

Analysis of Upper Limb Muscles Properties In Elite Swimmers Before and After Training

엘리트 수영선수들의 수중 훈련 전후의 상지 근육 특성 변화 분석

Raphael Kihong Koo^{1,2,3}, Hyunwoo Kang¹, Seong Won Park², Taewhan Kim¹

¹Department of Sports Science, Korea Institute of Sport Science (KISS), Seoul, South Korea

²Creative Real Swimming (CRS) Team, Seoul, South Korea

³Korea International School (KIS), Gyeonggi, South Korea

Received : 24 August 2023

Revised : 25 August 2023

Accepted : 01 September 2023

Objective: The aim of this study is to verify the differences in muscle characteristics of elite level swimmers before and after a 2-hour practice session.

Method: The study was conducted on 15 elite swimmers. Preliminary measurements for each muscle (Anterior Deltoid, Triceps Brachii, Biceps Brachii, Flexor Carpi Ulnaris) were taken using the MyotonPRO device before training. After approximately 2 hours of training, the same muscle areas were measured again. The collected data was analyzed through descriptive statistics and two-way 2X2 RG · RM ANOVA, and all statistical significance levels were set at $\alpha=0.05$.

Results: After analyzing the characteristics of the Flexor Carpi Ulnaris (FCU) before and after training in both proficiency level swimmers (excellent, non-excellent), it was found that the interaction effect of group X repetition in muscle tension (F), muscle stiffness (S), and body recovery time (R) was statistically significant. Secondly, in the analysis of the Biceps Brachii (BB), the main effect of repetition in muscle tension (F), muscle stiffness (S), and body recovery time (R) was statistically significant. Furthermore, the interaction effect of group X repetition in muscle stiffness (S) and body recovery time (R) was statistically significant.

Conclusion: The efficient use of FCU and BB suggests that it is an important factor distinguishing the performance of excellent and non-excellent swimmers in swimming. Therefore, if we develop and apply measures to efficiently utilize FCU and BB during training, it can help improve the performance of the athletes.

Keywords: Swimming, Muscles, Stiffness, Elasticity, Tone, Frequency

Corresponding Author

Taewhan Kim

Department of Sports Science,
Korea Institute of Sport Science
(KISS), 727 Hwarang-ro
(Gongneung-dong), Nowon-gu,
Seoul, 01794, South Korea

Email : burumi@sports.re.kr

INTRODUCTION

인간의 운동 능력은 생리적, 기능적, 심리적, 환경적 요인 등의 다양한 요인에 의해 영향을 받는다. 이 중 근육 특성의

생리적 요인은 운동선수의 전반적인 신체 능력에 미치는 영향 때문에 스포츠과학 분야에서 지속적으로 연구되고 있다 (Wilson, Loenneke, Wilson, Zourdos & Kim, 2012). 인체는 기계적 작업과 특정 과제를 수행하기 위한 동작들을 안정적이

고 조화롭게 구현할 수 있는 근육 시스템으로 구성된다. 근육 특성의 차이는 훈련, 회복 또는 부상 유지에 대한 운동선수의 반응에 영향을 미칠 수 있다(Foure, Nordez & Cornu, 2010). 따라서 선수의 고유한 체격을 이해하는 것은 경기력을 최적화하는데 필수적이다. 또한, 스포츠는 각 종목들마다 최적의 경기력을 발휘하는데 필요한 힘, 속도, 지구력, 유연성 및 민첩성 등의 신체적 능력에는 차이가 존재한다(Komi, 1986). 이러한 차이는 경쟁이 치열한 스포츠 세계에서 경기력 향상을 통해 승리를 쟁취하고자 끊임없이 노력하는 선수들의 경기결과에 상당한 영향을 미칠 수 있다. 예를 들어, 근력 관련 스포츠는 높은 근육량과 높은 힘 생성 능력(Young, 2006)을 필요로 하는 반면, 지구력 스포츠는 근육 내에서 효율적인 산소 활용과 피로 저항(Verges, Lenherr, Haner, Schulz & Spengler, 2007)을 통해 이점을 얻는다. 한편, 복잡한 움직임과 정밀함을 요구하는 스포츠는 근육 조절과 조정의 섬세한 균형을 필요로 한다(Enoka, 2015). 따라서 스포츠과학 분야에서 맞춤형 훈련 체계와 부상 예방 전략을 개발하는 것을 목표로 운동 수행에서 근육의 생리학적 측면의 역할을 이해하는 데 점점 더 주의를 기울이고 있다(Bahr & Krosshaug, 2005).

