-]이 생성되고 지속되는 중강도의 운동을 처방한다(Ferguson et al., 2018; Meckel et al., 2012). 이것은 높은 유산소 능력(최대 산소 섭취량-VO₂max)과 더 오래 유지하는 것을 목표로 하는 많은 훈련량의 저강도 훈련([La-] 2mmol/L 미만 55-70%와 [La-] 2와 4mmol/L 사이 30-45%) 모델을 흔히 따르는 엘리트 중거리 수영선수(200-400m)의 전형적인 준비에 반영된다(Hellard et al., 2019; Ribeiro et al., 2015). 하지만 특정 속도로 수영하는 데 필요한 에너지는 특정 속도(Santos et al., 2020; Zamparo et al., 2020)에서 얻을 수 있기 때문에, 훈련 자극은 다양한 에너지 경로와 유산소 파워(Nugent et al., 2019)를 자극하는 것을 목적으로 한 레이스 특정 속도에서의 운동도 포함해야 한다. 그리고 VO₂max의 ~75-80% 및 [La-] ~4mmol/L 이상의 강도를 포함해야만 당분해 시스템을 자극할 수 있다(Nugent et al., 2017; Brooks, 2020; MacInnis & Gibala, 2017; Laursen & Jenkins, 2002). 하지만 많은 운동량은 훈련 과정 동안 고강도 운동을 유지하는데 따르는 문제 중 하나는 ATP와 Phosphocreatine 저장소의 심각한 고갈로 인해 과도한 피로 수준을 초래한다는 것이다(MacInnis & Gibala, 2017; Gorostiaga et al., 2010). 지구력 향상과 함께 레이스에 따른 스피드 훈련을 증가시키는 한 가지 매력적인 옵션은 양극화 훈련 형식(polarized training mode) (Hydren & Cohen, 2015)이다. 양극화 훈련 형식(Hydren & Cohen, 2015)은 저강도 훈련(<2mmol/L [La-])에서 대부분의 시간 동안(75-80%) 훈련을 특징하며 고강도(>4mmol/L [La-])에서 남은 시간(25-20%)을 훈련하는 것과 (2mmol/L ≥[La-] ≥4mmol/L)에서 아주 적은 훈련을 하거나 전혀 하지 않는(0-5%) 것으로 특징지어진다(Hellard et al., 2019). 이렇게 훈련 프로그램의 변화는 과거 다양한 훈련 프로그램을 통해 최근에는 매우 짧은 거리를 반복 횟수를 늘리는 고강도 훈련 지향의 USRPT(Ultra Short Race Pace Training)가 대두되었다. USRPT는 2011년 Brent Rushall 교수에 의해 정의되었다(Rushall, 2011). 그것은 개인 경기에서 가장 잘 성취된 속도에 맞는 세트가 된 고강도 수영을 포함한다. 훈련 세트에서 특정 기준에 도달하면 훈련 속도가 증가한다. 가장 많은 양의 레이스 페이스 훈련을 용이하게 하기 위해 초단시간 훈련 형식을 사용한다. 이 형식은 일반적으로

짧은 휴식(일반적으로 20초 이하)을 수반하는 짧은 거리에 걸쳐 많은 수의 반복으로 구성된다. USRPT 형식의 목표는 관심 있는 모든 종목에 대해 레이스 페이스에서 최대 누적 거리를 커버하는 것이다.

이 방법의 적용은 VO₂max(MacInnis & Gibala, 2017) 증가, 해당 시스템으로부터 ATP를 생산하고 활용할 수 있는 운동근의 능력 향상(Laursen & Jenkins, 2002), [La-] 역치(Nugent et al., 2017)에서 더 빠른 속도 및 수영 에너지 비용 감소(~20%)와 같은 예상되는 적용에 의해 뒷받침될 수 있다(Zamparo et al., 2020). USRPT 프로토콜이 수영 프로그램에 자주 포함되지만, 수영에서 이와 비슷한 HIT(High Intensity Training) 형식에 대한 과학적인 정보가 거의 없다는 것은 놀라운 일이다. 예를 들어 단거리 사이클링 경기(예: <10-sec.)를 통한 스프린트 인터벌 훈련(SIT: sprint interval training)은 훈련량(Flores et al., 2018)과 같은 더 긴 HIT 경기보다 더 적은 피로도로 더 큰 심폐 및 파워 성능을 이끌어내는 것으로 입증되었다. 따라서 USRPT에서와 같은 단기간의 노력은 더 많은 양의 훈련방식보다 더 낮은 [La-]를 발생시킬 것으로 예상된다(Smith et al., 2002; Zacca et al., 2014). 이것은 더 낮은 관련 산증을 수반할 것이며, 이는 차례로 요구되는 운동 강도에서 산화 대사 및 장기간의 레이스 페이스 훈련을 선호할 것이다(Greenwood et al., 2008; Ferguson et al., 2018).

또한 짧은 간격으로 훈련하면 수영선수들이 근육 내에서 높은 수준의 글리코겐을 유지하는 동시에 최대 강도로 반복적으로 수행할 수 있는 혈중 젖산 수치를 낮게 또는 전혀 없게 유지할 수 있다고 주장한다(Rushall, 2018). 이렇게 전통적인 수영 훈련은 종목별 레이스 페이스 훈련이 부족하며, 연습 대 휴식 비율, 에너지 시스템 및 스트로크가 다양하기 때문에 궁극적으로 적절한 속도에서의 기술의 습득을 방해한다고 언급하였다. 따라서 USRPT가 전통적인 수영을 대체해야 하며 수영 경영의 요구를 구체적으로 반영하는 유일한 수영 훈련 스타일로 알려야 된다고 결론지었다(Rushall, 2018). 수영과학회보에 나타난 이론적 증거(Rushall, 2013, 2018)를 설명하는 수많은 기사에도 불구하고, USRPT의 제안된 생리학적 결과를 뒷받침하는 동료 검토(peer-review)가 발표된 연구는 없다. 가장 최근에 Nugent의 연구진(2019)이 USRPT의 현재 관점을 제공하는 검토 보고서를 발행하였다.

