



Original Article

Effects of a 10-week Complex Training on Physical Fitness and Running Performance in Male Marathon Club Members Aged 20-30s

Jung-Hyun Lee, Kyou-Min Lee, and Man-Gyoon Lee*

Graduate School of Physical Education, Kyung Hee University

Article Info

Received 2025. 08. 26.

Revised 2025. 01. 04.

Accepted 2026. 02. 09.

Correspondence*

Man-Gyoon Lee

mlee@khu.ac.kr

Key Words

Complex training,
Marathon club member,
Physical fitness,
Running performance

PURPOSE This study aimed to investigate the effects of a 10-week complex training program on physical fitness and running performance in male marathon club members aged 20–30 years. **METHODS** Thirty participants were recruited and randomly assigned to either a training group (TR) or a control group (CON). Following participant dropout, data from 14 participants in the TR and 13 in the CON were included in the final analysis. Participants in the TR completed complex training sessions lasting 60 minutes per session, twice per week, for 10 weeks, whereas the CON maintained their usual lifestyle patterns. Dependent variables—including body composition, physical fitness, and running performance—were measured pre- and post-intervention. Comparisons were made between groups and across time points using a two-way repeated measures ANOVA. **RESULTS** 1) Physical fitness: Squat 1RM, trap bar deadlift 1RM, and countermovement jump performance increased significantly in the TR; 2) Regarding running performance, drop jump and reactive strength index increased significantly in the TR; and 3) Running performance: time to exhaustion decreased significantly in the CON, whereas it was maintained in the TR, suggesting a protective effect of the complex training program. **CONCLUSIONS** The 10-week complex training program positively affected muscular strength, power, elastic utilization ability, and endurance (time to exhaustion) in male marathon club members. However, its effects were limited with respect to running efficiency, fatigue resistance, and rate of force development. Future studies should consider adjusting training intensity and volume and diversifying exercises to develop more effective programs for enhancing running performance.

서론

마라톤 동호인이라 조직체계를 갖추고 달리기에 참여하는 사람들로써, 마라톤 대회에 참가하여 sub-3 및 sub-4와 같은 뛰어난 기록을 달성하는 것에 큰 관심을 갖고 있다. 마라톤에서 뛰어난 기록을 얻기 위해서는 달리기 수행능력이 향상되어야 하며, 달리기 수행능력은 최대산소섭취량(maximal oxygen consumption, VO₂max), 젖산역치(lactate threshold), 그리고 달리기 효율성(running economy)

등에 의해서 결정된다. 이 중 달리기 효율성의 중요성은 점차 주목받고 있는데(Sedano et al., 2013), 달리기 효율성이란 최대하 부하의 일정한 속도에서 산소섭취량으로, 동일한 속도에서의 낮은 산소섭취량은 그만큼 에너지를 덜 사용하고 달리고 있다는 뜻이므로 달리기 효율성이 좋다는 것을 의미한다(Zhang et al., 2022). 즉, 마라톤 동호인이 뛰어난 기록 달성하기 위해서는 달리기 효율성의 향상이 반드시 필요하다.

달리기 효율성의 향상을 위한 세부 요인을 살펴보면 짧은 지면 접촉시간(ground contact time), 높은 힘생성률(rate of force development), 그리고 강한 신전-단축 주기(stretch-shortening cycle, SSC)가 있으며, 이를 위해서 최근 국제적으로 다양한 영역의 작은 수행능력 개선을 결합해 이익을 얻는 ‘marginal gain’ 접근방

© This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

식에 관한 관심이 증가되고 있다(Engeroff et al., 2023).

고중량의 저항성운동과 플라이오메트릭 운동을 한 세션에 복합 처치하는 complex training은 앞서 언급한 요인들을 향상시키기 위한 좋은 대안으로 제시되고 있다(Karp, 2010). Complex training은 최대능력에 가까운 근력을 동원하는 고중량의 저항성운동 이후 역학적으로 비슷한 탄성적인 운동을 곧바로 수행하는 방법이다(Nibali et al., 2015). 특히, 저항성운동은 전통적인 관점에서는 달리기 수행능력에 큰 도움을 주지 못할 것 같지만, Eihara et al.(2022)은 저항성 운동을 통해 증가된 운동단위 동원능력과 근력이 결과적으로 달리기 효율성을 향상시킬 수 있다고 보고하였으며, 저항성운동을 고중량과 낮은 반복수로 진행할 경우 근비대와 체중 증가가 유의하게 발생하지 않으면서(Piacentini et al., 2013), 근신경 적응(neuromuscular adaptation)을 통한 근력, 순발력, 그리고 SSC가 향상되어 달리기 효율성이 개선될 수 있다고 보고되었다(Li et al., 2019).

또한, complex training은 post-activation potentiation(PAP) 현상을 유도하며, 이는 고중량 저항성운동의 강한 자극 이후에 미오신 조절 경로의 인산화로 근육 내의 칼슘 민감도가 증가되어 액틴과 미오신 간의 상호작용이 증가되는 것을 의미한다(Zimmermann et al., 2020). 이 현상을 이용하면 고중량 저항성운동을 통한 강한 자극 이후 후속되는 탄성적인 운동에서 부가적인 수행능력의 향상을 이끌어내어 SSC를 더욱 크게 증가시킬 수 있다(Beato et al., 2021). 이와 같이 complex training은 전통적인 유산소 운동이 아님에도 불구하고 마라톤 동호인의 달리기 수행능력을 향상시키기 위한 효과적인 대안으로 여겨진다.

Complex training을 장거리 달리기 선수 또는 동호인에게 처치한 선행 연구를 살펴보면, Li et al.(2019)은 장거리 달리기 선수를 대상으로 complex training을 8주간, 주 3회 처치한 결과 고중량 저항성운동을 단일처치 한 집단보다 달리기 효율성이 더 유의하게 증가되었다고 보고하였다. 이와 유사하게 Li, Nassis, et al.(2021)은 38명의 마라톤 동호인을 대상으로 6주간, 주 2회 complex training을 처치한 결과 저항성운동 단일처치 집단보다 달리기 효율성이 더 유의하게 증가되었다고 보고하였다. 이는 complex training이 저항성운동 단일처치보다 탄성활용능력을 더 크게 발달시키기 때문이라고 해석되었다. 이상의 연구를 종합하면 6~8주간의 complex training이 효과적인 것으로 보이지만, Eihara et al.(2022)은 고중량의 저항성운동과 플라이오메트릭 운동 모두 달리기 효율성과 경기력 향상 효과를 얻기 위해서는 10주 이상의 기간이 필요하다고 주장한 바, 이를 고려하여 본 연구에서 중재기간을 10주로 설정하였다.

이상의 내용을 종합해 보면, 장거리 달리기 선수 및 마라톤 동호인에게 complex training을 처치하면 체력과 달리기 효율성이 개선되어 달리기 수행능력이 향상될 가능성이 커 보이지만, 이와 관련된 연구가 매우 부족한 실정이다. 특히, 장거리 달리기 선수가 아닌 마라톤 동호인을 대상으로 수행된 연구는 더욱 부족한 실정이므로 이와 관련된 연구가 필요하다.

따라서 이 연구에서는 10주간의 complex training이 20~30대 남성 마라톤 동호인의 체력과 달리기 수행능력에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

연구 방법

연구 대상자

이 연구의 대상자 선정 기준은 1) 20~30대의 남성, 2) 마라톤 동호회에 소속되어 1년 이상 달리기 운동에 참여한 자, 3) 연구 참여 전 3달간 평균 주당 30~40 km의 거리를 달린 자, 4) 하프마라톤 2시간 30분 이내 완주 경험이 있는 자, 5) 연구 참여 전 1년간 체계적인 저항성 운동에 참여하지 않은 자이며, 제외 기준은 1) 최근 3개월 이내 척추 및 하지의 부상 또는 수술을 경험한 자, 2) 연구에 참여하는데 있어서 정신적 및 신체적 결함이 있는 자로 하였다.