최근 스포츠과학 측정장비의 발전으로 비침습적으로 긴장도, 강성도, 회복시간 등 근육 특성을 안정적으로 측정할 수 있게 되었다(Aird, Samuel & Stokes, 2012; Korhonen, Vain, Vanninen, Viir & Jurvelin, 2005). 근육 경직도는 길이 변화에 대한 근육의 저항으로 정의되며 운동선수가 강력한 움직임으로 탄성 에너지를 저장하고 방출할 수 있도록 하는 기본 속성이다(Akkoc, Caliskan & Bayramoglu, 2018; Kubo, Kanehisa & Fukunaga, 2002). 근육 경직도가 높을수록 힘 전달의 속도와 효율성이 증가할 수 있으므로 육상이나 점프와 같이 폭발적인 움직임이 필요한 스포츠에서 중요한 것으로 밝혀졌다(Chelly & Denis, 2001; Kubo, Ikebukuro, Yata, Tomita & Okada, 2011). 반면, 낮은 근육 경직도는 장거리 달리기 및 자전거 타기와 같이 반복적이고 리드미컬한 동작이 필요한 지구력 스포츠에 도움이 될 수 있다(Kovanen, Suominen & Heikkinen, 1984; McMahon & Cheng, 1990). 또한 근육 탄력성이란 근육이 늘어난 후 원래 휴식 길이로 돌아가는 능력을 말한다. 그것은 근육 수축의 속도와 효율성에 영향을 미치기 때문에 운동 능력의 핵심 요소이다(Ciullo & Zarins, 1983). 더 큰 탄력성은 근육이 수축 사이에 더 빨리 원래 모양으로 복원되도록 하여 반대로 빠르고 강력한 움직임을 가능하게 한다(Ettema, 2001; Kubo, Kawakami & Fukunaga, 1999). 선행연구에 따르면 높은 수준의 유연성이나 운동 범위가 요구되는 스포츠에서 낮은 근육 탄성은 부상의 원인이 될 수 있으며 빠른 근육 피로를 유발할 수 있다(Wiesinger, Rieder, Kösters, Müller & Seynnes, 2017). 근 긴장도는 근육의 부분적인 수축이 지속되는 상태를 말하며, 인간의 동작 수행과 관련된 변인으로써,

근 긴장이 과도하게 지속될 경우 근육의 피로가 누적되어 수행력을 저하시킬 수 있다. 반면에 근 긴장의 과도한 저하는 근 위축을 유발할 수 있기 때문에 적정 범위의 근 긴장도를 유지하는 것이 동작 수행에 중요한 영향을 미친다(Purves et al., 2008).

특히, 수영은 공기보다 밀도가 높은 물의 저항에 대한 추진력을 생성해야 하며(Hawley, Williams, Vickovic & Handcock, 1992). 힘, 지구력, 유연성 등을 결합하여 추진력을 생성하고 신체 균형을 유지하기 위해 모든 근육의 동기화된 노력이 필요하다(Toussaint & Beek, 1992). 수영에 관련된 주요 근육에는 광배근(Latissimus dorsi), 전방/후방 삼각근(Anterior-Posterior Deltoid), 상완삼두근(Triceps brachii), 복직근(Rectus abdominis), 대퇴사두근(Quadriceps femoris), 고관절굴근 및 기타 모든 하체 근육이 포함된다(Kjendlie & Stallman, 2011). 수영선수들의 힘, 균형 및 지구력에 관련되어 광범위하게 수행된 연구들에 따르면, 하체의 폭발력은 스타트 및 턴의 속도와 전반적인 수행력을 증가시켜 단거리 수영 경기에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다(Kim, 2008; Morouço, Marinho, Keskinen, Badillo & Marques, 2011). 또한 근육 조정 및 균형은 스트로크 효율성을 향상시켜 장거리 수영 경기에서 체력(stamina)을 증가시키는 역할을 하는 것으로 나타났다(Peterson et al., 2019). 이러한 연구결과에 근거할 때 근육의 경직도, 탄력성 및 톤과 같은 근육 특성의 세부적인 영역을 이해하기 위한 연구의 필요성이 부각된다. 이에 수영은 폭발력과 지구력을 모두 요구하는 스포츠이기 때문에 근육의 긴장도, 경직도, 탄성은 복잡한 관계를 가지고 있기 때문에 수영선수의 숙련도에 따라 근육의 경직성, 탄력성 및 긴장도에 상당한 차이가 있을 수 있다. 그러나 이와 같은 주제를 가지는 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 MyotonPRO 장비의 기능을 활용하여 선수들의 수행 결정 요인 중 근육 특성(긴장도, 강성도, 복원시간)이 수영 훈련 전후 수행 향상에 미치는 영향을 탐색함으로써 선수들 간의 격차를 해소하는 것을 목적으로 한다.

METHOD

1. 연구 대상자

본 연구의 대상자는 최근 부상 이력이 없으며, 정상적으로 훈련에 참여할 수 있는 C 클럽의 소속 엘리트 수영선수 15명(나이: 18.0 ± 3.1 세, 신장: 177.1 ± 6.8 cm, 체중: 67.6 ± 8.1 kg, 경력: 9.3 ± 4.7 년)이 참여하였다. 최근 1년 동안의 성적과 기록을 바탕으로 팀 지도자와 회의를 통해 Expert 그룹 8명과 Non-expert 그룹 7명으로 분류하였다(Table 1).