II. 수영 훈련 프로그램의 USRPT 등장

USRPT 과정은 일반적으로 15-100m 또는 5-70초의 짧은 거리/지속시간 동안 수행되는 20-50회 반복과 15-25초의 짧은 휴식 시간으로 구성되며 개인 최고 경기력(즉, 레이스 페이스)과 일치하는 속도로 반복적인 수영 인터벌을 하는 것이다(Rushall 2011; 2018). USRPT 과정의 대표적인 예는 20초의 휴식과 함께 200m 레이스 페이스 속도에서 20회×50m이다. Rushall은 USRPT의 개념이 Per-Olof Astrand가 이끄는 스웨덴 생리학자 그룹에 의해 수행된 인터벌 트레이닝에 관한 초기 출판 문헌에서 유래되었다고 주장

하였다(Astrand et al., 1960; Christensen et al., 1960; Astrand et al., 1960).

초기 이 연구는 수행에 대한 간결한 휴식 시간과 함께 짧은 거리/지속시간 인터벌을 수행하는 이점을 보여주었다(Astrand et al., 1960; Christensen et al., 1960; Astrand et al., 1960). 하지만 USRPT는 수영계에서 큰 논란을 불러 일으켰다(Stott, 2012; Nugent et al., 2016; Goldsmith, 2017). 엘리트 수영 코치의 훈련 방법론은 일반적으로 더 긴 기간의 저강도 훈련(2mmol/L 혈중 젖산염)을 수행하는 데 중점을 둔 훈련 프로그램으로 정의되는 많은 훈련량의 저강도 훈련(HVT: high-volume, low-intensity training) 프로그램을 처방하는 것이 포함 된다(Stoggl & Sperlich, 2015). 이것은 “전통적인(traditional) 또는 야드(yardage: 수영 훈련량이 많은) 프로그램”이라고 한다(Rushall, 2018). Billat(1996)은 훈련 프로그램을 설계하기 위해 운동 생리학 원리와 기능을 무조건적 수용에 대해 특히 비판적이었다. 생리학적 수준(예: 젖산 역치, 최대 산소 섭취량)을 지배하는 개념과 측정 기술의 다양성 때문에 논쟁의 여지가 있는 실험실 기술과 개념을 수영에 훨씬 더 가변적인 실제 분야에 적용하는 것은 매우 잘못된 것임을 시사하였다. 스포츠 과학자는 윤리적으로 제안되는 일반적 테스트 및 추론의 가치를 대표해야 함에도 불구하고 이러한 윤리는 일반적으로 지켜지지 않는다. 수영이라는 스포츠에서 대부분의 교육적 가치는 잘못된 정보들의 점진적인 노출이 있었다는 것을 보여주는 요소들의 표본으로 제시되었다(Kame, Pendergast, & Termin, 1990). 따라서 컨디션닝을 통한 생리적 적응에 대한 강조는 너무 제한적이었고 경영과 크게 관련이 없기도 하였다

Rushall(2017)은 훈련과 경기 활동이 다름수록 경기력 향상에 도움이 되지 않는다는 것을 시사 하였다. USRPT에서는 훈련이 개인의 최고 기록과 일치하는 속도로 수행되기 때문에 특이성의 원리가 분명히 나타난다(예: 50m 자유형 수영 선수는 50m 자유형에서 최고 경기 기록의 속도로 자유형 훈련을 한다). 또한, Rushall(2017)은 USRPT 프로그램에 저항성 훈련(resistance training: RT), 교차 훈련(cross-training) 활동, 레이스 페이스 속도보다 느린 훈련 또는 부분적인 드릴 훈련(예를 들어 스트로크의 일부가 따로 수행되는 경우)을 포함해서는 안 된다고 제안한다.

USRPT의 훈련 프로토콜이 수영 프로그램에 자주 포함되지만, 수영에서는 HIT에 대한 몇몇의 과학적인 정보(Boulet et al., 2005; Kargotich et al., 1997; Kargotich et al., 2005)가 최근에서야 새롭게 대두되고 있는 실정이다(Elbe et al., 2016; Barry et al., 2021) 따라서 USRPT에서와 같은 단기간의 노력은 더 많은 양의 훈련방식보다 더 낮은 $[\text{La-}]$ 를 발생시킬 것으로 예상된다(Smith et al., 2002; Zacca et al., 2014). 이것은 더 낮은 관련 산증을 수반할 것이며, 이는 차례로 요구되는 운동 강도에서 산화 대사 및 장기간의 레이스 페이스 훈련을 선호할 것이다(Greenwood et al., 2008; Rerguson et al., 2018). 그러나 이것은 실험적으로 확인할 필요성이 있다. 반면, USRPT와 유사한 HIT 프로그램 이후의 장기적인 적응은 높은 강도의 누적되는 훈련 부하(Buchheit & Laursen, 2013)

와 관련이 있기 때문에 USRPT가 유산소 용량 개선에 필요한 운동 강도의 요건 $[\text{La-}] \geq 4\text{mmol/L}$ 에 도달하거나 이를 유지할 수 있을지는 불확실하다.

HIT는 2차 환기/젖산 역치 이상 또는 4mmol/L 이상의 BLA 농도로 수행되는 훈련으로 정의된다(Seiler, 2010). HIT는 일반적으로 능동적 또는 수동적 회복 기간이 포함된 반복적이고 짧은 연습(45초)부터 긴(2-4분) 운동을 포함하는 인터벌 훈련 형식을 사용하여 적은 훈련량으로 수행 된다(Buchheit & Laursen, 2013). 회복 기간은 일반적으로 고정된 운동과 회복 비율은(예: 1:1, 1:2 또는 2:1)이다(Laursen & Jenkins, 2002). HIT를 처방하기 위한 일반적인 심박수(HR) 값은 최대 HR의 $\geq 88\%$ 인 반면(Seiler, 2010), 운동자각도(RPE: Rating of Perceived Exertion) 값은 ≥ 17 이다(Hydren & Cohen, 2015). 수영에서 HIT는 종종 유산소 과부하, 젖산 생성, 젖산 내성, 레이스 페이스 또는 스프린트 훈련과 같은 다양한 용어를 사용하여 설명하고 있다. USRPT의 정의는 그것을 HIT의 파생물로 분류하는 것으로 보인다. 그러나 현재 USRPT 개입에 대한 동료 검토로 발표된 문헌이 없기 때문에 USRPT 과정의 요구를 확립하기는 어렵다. 하지만 수영 연습이 수영 시작과 같은 지상의 조건에서 힘과 폭발력의 개발이 필요한 몇 가지 측면을 포함한다. 안타깝게도 이러한 연습은 거의 통제되거나 평가되지 않기 때문에 수영선수들은 종종 피로한 상태에서 이러한 운동을 수행함으로 원하는 적응이 제한된다.

