KJAB
Korean Journal of Applied Biomechanics 2026; 36(1): 45-58
http://dx.doi.org/10.5103/KJAB.2026.36.1.45
http://e-kjab.org eISSN 2093-9752
ORIGINAL

Changes in Land-Based Force Production and Aquatic Propulsion Performance Following a 6-Week Whole-Body Strength Training Program

6주간 전신 근력 강화훈련에 따른 지상 힘 생성 능력과 수중 추진 수행 능력의 변화

Chanhyeok Jeong

Korea Aquatics

Received : 03 March 2026
Revised : 11 March 2026
Accepted : 16 March 2026

Corresponding Author
Chanhyeok Jeong
Korea Aquatics, 210 New Hall, Olympic Center, 424 Olympic-ro, Songpa-gu, Seoul, 05540, South Korea
Email : chj3288@gmail.com

Objective: The purpose of this study was to examine changes in land-based force production and aquatic propulsion performance following a 6-week whole-body strength training program in elite male water polo players, and to determine whether changes in terrestrial force-generation capacity were associated with changes in aquatic propulsion performance.

Method: Twelve national team male water polo players (age: 23.50 ± 3.21 yrs; height: 183.68 ± 4.41 cm; weight: 84.68 ± 9.24 kg) participated in a 6-week strength training intervention performed alongside regular aquatic technical and tactical training. Land-based force production was assessed using one repetition maximum (1RM) tests (deadlift, squat, power clean, bench press, and bench pull), pull-up performance and vertical jump performance. Aquatic propulsion performance was evaluated using four sport-specific tasks: 30 m sprint swim (horizontal propulsion), multidirectional propulsion test, eggbeater kick endurance (repeated vertical support), and in-water vertical jump (vertical propulsion). Paired *t*-tests were used to examine pre-post differences, and Pearson correlation analysis was conducted to investigate associations between changes in land-based force production and aquatic propulsion variables.

Results: Squat, deadlift, power clean, bench pull, and pull-up performance significantly increased after training ($p < .05$), whereas vertical jump performance significantly decreased ($p < .05$). In aquatic performance, multidirectional propulsion, eggbeater kick endurance, and in-water vertical jump significantly improved ($p < .05$), while 30 m sprint swim performance significantly declined ($p < .05$). A significant negative correlation was observed between changes in bench pull strength and in-water vertical jump performance ($r = -0.66$, $p < .05$). No significant relationships were found between lower-body strength gains and aquatic propulsion improvements.

Conclusion: Although strength training improved several indicators of land-based force production and aquatic propulsion performance, increases in land-based strength did not consistently transfer to improvements in aquatic propulsion performance. These findings suggest that aquatic propulsion is influenced not only by maximal force production but also by propulsion mechanics and intersegmental coordination specific to the aquatic environment.

Keywords: Water polo, Strength training, Aquatic propulsion, Transfer effect, Neuromuscular adaptation

Copyright © 2026 Korean Journal of Applied Biomechanics
This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted noncommercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

수구는 수중환경에서 수행되는 구기종목으로, 반복적인 전력 수영과 수중 신체자세 유지, 그리고 순간적인 방향전환이 복합적으로 요구되는 고강도 스포츠이다(Smith, 1998; Webster, Morris & Galna, 2009). 경기 중 선수는 공격과 수비 상황을 전환하며 수평이동을 위해 지속적으로 추진력을 생성해야 하고, 동시에 에그비터킥(eggbeater kick)을 통해 수직 자세를 유지하며 필요 시 수면 위로 빠르게 상승하여 슈팅이나 블로킹을 수행한다(Jeong & Yoon, 2020). 이러한 운동 수행은 특정 체력 요소의 단순한 발현이라기보다, 하지에서 생성된 힘과 상지의 추진 및 균형 조절 동작이 통합되어 수중 이동으로 표현되는 전신의 협응과정으로 이해될 수 있다.

선행연구에 따르면, 수구 선수는 경기 동안 사지의 움직임 변화를 통해 양력과 항력을 기술적으로 조절하여 반복적인 가속과 감속, 그리고 수직 상승을 병행하며 높은 활동 강도를 유지한다(Platanou & Geladas, 2006). 특히 수직 상승과 수평 이동 능력은 경기 상황에서 공간을 선점하고 기술 수행의 정확성을 유지하는 데 핵심적인 요소이다(Lupo et al., 2009). 이러한 추진 과정에서 선수의 근력 수준은 수중 환경에서 추진력을 생성하는 능력과 높은 관련성을 지닌다. 이에 Ren, Li, Zhang과 Cao (2025)는 수구 선수의 상지 근력 특성이 수영 추진 능력의 예측인자로 활용될 수 있음을 보고하였다. 이러한 관계를 바탕으로 볼 때, 수구는 단순한 지구력 중심의 능력으로 설명되기보다 전신의 힘 생성과 추진력 발휘 능력이 유기적으로 결합된 복합 종목임을 알 수 있다.

이러한 종목 특성을 반영하여, 국제적으로는 근력 및 파워 중심 훈련이 수구 선수의 경기력 향상에 긍정적인 영향을 미친다는 연구들이 보고되어 왔다. Veliz, Requena, Suarez-Arrones, Newton과 de Villarreal (2014), Veliz 등 (2015)은 시즌 중 전신의 다관절 기반 고중량 저항 훈련과 파워 훈련이 엘리트 수구 선수의 경기 수행 능력을 향상시킨다고 보고하였으며, de Villarreal, Suarez-Arrones, Requena, Haff와 Veliz (2015)는 지상 훈련과 수중 훈련을 병행한 훈련 방법이 수구 수행 능력 개선에 효과적일 수 있음을 제시하였다. 또한 Botonis, Toubekis, Terzis, Geladas와 Platanou (2019)는 근력 훈련과 고강도 인터벌 훈련을 병행한 프로그램이 체력 및 경기 수행 지표 향상에 긍정적 영향을 미친다고 보고하였고, Martin, Blanco와 De Villarreal (2021) 역시 시즌 중 수행하는 근력 훈련이 경기 수행 지표 개선으로 이어질 수 있음을 제시하였다. 그러나 선행연구는 주로 수행기록의 변화나 체력 수준 향상에 초점을 두었으며, 지상에서 향상된 근력이 수중 환경에서의 다양한 추진 특성에 어떠한 방식으로 영향을 미치는지에 대한 구체적인 설명은 제한적이었다. 특히 지상 움직임은 지면반력을 이용해 신체를 가속하는 방식으로 이루어지는 반면, 수중 움직임은 유체 저항을 극복하며 물을 밀어내는 추진 메커니즘에 의존한다는 점에서 물리적 환경이 근본적으로 상이하다. 이에 Platanou (2005)는 지상에서의 점프력과 수중 점프 능력 간 낮은 관련성을 보고한 바 있으며, 이는 수중 환경에서의 힘 발현 특성이 지상의 힘 생성 능력과 다르게 나타날 수 있음을 의미한다.

더 나아가 수구의 추진 동작은 하지 동작뿐 아니라 상지의 스컬링(sculling) 및 스트로크(stroke)가 동시에 작용하는 전신 협응 운동이다. 수중 수직 상승, 반복 수영, 다방향 추진 전환은 하지에서 생성된 추진력이 체간을 거쳐 상지 동작과 연결되는 운동사슬(kinetic chain)을 통해 구현된다(Fleisig, Barrentine, Escamilla & Andrews, 1996; Chu, Jayabalan, Kibler & Press, 2016). 즉, 수중 추진은 특정 근육군의 힘 크기만으로 설명되기 어렵고, 힘의 생성과 전달, 그리고 수중 환경에서의 표현 과정이 통합적으로 작용한 결과로 이해되어야 한다. 따라서 지상 근력 훈련의 효과를 단순한 기록 변화로 해석하기보다, 지상 힘 생성 능력의 변화가 신체의 운동사슬을 통해 수중 추진 수행으로 어떻게 표현되는지를 운동역학적 관점에서 분석할 필요가 있다.

그동안 국내 수구 관련 연구는 주로 경기력 수준에 따른 체력 수준 비교나 훈련 효과 검증에 초점을 두어 왔으며 (Zhou, Kim, Lee & Min, 2023; Lee, Kim, Eo & Jang, 2024), 국가대표 선수 집단을 대상으로 지상 근력과 수중 추진 수행 능력의 관계를 통합적으로 분석한 연구는 부족한 실정이다. Jeong (2023)은 하지 및 코어 훈련이 오버헤드 스로잉 동작의 운동역학 특성에 영향을 미칠 수 있음을 보고하였으나, 이는 특정 기술 동작에 초점을 둔 연구로, 지상 근력 변화와 수중 추진 수행 간의 전이 관계를 통합적으로 살펴보지는 않았다. 따라서 지상에서 향상된 전신 근력 수준이 실제 수중 수직 상승 능력이나 방향 전환 수행 능력의 변화와 어떠한 관련성을 가지는지를 확인하는 것은 수구 훈련 설계 측면에서 중요한 과제라 할 수 있다.