Table 1. Physical characteristics of participants

Group	Mean ± SD			
	Age	Height	Weight	Experience
Expert (N=8)	19.75±2.76	181±3.78	71.13±4.36	11.88±4.70
Non-expert (N=7)	15.71±1.70	172.71±6.99	63.57±9.78	6.29±2.56
Total	17.87±3.07	177.13±6.81	67.60±8.10	9.27±4.71

Table 2. Exercise program

Distance	Repetition	Intensity
100 m MS	12 rep	100 sec/rep, Warm-up
50 m FS	16 rep	50 sec/rep
50 m FS	32 rep	45 sec/rep
100 m FS	1 rep	Cool-down
50 m FS	8 rep	45 sec/rep
50 m FS	4 rep	Max sprint
25 m, 30 m, 15 m FS	2 set	Max sprint
300 m FS	1 rep	Cool-down

MS=Individual Swimming, FS=Freestyle Swimming

2. 연구설계 및 절차

연구시작 대상자들에게 연구의 목적과 실험 내용을 상세히 설명한 후 자발적인 참여의사를 밝힌 대상들에 한해 서면 동의를 작성하고 실험을 진행하였다. 전 측정에 앞서 실험 대상자들의 일반 특성(나이, 신장, 체중, 경력)을 측정하였다. 이후 안정을 위해 10분 동안 상온의 방에서 편안하게 누워있게 하였으며, 각 근육을 수축하는 방법에 대해 충분히 사전 설명을 전달한 후 사전측정이 이루어졌다. 사전측정 후 15명의 실험 대상자들에게 사전에 협의한 내용에 따라 주 종목의 구분없이 일반적인 훈련 프로그램을 약 2시간 동안 동일하게 적용하였다(Table 2). 훈련 종료 후 다시 안정을 취할 수 있는 방으로 이동하여 편안한 상태에서 사후측정을 실시하였고, 훈련 전과 훈련 후의 각 근육(전방삼각근 AT, 상완삼두근 TB, 상완이두근 BB, 척측수근굴근 FCU)을 각각 측정하였다(Figure 1).

1) 측정 위치

본 연구의 측정부위는 Kjendlie & Stallman (2011)의 연구를 참고하여 수영종목에서 중요하게 사용되는 상지 근육 5개

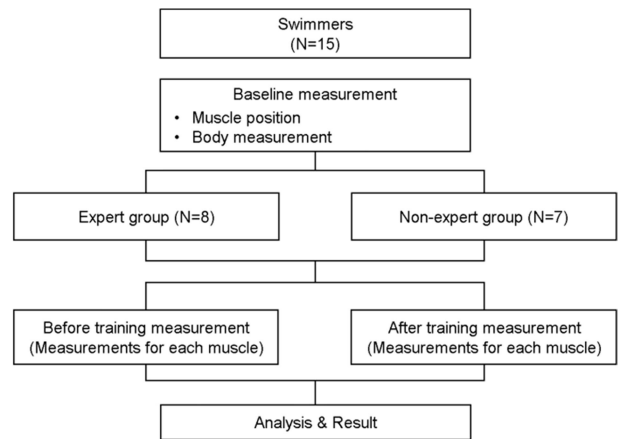


Figure 1. Research design

부위를 선정하여 측정하였다. 각 근육별 측정 지점은 각 근육 복부의 가장 큰 단면 위에 표시하고 길이는 우세한 팔의 해부학적 랜드마크에서 측정하여 MyotonPRO와 반복 측정에서 동일한 지점을 측정하였다(Kim, Kong & Kil, 2013; Perotto, 2011). 본 측정을 하기 위해 동일한 측정 기록을 위해 임상적으로 가능한 표준화하여 측정하였다(Figure 2).

- 척측수근굴근(FCU; flexor carpi ulnaris)은 누운자세에서 전완의 1/3 지점의 자뼈면에서 손가락 2개 너비만큼 떨어진 지점을 마킹 한 후 측정하였다(Kim, Hwang & Kim, 2006).
- 상완삼두근(TB; triceps brachii)은 누운자세에서 삼각근 정지부 후면을 따라 손가락 4개 너비만큼 떨어진 지점을 마킹 한 후 측정하였다(Kim, Hwang & Kim, 2006).
- 상완이두근(BB; biceps brachii)은 누운자세에서 위팔 중간 지점을 마킹한 후 측정하였다(Shin, Lim, Kim, Park & Kwon, 2003).
- 전방삼각근(AT; anterior deltoid)은 누운자세에서 봉우리의 앞쪽 가장자리에서 아래로 손가락 3개 너비만큼 떨어진 지점을 한 후 동일 측정하였다(Kim, Hwang & Kim, 2006).



Figure 2. Measurement scene

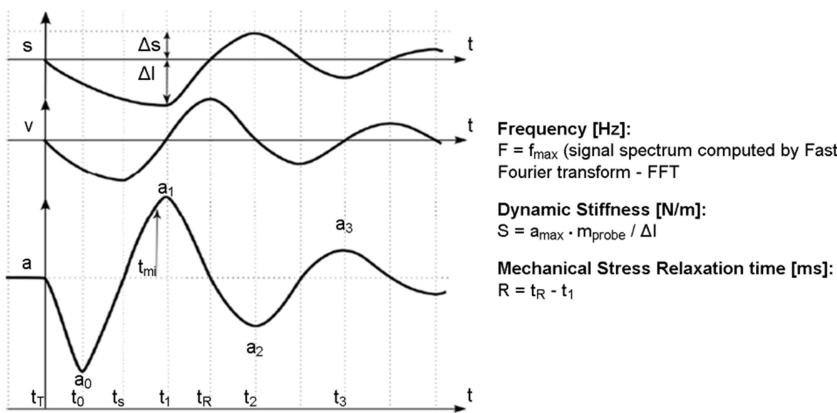


Figure 3. MyotonPRO variable (Myoton PRO Manual, 2023)

2) MyotonPRO 측정 및 기계적 특성

MyotonPRO는 골격근 또는 신체부위의 여러 생체조직을 평가를 위하여 임상 및 비임상 연구목적에 사용할 수 있으며, 측정 방법은 신체 피부 및 근육의 생리학적 물성에 대한 고유진동수를 측정하는 방식으로 측정은 가속도 및 탄성 힘, 거리 등 신체부위의 생체조직물성에 관련된 여러 상태를 측정할 수 있다.