III. USRPT와 HIT 훈련

USRPT에 대한 동료 검토 출판 문헌이 부족함에도 불구하고, 수영과 같은 생리적 순환 운동에서 HIT가 경기력에 미치는 영향을 조사한 연구들은 있어왔다(Laursen, 2010; Laursen & Jenkins, 2002; Buchheit & Laursen, 2013a; Buchheit & Laursen, 2013b). HIT로 인해 발생하는 생리학적 성과에 따른 적응 현상은 LIT(Low Intensity Training)와 MIT(Moderate Intensity Training) 모두 유사하지만 특히 이전에 HIT를 수행하지 않은 선수들에게 더 빠르고 더 큰 수준으로 나타난다(Seiler, 2010). 잘 훈련된 운동선수의 HIT에 대한 생리학적 적응에는 골격근 지질 산화 증가(Weston et al., 1996), 골격근 완충 능력 증가(Creer et al., 2004), 더 많은 근육량을 사용하는 능력 증가(Enoka & Duchateau, 2008) 등이 포함된다. 또한 최대 산소 섭취량 증가(VO_2max)(Laursen et al., 2002; Driller et al., 2009), VO_2max 에서의 속도(Greer et al., 2004), 젖산 역치 값에서의 속도 증가(Pugliese et al., 2014; Ni Cheilleachair et al., 2017) 등 HIT는 30초에서 40분까지의 지속시간으로 종목들의 경기력을 향상시킴으로서 수많은 경기력 적응이 나타나는 것으로 확인되었다(Weston et al., 1996; Driller et al., 2009) HIT의 생리학적 및 수행의 적응, 그리고 잠재적으로 USRPT는 근골격계에 대한 편심성 요구가 최소인 것처럼 보이기 때문에 수영과 같은 비 체중 부하 스포츠에서 훨씬 더 큰 응용을 가질 수 있다.

Nugent(2016) 등은 HIT가 경영 선수들의 경기력에 미치는 영향

을 체계적으로 검토했다. 검토 과정에서 발견된 7개의 대상 연구는 다양한 종류의 경영선수들로 확대되었으며 유소년 수영선수(Sperlich et al., 2010), 엘리트 수영선수(Kilen et al., 2014), 대학 수영선수(Termin & Pendergast, 2000), 마스터즈 수영선수들(Pugliese et al., 2015)이 포함되었다. 7개 연구 중 다수는 HIT가 유산소 및 무산소성 생리학적 능력을 측정한 결과에서 유의한 향상을 가져왔다는 것을 발견했다(Pugliese et al., 2015; Sperlich et al., 2010; Termin & Pendergast, 2000). 그리고 4개의 연구에서는 HIT가 50m에서 2000야드까지의 종목에서 수영 경기력을 크게 개선하였으며(Plews et al., 2014; Sperlich et al., 2010; Kame et al., 1990; Termin & Pendergast, 2000), 반면 7개 연구 중 어느 것도 생리학적 또는 수영 경기력을 감소시키지 않았다고 밝혔다. 체계적인 검토 결과, 통제된 연구 중 4개는 불과 4-6주로 짧기 때문에 이러한 연구 결과를 경영 선수의 장기적 발전에 적용하는 것은 제한적일 수 있다고 결론 내렸다(Faude et al., 2008; Sperlich et al., 2010; Kame et al., 1990; Termin & Pendergast, 2000). 또한 연구의 대다수는 수영 기술(Kilen et al., 2014; Houston et al., 1981; Termin & Pendergast, 2000)과 관련된 생체역학적인 변인에 대한 HIT의 영향을 조사하지 않았다.

USRPT 훈련에서 레이스 페이스를 기반으로 한 많은 반복의 수영 훈련을 하지만 수영 스트로크의 다양한 요소 중에 SR(Stroke Rate), SL(Stroke Length) 그리고 SI(Stroke Index)와 같은 생체역학적 변인은 수영 경기력의 가장 강력한 결정 요인 중 하나로 일관되게 확인되었다(Jurimae et al., 2007; Latt et al., 2010; Mezzaroba & Machado, 2014). 연구에 따르면 수영 강도가 증가할수록 SR은 증가하고 SL은 감소하는 반면 SI는 안정적이다(Barbosa et al., 2015; De Jesus et al., 2015; Oliveira et al., 2012). 수영 기술에 대한 가장 눈에 띄는 생체역학적 변인은 젖산 역치 이상의 수영 강도에서 발생하였다(De Jesus et al., 2015). 따라서 HIT는 수영 생체역학을 최적화하는 데 중요한 도구가 될 수 있다는 것이 Rushall (2016)의 의견과 일치되는 것이다.

표 1은 레이스 페이스 트레이닝을 할 경우 선수들의 경기 거리에 따른 반복 거리와 반복 회수를 나타낸 것이다. 즉 100m 경기의 경우 200m 최고 기록의 1/4이 되는 50m 기록을 기준으로 20회 반복 훈련을 하는 것이다. 휴식시간을 20초 이내로 한다면 이는 매우 강도가 높은 훈련이 되는 것이다.