그러나 수구 종목의 경우 실제 엘리트 선수 집단을 대상으로 수행된 실험 연구의 축적이 제한적인 실정이며, 수중 환경의 특성상 수중 동작 분석 및 근활성 분석과 같은 정밀한 운동역학적 분석을 수행하기 위한 기초 연구 기반 또한 충분히 축적되어 있다고 보기 어렵다. 또한 이전의 선행연구는 수직 점프와 같은 일부 수행 지표를 경기력 관련 요인으로 고려한 사례는 보고되고 있으나, 실제 경기 상황에서 나타나는 다양한 추진 상황(수평 이동, 수직 상승, 다방향 이동 등)을 통합적으로 반영하여 분석한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 실제 훈련 현장에서 적용 가능한 수행 지표를 기반으로 지상 힘 생성 능력과 수중 추진 수행 능력 간의 관계를 확인하고자 하였으며, 이는 향후 근거기반 훈련의 설계와 실제 적용, 더 나아가 정밀한 수중 운동

역학 연구를 수행하기 위한 기초적 연구로서 의의를 가진다.

따라서 본 연구는 6주간의 전신 근력 강화훈련 기간 동안 국가대표 수구 선수의 지상 근력과 수중 추진 수행 능력에서 나타나는 변화 양상을 확인하고, 지상 힘 생성 능력의 변화가 다양한 수중 추진 수행 능력의 변화와 어떠한 관련성을 가지는지를 분석하고자 하였다. 이를 통해 지상에서 향상된 힘 생성 능력이 수중 환경에서의 추진 수행 특성과 어떠한 전이 관계를 가지는지를 규명하고, 향후 수구 훈련 설계를 위한 운동역학적 기초자료를 제시하고자 하였다. 이에 따라 본 연구에서는 다음과 같은 연구가설을 설정하였다. 첫째, 전신 근력 강화훈련 이후 지상 근력과 수중 추진 수행 능력에서 유의한 변화가 나타날 것이다. 둘째, 지상 힘 생성 능력의 변화는 수중 추진 수행 변화와 부분적으로 관련될 것이다.

METHOD

1. 연구 대상자

본 연구에는 대한수영연맹에 등록된 국가대표 남자 수구 선수 12명이 참여하였다. 대상자의 인체측정학적 정보는 <Table 1>과 같다. 모든 선수는 국가대표 선발전을 통해 선발된 엘리트 선수로, 연구 기간 동안 동일한 국가대표 강화 훈련 프로그램에 참여하였다. 당초 14명의 선수가 참여하였으나 2명의 선수는 훈련 중 부상으로 이 연구에서 배제되었다. 최종 12명의 자료가 분석에 활용되었다. 연구 참여 전 모든 대상자에게 실험 절차와 목적을 충분히 설명하였으며, 자발적 참여 동의서를 받았다. 최근 3개월 이내 근골격계 부상 또는 수술 경험이 있는 선수는 연구 대상에서 제외하였다. 본 연구는 헬싱키 선언에 따른 윤리적 기준을 준수하여 수행되었다.

Table 1. Characteristics of participants

Variables	Mean ± SD
Age (yrs.)	23.5±3.2
Height (cm)	183.7±4.4
Weight (kg)	84.7±9.2
Percent body fat (%)	16.2±3.4
Fat mass (kg)	13.7±4.2
Skeletal muscle mass (kg)	39.7±3.4

2. 실험 설계

본 연구는 6주간의 전신 근력 강화훈련 적용 전·후 지상 근력 및 수중 추진 수행 능력의 변화를 비교하기 위하여 단일 집단 사전-사후 실험 설계(one-group pretest-posttest design)를 채택하였다. 연구는 충청북도 진천군 소재 국가대표 선수촌 내 수영장에서 실시되었으며, 훈련 기간은 국가대표 강화훈련 소집 일정과 시즌 개시 시점을 고려하여 설정하였다. 모든 대상자는 개입 전 동일한 절차에 따라 지상 근력, 수중 추진 수행 능력 및 체성분 검사를 실시하였다. 이후 6주간 주당 4회의 근력 강화 훈련에 참여하였다. 프로그램은 하지 중심의 최대근력 및 순발력 생성 훈련과 함께, 상지 밀기 및 당기기 근력군 강화를 포함한 전신 근력 프로그램으로 구성되었다. 근력 강화훈련은 수구 전문 기술 및 전술 훈련과 병행하여 수행되었으며, 이를 통해 경기 상황에서 요구되는 전신 협응 및 추진 수행 특성이 유지되도록 하였다. 사전 및 사후 측정은 동일한 장소와 조건에서 실시하여 환경적 변인을 최대한 통제하였다. 본 연구의 독립변수는 6주간의 전신 근력 강화훈련이며, 종속변수는 지상 근력(하지 및 상지), 수중 추진 수행 능력 및 체성분 변화로 설정하였다.

3. 훈련 중재

본 연구에서 적용된 전신 근력 강화 훈련은 6주간 주 4회 실시되었으며, 국가대표 강화훈련 기간 동안 수행되었다. 해

Table 2. Weekly training schedule

Day	09-11 AM	14-16 PM	19-21 PM
Monday	Aquatic technical training	Strength training	Tactical
Tuesday	Aquatic technical training	Strength training	Tactical
Wednesday	Aquatic technical training	Recovery	–
Thursday	Aquatic technical training	Integrated circuit conditioning	Tactical
Friday	Aquatic technical training	Strength training	Tactical

Table 3. Weekly strength training program with intensity and progression

Day	Training focus	Main exercises	Intensity	Sets × Reps	6-week progression
Monday	Lower-body maximal strength	Core work; Power clean; Deadlift; Back squat; Bench press; Pull over	70-90% 1RM	3-5 sets × 3-6 reps	Weeks 1-2: 70-75% (5-6 reps) Weeks 3-4: 80-85% (4-5 reps) Weeks 5-6: 85-90% (3-4 reps)
Tuesday	Upper-body strength & trunk stability	Core work; Push press; High pull; Knee clean; Pull-up; Clap push-up; Bar twist	65-80% 1RM (bodyweight for pull-up)	3-4 sets × 4-8 reps	Weeks 1-2: 65-70% (6-8 reps) Weeks 3-4: 70-75% (5-6 reps) Weeks 5-6: 75-80% (4-5 reps)
Thursday	Integrated circuit conditioning	Rowing ergometer (30 s) – Rest (30 s) – Squat/functional exercise (30 s) – Rest (30 s); Rope climb; Plyometric pull-up	Bodyweight / moderate external load	4-7 circuits (10 min per circuit)	Weeks 1-2: 4-5 circuits; Weeks 3-4: 5-6 circuits; Weeks 5-6: 6-7 circuits
Friday	Explosive power & kinetic chain integration	Core work; Push press; High pull; Knee clean; Pull-up; Clap push-up; Bar twist; Rope climb	30-60% 1RM (explosive intent)	3-5 sets × 3-5 reps	Weeks 1-2: 30-40% (technique emphasis) Weeks 3-4: 40-50% (velocity emphasis) Weeks 5-6: 50-60% (maximal intent speed)

당 프로그램은 주당 9회로 구성된 수구 전문 기술 및 전술 훈련과 병행하여 진행되었고, 모든 선수는 동일한 훈련 일정과 환경에서 지도자의 감독 하에 프로그램을 <Table 2, 3>과 같이 수행하였다.

수구의 수중 추진 동작은 하지의 신전 동작과 상지의 스컬링 및 스트로크 동작이 동시에 수행되는 전신 협응 운동이다. 수중 수직 상승, 반복 수영, 다방향 추진 전환 동작은 모두 하지에서 생성된 추진력과 상지에서 생성되는 보조 추진 및 균형 조절력이 결합되어 발현된다. 이에 따라 본 연구의 근력 강화 프로그램은 특정 부위 중심의 단일 자극이 아닌, 하지-체간-상지로 연결되는 전신 운동사슬 기반 구조로 설계되었다. 하체 근력 훈련은 데드리프트(deadlift), 스쿼트(squat), 파워클린(power clean)을 중심으로 구성하였으며, 고관절 및 무릎 관절 신전 토크 생성 능력 향상을 목표로 70-90% 1RM 범위에서 3-5세트, 3-6회 반복으로 실시하였다. 체간 및 상지 근력 훈련은 벤치풀(bench pull), 벤치프레스(bench press), 풀업(pull-up) 및 견갑 안정화 운동을 포함하였으며, 이는 수중 스컬링 및 스트로크 동작 수행 시 요구되는 상지 추진력과 체간 안정성 강화를 목적으로 하였다. 또한 모든 근력 훈련의 시작 전 코어 안정성 운동을 병행하여 체간의 힘 전달 효율을 보완하였다. 병행된 수구 전문 기술 및 전술 훈련에서는 수영, 패스, 슈팅, 수중 위치 유지 동작이 지속적으로 포함되어 전신 추진 협응 능력이 유지되도록 하였다. 따라서 본 연구의 처치 효과는 특정 근육군의 단일 적응이라기보다는, 전신 운동사슬 기반 통합 자극에 대한 적응 결과로 해석될 필요가 있다.