MyotonPRO 장치에는 테스트 끝단(probe)이 일정한 예비 압력(0.18 Newton)을 가하여 피하조직을 사전 압축한 후 프로브는 사전 설정된 위치에 짧은 시간(15 ms) 동안 기계적 임펄스(탭)를 가한 후 미리 결정된 힘(0.4 N)을 가한 다음 빠른 릴리스, 감쇄 유도 근육의 자연스러운 진동을 유도하며 기계적 특성에는 5가지 특징을 측정할 수 있으며, 본 연구에서는 3가지 변인을 측정하였다(Figure 3). 근육 긴장(F)은 근육의 톤은 고유 긴장도를 나타낸다. 어떠한 근 수축이 없는 상태에서 근육을 움직이게 하여 각 근육이 가진 공진 주파수를 측정한다(공진 주파수[Hz]는 자발적 근 수축 EMG의 Zero 수준) 없는 상태에서 수동적으로 자극을 주는 방식). 근육 강성(S)은 근육의 강성(경직성)을 보는 변인으로 근육의 생체역학적 특

성으로 볼 수 있다. 즉, 신체 근육에 대한 성질의 강성 특성을 측정하는 것으로 초기 근육의 상태에서 외부 힘에 대한 저항의 특성을 측정하여 근육의 성질에 대한 상태를 측정한다. 신체복원시간(R)은 근육의 근 수축 또는 외부 응력을 제거 후 신체가 정상으로 복원되는 시간을 나타낸다. 즉, 근육이 자발적 수축 후 변형에서 그 모양을 복원 또는 외부 힘이 제거될 때를 말한다.

3. 자료 분석

모든 데이터는 SPSS 25.0 통계 소프트웨어를 사용하여 분석되었으며, 평균 ± 표준 편차로 표시하였다. 엘리트 수영선수들의 숙련도(우수, 비우수)에 따른 수중 훈련 전후의 근육 특성 변화를 분석하기 위해 기술 통계 및 이원변량분석(two-way 2X2 RG·RM ANOVA)을 실시하였다. ANOVA 분석에서 상호작용효과가 유의하게 나타난 경우, 별도의 명령문(Syntax)을 활용하여 상호작용효과에 대한 사후검증(Bonferroni)을 실시하였으며(Jung & Eom, 2011), 모든 통계적 유의수준은 $\alpha = .05$ 로 설정하였다.

RESULTS

엘리트 수영선수의 훈련 전후의 숙련도(우수 대 비우수)에 따른 근육 특성(근육 긴장, 근육 경직, 신체복원시간)의 차이를 검증하기 위해 총 4개 부위(FCU, TB, BB, LD)에서 각 부위별 근육 특성의 차이를 분석하였다. 그 결과 척측수근굴근(FCU)과 상완이두근(BB) 두 근육부위에서만 통계적으로 유의미한 차이가 나타났으며, 나머지 부위에서는 통계적으로 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 따라서 통계적으로 유의미

한 차이가 나타난 두 근육부위의 결과들을 다음과 같다.

1. 수영선수들의 숙련도(우수, 비우수)에 따른 수중 훈련 전후의 척측수근굴근(FCU) 특성 분석

수영선수들의 숙련도(우수, 비우수)에 따른 수중 훈련 전후의 척측수근굴근(FCU) 특성 분석결과, 근육 긴장(F), 근육 강성(S), 신체복원시간(R)에서 집단 X 반복의 상호작용효과가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다(Table 3, 4). 이에 상호작

Table 3. Flexor carpi ulnaris characteristic descriptive statistics

Variable		Pre	Post	ICC
F	Expert (n=8)	15.68±1.41	15.03±0.84	0.886 ⁺⁺
	Non-expert (n=7)	14.17±0.93	14.43±0.76	0.886 ⁺⁺
	Total (n=15)	14.97±1.40	14.75±0.83	0.868 ⁺⁺⁺
FCU	Expert (n=8)	249.75±23.69	245.75±17.48	0.857 ⁺⁺
	Non-expert (n=7)	226.57±23.97	238.29±25.28	0.969 ⁺⁺⁺
	Total (n=15)	238.93±25.89	242.27±21.02	0.898 ⁺⁺⁺
R	Expert (n=8)	19.60±1.96	20.44±1.25	0.884 ⁺⁺
	Non-expert (n=7)	21.86±2.03	21.37±1.96	0.923 ⁺⁺
	Total (n=15)	20.65±2.25	20.87±1.63	0.891 ⁺⁺⁺