표 1. USRPT의 레이스 페이스 반복 훈련 분류

반복거리(m)	경기 거리(m)					
	50	100	200	400	800	1500
15	24회	-	-	-	-	-
25	24회	30회	40회	40회	50회	-
50	-	20회	30회	30회	40회	50회
75	-	-	20회	24회	30회	35회
100	-	-	-	-	20회	>30회
200	-	-	-	-	-	>24회

최근 발표된 Nugent 등(2018)의 무작위 통제 연구는 16명의 국내 수준의 유소년 수영선수(남자 6명, 여자 10명, 나이 15.8±1.0세, 자유형 100m 개인 최고 기록 (61.4±4.1초)에서 7주간 HIT 개입이 생리학적, 생체역학적 그리고 수영 경기력 변인에 미치는 영향을 조사하였다. 수영선수들은 대조군 역할을 하는 HIT 그룹 또는 HVT(High Volume Training) 그룹에 무작위로 배정되었다. HIT 그룹은 LIT의 주간 훈련량을 50% 줄였지만 HIT는 200% 늘렸다. HVT 그룹은 정상적으로 운동을 수행했다. 연구는 7주간의 HIT 개입이 경기력 변인에 이롭지도 나쁘지도 않다고 결론 내렸다. 그러나 HIT 그룹은 주당 평균 6시간(17.0km)의 수영을 완료한 반면 HVT 그룹의 경우 주당 12시간(33.4km)의 수영을 완료하였다. Nugent 등 (2016; 2018)의 연구 결과는 훈련 시간이 제한적일 수 있는 수영 코치와 스포츠 과학자들에게 유용할 수 있다. 그러나 특히 유소년 수영선수에게, 가능한 경우 레이스 페이스 속도보다 낮은 훈련 강도를 우선순위로 두어야 한다. 수영에서 고강도 훈련은 종종 유산소 과부하, 젖산 생성, 젖산 내성, 레이스 페이스 또는 스프린트 훈련과 같은 다양한 용어를 사용하여 설명하고 있다. USRPT의 정의 또한 이 훈련을 고강도 훈련의 과생물로 분류하는 것으로 보인다. 그러나 현재 USRPT 개입에 대한 동료 검토로 발표된 문헌이 제한적이기 때문에 USRPT와 HIT 과정의 요구조건을 확립하기는 매우 어렵다.

IV. 전통적 수영훈련의 적용

수영계는 더 빠른 훈련이나 더 긴 훈련이 경기 결과를 향상시킬 것인가에 대해 오랫동안 토론하고 논쟁해왔으며(Maglischo, 2003), 이 문제는 수영계에 여전히 존재하지만 과학 문헌에서는 공식적으로 '운동의 질과 운동의 양'에 대한 논쟁으로 분류되었다(Nugent et al., 2017b). 전통적인 훈련 프로그램 작성의 한축을 담당하는 Maglischo(2003)는 20년간 미국 수영을 대표하는 훈련 프로그램으로 자리를 잡았고 지금도 많은 나라에서 Maglischo(2003)가 주장하는 훈련 방법으로 훈련을 실시하고 있다. 논쟁의 질적인 측면은 수영 훈련 프로그램이 일반적으로 고강도의 적은 훈련량을 바탕으로 하는 고강도 훈련(HIT)에 기초해야 한다고 주장한다. 이에 맞서 논쟁의 양적인 측면은 낮은 강도에서 많은 훈련량(HVT)이 수영 경기력을 향상시킬 것이라고 주장한다.

전통적으로 수영 코치는 HVT를 선호했고 지속적으로 많은 훈련량과 낮은 운동강도 그리고 유산소 훈련 세트를 통합하였다(Nugent et al., 2017a; Nugent et al., 2017b). Hiberd와 Myers(2013)는 유소년 수준에서 HVT를 훈련하는 수영 선수가 주당 평균 38-44km를 수영하는 반면, Pyne 등(2001)의 연구에 따르면 HVT의 엘리트 수영 선수는 주당 54±19km를 수영한다고 보고하였다. 훈련량을 줄이고 고강도 수영을 늘리는 것이 수영 경기력에 나쁜 영향을 미치지 않을 것이라는 것이 잘 알려져 있다. 따라서 많은 수영 훈련량에 대한 근거는 의문시되고 있는 실정이다(Faude et al., 2008; Kilen et al., 2014; Pugliese et al., 2015; Sperlich et al.,

2010). 그러나 이러한 연구에서 훈련 상태와 운동 부하의 차이는 엘리트 수영선수에 대한 최적의 HIT 훈련 부하를 정량화하기 어렵기 때문에 결과적으로 보다 구조화된 HIT 프로토콜의 필요성이 확인되고 개발되었다. 또 Maglischo(1993, 2003)가 주장하는 훈련 프로그램의 하나로서 지구력과 스프린터 훈련의 구분을 들 수 있다. 이는 위밍업 훈련(recovery: REC)을 제외한 지구력(Endurance: En)을 심박수 및 운동강도를 기준으로 하여 지구력 훈련을 (En-1, En-2, En-3) 구분하였으며 스프린터(Sprint: Sp)를 젖산생성(Sp-1) 및 젖산내성(Sp-2)과 파워(Sp-3) 훈련으로 구분하였다. 하지만 이러한 구분은 지구력 훈련 내에서 중첩되는 상황이 발생하며 어떤 훈련을 하는지에 대한 명확한 구분을 어렵게 만들었다. 아래 표 2는 전통적인 수영 훈련의 분류이다.