4. 측정 방법

본 연구에서는 지상 힘 생성 능력과 수중 추진 수행 능력을 평가하기 위하여 지상 측정과 수중 측정을 구분하여 실시하였다. 모든 측정은 사전-사후 동일한 시간대에 동일한 조건에서 실시되었으며, 측정 전 10분간 표준화된 준비운동을 수행하였다.

1) 지상 힘 생성 능력

지상에서의 힘 생성 능력을 평가하기 위하여 최대근력(maximal strength)을 1회 최대 반복중량(one repetition maximum, 1RM)과 수직 점프(vertical jump)를 통해 측정하였다.

하지 최대근력은 데드리프트, 스쿼트, 파워클린의 1RM으로 평가하였으며, 상지 최대근력은 벤치프레스와 벤치풀의 1RM을 통해 측정하였다. 또한 상지 당김 동작에서의 상대적 근력을 평가하기 위하여 풀업 수행 횟수를 측정하였다. 풀업은 어깨너비보다 약간 넓은 그립으로 철봉을 잡은 상태에서 턱이 철봉 위로 올라갈 때까지 몸을 끌어올리는 동작을 반복 수행하도록 하였으며, 정확한 동작 기준을 유지한 상태에서의 최대 반복 횟수를 기록하였다. 모든 1RM 측정은 표준화된 동작 기준에 따라 실시하였으며, 점진적으로 중량을 증가시키는 방식으로 최대 성공 중량(kg)을 기록하였다. 각 종목은 3-5회의 점증적 시도 후 최대 3회의 시도 내에서 최종 중량을 결정하였고, 시도 간 휴식은 3-5분으로 통제하였다. 순발력은 지상 수직 점프를 통해 평가하였다. 수직 점프는 <Figure 1>의 점프 측정 장비(wearable Jump Monitor, Vert, USA)를 이용하여 측정하였으며, 대상자는 양발을 어깨너비로 벌린 상태에서 반동(countermovement)을 이용한 최대 수직 점프를 수행하였다. 총 3회를 실시하여 최고 기록(cm)을 분석에 사용하였으며, 시도 간 휴식은 1분으로 통제하였다.

Figure 1. Wearable jump monitor (Vert™, USA)

2) 수중 추진 수행 능력

본 연구에서 측정된 수중 추진 수행 능력 평가는 실제 수구 경기 상황에서 나타나는 다양한 추진 형태를 반영하여 구성하였다. 수평 추진(horizontal propulsion)은 공격과 수비의 전환 및 속공 전개 상황에서 선수의 이동 속도를 결정하는 중요한 요소로, 양팔의 자유형 스트로크(front crawl stroke) 동작과 플러터 킥(flutter kick)을 이용한 30 m 전력 수영 평가(30 m sprint swimming test)를 통해 평가하였다. 측정 시 벽을 발로 밀어내는 출발 추진(start push-off)의 영향을 최소화하기 위해 대상자는 수중에서 정지한 상태에서 수중 스타트(water start) 동작으로 출발하도록 하였으며, 수행 시간을 초(sec) 단위로 기록하였다(Figure 2).

수직 추진 능력(vertical propulsion)은 슈팅, 블로킹, 볼 커트와 같은 수직적 동작 수행 시 신체를 수면 위로 상승시키는 능력을 의미하며, 수중 수직 점프 평가(in-water vertical jump test)를 통해 평가하였다. 수중 수직 점프의 준비 자세는 엉덩이를 수면 위로 띄운 중립 자세(neutral position)에서 시작하도록 하였으며, 수면 위 120 cm 높이에 1 inch 간격으로 적층된 막대를 설치하였다. 대상자는 하지의 에그비터킥(egg-beater kick)과 상지의 스컬링(sculling)을 이용하여 수직으로 폭발적으로 상승한 뒤 터치한 막대의 최고 지점(level)을 기록하였다(Figure 3).

다방향 추진 능력(multidirectional propulsion)은 경기 중 공간 이동과 방향 전환 상황에서 요구되는 추진 능력을 의미하며, 다방향 추진 평가(multidirectional propulsion generation test)를 통해 평가하였다. 본 평가는 연속적인 하지의 에그비터킥과 상지의 스컬링을 통해 생성되는 양력과 항력의 방향을 변화시키며 이동하는 능력을 평가하기 위한 것으로, 수면 위에 3 m 간격으로 정사각형 형태(3 m × 3 m)로 배치된 네 개의 부표를 1-2-3-4 순서로 터치하도록 하였다. 대상자는 해당 경로를 3회 반복 수행하였으며, 전체 소요 시간(sec)을 기록하였다(Figure 4).

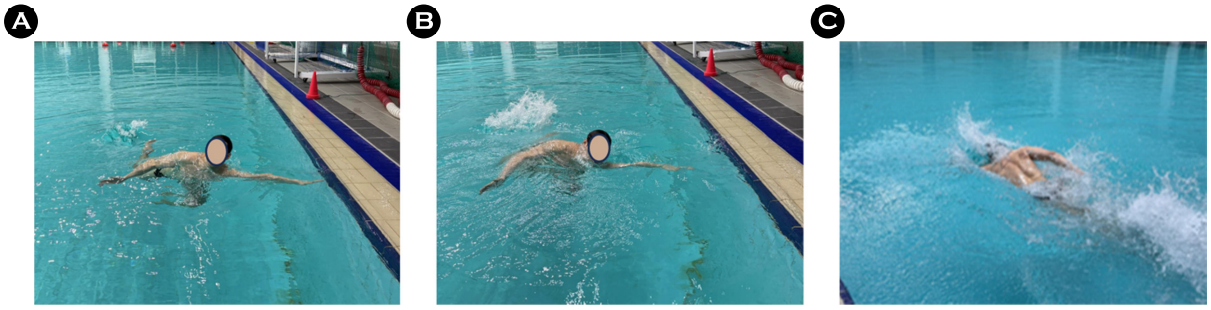

Figure 2. 30 m sprint swimming test. A: ready position, B: water start motion, C: swimming using front crawl stroke and flutter kick.

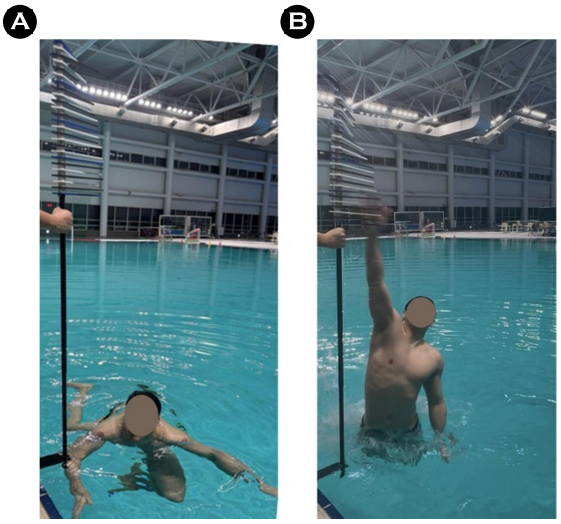

Figure 3. In-water vertical jump test. A: neutral position, B: in-water jump motion.

반복적 수직 유지 능력(repeated vertical support)은 경기 중 몸싸움 상황에서 신체를 수면 위에 안정적으로 유지하며 외부 저항을 견디는 능력을 의미하며, 에그비터킥 지속시간 평가(eggbeater kick endurance test)를 통해 평가하였다. 이때 킥의 유형은 양하지가 교차하여 수행되는 에그비터킥 동작으로 통제하였다. 대상자는 5 kg 공을 머리 위로 유지한 상태에서 에그비터킥을 수행하였으며, 턱이 수면 위에 유지되는 시간을 초(sec) 단위로 기록하였다. 측정은 팔이 굽혀지거나 상체를 뒤로 젖히는 보상 동작이 나타나거나, 턱이 수면 아래로 잠기는 시점을 종료 기준으로 하였다(Figure 5).