⁺⁺p<.01, ⁺⁺⁺p<.001

Table 4. Flexor carpi ulnaris characteristic analysis of variance

Variable		Sum of squares	df	F	Post-hoc
F	G	8.232	1	4.331	n.s
	R	0.288	1	1.334	n.s
	IN	1.536	1	7.110 ⁺	A=1>2, B=n.s 1=A>B, 2=n.s
FCU	G	1752.771	1	1.841	n.s
	R	111.086	1	1.482	n.s
	IN	460.952	1	6.148 ⁺	A=n.s, B=1<2 1=n.s, 2=n.s
R	G	19.008	1	3.156	n.s
	R	0.231	1	0.408	n.s
	IN	3.268	1	5.778 ⁺	A=1<2, B=n.s 1=A<B, 2=n.s

G=Group, R=Repeated, IN=Interaction, A=Expert, B=Non-expert, 1=Pre, 2=Post
⁺p<.05

용효과에 대한 사후검증을 실시한 결과, 첫 번째로 근육 긴장(F)의 경우 우수군은 사전보다 사후에 유의하게 감소하는 것으로 나타났으며, 비우수군은 유의한 변화가 없는 것으로 나타났다. 또한, 사전에는 우수군이 비우수군 보다 유의하게 근육 긴장도가 높은 것으로 나타났고, 사후에는 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 두 번째로 근육 강성(S)의 경우 우수군은 사전과 사후에 유의한 차이가 없는 반면, 비우수군은 사전보다 사후에 유의하게 증가하는 것으로 나타났다. 세 번째로 신체복원시간(R)의 경우 우수군은 사전보다 사후에 유의하게 높아지는 것으로 나타났으며, 비우수군은 사전과 사

후에 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다. 또한, 사전에는 우수군이 비우수군 보다 유의하게 낮은 것으로 나타났으며, 사후에는 두 그룹간 유의한 차이가 나타나지 않았다.

2. 수영선수들의 숙련도(우수, 비우수)에 따른 수중 훈련 전후의 상완이두근(BB) 특성 분석

수영선수들의 숙련도(우수, 비우수)에 따른 수중 훈련 전후의 상완이두근(BB) 특성 분석결과, 근육 긴장(F), 근육 강성(S), 신체복원시간(R)에서 반복의 주효과가 통계적으로 유의한 것

Table 5. Biceps brachii characteristic descriptive statistics

Variable		Pre	Post	ICC
F	Expert (n=8)	14.23±0.51	14.55±1.17	0.741 ⁺
	Non-expert (n=7)	14.16±0.78	14.64±0.75	0.997 ⁺⁺⁺
	Total (n=15)	14.19±0.63	14.59±0.96	0.849 ⁺⁺⁺
BB	Expert (n=8)	213.88±13.73	216.13±13.76	0.804 ⁺
	Non-expert (n=7)	215.57±24.91	229.86±25.62	0.973 ⁺⁺⁺
	Total (n=15)	214.67±19.00	222.53±20.65	0.910 ⁺⁺⁺
R	Expert (n=8)	21.10±1.05	20.85±1.07	0.806 ⁺
	Non-expert (n=7)	20.91±1.73	19.80±1.74	0.975 ⁺⁺⁺
	Total (n=15)	21.01±1.36	20.36±1.47	0.906 ⁺⁺⁺

⁺p<.05, ⁺⁺⁺p<.001

Table 6. Biceps brachii characteristic analysis of variance

Variable		Sum of squares	df	F	Post-hoc
F	G	0.001	1	0.001	n.s
	R	1.227	1	6.725 ⁺	1<2
	IN	0.048	1	0.264	n.s
BB	G	444.343	1	0.597	n.s
	R	510.402	1	10.442 ⁺⁺	1<2
	IN	270.402	1	5.532 ⁺	A=n.s, B=1<2 1=n.s, 2=n.s
R	G	2.850	1	0.767	n.s
	R	3.474	1	13.268 ⁺⁺	1>2
	IN	1.394	1	5.325 ⁺	A=n.s, B=1>2 1=n.s, 2=n.s

G=Group, R=Repeated, IN=Interaction, A=Expert, B=Non-expert, 1=Pre, 2=Post
⁺p<.05, ⁺⁺p<.01

으로 나타났으며, 근육 긴장(F)과 근육 강성(S)는 사전보다 사후에 유의하게 증가하는 것으로 나타났고, 신체복원시간(R)은 사전보다 사후에 유의하게 감소하는 것으로 나타났다(Table 5, 6). 또한 근육 강성(S)과 신체복원시간(R)에서 집단 X 반복의 상호작용효과가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이에 대한 사후검증을 실시한 결과, 근육 강성(S)에서 우수군은 사전과 사후에 유의한 변화가 없는 것으로 나타났으며, 비우수군은 사전보다 사후에 유의하게 증가하는 것으로 나타났고, 사전과 사후에 우수군과 비우수군의 유의한 차이는 나타나지 않았다. 신체복원시간(R)의 경우 우수군은 사전과 사후에 유의한 변화가 없는 것으로 나타났으며, 비우수군은 사전보다 사후에 유의하게 감소하는 것으로 나타났고, 사전과 사후에 우수군과 비우수군의 유의한 차이는 나타나지 않았다.