표 2. 전통적인 수영의 훈련 분류

category	purpose	distance (meter)	heart rate (%)	lactate (mmol/L)	interval (sec.)
REC	warm-up		60% of HR max	<2	free
En 1	aerobic	>4,000	~70% of HR max	2~4	10~30
En 2	aerobic endurance	>2,000	~85% of HR max	3~6	10~30
En 3	aerobic threshold	>1,000	>85% of HR max	6~12	30~60
Sp 1	lactate product	>200	100% of HR max	8~15	1:1~2*
Sp 2	lactate tolerance	>100	100% of HR max	12~20	1:2~8*
Sp 3	speed power	>25			1:8*

*: 운동시간 대 휴식시간 비율

훈련 분류에서 En-2의 훈련을 하지만 조금만 속도가 빨라도 En-3의 훈련 단계로 넘어가며 훈련 중에 선수가 En-2에 대한 심박수가 En-3의 심박수와 중첩이 되어 훈련 강도를 조절을 하기가 힘들다는 것이다. 그리고 Rushall(2018)은 전통적인 수영 훈련은 특정 레이스 페이스가 부족하며, 연습 대 휴식 비율, 에너지 시스템 및 스트로크가 다양하기 때문에 궁극적으로 적절한 속도에서의 기술의 습득을 방해한다고 언급하였다. 다량의 훈련 과정 동안 고강도 운동을 유지하는데 따르는 문제 중 하나는 ATP와 Posphocreatine 저장소의 심각한 고갈로 인해 과도한 피로 수준을 초래한다는 것이다(MacLnnis & Bibala, 2017; Gorostiaga et al., 2010).

지구력 향상과 함께 레이스에 따른 스피드 훈련을 증가시키는 한 가지 매력적인 옵션은 양극화 훈련 형식(polarized training mode)이다(Hydren & Cohen, 2015). 양극화 훈련 형식은 저강도 훈련(<2mmol/L [La-])에서 대부분의 시간 동안(75~80%) 훈련을 특징하며 고강도(>4mmol/L[La-])에서 남은 시간(25~20%)을 훈련하는 것과 (2mmol/L \geq [La-] \geq 4mmol/L)에서 아주 적은 훈련을 하거나 전

혀 하지 않는(0~5%) 것으로 특징지어진다(Hellard et al., 2019). 이를 위해 코치들은 종종 초단기레이스 페이스 훈련(USRPT)이라고 알려진 고강도 훈련(HIT: high intensity training)을 포함한다(Nugent et al., 2019) 이 절차에서 유산소와 해당 시스템은 개별 최고 경기력(즉, 경기에서 레이스 속도)에 따라 1:1, 1:2 또는 2:1의 운동 회복 비율과 함께 짧은 시간 동안의 격렬한 활동(예: 15~100m의 짧은 거리에서 20~50회 수영 인터벌 완료)을 통해 스트레스를 받는다(Nugent et al., 2017; Laursen & Jenkins, 2002). 이 방법의 적용은 VO₂max 증가, 해당 시스템으로부터 ATP를 생산하고 활용할 수 있는 운동근의 능력 향상, [La-] 역치에서 더 빠른 속도 및 수영 에너지 비용 감소(~20%)와 같은 예상되는 적응에 의해 뒷받침될 수 있다(Zamparo et al., 2020). USRPT의 훈련에서는 개인에 대한 기록을 기준으로 훈련 강도와 개별 기록 성취 기준에 목표를 두지만 전통적인 훈련 프로그램은 전체 집단을 기준으로 훈련 프로그램을 설정한다는 것이다.

V. 수영훈련의 생리학적 적용과 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 만들어 낸다고 보고하였다(Helgerud et al., 2006; Wee, et al., 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, et al., 2002).

Bartlett & Etzel(2007) 그리고 Avalos 등(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 다르다는 것을 시사 하였다(White & Stager, 2004). 훈련이 진행되는 속도에 따라 수영 영법의 효율성이 발전되기 때문에 경기력을 향상시키려면 스트로크 마다 경기 속도에 맞는 훈련으로 효율성을 높여야만 가능하다. 일부 영법(예: 접영)은 최상의 훈련 효과를 얻기 위해 항상 경기 상황과 동일한 속도로

수영해야만 한다(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 스피리트 수영선수들이 $7.7 \pm 2.4 \text{ mmol/L}$ 의 젖산 농도에 도달했음을 보여준다. 이 값은 최종 스피리트 이후 평균 $13.6 \pm 3.1 \text{ mmol/L}$ 로 증가하였다. 또한 수영선수들은 USRPT 3분 후에도 여전히 높은 젖산 농도($11.3 \pm 2.6 \text{ mmol/L}$)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 & Donne, 2000).

수영 기술은 요구되는 젖산 및 유산소 에너지 구성 요소가 변경될 때 변화되며(Wakayoshi, 1996), 성공(D'Acquisto et al., 2004)과 효율성(Toussaint, 1988)을 결정하는 주된 요인으로 종종 혼합 또는 다양한 훈련의 결과이기도 하다. 기술은 수영 이다. 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. 수영 경기력에 대한 무산소 및 유산소 에너지의 기여도는 Troup(1990)에 의해 기술된 반면, Ring 등(1999)은 근섬유와 에너지 시스템 사용이 15, 25, 50미터 거리의 스피리트 사이에는 다르다는 것을 나타내었다. 한 번의 수영(single swimming) 노력의 특수성은 각 스트로크 거리 및 속도(즉, 경기)마다 정교하게 다르다.

수영의 모든 스트로크 노력과 회복 단계로 구성되며 팔 스트로크 주기의 추진력 단계에서 저장된 산소와 비젖산 에너지 시스템 사용의 비용은 노력 수준이 상대적으로 낮고 추진에 사용되는 근육과 다른 근육이 활성화되는 스트로크의 회복 단계에서 회복될 가능성이 높다. 그 결과 팔은 다음 노력 단계 전에 거의 또는 최대 노력보다 약간 적게 완전히 회복된다. 평영과 접영의 양팔 스트로크에서 양팔이 동시에 회복되면 여전히 주기 내 회복 현상이 나타난다. 처음에는 그러한 가정이 의심스러워 보일 것이다. 하지만 등장성 수축에 사용할 수 있는 활성 근섬유의 대부분은 전체 섬유 인구의 약 30%라는 것을 깨달을 때, 에너지원 회복이 지속적인 수영 노력 내에서 일어날 수 있다는 것을 생각하는 것은 어렵지 않다(Seifert et al., 2007). 그리고 비슷한 유형의 스포츠에서 ~30% 섬유 사용의 구성은 스트로크 사이클에 따라 다르다. 따라서 한 번의 스트로크나 몇 번의 스트로크로 섬유 다발을 자극하면 전혀 자극받지 않는 주기가 있기 때문에 더 많은 회복이 가능하다(Rushall, 2018).