3) 체성분 검사

훈련 전·후 신체 구성의 변화를 확인하기 위하여 체성분(body composition)을 측정하였다. 체성분은 다주파수 생체전기저항분석법(Bioelectrical Impedance Analysis, BIA)을 이용한

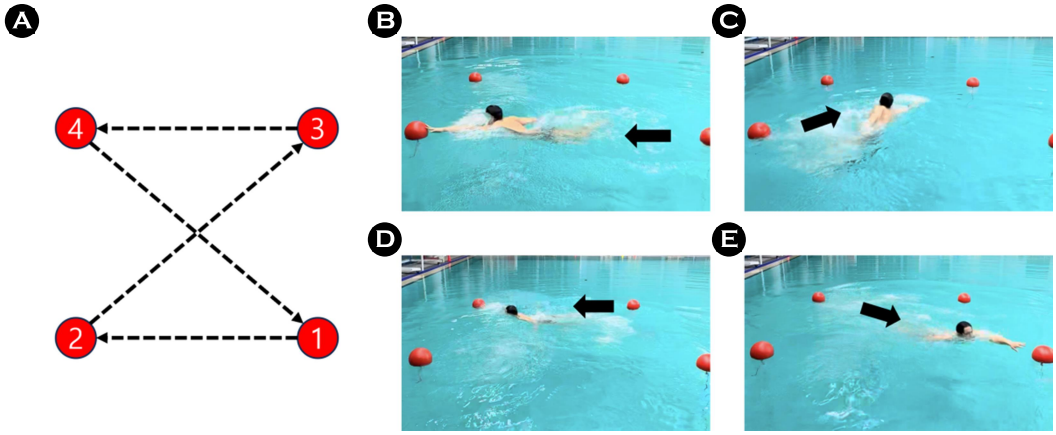

Figure 4. Multidirectional propulsion generation test. A: 3 m × 3 m square test setup, B-E: sequential directional movements (1-2-3-4-1) performed by changing propulsion direction using eggbeater kick and sculling.

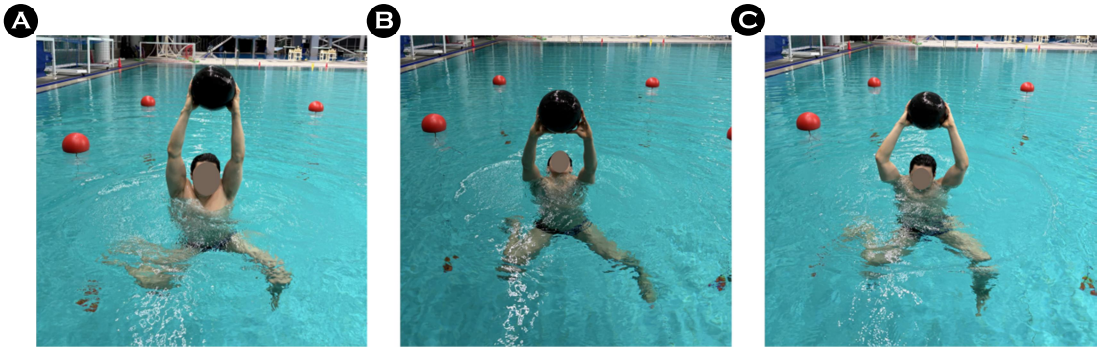

Figure 5. Eggbeater endurance test. A: Correct posture, B: termination posture example 1 (leaning backward posture), C: termination posture example 2 (arm flexion).

장비(InBody 770, InBody Co., Ltd., Seoul, Korea)로 측정하였다. 분석 항목은 체중(body weight), 체지방률(percent body fat, PBF), 지방량(fat mass), 골격근량(skeletal muscle mass, SMM)으로 구성하였다. 모든 측정은 아침 공복 상태에서 동일한 시간대에 실시하였으며, 측정 전 24시간 동안 격렬한 신체 활동과 알코올 섭취를 제한하도록 하였다.

5. 자료 처리

본 연구에서는 각 측정 항목별 반복 수행 중 가장 우수한 기록(best trial)을 최종 분석에 사용하였다. 지상 최대근력(1RM)과 지상 수직 점프는 각각 최대 성공 중량(kg)과 최고 점프 높이(cm)를 분석 값으로 사용하였다. 수중 수행 변인 중 수중 수직 점프는 최고 도달 수준(level), 에그비터킥 지속시간은 유지 시간(sec)을 분석에 활용하였다. 30 m 수영, 다방향 추진 생성 수행은 수행 시간(sec)을 사용하였다. 훈련 전·후 변화는 각 변인의 사후 측정값에서 사전 측정값을 차감하여 변화량(Δ값)을 산출하였다.

$$\Delta X = X_{post} - X_{pre}$$

수중 수직 점프와 에그비터킥 지속시간은 값이 증가할수록 수행 능력 향상을 의미하는 반면, 시간 기반 수행 지표(30 m 수영, 다방향 추진 생성)는 수행 시간이 감소할수록 수행 능력 향상을 의미한다. 이에 따라 결과 해석 시 변인별 수행 향상 방향을 고려하였다. 추가적으로 지상 힘 발현 능력, 수중 추진 생성 능력, 체성분 영역의 측정 항목은 표준화된 비교를 위하여 Z 점수로 변환하였다.

$$Z = (X - \mu) / \sigma$$

여기서 X는 개인별 측정값, μ는 전체 평균, σ는 표준편차를 의미한다. 시간 기반 변인의 경우 해석의 일관성을 위하여 부호를 반전하여, 모든 변인이 값이 증가할수록 수행 능력이 우수한 방향으로 정렬되도록 하였다. 표준화된 Z 점수는 영역별로 평균하여 지상 힘 발현 능력(land-based force capacity), 수중 추진 생성 능력(aquatic propulsion capacity) 지표를 산출하였으며, 이는 포지션별 특성 차이를 비교하기 위한 보조 분석에 활용하였다.

6. 통계 분석

모든 자료는 평균(mean)과 표준편차(standard deviation, SD)로 제시하였다. 훈련 전·후 지상 근력 및 수중 추진 수행 변인의 차이를 검증하기 위하여 대응표본 t-검정(paired t-test)을 실시하였으며, 효과크기(Cohen's d)도 함께 제시하였다. 또한, 지상 근력 및 폭발적 힘 발휘 능력 변화량(Δ값)과 수중 추진 수행 변화량 간의 관계를 분석하기 위하여 피어슨 상관분석(Pearson's correlation analysis)을 실시하였다. 모든 통계 분석은 SPSS (Version 21.0, IBM Corp., Armonk, NY, USA)를 사용하여 수행하였으며, 통계적 유의수준은 $\alpha = .05$로 설정하였다.

RESULTS

1. 훈련 전·후 체성분 변화

6주간 전신 근력 강화훈련 적용 전·후 체성분 변화는 <Table 4>와 같다. 체지방률은 훈련 전 16.21±3.39%에서 훈련 후 13.87±3.61%로 유의하게 감소하였다(t = -3.96, p < .05). 지방량 역시 13.71±4.22 kg에서 11.88±3.84 kg으로 유의하게 감소하였다(t = -5.20, p < .05). 반면 골격근량은 39.73±3.37 kg에서 40.60±3.33 kg으로 유의하게 증가하였다(t = 5.16, p < .05). 체중은 83.01±9.28 kg에서 82.64±8.90 kg으로

Table 4. Changes in body composition variables following the 6-week training intervention

Variable	Pre (Mean ± SD)	Post (Mean ± SD)	*t* value	*p*	*Effect Size* (*Cohen's d*)
Weight (kg)	83.01±9.28	82.64±8.90	*-1.26*	*.23*	*.041*
PBF (%)	16.21±3.39	13.87±3.61	*-3.96*	*.00**	*.668*
BMI (kg/m^2)	24.62±2.58	24.52±2.54	*-0.81*	*.44*	*.039*
Fat mass (kg)	13.71±4.22	11.88±3.84	*-5.20*	*.00**	*.454*
SMM (kg)	39.73±3.37	40.60±3.33	*5.16*	*.00**	*.260*

Note. Values are presented as mean ± SD. Paired t-tests were used to compare pre and post intervention values
*indicates statistical significance at p < .05, PBF: percent body fat; BMI: body mass index; SMM: skeletal muscle mass

감소하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았으며(t = -1.26, p = .23), BMI 또한 유의한 변화가 나타나지 않았다(t = -0.81, p = .44).