연구 대상자 수의 결정을 위하여 Li et al.(2019)의 14 km/h 산소 섭취량을 기준으로 G*Power 3.1(Faul et al., 2009) 프로그램을 통해 효과크기 0.32, 유의수준(α) 5%, 그리고 검정력(β) 90%를 적용한 결과 24명이 산출되었고, 탈락률을 고려하여 총 30명을 모집하였으며, 운동집단과 통제집단에 15명씩 무선 할당하였다. 그러나 연구 기간 중 운동 처치 참여율 저조(1명)와 검사 불참(2명)으로 3명이 탈락하여 총 27명의 데이터를 최종 분석하였다.

이 연구를 진행하기 전 K대학교 생명윤리위원회의 승인(KHGIRB-24-649)을 받았으며, 이 절차에 따른 연구를 진행하였다. 이 연구에 참여한 대상자의 신체적 특성은 <Table 1>에 제시된 바와 같다.

측정 항목과 방법

사전검사는 2회에 걸쳐 진행되었다. 모든 연구 대상자는 검사 24시간 이전부터 과격한 운동을 피하고, 7시간 이상 숙면을 한 후 검사 장소에 방문하였다. 첫 번째 검사일에는 G도 소재 Y시에 위치한 K대학교 운동생리학 실험실에 방문하여 체격, 신체구성, 심폐지구력, 달리기 효율성, 피로도, 그리고 운동지속시간을 측정하였다. 이후 최소 48시간의 간격을 두고 참석한 두 번째 검사일에는 G도 소재 S시에 위치한 C체육관에서 근력, 근지구력, 순발력, 힘생성률, 그리고 탄성활용능력을 측정하였다. 사후검사는 사전검사와 동일한 방법으로 진행되었다.

1. 체격과 신체구성

신장, 체중, 체질량지수(body mass index: BMI), 체지방률, 체지방량, 그리고 제지방량을 측정하기 위하여 생체전기저항법을 적용한

Table 1. Characteristics of participants (mean \pm SD)

Variables	Groups	TR (n=14)	CON (n=13)	p
Age (yrs)		33.27 \pm 4.32	32.20 \pm 4.29	.650
Height (cm)		175.12 \pm 5.86	172.28 \pm 5.88	.712
Body weight (kg)		75.22 \pm 8.58	71.33 \pm 12.11	.349
BMI (kg/m ²)		25.06 \pm 2.60	23.98 \pm 3.44	.370
Percent body fat (%)		21.81 \pm 4.96	19.94 \pm 5.06	.340
Fat mass (kg)		16.64 \pm 5.11	14.58 \pm 5.29	.316
Fat-free mass (kg)		58.59 \pm 5.75	56.74 \pm 8.09	.506

TR: Training group; CON: Control group; BMI: Body mass index.

신체구성 측정기(ACCUNIQ BC380 set, SELVAS Healthcare, 한국)를 이용하였고, 체중(kg)을 신장의 제곱(m²)으로 나누어 BMI를 산출하였다.

2. 체력

근력을 평가하기 위하여 스쿼트 1 RM과 트랩바-데드리프트 1 RM을 측정하였다. 체계적인 저항성운동 경험이 없는 대상자임을 고려하여 10회 미만 반복으로 1 RM을 추정하는 방법(American College of Sports Medicine, 2020)을 사용하였다. 스쿼트 1 RM은 Li et al.(2019)이 장거리 달리기 선수에게 적용한 바 있고, 트랩바-데드리프트 1 RM은 Schumann & Rønnestad(2019)이 장거리 달리기 선수에게 적용한 바 있다.

근지구력을 평가하기 위하여 1분간 윗몸일으키기 검사를 실시하였으며, 이 검사는 Kim et al.(2007)이 마라톤 동호인에게 적용한 바 있다.

순발력을 평가하기 위하여 지면반력기(Dual force plates FD4000, Vald Performance, 호주)를 사용해서 반동점프(counter-movement jump, CMJ)를 실시하였다. 2회 측정하여 높은 값을 기록하였으며, 이 검사는 Li et al.(2019)이 장거리 달리기 선수에게 적용한 바 있다.

심폐지구력을 평가하기 위하여 트레드밀과 가스분석기(Quark CPET, COSMED, 이탈리아)를 이용하여 최대운동부하검사를 실시해서 최대산소섭취량을 측정하였다. 이 검사에서 활용한 Ramp protocol은 0% 경사도에서 8 km/h 속도로 2분간 달린 후 30초마다 트레드밀의 속도를 1 km/h씩 점증적으로 증가시켰고, 18 km/h의 속도에 도달한 후에는 30초마다 경사를 0.5%씩 증가시켰으며, 가장 높은 산소섭취량 세 개의 평균을 기록하였다. 이 검사는 Sperlich et al.(2015)이 장거리 달리기 선수에게 적용한 방법을 이 연구에 맞게 수정 및 보완하였다.

3. 달리기 수행능력

달리기 수행능력 중 달리기 효율성과 피로도를 평가하기 위하여 공통적으로 트레드밀을 사용하였다. 추가로 달리기 효율성을 평가하기 위해서 가스분석기(Quark CPET, COSMED, 이탈리아)를 사용하였고, 피로도를 평가하기 위하여 젖산분석기(Stat Strip Express Lactate, Nova Biomedical, 미국)로 혈중젖산농도를 측정하였으며, 심박수 측정기(H10, Polar Electro, 핀란드)로 심박수를 측정하였다. 달리기 효율성과 피로도 검사는 모두 최대하부하인 10 km/h, 12 km/h, 그리고 14 km/h의 속도에서 각 4분간 달리며 진행되었는데, 산소섭취량은 마지막 1분 동안의 평균산소섭취량을 측정하였고, 혈중젖산농도는 각 달리기가 끝난 직후 finger tip 방식으로 채혈하였으며, 심박수는 마지막 1분 동안의 평균심박수를 10초 간격으로 기록하여 계산하였다. 이와 같은 방식은 Li et al.(2019)과 Ferrauti et al.(2010)이 장거리 달리기 선수에게 적용한 방법을 이 연구에 맞게 수정 및 보완한 것이다.

달리기 수행능력 중 힘생성률을 평가하기 위하여 isometric mid-thigh pull(IMTP)을 실시하였다. 검사는 지면반력기(Dual force plates FD4000, Vald Performance, 호주)를 사용하여 0-50 ms, 0-100 ms, 0-150 ms, 그리고 0-200 ms의 힘생성률을 N/s 값으로 기록하였다. 대상자는 지면반력기에 올라가 고관절을 약 150°, 슬관

절을 약 135°로 굴곡하고 손잡이가 대퇴부 중간에 오도록 길이를 설정하여 측정 자세를 준비한 뒤, 최대한 강하게 3초간 당기는 것을 총 3회 측정하고 가장 높은 값을 1 N/s 단위로 기록하였다. 이 검사는 Zhang et al.(2022)이 장거리 달리기 동호인에게 적용한 바 있다.

달리기 수행능력 중 탄성활용능력을 측정하기 위해 40 cm 박스 위에서 허리에 손을 얹고 서서 준비한 뒤 박스에서 하강하여 지면반력기(Dual force plates FD4000, Vald Performance, 호주)에 최대한 짧게 접촉하여 수직으로 뛰어오르도록 하였고, 3회 실시하여 검사를 통해 얻은 점프높이(cm)와 반응근력지수(reactive strength index, RSI)를 기록하였다. 이 검사는 Li et al.(2019)이 장거리 달리기 선수에게 적용한 바 있다.