VI. 결론 및 제언

Nugent 등(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. 에너지 요구 사항에 대한 이해 부족과 수영 기능에 대한 책임을 전적으로 코치에게만 지워서는 안 된다. 수영 경기력

에 대한 출처의 설명을 확장하기 위해 여러 가설이나 추측이 추가되는 좁고 불완전한 정보의 범위(Noakes, 2000)로 제한되는 경우가 많다. 이러한 행동의 논리는 모든 전제의 진실성을 보장할 수 없기 때문에 잘못된 함의로 이어질 가능성이 있다. USRPT는 수영 선수들이 자신의 레이스에 적합한 바람직한 속도로 반복적으로 경기할 수 있는 능력의 한계까지 밀어붙인다. 전통적인 훈련의 지나친 피로를 없애고 USRPT는 레이스와 관련된 특정 훈련 효과만을 생성하기 위해 복합적인 하이브리드 훈련을 강조하기도 한다. 이런 점에서 USRPT는 수영 선수들이 경험하는 피로도의 측면에서 경기력 저하를 넘어서지 않도록 지시받았기 때문에 스스로 규제하는 것이다.

USRPT 세트에서, 수영선수들은 각 반복의 타이밍을 맞추고, 진행 상황을 분석하고, 이전보다 더 많은 반복 수영/총 수영 거리를 완주하는 전략을 개발하고 정확한 레이스 기록을 제공하는 규칙을 준수하도록 훈련한다. 이러한 특징들은 레이스에서 나타난다. 결과적으로 USRPT 프로그램은 레이스에 필요한 레이스 관리와 스트레스 범위 지정 능력을 개발할 수 있고 서로 다른 스트로크와 레이스에서 서로 다른 속도로 수영하고 그 속도를 조절하는 기술에 초점을 맞추어야 한다. 수영선수들이 경기에 가장 알맞은 컨디션 향진을 위해 주어진 훈련 활동을 지면서, 코치는 테크닉을 잘 가르치는 사람이 됨으로써 훈련의 이상적인 프로그램을 계획 할 수 있을 것이다.

참고문헌

- Astrand I, Astrand P. O., Christensen, E. H., & Hedman, R. (1960). Intermittent muscular work. *Acta Psychiatr Scand* 48(3-4), 448-453.
- Astrand, I, Astrand, P. O., Christensen, E. H., & Hedman, R. (1960). Circulatory and respiratory adaptation to severe muscular work. *Acta Psychiatr Scand* 50(3-4), 254-258.
- Avalos, M., Hellard, P., & Chatard, J-C. (2003). Modeling the training-performance relationship using a mixed model in elite swimmers. *Med Sci Sports Exerc.*, 35, 838-846.
- Barbosa, T. M., et al. (2015). Effects of protocol step length on biomechanical measures in swimming. *Int J Sports Physiol Perform.*, 10(2), 211-218.
- Barry, L., Lyons, M., McCreesh, K., Powell, C., & Comyns T. (2021). The relationship between training load and pain, injury and illness in competitive swimming: A systematic review. *Phys Ther Sport.*, 48, 154-168.
- Bartlett, M. L., & 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*

- Billat, L. V. (1996). Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for control of training. Recommendations for long-distance running. *Sports Med*, 22(3):157-75.
- Boulet, L. P., Turcotte, H., Langdeau, J. B., & Bernier, M. C. (2005). Lower airway inflammatory responses to high-intensity training in athletes. *Clin Invest Med* 28(1), 15-22.
- Brooks, G.A., (2020). Lactate as a fulcrum of metabolism. *Redox biol.*, 35, 101454.
- Buchheit, M. & Laursen, P. B. (2013)a. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle. *Sports Med* 43(5), 313-338.
- Buchheit, M. & Laursen, P. B. (2013)b. High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: part II: anaerobic energy, neuromuscular load and practical applications. *Sports Med*, 43(10), 927-954.
- Chollet, D., Seifert, L., Boulesteix, L., & Carter, M. (2006). Arm to leg coordination in elite butterfly swimmers. *Int J Sports Med*, 27(4), 322-329.
- Christensen, E. H., Hedman, R., & Saltin, B. (1960) Intermittent and continuous running (A further contribution to the physiology of intermittent work.). *Acta Psychiatr Scand.*, 50(3-4), 269-286.
- Creer, A. R., Ricard, M. D., Conlee, R. K., Hoyt, G. L., Parcell, A. C. (2004). Neural, metabolic and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *Int J Sports Med* 25(2), 92-98.
- D'Acquisto, L. J., Berry, J., Boggs, G., & Mattern, P. (2004). Swimming performance and velocity at OBLA are linked to propelling efficiency. *Med Sci Sports Exerc.*, 36(5), Supplement abstract 1409.
- De Jesus, K., de Jesus, K., Figueiredo, P. A., Gonçalves, P., Vilas-Boas, J. P., & Fernandes, R. J. (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*.
- De Jesus K, et al. (2016). The effect of intensity on 3-dimensional kinematics and coordination in front-crawl swimming. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(6), 768-775.
- Driller, M. W., Fell, J. W., Gregory, J. R., Shing, C. M., Williams, A. D. (2009). The effects of high-intensity interval training in well-trained rowers. *Int J Sports Physiol Perform*, 4(1), 110-121.
- Elbe, A. M., Rasmussen, C. P., Nielsen, G., & Nordsborg, N. B. (2016). High intensity and reduced volume training attenuates stress and recovery levels in elite swimmers. *Eur J Sport Sci.*, 16(3), 344-349.
- Enoka, R. M., & Duchateau, J. (2008). Muscle fatigue: what, why and how it influences muscle function. *J Physiol.*, 586(1), 11-23.
- Faude, O., Meyer, T., Scharhag, J., Weins, F., Urhausen, A., & Kindermann, W. (2008). Volume vs. intensity in the training of competitive swimmers. *Int J Sports Med*, 29(11), 906-912.
- Francisco, C. F, et al., (2021). Lower fatigue and faster recovery of ultra-short race pace swimming training sessions. *Res Sports Med*, 25, 1-14.
- Ferguson, B.S., et al., Lactate metabolism: historical context, prior misinterpretations, and current understanding. *Eur. J Appl Physiol.*, 118(4), 691-728.
- Flores, S. B., et al., (2018). Shorter sprints elicit greater cardiorespiratory and mechanical responses with less fatigue during time-matched sprint interval training (SIT) sessions. *Kinesiology*, 50(2), 137-148.
- Goldsmith, W. (2016). The distance debate: how much swim training should we be doing? In: *Swimming World Magazine*. May ed. Phoenix, AZ: Sports Publications Inc;
- Gorostiaga, E. M., et al., (2010). Vertical jump performance and blood ammonia and lactate levels during typical training sessions in elite 400-m runners. *J Stregth Cond. Res.*, 24(4), 1138-1149.
- Greenwood, J. D., et al., (2008). Intensity of exercise recovery, blood lactate disappearance, and subsequent swimming performance. *J Sports Sci*, 26(1), 29-34.
- Helgerud, J., Høydal, K. L., Wang, E., Karlsen, T., Berg, P. R., Bjerkaas, M., Simonsen, T., Helgesen, C. S., Hjorth, N. L., Bach, R., & Hoff, J. (2006). Differential response to aerobic endurance training at different intensities. *Med Sci Sports Exerc.*, 38(5), Supplement abstract 2581.
- Hellard, P., et al., (2019). Elite swimmers' training patterns in the 25 weeks prior to their season's best performances: insights into periodization from a 20-year cohort. *Front Physiol.*, 10, 363.
- Hibberd, E. E., & Myers, J. B. (2013). Practice habits and attitudes and behaviors concerning shoulder pain in high school competitive club swimmers. *Clin J Sport Med*, 23(6), 450-455.
- Houston, M. E., Wilson, D. M., Green, H. J., Thomson, J. A., &