DISCUSSION

이 연구는 엘리트 수영선수의 2시간 연습 세션 전후의 숙련도(우수 대 비우수)에 따른 근육 특성(근육 긴장, 근육 경직 및 신체복원시간)의 차이를 검증하기 위해 총 4개 부위에서 각 부위별 근육 특성을 분석하였다. 그 결과 척추근굴근과 상완이두근 두 부위에서만 근육 특성이 통계적으로 유의미한 차이가 나타났으며, 그 중 상호작용효과가 유의하게 나타난 결과를 중심으로 다음과 같이 논의하였다.

FCU 부위에서 우수군은 훈련 후 근 긴장도(F)가 유의하게 감소하였으며, 근 경직도(S)는 유의한 변화가 없었고, 신체복원시간(R)은 유의하게 증가하였다. 비우수군의 경우 훈련 후 FCU의 근 경직도(S)는 유의하게 증가하였으며, 근 긴장도(F)와 신체복원시간(R)은 유의한 변화가 없었다. 또한, BB 부위에서는 우수군은 훈련 전후 근 긴장도, 근 경직도, 신체복원시간에서 유의한 차이가 없었으며, 비우수군은 근 경직도(R)가 훈련 후 유의하게 증가하였으며, 신체회복시간(R)은 유의하게 감소하였다.

일반적으로 근 긴장도와 근 경직도 지표는 근력 및 근 파워와 정적(+)인 상관을 나타내기 때문에 F와 S 지표가 높을수록 근력 및 근 파워가 증가되는 것으로 보고되고 있다(Ikezoe, Asakawa, Fukumoto, Tsukagoshi & Ichihashi, 2012; Pruy, Watsford & Murphy, 2014). 이에 비추어볼 때 우수 선수들의 근 긴장도가 훈련 전에는 비우수군 보다 높은 것과 훈련 후 유의하게 감소한 결과는 수행력이 저하된 것으로 해석할 수 있으나, 보통 훈련 직후에는 근육의 수행력이 감소하는 게 일반적이기 때문에 훈련 직후의 근육 상태에 대한 해석은 트레이닝이나 처치의 효과보다는 훈련의 효율성 측면에서 접근하는 것이 올바른 해석이다. 따라서 우수 선수들이 훈련 중 FCU 부위의 근력을 더 효율적으로 사용하였기 때문에 훈련 후 근 긴장도는 감소하고 신체회복능력이 증가한 것으로 판

단된다. 근 수축에 대한 저항력은 회복시간과 부적(-)인 관련성(Kim & Kim, 2016)을 보이기 때문에 근육의 저항력을 의미하는 근 긴장도(F)의 감소가 신체회복시간(R)의 증가로 나타난 것으로 사료된다. 반면, 비우수 선수들의 경우 훈련 후 근 경직도(S)가 오히려 증가한 것은 훈련 중 FCU 부위의 근육을 효율적으로 사용하지 못함으로 인해 나타난 결과라고 판단된다.

수영에서 전진 추진력의 85% 이상이 팔에 의해 발생하며(Toussaint et al., 1988), 손과 팔뚝의 횡단 운동으로 발생하는 양력 및 pull-through 단계 동안 특정한 손의 각도를 유지하는 능력이 전진 추진력을 발생시킨다(Richardson, 1986). Caty 등 (2007)과 Rouboa, Silva, Leal, Rocha와 Alves (2006)의 연구에서는 수영의 insweep 단계 동안 높은 근육 활성화가 관찰되었는데, 이는 수영에서 추진력의 안정화와 움직임의 경제성에 대한 FCU의 중요성을 의미한다. 이러한 선행연구와 본 연구의 결과를 종합해보면, FCU의 효율적인 사용이 수영 경기의 기록에 큰 영향을 미친다는 것으로 시사한다. 특히, 우수한 수영선수는 FCU를 효율적으로 사용하여 빠른 속도를 낼 수 있는 반면, 비우수 선수는 FCU를 효율적으로 사용하지 못하고 있는 것으로 알 수 있으며, 이러한 차이가 수영 경기의 기록에 중요한 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

또한, Ikai와 Miyashita (1964)의 연구에서 EMG 실험을 통해 FCU와 BB의 근육 활성화가 대학 수영선수보다 엘리트 수영선수에서 더 강하게 나타났으며, Ikuta, Matsuda, Yamada, Kida, Oda와 Moritani (2012)의 연구에서는 수영 속도와 FCU 및 BB 근육부위의 활성화 사이에 정적인 상관관계가 확인되었다. Ozeker, Bilge와 Yildirim (2020)는 청소년 수영선수와 세계적 수준의 수영선수 모두에게 이두박근(BB)은 기록에 영향을 미치는 중요한 요소라고 설명하였으나, 본 연구에서 비우수군 선수들은 이두박근을 효율적으로 사용하지 못하고 있는 것으로 나타났다. 이러한 결과를 바탕으로 수영선수 지도 시 이두박근의 사용을 잘 강조하고 근력 훈련을 통해 BB 부위의 근력을 증가시키기 위해 훈련 방법을 적용할 필요가 있을 것으로 사료된다.