[※ RSI = 점프높이(m) / 지면접촉시간(초)]

달리기 수행능력 중 운동지속시간을 측정하기 위하여 앞서 최대한 소섭취량 검사에서 적용한 Ramp protocol의 운동지속시간을 0.1초 단위로 기록하였다. 이 검사는 Sperlich et al.(2015)이 장거리 달리기 선수에게 적용한 바 있다.

치치 방법

운동집단은 10주간 주 2회의 complex training을 처치하였다. 준비운동 10분, 본운동 40~45분, 그리고 정리운동 10분으로 총 60~65분간 complex training을 실시하였고, 운동 동작과 프로그램 구성은 Li et al.(2019)의 운동 프로그램을 이 연구에 맞게 수정 및 보완하였다.

이 연구의 complex training은 저항성운동 직후 플라이오메트릭 운동을 곧바로 진행하여 한 세트를 구성하였으며, 적응단계(1~2주), 향상단계(3~8주) 및 숙련단계(9~10주)로 구분하였다. 적응단계의 저항성운동 강도는 사전검사에서 측정한 1 RM을 기준으로 설정하였고, 이를 제외한 단계의 저항성운동 강도는 각 단계의 마지막 운동이 끝나는 시점에서 1 RM을 재측정하여 설정하였다. 플라이오메트릭 운동은 자신의 체중을 이용하였으며, 하강 및 도약은 최대한 빠르게 수행하도록 하였다. 저항성운동과 플라이오메트릭 운동 간 휴식시간은 이 동시간을 고려해 약 10초, 세트 간 휴식시간은 4분으로 설정하였다. 운동집단의 모든 대상자는 처치기간 동안 전문 트레이너의 지도를 받았고, 운동 프로그램의 구성은 <Table 2>와 같다.

한편, 통제집단은 10주의 처치기간 동안 특별한 처치 없이 평소의 생활습관을 그대로 유지하도록 하였다. 또한, 처치 기간 중 두 집단의 주당 달리기 운동량을 동질화 시키도록 통제하였고, 그 결과 운동집단(36.90 ± 13.17 km)과 통제집단(37.43 ± 14.77 km) 간에 유의한 차이가 나타나지 않았다($p=0.926$).

자료처리 방법

이 연구에서 얻은 모든 자료는 SPSS PC+ for Windows(version 28.0) 통계 프로그램으로 분석하였다. 각 종속변인의 기술통계량을 제시하기 위하여 평균(mean)과 표준편차(standard deviation, SD)를 산출하였다. 각 변인별로 Shapiro-Wilks test로 데이터의 정규성 여부를 확인하였으며, 대상자의 신체적 특성과 주당 달리기 운동량은 독립 t -검증(independent t -test)을 실시하였다.

체격과 신체구성, 체력, 그리고 달리기 수행능력은 반복 이원분산분

Table 2. Exercise program for 10 weeks

	Heavy resistance training (A)			Plyometric training (B)		
	Exercise	Sets×Reps	Intensity (%1RM)	Exercise	Sets×Reps	Intensity
Week 1-2	Back SQ Trap-bar DL	3×10 3×10	70	Drop jump CMJ	3×5 3×5	Max
Week 3	Back SQ Trap-bar DL	3×8 3×8	75	Drop jump CMJ	3×5 3×5	Max
Week 4	Back SQ Trap-bar DL	3×6 3×6	80	Drop jump CMJ	3×5 3×5	Max
Week 5	Back SQ Trap-bar DL	3×4 3×4	82.5	Drop jump CMJ	3×5 3×5	Max
Week 6	Back SQ Trap-bar DL	3×4 3×4	85	Drop jump CMJ	3×5 3×5	Max
Week 7	Back SQ Trap-bar DL	3×3 3×3	87.5	Drop jump CMJ	3×5 3×5	Max
Week 8	Back SQ Trap-bar DL	3×3 3×3	90	Drop jump CMJ	3×5 3×5	Max
Week 9-10	Back SQ Trap-bar DL	3×3 3×3	90	Drop jump CMJ	3×5 3×5	Max

RM: repetition maximum; SQ: squat; DL: deadlift; CMJ: counter-movement jump

Table 3. Changes in body composition in two groups

(mean ± SD)

Variables	Groups	Time		Δ%	<i>F</i>	<i>p</i>	Partial η^2	
		Pre	Post					
Body weight (kg)	TR	75.22±8.58	75.18±8.28	-0.50	Group	0.366	0.066	.033
	CON	71.33±12.11	71.75±12.04	0.59	Time	0.575	0.455	.022
					Group×Time	0.822	0.373	.032
BMI (kg/m ²)	TR	25.06±2.60	25.08±2.53	0.08	Group	0.757	0.393	.029
	CON	23.98±3.44	24.14±3.46	0.67	Time	1.183	0.287	.045
					Group×Time	0.694	0.413	.027
% body fat (%)	TR	21.81±4.96	20.38±4.92	-6.56	Group	0.494	0.489	.019
	CON	19.94±5.06	19.58±5.11	-1.77	Time	7.787	0.010	+
					Group×Time	2.837	0.105	.102
Fat mass (kg)	TR	16.64±5.11	15.55±5.03	-6.55	Group	0.738	0.399	.029
	CON	14.58±5.29	14.25±5.02	-2.22	Time	7.451	0.011	+
					Group×Time	2.059	0.164	.076
Fat-free mass (kg)	TR	58.59±5.75	59.65±5.56	1.81	Group	0.544	0.468	.021
	CON	56.75±8.09	57.51±8.42	1.34	Time	19.564	<0.001	+++
					Group×Time	0.528	0.474	.021

BMI: body mass index; % body fat: percent body fat; TR: Training group; CON: Control group; +*p*<.05, +++*p*<.001: Significant main effect; Δ%: % change from pre- to post- test.

석(two-way repeated measures ANOVA)을 실시하여 두 집단 간, 그리고 두 시기 간 차이를 동시에 분석하였다. 집단과 시기의 상호작용이 유의한 경우, 각 집단 내 두 시기 간 차이는 종속 *t*-검증(paired *t*-test)으로, 그리고 각 시기 내 두 집단 간 차이는 독립 *t*-검증으로 분석하였다. 모든 통계 분석의 유의수준(α)을 .05로 설정하였다.

연구 결과

신체구성

신체구성의 모든 변인에서 통계적으로 유의한 변화가 나타나지 않았다(Table 3).

Table 4. Changes in physical fitness in two groups

(mean ± SD)

Variables	Groups	Time		Δ%	F	p	Partial η ²			
		Pre	Post							
Squat 1 RM (kg)	TR	90.82±21.42	110.01±24.32	***	21.13	Group	0.653	0.427	.025	
	CON	93.09±24.64	92.39±30.18		-0.75	Time	19.914	<0.001	+++	.443
							Group×Time	23.053	<0.001	+++
TB-DL 1 RM (kg)	TR	117.83±26.94	140.74±29.53#	***	19.44	Group	2.021	0.168		.075
	CON	115.28±28.79	114.30±26.91		-0.25	Time	9.324	0.005	++	.272
							Group×Time	11.060	0.003	++
Sit-up (reps)	TR	36.29±5.53	36.29±6.88		0.01	Group	0.001	0.979		.000
	CON	35.61±5.30	36.86±4.99		3.51	Time	0.799	0.380		.031
							Group×Time	0.789	0.383	
CMJ (cm)	TR	32.97±4.83	38.63±4.64#	***	17.17	Group	2.487	0.127		.127
	CON	33.78±4.15	32.75±4.37		-3.05	Time	11.810	0.002	++	.321
							Group×Time	24.780	<0.001	+++
VO ₂ max (mL/kg/min)	TR	51.11±6.40	54.22±6.78		6.07	Group	0.454	0.507		.019
	CON	52.12±5.29	56.24±5.93		7.90	Time	18.134	<0.001	+++	.430
							Group×Time	0.356	0.556	

RM: repetition maximum; TB-DL: trap bar-deadlift; CMJ: counter movement jump; TR: Training group; CON: Control group; ++*p*<.01, +++*p*<.001: Significant main effect and/or interaction; ****p*<.001: Significant difference between pre- and post-test; # Significant difference between two groups within a test; Δ%: % change from pre- to post- test.