- Ranney, D. A. (1981). Physiological and muscle enzyme adaptations to two different intensities of swim training. *Eur J Appl Physiol*, 46(3), 283-291.
- Howat, R. C., & Robson, M. W. (1992). Heartache or heartbreak. *The Swimming Times*, 35-37.
- Hydren, J. R. & Cohen, B. S. (2015). Current scientific evidence for a polarized cardiovascular endurance training model. *J Stregth Cond. Res.*, 29(12), 3523-3530.
- Juel C, Klarskov C, Nielsen JJ, Krstrup P, Mohr M, Bangsbo J. Effect of high-intensity intermittent training on lactate and H⁺ release from human skeletal muscle. *Am J Physiol Endocrinol Metab.*, 2004; 286(2): E245-E251
- Jürimäe, J., et al. (2007). Analysis of swimming performance from physical, physiological, and biomechanical parameters in young swimmers. *Pediatr Exerc Sci.*, 19(1), 70-81.
- Kame, V. D., Pendergast, D. R., & Termin, B. (1990). Physiologic responses to high intensity training in competitive university swimmers. *Journal of Swimming Research*, 6(4), 5-8.
- Kargotich, S., Keast, D., Goodman, C., Crawford, G. P., & Morton, A. R. (1997). The influence of blood volume changes on leucocyte and lymphocyte subpopulations in elite swimmers following interval training of varying intensities. *Int J Sports Med.*, 18(5), 373-80.
- Kargotich, S., Rowbottom, D. G., Keast, D., Goodman, C., Dawson, B., & Morton, A. R. (2005). Plasma glutamine changes after high-intensity exercise in elite male swimmers. *Res Sports Med.*, 3(1), 7-21.
- Kilen, A., Larsson, T. H., Jørgensen, M., Johansen, L., Jørgensen, S., & Nordsborg, N. B. (2014). Effects of 12 weeks high-intensity & reduced volume training in elite athletes. *PLoS One*. 9(4), e95025.
- Kubukeli, Z. N., St. Clair Gibson, A., Collins, M., Noakes, T. D., & 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. *Med Sci Sports Exerc.*, 32(5), Supplement abstract 538.
- Lätt, E., et al. (2010). Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *J Sports Sci Med*, 9(3), 398-404.
- Laursen, P. B. & Jenkins, D. G. (2002). The scientific basis for high-intensity interval training: optimising training programmes and maximising performance in highly trained endurance athletes. *Sports med*, 32(1), 53-73.
- Laursen, P. B., Shing, C. M., Peake, J. M., Coombes, J. S., & Jenkins, D. G. (2002). Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med Sci Sports Exerc.*, 34(11), 1801-1807.
- Laursen, P. B., Blanchard, M. A., & Jenkins, D. G. (2002). Acute high-intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly trained males. *Can J Appl Physiol.*, 27, 336-348.
- MacInnis, M. J. & Gibala, M. J. (2017). Physiological adaptations to interval training and the role of exercise intensity. *J Physiol.*, 595(9), 2915-2930.
- Maglisco, E. W. (1993) *Swimming Even Faster*. Mayfield
- Maglisco, E. W. (2003) *Swimming Fastest*. Human Kinetics.
- Meckel, Y., et al., (2012). The relationship between short-and long-distance swimming performance and repeated sprint ability. *J Stregth Cond. Res.*, 26(12), 3426-3431.
- Mezzaroba, P. V., & Machado, F. A. (2014). Effect of age, anthropometry, and distance in stroke parameters of young swimmers. *Int J Sports Physiol Perform*. 9(4), 702-706.
- Monedero J, Donne B. Effect of recovery interventions on lactate removal and subsequent performance. *Int J Sports Med* 2000, 21(8), 593-597.
- Ni Cheilleachair, N. J., Harrison, A. J., & Warrington, G. D. (2017). HIIT enhances endurance performance and aerobic characteristics more than high-volume training in trained rowers. *J Sports Sci.*, 35(11), 1052-1058.
- Noakes, T. D. (2000). Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports*, 10, 123-145.
- Nugent F. J., Comyns, T. M., Burrows, E., & Warrington, G. D. (2017)a. Effects of low-volume, high-intensity training on performance in competitive swimmers: a systematic review. *J Strength Cond Res.*, 31(3), 837-847.
- Nugent, F. J., Comyns, T. M., & Warrington, G. D. (2017)b. Quality versus Quantity Debate in Swimming: Perceptions and Training Practices of Expert Swimming Coaches. *J Hum Kinet.*, 57, 147-158
- Nugent, F., Comyns, T., Nevill, A., & Warrington, G. D. (2019). The effects of low-volume, high-intensity training on performance parameters in competitive youth swimmers. *Int J Sports Physiol Perform*. 14(2), 203-208.
- Nugent, F., Comyns, T., Kearney, P. & Warrington, G. (2019)