2. 훈련 전·후 지상 힘 생성 능력 변화

6주간의 근력 강화훈련 적용 전·후 지상 힘 생성 능력의 변화는 <Table 5>와 같다. 하체 최대근력 변인에서 스쿼트 1RM은 훈련 전 103.75±28.37 kg에서 훈련 후 108.33±28.07 kg으로 유의하게 증가하였다(t = 2.30, p < .05). 데드리프트 1RM 역시 훈련 전 141.67±25.08 kg에서 훈련 후 166.67±24.62 kg으로 유의하게 증가하였다(t = 9.32, p < .05). 파워클린 1RM 또한 69.38±7.09 kg에서 75.83±8.48 kg으로 유의하게 증가하였다(t = 3.01, p < .05). 지상 폭발력 지표인 지상 수직 점프는 60.67±4.10 cm에서 58.50±3.40 cm로 감소하였으며, 해당 변화는 통계적으로 유의하였다(t = -2.28, p < .05). 상지 근력 변인에서는 벤치풀 1RM이 79.58±10.33 kg에서 89.17±10.84 kg으로 유의하게 증가하였다(t = 3.84, p < .05). 풀업 수행 횟수 역시 22.67±8.98회에서 26.00±7.21회로 증가하여 유의한 향상을 보였다(t = 3.02, p < .05). 벤치프레스 1RM은 99.17±11.04 kg에서 102.92±11.77 kg으로 증가하는 경향을 보였으나 통계적으로 유의하지 않았다(t = 2.14, p = .06).

3. 훈련 전·후 수중 추진 수행 능력 변화

수중 추진 수행 능력의 전·후 변화는 <Table 6>에 제시하였다. 수평 추진 능력을 평가한 30 m 전력수영 기록은 사전 16.31±0.59 sec에서 사후 16.91±0.70 sec로 증가하여 수행 시간이 유의하게 증가하였다(t = 3.67, p < .05). 수직 추진 능력을 평가한 수중 수직 점프는 사전 8.33±1.67 level에서 사후 9.08±1.93 level로 증가하여 유의한 향상이 나타났다(t = 2.46, p < .05). 다방향 추진 능력을 평가한 다방향 추진 수행 시간은 사전 22.40±1.33 sec에서 사후 20.91±1.16 sec로 감소하여 유의한 향상이 나타났다(t = -5.64, p < .05). 반복적 수직 유지 능력을 평가한 에그비터킥 지속시간은 사전 23.88±8.01 sec에서 사후 30.01±9.99 sec로 증가하여 유의하게 향상되었다(t = 3.87, p < .05).

Table 5. Changes in land-based force capacity

Variable	Pre (Mean ± SD)	Post (Mean ± SD)	*t* value	*p*	*Effect Size* (*Cohen's d*)
Squat 1RM (kg)	103.75±28.37	108.33±28.07	*2.30*	*.04**	*.162*
Deadlift 1RM (kg)	141.67±25.08	166.67±24.62	*9.32*	*.00**	*1.006*
Power Clean 1RM (kg)	69.38±7.09	75.83±8.48	*3.01*	*.01**	*.825*
Vertical Jump (cm)	60.67±4.10	58.5±3.40	*-2.28*	*.04**	*.576*
Bench Press 1RM (kg)	99.17±11.04	102.92±11.77	*2.14*	*.06*	*.329*
Bench Pull 1RM (kg)	79.58±10.33	89.17±10.84	*3.84*	*.00**	*.906*
Pull-up (reps)	22.67±8.98	26±7.21	*3.02*	*.01**	*.409*

Note. Values are presented as mean ± SD. *indicates statistical significance at p < .05

Table 6. Changes in aquatic propulsion performance variables

Variable	Pre (Mean ± SD)	Post (Mean ± SD)	*t* value	*p*	*Effect Size* (*Cohen's d*)
30 m sprint swim (sec)	16.31±0.59	16.91±0.70	*3.67*	*.00**	*.927*
In-water vertical jump (level)	8.33±1.67	9.08±1.93	*2.46*	*.03**	*.416*
Multidirectional propulsion (sec)	22.4±1.33	20.91±1.16	*-5.64*	*.00**	*1.194*
Eggbeater kick endurance (sec)	23.88±8.01	30.01±9.99	*3.87*	*.00**	*.677*

Note. Values are presented as mean ± SD. *indicates statistical significance at p < .05

Table 7. Correlation between land-based force production and aquatic propulsion performance

Variables	Deadlift (Δ)	Squat (Δ)	Power clean (Δ)	Bench press (Δ)	Bench pull (Δ)	Vertical jump (Δ)
In-water vertical jump (Δ)	-0.09	-0.39	-0.47	-0.27	**-0.66***	-0.30
Multidirectional propulsion test (Δ)	-0.14	-0.18	0.35	-0.14	0.51	-0.06
Eggbeater kick endurance (Δ)	0.15	-0.42	0.54	0.32	0.12	-0.02
30 m sprint swim (Δ)	-0.24	0.10	0.07	-0.17	0.54	-0.10

Note. Pearson's correlation coefficients (two-tailed) are presented
*indicates statistical significance at $p < .05$, Δ indicates change from pre to post training

Table 8. Position-specific Z-scores of land-based force generation capacity

Position	Squat	Bench press	Bench pull	Deadlift	Power clean	Vertical jump
Goalkeeper	-0.53	-1.00	-0.32	-0.48	-0.56	-0.17
Driver	-0.48	-0.36	-0.50	-0.55	-0.32	-0.30
Center	1.27	1.04	1.01	1.33	1.07	0.67

Note. Values represent Z-scores calculated from pre-post mean values for each variable across participants

4. 지상 힘 생성과 수중 추진 변화량 간 상관관계

지상 힘 생성 능력 변화량(Δ값)과 수중 추진 수행 능력 변화량(Δ값) 간의 상관관계 분석 결과는 <Table 7>과 같다. 분석 결과, 수중 수직 점프 변화량은 벤치풀 1RM 변화량과 유의한 부적 상관을 나타냈다(r = -0.66, p < .05). 반면 하체 최대근력 변인(데드리프트, 스쿼트, 파워클린)의 변화량은 수중 수직 점프 변화량과 통계적으로 유의한 상관을 보이지 않았다. 또한 지상 수직 점프 변화량 역시 수중 수직 점프 및 다방향 추진 수행 기록의 변화량과 유의한 관련성을 나타내지 않았다. 그리고 다방향 추진 수행 변화량과 지상 근력 변화량 간에도 통계적으로 유의한 상관은 확인되지 않았으며, 에그비터킥 지속시간 변화량과 지상 근력 변화량 간에도 유의한 관계는 나타나지 않았다. 30 m 전력 수영 수행 변화량 역시 지상 근력 변화량과 통계적으로 유의한 상관을 보이지 않았다.

5. 포지션별 지상 힘 생성 능력 특성

포지션별 지상 힘 생성 능력의 Z점수 비교 결과는 <Table 8>과 같다. 센터포워드는 스쿼트(1.27), 벤치프레스(1.04), 벤치풀(1.01), 데드리프트(1.33), 파워클린 (1.07), 수직 점프(0.67)에서 모두 양(+)의 Z 값을 나타내어 세 포지션 중 가장 높은 지상 힘 생성 능력을 보였다. 특히 데드리프트(1.33)와 스쿼트(1.27)에서 가장 높은 값을 나타내어 고관절 및 무릎 관절 신전 기반의 최대 힘 생성 능력이 두드러지게 나타났다. 드라이버는 대부분의 변인에서 음(–)의 Z 값을 나타내었으며,

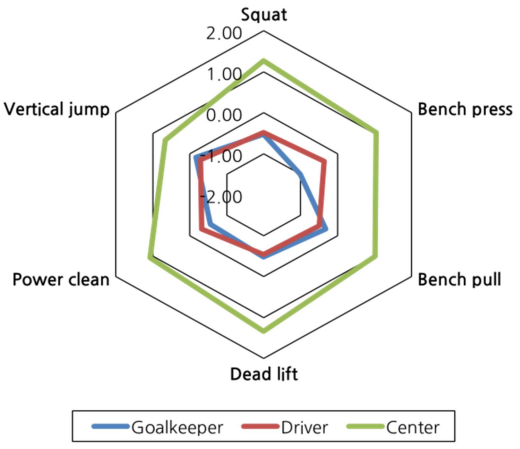

Figure 6. Position-specific differences in land-based force generation capacity. Radar plots illustrate the Z-score profiles of squat, bench press, bench pull, deadlift, power clean, and vertical jump for each playing position (Goalkeeper, Driver, and Center forward). Values represent standardized scores calculated from pre-post mean values. Positive values indicate relatively higher land-based force generation capacity. Data are averaged across players within each position.