Table 5. Changes in running performance (l) in two groups

(mean ± SD)

Variables	Groups	Time		Δ%	F	p	Partial η ²		
		Pre	Post						
VO ₂ at 10 km/h (mL/kg/min)	TR	32.05±2.60	31.97±2.80	-0.25	1.361	Group	0.254	.052	
	CON	33.26±4.92	33.92±4.36	1.98	0.318	Time	0.678	.013	
						Group×Time	0.537	0.470	.021
VO ₂ at 12 km/h (mL/kg/min)	TR	38.09±2.66	38.29±2.67	0.52	0.071	Group	0.792	.003	
	CON	38.45±5.13	38.68±4.36	0.61	0.270	Time	0.965	.011	
						Group×Time	0.002	0.608	.000
VO ₂ at 14 km/h (mL/kg/min)	TR	42.90±3.15	42.88±2.95	-0.05	0.587	Group	0.451	.023	
	CON	43.77±4.88	44.23±4.66	0.98	0.201	Time	0.658	.008	
						Group×Time	0.252	0.620	.010
BLa at 10 km/h (mmol/L)	TR	1.51±0.48	1.28±0.56	-15.26	0.974	Group	0.333	.038	
	CON	1.79±0.76	1.43±0.52	-20.17	16.950	Time	<0.001	+++	.404
						Group×Time	0.823	0.373	.032
BLa at 12 km/h (mmol/L)	TR	2.05±0.72	1.89±0.65	-7.98	1.482	Group	0.235	.058	
	CON	2.54±1.34	2.28±1.03	-10.30	3.117	Time	0.090	.115	
						Group×Time	0.166	0.687	.007
BLa at 14 km/h (mmol/L)	TR	3.46±1.46	3.43±1.46	-0.88	0.011	Group	0.916	.000	
	CON	3.43±1.65	3.59±1.57	4.87	0.107	Time	0.746	.005	
						Group×Time	0.224	0.640	.010
HR at 10 km/h (beats/min)	TR	137.67±14.80	136.94±14.06	-0.53	0.675	Group	0.419	.026	
	CON	142.17±18.74	142.12±14.90	-0.04	0.084	Time	0.804	.003	
						Group×Time	0.063	0.775	.003
HR at 12 km/h (beats/min)	TR	154.58±15.69	154.74±14.51	0.10	0.398	Group	0.535	.016	
	CON	158.76±18.82	158.14±14.49	-0.39	0.034	Time	0.856	.001	
						Group×Time	0.091	0.766	.004
HR at 14 km/h (beats/min)	TR	170.00±14.52	170.34±13.72	0.20	0.088	Group	0.769	.004	
	CON	172.23±17.12	171.44±13.83	-0.46	0.045	Time	0.834	.002	
						Group×Time	0.297	0.591	.012

VO₂: oxygen consumption; BLa: blood lactate; HR: heart rate; TR: Training group; CON: Control group; +++*p*<.001: Significant main effect; Δ%: % change from pre- to post- test.

Table 6. Changes in running performance (II) in two groups

(mean ± SD)

Variables	Groups	Time		Δ%		F	p	Partial η ²
		Pre	Post					
IMTP 0-50 ms (N/s)	TR	1193.33±280.17	1718.22±591.18	43.99	Group	1.852	0.187	.075
	CON	1567.70±733.19	1923.11±706.67	22.67	Time	13.392	0.001	++
					Group×Time	0.496	0.488	.021
IMTP 0-100 ms (N/s)	TR	1960.77±640.94	2815.79±1108.03	43.61	Group	0.426	0.520	.017
	CON	2156.92±1164.15	3177.39±1108.03	47.31	Time	16.077	<0.001	+++
					Group×Time	0.125	0.727	.005
IMTP 0-150 ms (N/s)	TR	2572.79±870.86	3497.61±1192.12	35.97	Group	0.021	0.885	.001
	CON	2473.54±1253.13	3461.75±1926.61	39.95	Time	16.011	<0.001	+++
					Group×Time	0.018	0.896	.001
IMTP 0-200 ms (N/s)	TR	2778.21±793.10	3860.83±1117.59	38.97	Group	0.784	0.384	.030
	CON	2636.92±1294.91	3359.70±1567.91	27.41	Time	21.362	<0.001	+++
					Group×Time	1.950	0.175	.072
Drop jump (cm)	TR	32.61±4.84	36.00±4.25#	*	Group	1.547	0.225	.058
	CON	32.42±4.95	31.88±4.88	-1.71	Time	6.135	0.020	+
					Group×Time	11.857	0.002	++
RSI	TR	0.62±0.13	0.93±0.16#	***	Group	6.942	0.014	+
	CON	0.63±0.14	0.67±0.15	5.89	Time	35.451	<0.001	+++
					Group×Time	21.916	<0.001	+++
TE (sec)	TR	485.08±94.15	501.96±96.81	*	Group	0.406	0.530	.017
	CON	490.23±82.73	454.34±74.15	-7.32	Time	1.349	0.257	.053
					Group×Time	10.393	0.004	++

IMTP: Isometric mid-thigh pull; RSI: reactive strength index; TE: time to exhaustion; TR: Training group; CON: Control group; + $p < .05$, ++ $p < .01$, +++ $p < .001$: Significant main effect and/or interaction; * $p < .05$, *** $p < .001$: Significant difference between pre- and post-test; # Significant difference between two groups within a test; Δ%: % change from pre- to post- test.

체력

스쿼트 1 RM($p < .001$), 트랩바-데드리프트 1 RM($p < .01$), 그리고 CMJ($p < .001$)에서 집단과 시기의 상호작용이 유의하게 나타났다.

운동집단의 스쿼트 1 RM($p < .001$), 트랩바-데드리프트 1 RM($p < .001$), 그리고 CMJ($p < .001$)가 유의하게 증가되었다(Table 4).

달리기 수행능력

달리기 효율성 및 피로도와 관련된 모든 변인에서 통계적으로 유의한 변화가 나타나지 않았다(Table 5). Drop jump($p < .01$), RSI($p < .01$), 그리고 운동지속시간($p < .01$)에서 집단과 시기의 상호작용이 유의하게 나타났다. 운동집단의 drop jump($p < .05$)와 RSI($p < .001$)가 유의하게 증가되었고, 통제집단의 운동지속시간이 유의하게 감소되었다($p < .05$)(Table 6).

논 의

신체구성의 변화

장시간 지면과 접촉하며 체중부하를 견디는 마라톤에서 신체구성은 달리기 수행능력과 밀접한 관계가 있다. 관련 연구를 살펴보면 대부

분의 장거리 달리기 선수의 BMI가 19~20 kg/m²이며(Sedeaud et al., 2014), BMI가 낮을수록 마라톤 기록이 우수한 것으로 보고되었다(Nikolaidis & Knechtle, 2023). 반면, 체지방량은 높을수록 달리기 수행능력이 향상되는 경향이 있다(Rosado et al., 2020). 이를 종합하면 마라톤 동호인은 낮은 BMI와 적절한 체지방량을 유지하고 이를 잘 유지하는 것이 필요하다고 판단된다.

이 연구에서는 20~30대 마라톤 동호인을 대상으로 10주간 주 2회 complex training을 실시한 결과 신체구성과 관련된 모든 변인에서 통계적으로 유의한 변화가 나타나지 않았다. 다만 체지방률과 체지방량의 경우 운동집단(-6.56%, -6.54%)이 통제집단(-1.77%, -2.32%)에 비하여 더 큰 감소폭을 보여 이 연구와 같은 complex training이 장기간 진행될 경우 체지방률 감소에 긍정적인 영향을 미칠 가능성이 있을 것으로 예측할 수 있다.