- Ultra-short race-pace training (USRPT) In swimming: current perspectives. *Open Access J Sports Med.*, 10, 133-144.
- Oliveira, M. F., Caputo, F., Lucas, R. D., Denadai, B. S., & Greco, C. C. (2012). Physiological and stroke parameters to assess aerobic capacity in swimming. *Int J Sports Physiol Perform.*, 7(3), 218-223.
- Pedersen, M. T., Kilen, A., Larsson, T. H., Jørgensen, M., Rocha, B., & Nordsborg, N. B. (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*.
- Pelarigo, J. G., Denadai, B. S., Fernandes, B. D., Santiago, D. R., César, T. E., Barbosa, L. F., & Greco, C. 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*.
- Pugliese, L., Porcelli, S., Bonato, M., et al. (2015). Effects of manipulating volume and intensity training in masters swimmers. *Int J Sports Physiol Perform.*, 10(7), 907-912.
- Pyne, D. B., Lee, H. & Swanwick, K. M. (2001). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Med Sci Sports Exerc.*, 33(2), 291-297.
- Ribeiro, J., et al., (2015). VO_2 kinetics and metabolic contributions during full and upper body extreme swimming intensity. *Eur. J Appl Physiol.*, 115(5), 1117-1124.
- Ring, S., Mader, A., & Mougious, V. (1999). Plasma ammonia response to sprint swimming. *J Sports Med Phys Fitness*, 39, 128-132.
- Rushall B. S. (2011). Swimming energy training in the 21st century: the justification for radical changes. *Swimming Sci Bull.* 39, 1-59.
- Rushall, B. S. (2016). USRPT defined: after two years USRPT comes of age. *Swimming Sci Bull.* 49, 1-17.
- Rushall, B. S. (2017). USRPT and training theory V: the specificity principle. *Swimming Sci Bull.* 60e, 1-39.
- Rushall B. S. (2018). Step-by-step USRPT planning and decision-making processes and examples of USRPT training sessions, microcycles, macrocycles, and technique instruction. *Swimming Sci Bull.* 47, 1-67.
- Santos, K. B. d., et al., (2020). Kinematic Parameters After Repeated Swimming Efforts in Higher and Lower Proficiency Swimmers and Para-Swimmers. *Res Q Exer Sport*, 91(4), 574-582.
- Seiler, S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int J Sports Physiol Perform.*, 5(3), 276-291.
- Smith, D. J., Norris, S. R. & Hogg, J. M. (2002). Performance evaluation of swimmers. *Sports med.*, 32(9),
- Sperlich, B., Zinner, C., Heilemann, I., Kjendie, P. L., Holmberg, H. C., & Mester, J. (2010). High-intensity interval training improves $\text{VO}_{2\text{peak}}$, maximal lactate accumulation, time trial and competition performance in 9-11 year old swimmers. *Eur J Appl Physiol.*, 110(5), 1029-1036. 539-554.
- Stott, M. J. (2012). The case for less volume. In: *Swimming World Magazine*. March ed. Phoenix, AZ: *Sports Publications Inc*, 29-30.
- Termin, B. & Pendergast, D. R. (2000). Training using the stroke frequency-velocity relationship to combine biomechanical and metabolic paradigms. *J Swim Res.*, 14, 9-17.
- Toussaint, H. M. (1988). Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Med Sci Sports Exerc.*, 22, 409-415.
- Toussaint, H. M., Knops, W., De Groot, G., & Hollander, A. P. (1990). The mechanical efficiency of front crawl swimming. *Med Sci Sports Exerc.*, 22, 402-408.
- Troup, J. P. (1990). Energy contributions of competitive freestyle events. In J. P. Troup (Ed.), *International Center for Aquatic Research annual - Studies by the International Center for Aquatic Research*.
- Wakayoshi, K., D'Acquisto, J. D., Cappaert, J. M., & Troup, J. P. (1996). Relationship between metabolic parameters and stroking technique characteristics in front crawl. In J. P. Troup, A. P. Hollander, D. Strasse, S. W. Trappe, J. M.
- Weston, A. R., Myburgh, K. H., Lindsay, F. H., Dennis, S. C., Noakes, T. D., & Hawley, J. A. (1996). Skeletal muscle buffering capacity and endurance performance after high-intensity interval training by well-trained cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, 75(1), 7-13.
- Wee, R. K., McGregor, S. J., & Light, W. (2007). Intermittent 30s intervals performed at 100 and 70 % $\text{VO}_{2\text{peak}}$ Power ($\text{pVO}_{2\text{peak}}$) allow trained cyclists to maintain $\text{VO}_{2\text{peak}}$ longer than continuous intervals at 100% $\text{pVO}_{2\text{peak}}$. *ACSM Annual Meeting New Orleans*, Presentation Number, 2417.
- White, J. C., & Stager, J. McC. (2004). The relationship between

-
- drag forces and velocity for the four competitive swimming strokes. *Med Sci Sports Exerc.*, 36(5), Supplement abstract 93.
- Zacca, R., et al., (2014). Lactate peak in youth swimmers: quantity and time interval for measurement after 50-1500 maximal efforts in front crawl. *J Physiol*, 66, 90-95.
- Zamparo, P., M. Cortesi, G. & Gatta, (2020). The energy cost of swimming and its determinants. *Eur. J Appl Physiol*, 120(1), 41-66.