결론적으로 본 연구의 결과는 FCU와 BB의 효율적인 사용이 수영에서 우수선수와 비우수 선수들의 경기력을 구별하는데 중요한 요소임을 시사한다. 따라서 이러한 결과를 바탕으로 캐치 단계에서 FCU와 BB의 사용을 더욱 강조하여 지도할 필요가 있으며, 근력 훈련을 통해 FCU와 BB의 전반적인 근력을 증가시키기 위해 훈련을 적용할 필요성이 있을 것으로 사료된다. 이와 더불어 수영 훈련 시 해당 부위의 동작에 대해 좀 더 정밀한 분석 통해 근육이 어떻게 효율적으로 사용되는지를 파악한다면 선수들의 기록 향상에 도움이 될 수 있는 정보를 추가적으로 제공할 수 있을 것으로 판단된다.

CONCLUSION

이 연구에는 엘리트 수영선수의 2시간 연습 세션 전후의 숙련도에 따른 근육 특성의 차이를 검증함으로써 선수들의 수행력 향상에 도움을 주기 위해 목적으로 진행되었다. 연구 결과, 첫 번째로 수영선수들의 숙련도(우수, 비우수)에 따른 수중 훈련 전후 척측수근굴근(FCU)의 특성 분석결과, 근육 긴장(F), 근육 강성(S), 신체복원시간(R)에서 집단 X 반복의 상호작용효과가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 두 번째로 상완이두근(BB) 부위에서는 근육 긴장(F), 근육 강성(S), 신체복원시간(R)에서 반복의 주효과가 통계적으로 유의한 것으로 나타났으며, 근육 강성(S)과 신체복원시간(R)에서 집단 X 반복의 상호작용효과가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. 이러한 결과는 FCU와 BB의 효율적인 사용이 수영에서 우수 선수와 비우수 선수들의 경기력을 구별하는데 중요한 요소임을 시사하며, 훈련 시 FCU와 BB의 활용을 강조할 필요성이 있을 것으로 사료된다. 마지막으로 이 연구에서는 선수들의 근육 특성만을 분석했다는 아쉬움이 있다. 추후에는 근전도, 동작 분석 등의 방법을 동시에 적용하여 어떠한 움직임을 통해 해당 부위를 효율적으로 사용하는지를 복합적으로 분석한다면, 지도자와 선수들에게 더욱 의미있는 자료를 제공할 수 있을 것이다.

REFERENCES

- Aird, L., Samuel, D. & Stokes, M. (2012). Quadriceps muscle tone, elasticity and stiffness in older males: reliability and symmetry using the MyotonPRO. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 55(2), e31-e39.
- Akkoc, O., Caliskan, E. & Bayramoglu, Z. (2018). Effects of passive muscle stiffness measured by Shear Wave Elastography, muscle thickness, and body mass index on athletic performance in adolescent female basketball players. *Medical Ultrasonography*, 20(2), 170-176.
- Bahr, R. & Krosshaug, T. (2005). Understanding injury mechanisms: a key component of preventing injuries in sport. *British Journal of Sports Medicine*, 39(6), 324-329.
- Caty, V., Aujouannet, Y., Hintzy, F., Bonifazi, M., Clarys, J. P. & Rouard, A. H. (2007). Wrist stabilisation and forearm muscle coactivation during freestyle swimming. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17(3), 285-291.
- Chelly, S. M. & Denis, C. (2001). Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(2), 326-333.
- Ciullo, J. V. & Zarins, B. (1983). Biomechanics of the musculotendinous unit: relation to athletic performance and injury. *Clinics in Sports Medicine*, 2(1), 71-86.
- Enoka, R. M. (2015). *Neuromechanics of human movement*. Human Kinetics.
- Ettema, G. (2001). Muscle efficiency: the controversial role of elasticity and mechanical energy conversion in stretch-shortening cycles. *European Journal of Applied Physiology*, 85, 457-465.
- Foure, A., Nordez, A. & Cornu, C. (2010). Effects of eccentric training on mechanical properties of the plantar flexor muscle-tendon complex. *Journal of Applied Physiology*, 108(3), 542-550.
- Hawley, J. A., Williams, M. M., Vickovic, M. M. & Handcock, P. J. (1992). Muscle power predicts freestyle swimming performance. *British Journal of Sports Medicine*, 26(3), 151-155.
- Ikai, M., Ishii, K. & Miyashita, M. (1964). An electromyographic study of swimming. *Japan Journal of Physical Education, Health and Sport Sciences*, 7(4), 47-54.
- Ikezoe, T., Asakawa, Y., Fukumoto, Y., Tsukagoshi, R. & Ichihashi, N. (2012). Associations of muscle stiffness and thickness with muscle strength and muscle power in elderly women. *Geriatrics & Gerontology International*, 12(1), 86-92.
- Ikuta, Y., Matsuda, Y., Yamada, Y., Kida, N., Oda, S. & Moritani, T. (2012). Relationship between decreased swimming velocity and muscle activity during 200-m front crawl. *European Journal of Applied Physiology*, 112, 3417-3429.
- Jung, M. M. & Eom, H. J. (2011). Understanding and Interpretation of Interaction Effects in Mutli-factor ANOVA Designs. *The Korean Journal of Measurement and Evaluation in Physical Education and Sport Science*, 13(2), 1-15.
- Kim, C. S. & Kim, M. K. (2016). Mechanical properties and physical fitness of trunk muscles using Myoton. *Korean Journal of Physical Education*, 55(1), 633-642.
- Kim, S. K. (2008). A Kinematic Comparison of Start Motion Between the Swimming and Fin-Swimming. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 18(1), 97-105.
- Kim, T. W., Hwang, K. Y. & Kim, J. S. (2006). Analysis of Muscle Activities for Upper Extremity According to Satbar-Grip Patterns. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 16(3), 95-103.
- Kim, T. W., Kong, S. J. & Kil, S. K. (2013). *Electromyographic analysis: theory and application*. Seoul: Hanmi.
- Kjendlie, P. L. & Stallman, R. (2011). Morphology and swimming performance. *World Book of Swimming. From Science to*