체력의 변화

1. 근력의 변화

하지 근력의 발달은 달리기 수행능력에 긍정적인 영향을 미치며(Balsalobre-Fernández et al., 2016), 특히 이를 발달시키기 위한 최대근력(maximal strength) 트레이닝은 운동단위(motor unit) 동원능력을 향상시켜 최대하 강도의 달리기에서 요구되는 운동단위 동원의 역할을 낮추고, 달리기 시 에너지소비량과 산소섭취량을 감소시켜 달리기 기록에 긍정적인 영향을 미친다(Blagrove et al., 2018).

따라서 달리기 수행능력의 향상을 위해서는 고중량을 활용하는 최대 근력 트레이닝을 통하여 하체 근력을 발달시키는 것이 필요한 것으로 판단된다.

이 연구에서 운동집단의 스쿼트 1 RM(+21.13%)과 트랩바-데드리프트 1 RM(+19.45%)이 모두 유의하게 증가되었다. 이와 같은 결과는 1 RM의 80% 이상의 강도로 고중량 운동을 수행하는 것이 근력 향상에 매우 효과적이라는 Schoenfeld et al.(2021)의 연구 결과를 고려할 때 이 연구의 complex training이 스쿼트와 트랩바-데드리프트 동작을 고중량으로 수행하는 프로그램으로 구성되었기 때문에 나타난 결과로 판단된다.

이상의 내용을 정리하면 이 연구에서 활용된 complex training이 마라톤 동호인에게 필요한 하체 근력의 발달에 효과적이며, 향후에는 장기적인 효과와 다양한 수준에서의 적용 가능성 및 실제 경기력과의 연관성에 대한 연구가 요청된다.

2. 근지구력의 변화

윗몸일으키기는 복부의 근지구력을 나타내는 대표적인 지표로서 (Bianco et al., 2015), 검사 중 복직근과 고관절 굴곡근을 주로 사용한다(Burden et al., 2013). Sato and Mokha(2009)는 복직근과 고관절 굴곡근을 강화하기 위한 변형된 플랭크(modified plank) 트레이닝이 마라톤 동호인의 5 km 달리기 기록을 향상시켰다고 보고하여 마라톤에 있어 복부 근육의 중요성을 강조하였다.

그러나 이 연구에서는 통계적으로 유의한 변화가 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 이 연구에서 활용한 동작과 같은 고중량 스쿼트와 데드리프트가 코어의 안정성을 필요로 하는 하지만(Park et al., 2022), 주로 등척성 수축의 형태로 힘을 발휘하기 때문에(Martín-Fuentes et al., 2020) 윗몸일으키기와 같은 등장성 형태의 근지구력 검사에 반응하지 않은 것으로 해석된다.

따라서 향후 연구에서는 복부의 등장성 근지구력을 향상시키는 훈련을 포함하거나, 등척성 근지구력 평가 도구를 병행하여 복부의 근지구력을 폭넓게 확인할 필요가 있을 것으로 사료된다.

3. 순발력의 변화

CMJ는 다양한 수준의 대상자에게 널리 적용되는 순발력 측정 방법이며(Trevisol Possamai et al., 2024), 이 검사는 신체의 SSC 활용 능력을 반영한다(Turner & Jeffreys, 2010).

이 연구에서는 운동집단의 CMJ가 유의하게 증가되어(+17.17%) complex training이 달리기 동호인의 순발력 향상에 효과가 있었던 것으로 판단되고, 이는 Li et al.(2019)의 결과와 유사하다. 이와 같은 결과는 순발력 향상에 중요한 역할을 하는 근력(Cormie et al., 2011)이 이 연구의 운동 프로그램의 고중량 저항성운동을 통하여 발달되었기 때문에 나타난 것으로 해석된다. 또한, 고중량의 저항성운동과 서로 유사한 플라이오메트릭 운동을 섞어서 한 세트에 함께 수행한 complex training이 운동단위 동원능력과 더불어 PAP 효과를 통해 부가적인 이점을 유도한 것으로 판단된다(Carter & Greenwood, 2014). 향후에는 다양한 수준의 대상자에게 적용하여 그 적용 가능성을 확인하고, 다양한 강도와 운동량을 설정하여 그 효과를 확인할 수 있는 후속 연구가 요청된다.

4. 심폐지구력의 변화

최대산소섭취량은 폐, 심혈관계, 그리고 근육 시스템의 산소 운반

및 활용 능력을 나타내는 대표적인 심폐지구력 지표로서(Poole et al., 2008), 장거리를 달리는 마라톤과 같은 지구력 운동에서 가장 중요한 지표 중 하나로 알려져왔다. 최대산소섭취량의 향상을 위해서는 충분한 운동빈도와 고강도의 유산소운동 트레이닝이 필수적이다(Parmar et al., 2021). 이 연구에서 적용한 complex training은 저항성운동과 플라이오메트릭 운동으로 구성되어 근력과 순발력 발달과 같은 신경근 적응에 초점이 맞춰져 있었기 때문에(Beattie et al., 2014) 최대산소섭취량의 향상을 유도하기는 어려웠다고 판단된다. 그러나 이 연구는 계획단계부터 complex training을 통하여 최대산소섭취량이 유의하게 향상되지는 않을 것으로 예상했으며, 최대산소섭취량이 변화하지 않더라도 다른 요소의 발달에 기인하여 달리기 수행능력이 향상될 것으로 판단했기에 이와 같은 결과가 이 연구의 흐름에는 부합하는 것임을 알 수 있다.

달리기 수행능력의 변화

1. 달리기 효율성의 변화

달리기 효율성은 일정한 속도에서의 산소섭취량을 측정하여 평가하며, 동일한 속도에서 산소섭취량이 낮을수록 더 적은 산소로 달릴 수 있어 효율적이라고 평가한다(Rodríguez-Barbero et al., 2025). 이 연구에서는 달리기 효율성을 측정하기 위해 10 km/h, 12 km/h, 그리고 14 km/h의 속도에서 4분간 달리며 마지막 1분간의 산소섭취량을 측정하여 평균을 기록하였다. 그 결과 운동집단에서 통계적으로 유의한 변화가 나타나지 않았다. 이는 마라톤 동호인에게 complex training을 적용한 결과 달리기 효율성이 향상되었다고 보고한 Li, Nassis, et al.(2021)의 연구 결과와 상반된다. 이와 같은 결과를 선행 연구와의 운동 프로그램의 차이를 통하여 분석해 보면, 고중량 저항성운동의 경우 이 연구에서는 1 RM 70~90% 강도로 실시하여 선행 연구와 큰 차이가 없었다. 또한 Llanos-Lagos et al.(2024)은 1 RM의 80% 이상의 고중량 저항성운동이 달리기 효율성을 향상시킬 수 있다고 보고하였고, Blagrove et al.(2018)은 심지어 이보다 낮은 1 RM의 60~80% 중강도 저항성운동을 통해서도 달리기 효율성이 향상될 수 있다고 보고하여 이 연구에서 적용된 저항성운동의 강도는 달리기 효율성 개선에 부족하지 않았던 것으로 사료된다.

그러나 플라이오메트릭 운동의 경우, 이 연구에서는 하루 총 30회의 플라이오메트릭 운동을 한 것으로 계산되는 반면, 달리기 효율성의 향상을 보고한 Filipas et al.(2023), do Carmo et al.(2023), 그리고 Li, Nassis, et al.(2021)은 각각 60회, 60~180회, 그리고 54회로 이 연구보다 많은 횟수를 실시하였다. 이는 이 연구의 플라이오메트릭 운동 횟수가 달리기 효율성을 발달시키기에 다소 부족했다는 것을 시사한다.