Table 9. Position-specific Z-scores of aquatic propulsion generation capacity

Position	30 m sprint swim	Multidirectional propulsion test	Eggbeater kick endurance	In-water vertical jump
Goalkeeper	-0.11	1.04	1.30	1.18
Driver	0.20	0.15	0.10	-0.17
Center	-0.64	-0.59	-0.48	-0.22

Note. Values represent Z-scores calculated from pre-post mean values for each variable across participants

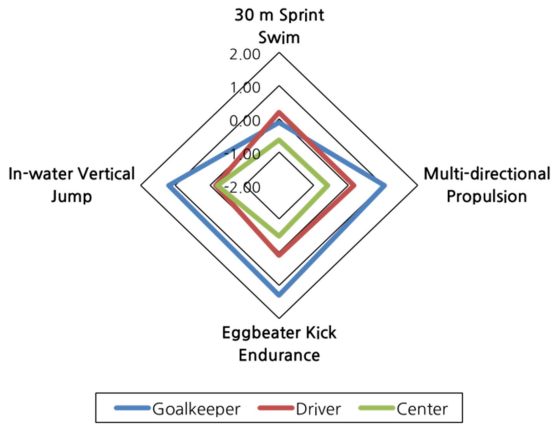

Figure 7. Position-specific differences in aquatic propulsion generation capacity. Radar plots illustrate the Z-score profiles of 30 m sprint swim, multidirectional propulsion, eggbeater kick endurance, and In-Water Vertical Jump for each playing position (Goalkeeper, Driver, and Center forward). Values represent standardized scores calculated from pre-post mean values. Positive values indicate relatively higher aquatic propulsion generation capacity. Data are averaged across players within each position.

스쿼트(-0.48), 벤치프레스(-0.36), 벤치풀(-0.50), 데드리프트(-0.55), 파워클린(-0.32), 수직 점프(-0.30)로 전반적으로 -0.30에서 -0.55 범위의 분포를 보였다. 골키퍼 역시 대부분의 변인에서 음(–)의 Z값을 나타내었으며, 특히 벤치프레스(-1.00)와 파워클린(-0.56)에서 상대적으로 낮은 값을 보여 센터포워드에 비해 지상 기반 힘 생성 능력이 낮게 나타났다(Figure 6).

6. 포지션별 수중 추진 수행 능력 특성

포지션별 수중 추진 생성 능력의 Z 점수 비교 결과는 <Table 9>에 제시하였다. 골키퍼는 다방향 추진 생성(1.04), 에그비터킥 지속시간(1.30), 수중 수직 점프(1.18)에서 비교적 높은 Z 값을 나타내어 수직 추진 및 반복적 수직 유지 능력과 다방향 추진 능력에서 우수한 프로파일을 보였다. 반면 30 m 전력 수영은 -0.11로 평균 수준에 근접하였다. 드라이버는 30 m 전력 수영(0.20)과 다방향 추진 생성(0.15)에서 상대적으로 높은 분포를 나타내어 수평 이동 및 방향 전환 기반 추진 능력에서 비교적 우수한 경향을 보였다. 다만 에그비터킥 지속시간(0.10)은 평균 수준에 근접하였고, 수중 수직 점프는 -0.17로 상대적으로 낮은 분포를 보였다. 센터포워드는 네 변인 모두에서 음(–)의 Z 값을 나타내었으며(30 m 전력 수영 -0.64; 다방향 추진 생성 -0.59; 에그비터킥 지속시간 -0.48; 수중 수직 점프 -0.22), 다른 포지션에 비해 수중 추진 생성 능력 지표가 전반적으로 낮은 경향을 보였다(Figure 7).

DISCUSSION

본 연구는 6주간의 전신 근력 강화훈련 기간 동안 엘리트 국가대표 수구 선수의 체성분과 지상 및 수중 수행 능력에서 나타나는 변화를 분석하고, 지상 힘 생성 능력의 변화가 수중 추진 수행 능력의 변화와 어떠한 관련성을 가지는지를 살펴보고자 하였다.

우선, 체지방률과 지방량은 유의하게 감소하고 골격근량은 증가하여 체중의 유의한 변화 없이 체성분 재구성이 이루어졌음을 확인하였다. 이러한 결과는 프리시즌(pre-season) 체력 구축기의 특성을 반영하는 긍정적인 훈련 적응으로 판단된다. 수구는 반복적인 고강도 수영, 수직 자세 유지, 그리고 지속적인 신체 접촉이 요구되는 종목이므로 체지방 감소는 수중 저항을 줄여 상대적 추진 효율을 향상시킬 수 있으며, 골격근량 증가는 접촉 상황에서의 체중 지지와 힘 전달 능력을 강화하는 생리적 기반을 제공할 것으로 생각된다. 이러한 결과는 프리시즌 훈련을 통해 선수들의 생리적 기반 향상을 유도할 수 있음을 보고한 de Villarreal 등 (2015)과 Botonis 등 (2019)의 선행연구 결과와 일치하는 부분이 있다. 반면 Melchiorri 등 (2018)은 엘리트 수구선수를 대상으로 주요 국제대회 직전의 훈련 기간 동안 체성분에서 유의한 변화가 나타나지 않았다고 보고하였는데, 이는 본 연구가 프리시즌 체력구축에 주안점을 둔 것에 반해 해당연구는 주요 대회 준비기라는 서로 다른 훈련 주기 및 목적 차이에 따른 적응 양상

의 결과로 판단된다.

두 번째로, 지상 근력에서는 스쿼트, 데드리프트, 파워클린, 벤치풀, 풀업이 유의하게 향상되었다. 특히 스쿼트, 데드리프트, 파워클린은 고관절과 무릎의 신전 능력을 강화하는 대표적인 복합 다관절 저항운동으로, 하지에서 생성된 힘을 신체 분절을 따라 전달하는 능력을 향상시키는 특징을 가진다(Escamilla, 2001). 이러한 힘 생성 메커니즘은 수중에서 추진력 생성 시 하지가 물을 밀어내며 추진력을 생성하는 과정과 기능적으로 연관된다. 수중에서 하지를 이용한 추진력 생성의 핵심 기술인 에그비터킥은 엉덩관절의 회전, 굴곡과 신전 그리고 무릎의 굴곡과 신전이 복합적으로 작용하는 동작이다(Stirn, Strmecki & Strojnik, 2014). 더불어 Oliveira 등 (2015)은 고관절과 무릎 관절의 각속도 및 하지 움직임 패턴이 수직 방향 추진력 생성과 유의하게 관련된다고 보고하였다. 이를 종합하였을 때, 본 연구에서 나타난 하지 근력 향상은 수중 추진력 생성 과정에서 관절 움직임과 힘 전달 효율을 향상시키는 신체 기반 향상에 긍정적인 작용을 했을 것으로 판단된다.

운동사슬(kinetic chain)이론에 따르면 다관절 운동에서는 신체의 근위 분절에서 생성된 힘이 원위 분절로 순차적으로 전달되며 최종적인 운동 수행으로 발현된다(Putnam, 1993). 이러한 특성은 여러 관절이 동시에 관여하는 하지 중심의 복합 관절 운동에서 뚜렷하게 나타난다. 예를 들어 스쿼트 동작의 구심성 수축 단계에서는 고관절과 무릎을 중심으로 큰 신전 모멘트가 발생하며, 발목의 저측굴곡 작용이 이러한 힘 전달 과정에 기여한다(Escamilla, 2001). 비록 지상에서 수행되는 운동과제는 닫힌운동사슬(closed kinetic chain)에, 수중 에그비터킥은 열린운동사슬(open kinetic chain)에 해당되지만, 두 동작 모두 고관절과 무릎을 중심으로 분절 간 힘이 순차적으로 생성되고 전달되는 공통적인 운동사슬 특성을 공유한다. 이러한 점을 고려할 때, 지상에서 수행되는 스쿼트, 데드리프트, 파워클린과 같은 다관절 신전 운동을 통해 향상된 하지 근력은 효율적인 힘 생성과 전달을 가능하게 하여 수중 추진 능력 향상에 기여했을 것으로 판단된다.