- Performance. New York: Nova*, 203-222.
- Komi, P. V. (1986). Training of muscle strength and power: Interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *International Journal of Sports Medicine*, 7(S1), S10-S15.
- Korhonen, R. K., Vain, A., Vanninen, E., Viir, R. & Jurvelin, J. S. (2005). Can mechanical myotonometry or electromyography be used for the prediction of intramuscular pressure?. *Physiological Measurement*, 26(6), 951-963.
- Kovanen, V., Suominen, H. & Heikkinen, E. (1984). Mechanical properties of fast and slow skeletal muscle with special reference to collagen and endurance training. *Journal of Biomechanics*, 17(10), 725-735.
- Kubo, K., Ikebukuro, T., Yata, H., Tomita, M. & Okada, M. (2011). Morphological and mechanical properties of muscle and tendon in highly trained sprinters. *Journal of Applied Biomechanics*, 27(4), 336-344.
- Kubo, K., Kanehisa, H. & Fukunaga, T. (2002). Effect of stretching training on the viscoelastic properties of human tendon structures in vivo. *Journal of Applied Physiology*, 92(2), 595-601.
- Kubo, K., Kawakami, Y. & Fukunaga, T. (1999). Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 87(6), 2090-2096.
- McMahon, T. A. & Cheng, G. C. (1990). The mechanics of running: how does stiffness couple with speed?. *Journal of Biomechanics*, 23, 65-78.
- Morouço, P. G., Marinho, D. A., Keskinen, K. L., Badillo, J. J. & Marques, M. C. (2011). Tethered swimming can be used to evaluate force contribution for short-distance swimming performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(11), 3022-3028.
- Myoton PRO Manual. (2023). Myoton. AS. Estonia.
- Ozeker, K. Y., Bilge, M. & Yildirim, D. S. (2020). The effect of dry-land training on functional strength and swimming performance of 10-12 years old swimmers. *Progress in Nutrition*, 22(2-S), e2020028.
- Perotto, A. O. (2011). *Anatomical guide for the electromyographer: the limbs and trunk*. Charles C Thomas Publisher.
- Peterson Silveira, R., Soares, S. M., Zacca, R., Alves, F. B., Fernandes, R. J., Castro, F. A. D. S. & Vilas-Boas, J. P. (2019). A biophysical analysis on the arm stroke efficiency in front crawl swimming: Comparing methods and determining the main performance predictors. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(23), 4715.
- Pruyn, E. C., Watsford, M. & Murphy, A. (2014). The relationship between lower-body stiffness and dynamic performance. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(10), 1144-1150.
- Purves, D., Cabeza, R., Huettel, S. A., LaBar, K. S., Platt, M. L., Woldorff, M. G. & Brannon, E. M. (2008). *Cognitive neuroscience*. Sunderland: Sinauer Associates, Inc.
- Richardson, A. R. (1986). The biomechanics of swimming: the shoulder and knee. *Clinics in Sports Medicine*, 5(1), 103-113.
- Rouboa, A., Silva, A., Leal, L., Rocha, J. & Alves, F. (2006). The effect of swimmer's hand/forearm acceleration on propulsive forces generation using computational fluid dynamics. *Journal of Biomechanics*, 39(7), 1239-1248.
- Shin, S. H., Lim, Y. T., Kim, T. W., Park, K. J. & Kwon, M. S. (2003). Electromyographical Analyses of Muscle Activities of Upper Trunk for Ssireum Dutguri Technique. *Korean Journal of Sport Biomechanics*, 13(1), 95-108.
- Toussaint, H. M. & Beek, P. J. (1992). Biomechanics of competitive front crawl swimming. *Sports Medicine*, 13, 8-24.
- Toussaint, H. M., Beelen, A. N. I. T. A., Rodenburg, A. N. N. E., Sargeant, A. J., de Groot, G. E. R. T., Hollander, A. P. & van Ingen Schenau, G. J. (1988). Propelling efficiency of front-crawl swimming. *Journal of Applied Physiology*, 65(6), 2506-2512.
- Verges, S., Lenherr, O., Haner, A. C., Schulz, C. & Spengler, C. M. (2007). Increased fatigue resistance of respiratory muscles during exercise after respiratory muscle endurance training. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 292(3), R1246-R1253.
- Wiesinger, H. P., Rieder, F., Kösters, A., Müller, E. & Seynnes, O. R. (2017). Sport-specific capacity to use elastic energy in the patellar and Achilles tendons of elite athletes. *Frontiers in Physiology*, 8, 132.
- Wilson, J. M., Loenneke, J. P., Jo, E., Wilson, G. J., Zourdos, M. C. & Kim, J. S. (2012). The effects of endurance, strength, and power training on muscle fiber type shifting. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(6), 1724-1729.
- Young, W. B. (2006). Transfer of strength and power training to sports performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1(2), 74-83.