또한, 달리기 효율성은 발목 SSC의 영향을 받는 것으로 보고되었다(Fouré et al. 2010). 선행 연구에서는 single & double leg hop과 같이 발목을 주로 사용하는 동작으로 구성된 반면(Lamontagne & Kennedy, 2013), 이 연구에서는 drop jump 외에는 발목의 SSC를 향상시킬만한 운동이 포함되지 않았다. 심지어 drop jump 또한 착지 이후에 연결되는 점프가 고관절의 참여가 우세한 동작이었고, 이 연구의 또 다른 동작인 CMJ 역시 고관절의 참여가 우세하여(Bobber et al., 1986) 발목의 SSC를 향상시키는데 제한적이었다고 판단된다.

이와 더불어 이 연구의 플라이오메트릭 운동은 모두 양측성 동작만으로 구성된 반면, 달리기 효율성의 향상을 보고한 do Carmo et

al.(2023)과 Li, Nassis, et al.(2021)의 연구에는 한 발로 수행하는 편측성 동작이 포함되어있다. 달리기는 결국 한 발로 체중을 지탱하며 나아가는 구간이 존재하기 때문에 양측성 운동보다는 편측성 운동이 달리기와 유사한 근육의 활성화 패턴과 근신경계 적응을 유도하여 달리기 기술에 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단된다(Suc et al., 2022).

이상의 내용을 모두 종합하면 이 연구의 플라이오메트릭 운동은 운동량도 부족했으며, 운동 동작도 달리기 효율성 향상에 적합하지 않았던 것으로 판단된다.

2. 피로도의 변화

이 연구에서 마라톤 동호인의 달리기 중 피로도를 변화를 확인하기 위하여 10 km/h, 12 km/h, 그리고 14 km/h의 세 가지 속도에서 혈중젖산농도와 심박수를 측정하였다. 젖산(lactic acid)의 경우 과거에는 젖산증(lactic acidosis)으로 인하여 체내 pH 농도를 낮추는 피로물질로 여겨졌지만(Paschen et al., 1987), 이후 연구를 통하여 체내에는 젖산이 아닌 젖산염(lactate)으로 존재하며, 젖산탈수소효소(lactate dehydrogenase)의 작용으로 오히려 피로를 지연시키는 완충효과(buffering effect)를 가진다고 보고되었다(Lindinger et al., 2005). 이와 같은 이유로 젖산을 피로물질로 분류할 수는 없으나, 젖산역치(lactate threshold)는 '정신운동 피로역치'라고 하는 운동 중 인지 및 운동협응 능력이 저하되기 시작하는 시점과 높은 상관관계를 보이며(Chmura & Nazar, 2010), 혈중젖산농도는 운동강도 증가와 함께 증가하는 특성이 있어(Ferguson et al., 2018) 여전히 피로도의 지표로는 활용될 수 있다고 판단된다(Theofilidis et al., 2018).

이 연구에서는 10주간의 complex training을 통해 세 가지 속도에서의 혈중젖산농도가 감소되어 달리기 수행 시 피로도가 감소될 것으로 예상하였으나, 세 가지 속도에서 모두 통계적으로 유의한 변화가 나타나지 않았다. 이와 같은 결과는 Li et al.(2019)의 연구 결과와 상반되는 것으로, 해당 연구에서는 이 연구와 유사한 저항성운동과 플라이오메트릭 운동을 처치하여 이 연구의 측정 속도보다 높은 16 km/h에서 혈중젖산농도의 유의한 감소를 보고하였다. 그리고 그 이유를 지구점유의 기능 개선을 통한 속근점유의 동원 시점이 지연되었기 때문으로 논의하였다. 이와 관련하여 이 연구의 14 km/h도 선행 연구와 유사한 속도인데도 불구하고 유의한 변화가 나타나지 않은 것에 대하여 운동량의 부족을 이유로 들 수 있다. 선행 연구에서는 주 3회로 저항성운동과 플라이오메트릭 운동을 세 종목씩 실시한 것에 반해 이 연구에서는 주 2회로 두 종목씩 실시하였으며, 선행연구에서는 세션 당 총 54회의 플라이오메트릭 운동을 실시하였으나 이 연구는 30회의 점프를 실시하여 이 연구가 전반적으로 플라이오메트릭 운동량이 부족하였을 것으로 판단된다.

심박수 또한 모든 속도에서 유의한 변화가 나타나지 않았으며, 이는 Li et al.(2019)의 연구 결과와 유사하다. 이와 같은 결과는 심박수가 개인의 생활방식과 감정적 상태, 그리고 수면습관 등 다양한 요인의 영향을 받기 때문에(Valentini & Parati, 2009), 이 연구의 처치만으로 심박수의 유의한 변화를 유도하기에는 무리가 있었던 것으로 해석할 수 있다.

3. 힘생성률의 변화

높은 힘생성률은 우수한 달리기 기록과 상관관계가 큰 것으로 보고되었다(Lum et al., 2020). Zhang et al.(2022)은 힘생성률이 높

을수록 10 km/h 속도에서의 달리기 효율성도 우수한 경향이 있다고 보고하였고, Llanos-Lagos et al.(2024)은 고중량의 저항성운동을 통하여 힘생성률이 향상될 수 있다고 보고하였다. 위 내용을 종합하면, 고중량 저항성운동을 통한 힘생성률의 향상은 달리기 효율성에 긍정적인 영향을 미칠 수 있는 것으로 예상할 수 있다.

그러나 이 연구에서 힘생성률을 측정하기 위하여 IMTP를 실시한 결과 통계적으로 유의한 변화가 나타나지 않았으며, 0-50 ms, 0-100 ms, 0-150 ms, 그리고 0-200 ms의 힘생성률이 운동집단과 통제집단 모두에서 증가되었는데, 이는 대부분 사전검사에서의 경험이 사후검사의 결과에 영향을 준 '검사로 인한 효과'로 판단된다(Thomas et al., 2023). 즉, complex training의 효과가 아닌 사전검사 경험을 통해 동작에 익숙해지면서 사후검사에서 더 우수한 결과가 나타난 것으로 볼 수 있다.

그러나 0-50 ms에서는 통제집단에서 12.48% 증가된 반면 운동집단에서는 41.59% 증가하였는데, 이와 같은 변화가 통계적으로 유의하지는 않았지만, 운동집단은 complex training 수행 시 최대한 빠른 속도로 근육을 수축하라고 지시받았기 때문에 힘 발생 초기에 나타난 이와 같은 변화가 현장적인 의미는 존재할 것으로 사료된다. 향후 후속 연구에서는 '검사로 인한 효과'를 줄이고 신뢰도를 높이기 위하여 사전검사 이전에 숙련화 과정(familiarisation session)을 거치고 최소 5회의 양질의 검사 중 3회의 평균을 채택하는 자료수집 방법이 필요할 것으로 판단된다(Maffiuletti et al., 2016). 아울러 IMTP의 다양한 구간에서 힘생성률에 긍정적인 변화를 줄 수 있는 처치에 대한 추가적인 후속 연구가 요청된다.

4. 탄성활용능력의 변화

이 연구에서는 탄성활용능력을 평가하기 위하여 drop jump를 측정하였고, 이를 통해 RSI를 산출하였다. Drop jump는 운동선수의 탄성을 측정하기 위해 널리 사용되는 방법이고, 높은 RSI 점수는 결합조직을 통한 추가적인 힘 생성능력과 플라이오메트릭 및 SSC 능력을 반영한다(Flanagan & Comyns, 2008). 또한 장거리 달리기에서는 탄성 에너지를 빠르게 흡수 및 사용하기 때문에(Beattie et al., 2014) 이와 같은 요소를 측정하는 것이 필요하다.