상지 근력에서는 벤치풀과 풀업이 유의하게 향상되었으며, 이는 상지의 당김 동작에 관여하는 근력군의 근력이 강화되었음을 의미한다. 벤치프레스는 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으나 유의수준에 근접한 증가 경향을 보였다. 수구에서 상지는 오버헤드 스로잉뿐 아니라 스컬링과 스트로크 동작을 통해 추진력 생성과 체간 안정화에 관여한다. 특히 스컬링은 경영의 스트로크와 달리 단일방향 추진을 위한 동작이 아니라, 손과 전완의 각도 조절을 통해 다양한 방향으로 양력과 항력을 생성하며 지속적으로 추진력을 발생시키는 동작 특성을 갖는다(Sanders, 1999; Gomes et al., 2019). 이러한 특성은 상지의 힘 생성 능력뿐 아니라 수중에서의 힘 전달 효율과도 밀접하게 관련된다. 따라서 본 연구에서 나타난 상지 근력 향상은 수중 추진 과정에서의 견인력 증가와 체간 안정화 기능 강화에 기여했을 것으로 예상되며, 이는 다양한 수중 추진 기술 수행 능력 향상에 긍정적인 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

그러나 본 연구의 대상자가 국가대표 수준의 기술 숙련도를 보유한 엘리트 선수였다는 점을 고려하면, 이러한 근력 향상은 새로운 기술 습득에 따른 구조적 변화라기보다 이미 안정화된 수행 패턴 내에서 추진 여력을 확장하는 방향으로 나타났을 가능성이 높다. 최상위 엘리트 선수 집단에서는 기술 수행의 재현성과 협응 전략이 비교적 안정화되어 있기 때문에 근력의 증가로서 특정 기술의 협응 구조 자체를 재구성하기보다는 기존 수행 패턴 내에서 힘의 크기를 조절하는 방식으로 표현되는 것이 보다 합리적인 추론이다. 또한 훈련 적응은 과제 조건과 발현 속도에 특이적으로 나타난다는 특이성 원리(Behm & Sale, 1993; Cormie, McGuigan & Newton, 2011)를 고려할 때, 근력 향상은 기술 구조의 재편으로 즉각 전이되기보다는 기존 기술 수행의 표현 강도와 지속 능력을 강화하는 형태로 나타났을 것으로 생각된다. 다만 이러한 해석은 간접적인 추론에 기반하므로 후속 연구에서는 수중 동작 분석을 포함한 보다 정밀한 운동역학적 검증이 이루어질 필요가 있다.

세 번째로, 수중 수행 능력에서는 다방향 추진 능력, 에그비터킥 지속시간, 수중 수직 점프가 유의하게 향상되었다. 이러한 결과는 전신 근력 강화훈련을 통해 향상된 힘 생성 능력이 수중에서 요구되는 추진 유지와 수직 상승과 같은 경기 특이적 수행 영역에서 기능적으로 표현되었음을 의미한다. 특히 에그비터킥 지속시간의 향상은 하지 근력 증가가 수중에서 신체를 안정적으로 지지하면서 반복적인 추진 동작을 지속적으로 수행하는 능력으로 나타났음을 보여준다(Stirn et al., 2014; Oliveira et al., 2015). 또한 수중 수직 점프의 향상은 하지에서 생성된 힘이 수중 환경에서 수직 방향 추진력으로 효과적으로 발현되었음을 의미하며, 이는 수구 경기에서 슈팅과 블로킹 수행과 밀접하게 관련되는 동작으로 보고되어 왔다(Platanou, 2005; Platanou & Geladas, 2006). 다방향 추진 능력의 향상은 수중에서 추진 방향을 조절하며 이동하는 수행 능력의 개선을 의미하며, 이는 수구 경기에서 요구되는 공간 이동 및 방향 전환 능력 향상에 중요한 요소로 작용할 것으로 판단된다.

반면 30 m 전력 수영 기록은 저하되었다. 단거리 스프린트 수행은 근력뿐 아니라 출발 반응 시간, 초기 가속 구간의 스트로크 효율, 고속 구간에서의 수중 저항 최소화 전략 등 기술적 수행 완성도에 의해 결정된다. 선행연구에 따르면, 수영 속력 향상은 스트로크 빈도와 스트로크 길이, 그리고 추진 효율을 위한 정밀한 자세 조절에 의해 좌우된다고 보고되어

왔으며(Suito, Nunome & Ikegami, 2017), 이는 단순한 힘의 증가만으로 충분히 설명되지 않는다. 또한 Martin 등 (2021)은 스프린트 향상을 위해서는 고속·고빈도 자극이 필요하다고 보고하였다. 이러한 관점에서 본 연구에서 적용된 최대근력 중심의 훈련 자극은 힘 생성 능력 향상에는 기여하였으나, 고속 파워 발현이 요구되는 동작에서는 속도 특이적 자극이 충분히 제공되지 않았을 가능성이 있으며, 이러한 과제 특이성 훈련의 부족으로 선수들의 속도와 신경근 시스템에 충분한 향상이 이루어지지 않았을 수 있다(de Villarreal et al., 2015). 이는 30 m 전력 수영 기록의 저하뿐 아니라 지상 수직 점프 수행이 유의하게 감소한 결과 역시 그 맥락을 같이 하며, 근력 향상이 모든 수행 영역에 동일하게 전이되지 않을 수 있음을 시사한다. 따라서 향후 연구에서는 기술 적응을 고려한 장기간 훈련 설계와 속도 특이적 훈련 프로그램 적용에 대한 추가적인 검증이 필요할 것으로 판단된다.

네 번째로, 상관분석 결과에서도 지상 근력 변화와 수중 추진 변화 간에 일관된 상관관계는 확인되지 않았다. 이러한 결과는 지상에서 향상된 힘 생성 능력과 수중 환경에서의 추진 생성 능력 간 선형적인 전이관계가 나타나지 않을 수 있음을 의미한다. 수중에서 추진력을 생성하는 능력은 근력의 절대적 크기뿐 아니라 상지, 하지 및 체간의 협응을 통해 발의 움직임 방향, 양하지의 협응 패턴, 그리고 수중 환경에서 발생하는 부력과 유체의 저항 조건 속에서 힘을 적절한 방향으로 적용하고 전달하는 복잡한 과정에 의해 결정된다(Stirn et al., 2014; Oliveira et al., 2015). Kawai 등 (2023)은 에그비터킥을 이용한 추진 시 발이 물을 밀어내는 각도(attack angle)가 속도나 가속도보다 추진력 생성에 더 중요한 요인일 수 있음을 보고하였다. 이러한 결과를 종합하여 볼 때, 수중 상황에서는 저항, 와류, 양력과 같은 유체역학적 요인의 정교한 조절이 요구되며, 이에 따른 개인의 기술적 특성의 차이로 인해 근력 수준의 향상이 수중 추진력의 선형적인 전이 효과로 나타나지는 않은 것으로 판단된다. 또한 근력 및 근파워 훈련의 효과는 훈련 과제와 실제 수행 과제 간의 움직임 형태와 힘 발현 특성의 유사성에 영향을 받는 것으로도 보고되고 있다(Young, 2006). 따라서 후속 연구에서는 수중 환경의 종목 특이성을 반영한 저항성 훈련의 개발 및 적용이 고려되어야 할 것으로 생각된다.

마지막으로, 포지션별 분석에서는 수행 특성에 따라 체력 구조가 상이할 가능성이 확인되었다. 센터포워드는 지상 힘 생성 능력에서 높은 분포를 보였으며, 골키퍼는 수중 수직 추진 및 반복 유지 능력에서 상대적으로 우수한 경향을 나타냈다. 반면 드라이버는 수평 이동과 방향 전환 기반 요소에서 비교적 높은 분포를 보였다. 이러한 결과는 경기 중 역할 요구가 상이한 포지션별 특성이 체력 프로파일에 반영될 수 있음을 시사한다. 실제로 Uljevic, Spasic과 Sekulic (2013)은 수구 선수의 포지션에 따라 스포츠 특이적 운동 능력에 차이가 나타난다고 보고하였으며, Fritz 등 (2022) 또한 엘리트 선수 집단에서 포지션에 따른 형태학적 및 신체적 특성 차이를 보고한 바 있다. 이러한 선행연구와 본 연구 결과를 종합하면 수구에서의 체력 구조는 단일한 기준으로 설명되기보다 포지션별 경기 수행 요구에 따라 차별화될 가능성이 크다. 따라서 향후 트레이닝 설계에서는 전신 근력 강화라는 공통 기반 위에 포지션 특이성을 반영한 차별화된 접근이 필요할 것으로 판단된다.

종합하면, 6주간의 전신 근력 강화 훈련은 엘리트 수구 선수의 체성분 개선과 수중 추진 수행 향상에 긍정적인 변화를 나타냈다. 그러나 지상 근력 향상이 수중 수행 능력으로 단순하고 즉각적인 선형 전이로 나타나지는 않았다. 이는 수구 수행이 근력의 절대적 크기뿐 아니라 수중 환경에서 힘을 어떠한 방향으로 적용하고 전신 협응을 통해 효율적으로 표현하는가에 의해 결정됨을 시사한다. 따라서 향후 수구 훈련에서는 전신 근력 강화라는 기반 위에 수중 특이적 기술 적응과 협응 전략을 통합적으로 고려한 훈련 설계가 필요하다. 또한 지상과 수중 수행 간 전이 메커니즘을 보다 정교하게 규명하기 위해 수중 동작 분석과 근활성 분석을 포함한 후속 연구가 요구된다.