이 연구의 10주간 처치 결과 운동집단의 drop jump(+10.38%)와 RSI(+50%)가 유의하게 증가되었다. 이와 같은 결과는 이 연구의 complex training에 포함된 플라이오메트릭 운동의 영향이 클 것으로 판단된다. 플라이오메트릭 운동을 통한 SSC의 향상은 근신경 적응과 근육조직 내 티틴(titin)의 탄성 회복 기전에 중요한 역할을 하기 때문이다(Seiberl et al., 2021). 티틴은 근원섬유 내에서 가장 큰 단백질로, 근육이 신장되면서 에너지를 저장하고 수축 시 방출되며 스프링과 같은 역할을 하여 근육수축 속도 및 힘생성에 기여할 수 있다(Linke, 2018). 이와 같은 결과는 Li et al.(2019)에서 complex training을 통해 drop jump와 RSI의 유의한 향상을 보고한 것과 동일한 결과이다. 따라서 이 연구의 complex training은 마라톤 동호인의 탄성활용능력 향상에 효과적인 것으로 정리할 수 있다.

5. 운동지속시간의 변화

이 연구에서는 10주간의 complex training을 통하여 최대산소섭취량이 향상되지 않더라도 달리기 수행능력의 발달로 인하여 운동지속시간이 유의하게 증가될 것으로 예측하였다. 실제로 운동집단의 운동지속시간이 3.48% 증가되고, 통제집단에서는 7.32% 감소됨으로

써 집단과 시기의 상호작용이 유의하게 나타났다. 운동집단의 이와 같은 변화는 통제집단에서 나타난 운동지속시간의 감소를 complex training이 막아주는 preventive effect가 있었다고 해석할 수 있다.

이 연구에서 활용한 최대운동부하검사는 Ramp protocol로 시간이 지날수록 속도 및 경사도의 향상으로 운동강도가 증가하도록 설계되었다. 이와 같은 상황에서는 점차 더 많은 운동단위가 동원되어 속근섬유의 동원이 두드러지게 나타난다(Qaisar et al., 2016). 그러나 속근섬유는 지구력을 위한 지속시간이 길지 않아 피로감에 상대적으로 빨리 노출되기 때문에 속근섬유의 동원이 가급적 지연되도록 하는 것이 운동지속시간을 늘릴 수 있는 방법이라고 볼 수 있다. 이 연구와 같은 complex training에 포함된 고강도 저항성운동은 운동단위 동원능력을 향상시켜(Blagrove et al., 2018) 더 적은 신경 자극으로 근육을 동원하여 에너지소비를 감소시키는 것으로 보고되었고(Carroll et al., 2001), 이를 통하여 최대 강도에서 속근섬유의 동원 시점을 늦추는 것으로 보고되었다(Li et al., 2019). 이 연구에서도 이와 같은 변화로 인하여 운동집단의 최대운동부하검사 시 탈진상태에 도달하는 시점이 연장된 것으로 해석할 수 있다.

한편, 통제집단의 운동지속시간이 감소된 것은 마라톤 시즌이 종료된 것과 관련지어 해석할 수 있다. 이 연구에서는 두 집단 모두 처치기간 동안 달리기 운동량을 동질화하였지만, 연구에 참여한 시점이 마라톤 시즌이 종료되어 고강도의 달리기 운동은 하지 않는 시점이었다. 두 집단의 대상자 모두 연구에 참여하기 전에는 마라톤 시즌 중 대회 출전 및 고강도의 훈련을 통해 높은 강도의 운동을 수행하였으나, 처치기간 동안에는 운동집단에서만 complex training을 통해 신경근 적응 및 운동단위 동원능력을 유지하였고, 통제집단은 고강도 훈련의 부족에 기인한 신경학적 변화로 높은 강도의 최대운동부하검사서 운동지속시간이 저하된 것으로 판단된다(Bosquet et al., 2013). 이와 같이 complex training은 마라톤 시즌 이후에도 운동집단의 높은 강도의 운동수행능력을 유지하는데 긍정적인 영향을 미쳐 통제집단과 같은 유의한 감소를 막은 것으로 판단된다.

결론

이 연구에서는 20~30대 남성 마라톤 동호인을 대상으로 10주간의 complex training이 체력과 달리기 수행능력에 미치는 영향을 규명하고자 하였으며, 이 연구에서 얻은 결과를 요약하며 다음과 같다.

1) 두 집단 모두 신체구성에서 유의한 변화가 나타나지 않았다. 2) 운동집단의 스쿼트 1 RM, 트랩바-데드리프트 1 RM 및 CMJ가 유의하게 증가되었다. 3) 두 집단 모두 달리기 효율성에서 유의한 변화가 나타나지 않았다. 4) 두 집단 모두 피로도에서 유의한 변화가 나타나지 않았다. 5) 두 집단 모두 힘생성률에서 유의한 변화가 나타나지 않았다. 6) 운동집단의 drop jump와 RSI가 유의하게 증가되었다. 7) 운동지속시간이 운동집단에서 증가되고 통제집단에서 유의하게 감소되었다.

이상의 결과를 종합하면, 10주간 complex training은 남성 마라톤 동호인의 근력, 순발력, 탄성활용능력 및 운동지속시간을 개선하여 달리기 수행능력에 긍정적인 영향을 미쳤다고 결론지을 수 있다.

그러나 이 연구는 달리기 효율성과 피로도에는 긍정적인 영향이 나타나지 않았으며, 연구의 대상자를 남성 마라톤 동호인으로 제한하여

운동 효과의 보편성을 확인하지 못하였다. 또한, 실외 달리기 기록을 직접적으로 측정하는 것은 아니기 때문에 실제 마라톤 경기에서의 수행능력의 변화를 명확히 규명한 것은 아니다. 따라서 향후 연구에서는 마라톤 동호인의 특성 및 수준에 맞춘 훈련 강도와 운동량을 조정 및 운동 구성을 다양화한 프로그램을 개발하고, 실제 현장과 유사성을 고려한 검사가 포함되어야 할 것이다.

CONFLICT OF INTEREST

논문 작성에 있어서 어떠한 조직으로부터 재정을 포함한 일체의 지원을 받지 않았으며 논문에 영향을 미칠 수 있는 어떠한 관계도 없음을 밝힌다.

AUTHOR CONTRIBUTION

Conceptualization: JH Lee, KM Lee, & MG Lee, Data curation: JH Lee & KM Lee, Formal analysis: JH Lee & KM Lee, Methodology: JH Lee & KM Lee, Projectadministration: MG Lee, Visualization: JH Lee & KM Lee, Writing-original draft: JH Lee & KM Lee, Writing-review & editing: MG Lee