한편, 본 연구 결과를 해석함에 있어 몇 가지 연구 설계상의 제한점을 함께 고려할 필요가 있다. 본 연구는 국가대표 수구 선수들을 대상으로 수행된 단일집단 사전-사후 연구 설계로 진행되었기 때문에 훈련 후 변화를 다른 외부 요인과 완전히 분리하여 설명하는 데에는 한계가 있다. 특히 국가대표 선수 집단은 동일 수준의 경쟁 선수들로 구성된 대조군을 설정하기 어렵고, 대표팀 훈련 일정과 프로그램을 고려해야 하는 연구 환경의 특수성으로 인해 실험 조건을 엄격하게 통제하는 데 현실적인 제약이 존재한다. 향후 연구에서는 보다 장기적인 훈련 중재와 다양한 수행 변인을 포함한 연구 설계를 통해 지상 근력 변화와 수중 추진 수행 능력 간의 관계를 보다 정교하게 규명할 필요가 있다.

CONCLUSION

본 연구는 6주간 수행된 전신 근력 강화훈련이 엘리트 국가대표 수구 선수의 체성분과 지상 및 수중 추진 수행 능력에 미치는 영향을 분석하였다. 본 연구 결과 체지방률 감소와 골격근량 증가가 나타나 체성분 재구성이 확인되었으며, 스쿼트, 데드리프트, 파워클린, 벤치풀, 풀업과 같은 최대근력 변인의 향상을 통해 전신의 힘 생성 능력이 향상된 것으로 나타났다. 이러한 지상 힘 생성 능력 향상과 함께 에그비터킥 지속시간, 수중 수직 점프, 다방향 추진과 같은 수중 추진 수행 지표에서도 긍정적인 변화가 확인되었다. 그러나 지상

에서 향상된 힘 생성 능력의 변화가 모든 수중 추진 수행 지표의 변화로 선형적으로 전이되지는 않았다. 이러한 결과는 엘리트 수구 선수의 수중 추진 능력이 단순한 근력 증가에 의해 결정되기보다는 수중 환경에서의 추진 메커니즘, 개인의 기술 수행 특성 그리고 전신의 협응 전략이 복합적으로 작용한 결과임을 시사한다. 따라서 지도자는 훈련 계획 단계에서 선수별 기술적 특성과 수행 전략에 따라 훈련 효과와 전이 양상이 달라질 수 있음을 고려하여, 이를 바탕으로 수행 결과를 예측하고 훈련을 설계할 필요가 있다.

REFERENCES

Behm, D. G. & Sale, D. G. (1993). Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *Journal of Applied Physiology*, *74*(1), 359-368.

Botonis, P. G., Toubekis, A. G., Terzis, G. D., Geladas, N. D. & Platanou, T. I. (2019). Effects of concurrent strength and high-intensity interval training on fitness and match performance in water-polo players. *Journal of Human Kinetics*, *67*, 175-184.

Chu, S. K., Jayabalan, P., Kibler, W. B. & Press, J. (2016). The kinetic chain revisited: New concepts on throwing mechanics and injury. *Pm&r*, *8*(3), S69-S77.

Cormie, P., McGuigan, M. R. & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 2—training considerations for improving maximal power production. *Sports Medicine*, *41*(2), 125-146.

de Villarreal, E. S., Suarez-Arrones, L., Requena, B., Haff, G. G. & Veliz, R. R. (2015). Enhancing performance in professional water polo players: Dryland training, in-water training, and combined training. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *29*(4), 1089-1097.

Escamilla, R. F. (2001). Knee biomechanics of the dynamic squat exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *33*(1), 127-141.

Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., Escamilla, R. F. & Andrews, J. R. (1996). Biomechanics of overhand throwing with implications for injuries. *Sports Medicine*, *21*(6), 421-437.

Fritz, P., Fritz, R., Mayer, L., Németh, B., Ressinka, J., Ács, P. & Oláh, C. (2022). Hungarian male water polo players' body composition can predict specific playing positions and highlight different nutritional needs for optimal sports performance. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *14*(1), 165.

Gomes, L. E., Diogo, V., Castro, F. A. D. S., Vilas-Boas, J. P., Fernandes, R. J. & Figueiredo, P. (2019). Biomechanical analyses of synchronised swimming standard and contra-standard sculling. *Sports Biomechanics*, *18*(4), 354-365.

Jeong, C. H. & Yoon, S. H. (2020). Differences in the kinematics of the water polo eggbeater kick among skill levels [in Korean]. *Sport Science*, *37*(2), 261-269

Jeong, C. H. (2023). *Effect of an 8-week lower extremity and core exercise on upper body kinematics and muscle activity during water polo overhead throwing* (Doctoral dissertation, Korea National Sport University). Retrieved from https://knsu.dcollection.net/public_resource/pdf/200000665180_20260306205301.pdf

Kawai, E., Gonjo, T. & Takagi, H. (2023). Kinematic and kinetic parameters to identify water polo players' eggbeater kick techniques. *Sports Biomechanics*, *22*(12), 1752-1763.

Lee, S. J., Kim, H. S., Eo, S. J. & Jang, J. H. (2024). Effect of in-water-strength training on aerobic exercise capacity in male water polo players. *The Korean Journal of Sport*, *22*(3), 753-768.

Lupo, C., Tessitore, A., Cortis, C., Ammendolia, A., Figura, F. & Capranica, L. (2009). A physiological, time-motion, and technical comparison of youth water polo and acquagoal. *Journal of Sports Sciences*, *27*(8), 823-831.

Martin, M. S., Blanco, F. P. & De Villarreal, E. S. (2021). Effects of different in-season strength training methods on strength gains and water polo performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *16*(4), 591-600.

Melchiorri, G., Viero, V., Sorge, R., Triossi, T., Campagna, A., Volpe, S. L., Lecis, D., Tancredi, V. & Andreoli, A. (2018). Body composition analysis to study long-term training effects in elite male water polo athletes. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *58*(9), 1269-1274.

Oliveira, N., Chiu, C. Y. & Sanders, R. H. (2015). Kinematic patterns associated with the vertical force produced during the eggbeater kick. *Journal of Sports Sciences*, *33*(16), 1675-1681.

Platanou, T. (2005). On-water and dryland vertical jump in water polo players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, *45*(1), 26-31.

Platanou, T. & Geladas, N. (2006). The influence of game duration and playing position on intensity of exercise during match-play in elite water polo players. *Journal of Sports Sciences*, *24*(11), 1173-1181.

Putnam, C. A. (1993). Sequential motions of body segments in striking and throwing skills: Descriptions and explanations.

Journal of Biomechanics, *26*, 125-135.

Ren, S., Li, W., Zhang, Z. & Cao, F. (2025). Relationship between swimming performance and shoulder muscle strength in elite Chinese water polo players. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, *17*(1), 47.

Sanders, R. H. (1999). Hydrodynamic characteristics of a swimmer's hand. *Journal of Applied Biomechanics*, *15*(1), 3-26.

Smith, H. K. (1998). Applied physiology of water polo. *Sports Medicine*, *26*(5), 317-334.

Stirn, I., Strmecki, J. & Strojnik, V. (2014). The examination of different tests for the evaluation of the efficiency of the eggbeater kicks. *Journal of Human Kinetics*, *41*, 215-226.

Suito, H., Nunome, H. & Ikegami, Y. (2017). A quantitative evaluation of the high elbow technique in front crawl. *Journal of Sports Sciences*, *35*(13), 1264-1269.

Uljevic, O., Spasic, M. & Sekulic, D. (2013). Sport-specific motor fitness tests in water polo: Reliability, validity and playing position differences. *Journal of Sports Science & Medicine*, *12*(4), 646.

Veliz, R. R., Requena, B., Suarez-Arrones, L., Newton, R. U. & de Villarreal, E. S. (2014). Effects of 18-week in-season heavy-resistance and power training on throwing velocity, strength, jumping, and maximal sprint swim performance of elite male water polo players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *28*(4), 1007-1014.

Veliz, R. R., Suarez-Arrones, L., Requena, B., Haff, G. G., Feito, J. & de Villarreal, E. S. (2015). Effects of in-competitive season power-oriented and heavy resistance lower-body training on performance of elite female water polo players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, *29*(2), 458-465.

Webster, M. J., Morris, M. E. & Galna, B. (2009). Shoulder pain in water polo: A systematic review of the literature. *Journal of Science and Medicine in Sport*, *12*(1), 3-11.

Young, W. B. (2006). Transfer of strength and power training to sports performance. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, *1*(2), 74-83.

Zhou, Y., Kim, C., Lee, S. J. & Min, S. K. (2023). The comparison of physical fitness factors between Korea water polo national-team and reserve-team athletes [in Korean]. *Exercise Science*, *32*(1), 63-72.