참고문헌

- American College of Sports Medicine (2020). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription* (10th ed.). Lippincott-Williams & Wilkins.
- Balsalobre-Fernández, C., Santos-Concejero, J., & Grivas, G. V. (2016). Effects of strength training on running economy in highly trained runners: A systematic review with meta-analysis of controlled trials. *The Journal of Strength and Conditioning Research, 30*(8), 2361-2368.
- Beato, M., Stiff, A., & Coratella, G. (2021). Effects of postactivation potentiation after an eccentric overload bout on countermovement jump and lower-limb muscle strength. *The Journal of Strength and Conditioning Research, 35*(7), 1825-1832.
- Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M., & Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Medicine, 44*(6), 845-865.
- Bianco, A., Lupo, C., Alesi, M., Spina, S., Raccuglia, M., Thomas, E., Paoli, A., & Palma, A. (2015). The sit up test to exhaustion as a test for muscular endurance evaluation. *Springerplus, 4*(1), 1-8.
- Blagrove, R. C., Howatson, G., & Hayes, P. R. (2018). Effects of strength training on the physiological determinants of middle-and long-distance running performance: A systematic review. *Sports Medicine, 48*(5), 1117-1149.
- Bobbert, M. F., Mackay, M., Schinkelshoek, D., Huijting, P. A., & van Ingen Schenau, G. J. (1986). Biomechanical analysis of drop and countermovement jumps. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology, 54*(6), 566-573.
- Bosquet, L., Berryman, N., Dupuy, O., Mekary, S., Arvisais, D., Bherer, L., & Mujika, I. (2013). Effect of training cessation on muscular performance: A meta-analysis. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 23*(3), e140-e149.
- Burden, A. M., & Redmond, C. G. (2013). Abdominal and hip flexor muscle activity during 2 minutes of sit-ups and curl-ups. *The Journal of Strength and Conditioning Research, 27*(8), 2119-2128.
- Carroll, T. J., Riek, S., & Carson, R. G. (2001). Neural adaptations to resistance training: Implications for movement control. *Sports Medicine, 31*(12), 829-840.
- Carter, J., & Greenwood, M. (2014). Complex training reexamined: Review and recommendations to improve strength and power. *Strength and Conditioning Journal, 36*(2), 11-19.
- Chmura, J., & Nazar, K. (2010). Parallel changes in the onset of blood lactate accumulation (OBLA) and threshold of psychomotor performance deterioration during incremental exercise after training in athletes. *International Journal of Psychophysiology, 75*(3), 287-290.
- Cormie, P., McGuigan, M. R., & Newton, R. U. (2011). Developing maximal neuromuscular power: Part 1—Biological basis of maximal power production. *Sports Medicine, 41*(1), 17-38.
- do Carmo, E. C., Barroso, R., Gil, S., da Silva, N. R., Bertuzzi, R., Foster, C., & Tricoli, V. (2023). Can plyometric training change the pacing behaviour during 10-km running? *European Journal of Sport Science, 23*(1), 18-27.
- Eihara, Y., Takao, K., Sugiyama, T., Mase, S., Terada, M., Kanehisa, H., & Isaka, T. (2022). Heavy resistance training versus plyometric training for improving running economy and running time trial performance: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine-Open, 8*(1), 1-21.
- Engeroff, T., Kalo, K., Merrifield, R., Groneberg, D., & Wilke, J. (2023). Progressive daily hopping exercise improves running economy in amateur runners: A randomized and controlled trial. *Scientific Reports, 13*(1), 1-7.
- Faul, F., Erdfelder, E., Buchner, A., & Lang, A. G. (2009). Statistical power analyses using G* Power 3.1: Tests for correlation and regression analyses. *Behavior Research Methods, 41*(4), 1149-1160.
- Ferguson, B. S., Rogatzki, M. J., Goodwin, M. L., Kane, D. A., Rightmire, Z., & Gladden, L. B. (2018). Lactate metabolism: Historical context, prior misinterpretations, and current understanding. *European Journal of Applied Physiology, 118*(4), 691-728.
- Ferrauti, A., Bergermann, M., & Fernandez-Fernandez, J. (2010). Effects of concurrent strength and endurance training on running performance and running economy in recreational marathon runners. *Journal of Strength and Conditioning Research, 24*(10), 2770-2778.
- Filipas, L., Bonato, M., Maggio, A., Gallo, G., & Codella, R. (2023). Effects of plyometric training on different 8-week training intensity distributions in well-trained endurance runners. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 33*(3), 200-212.
- Flanagan, E. P., & Comyns, T. M. (2008). The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength and Conditioning Journal, 30*(5), 32-38.
- Fouré, A., Nordez, A., & Cornu, C. (2010). Plyometric training effects on Achilles tendon stiffness and dissipative properties. *Journal of Applied Physiology, 109*(3), 849-854.
- Karp, J. R. (2010). Strength training for distance running: A scientific perspective. *Strength and Conditioning Journal, 32*(3), 83-86.
- Kim, H. R., Sung, S. C., & Lee, M. G. (2007). Comparison of physical fitness, health related variables between marathon club participants and general individuals. *Korean Journal of Sports Science, 18*(4), 10-20.
- Lamontagne, M., & Kennedy, M. J. (2013). The biomechanics of vertical hopping: A review. *Research in Sports Medicine, 21*(4), 380-394.
- Li, F., Nassis, G. P., Shi, Y., Han, G., Zhang, X., Gao, B., & Ding, H. (2021). Concurrent complex and endurance training for recreational marathon runners: Effects on neuromuscular and running performance. *European Journal of Sport Science, 21*(9), 1243-1253.

- Li, F., Wang, R., Newton, R. U., Sutton, D., Shi, Y., & Ding, H. (2019). Effects of complex training versus heavy resistance training on neuromuscular adaptation, running economy and 5-km performance in well-trained distance runners. *PeerJ*, 7(4), 1-21.
- Lindinger, M. I., Kowalchuk, J. M., & Heigenhauser, G. J. (2005). Applying physicochemical principles to skeletal muscle acid-base status. *American Journal of Physiology-Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 289(3), R891-R894.
- Linke, W. A. (2018). Titin gene and protein functions in passive and active muscle. *Annual Review of Physiology*, 80, 389-411.
- Llanos-Lagos, C., Ramirez-Campillo, R., Moran, J., & Sáez de Villarreal, E. (2024). Effect of strength training programs in middle-and long-distance runners' economy at different running speeds: A systematic review with meta-analysis. *Sports Medicine*, 54(4), 895-932.
- Lum, D., Chua, K., & Aziz, A. R. (2020). Isometric mid-thigh pull force-time characteristics: a good indicator of running performance. *Journal of Trainology*, 9(2), 54-59.
- Maffiuletti, N. A., Aagaard, P., Blazevich, A. J., Folland, J., Tillin, N., & Duchateau, J. (2016). Rate of force development: Physiological and methodological considerations. *European Journal of Applied Physiology*, 116(6), 1091-1116.
- Martín-Fuentes, I., Oliva-Lozano, J. M., & Muyor, J. M. (2020). Electromyographic activity in deadlift exercise and its variants. A systematic review. *PLoS One*, 15(2), 1-18.
- Nibali, M. L., Chapman, D. W., Robergs, R. A., & Drinkwater, E. J. (2015). Considerations for determining the time course of post-activation potentiation. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(11), 1163-1170.
- Nikolaidis, P. T., & Knechtle, B. (2023). Predictors of half-marathon performance in male recreational athletes. *EXCLI Journal*, 22, 559-566.
- Park, J., Lee, S., Shin, H., & Cho, H. (2022). Influence of loads and loading position on the muscle activity of the trunk and lower extremity during squat exercise. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 1-10.
- Parmar, A., Jones, T. W., & Hayes, P. R. (2021). The dose-response relationship between interval-training and VO₂max in well-trained runners: A systematic review. *Journal of Sports Sciences*, 39(12), 1410-1427.
- Paschen, W., Djuricic, B., Mies, G., Schmidt-Kastner, R., & Linn, F. (1987). Lactate and pH in the brain: Association and dissociation in different pathophysiological states. *Journal of Neurochemistry*, 48(1), 154-159.
- Piacentini, M. F., De Ioannon, G., Comotto, S., Spedicato, A., Vernillo, G., & La Torre, A. (2013). Concurrent strength and endurance training effects on running economy in master endurance runners. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(8), 2295-2303.
- Poole, D. C., Wilkerson, D. P., & Jones, A. M. (2008). Validity of criteria for establishing maximal O₂ uptake during ramp exercise tests. *European Journal of Applied Physiology*, 102(4), 403-410.
- Qaisar, R., Bhaskaran, S., & Van Remmen, H. (2016). Muscle fiber type diversification during exercise and regeneration. *Free Radical Biology and Medicine*, 98, 56-67.
- Rodríguez-Barbero, S., González-Ravé, J. M., Vanwanssele, B., Juárez Santos-García, D., de la Cruz, V. M., & González-Mohino, F. (2025). Effects of 20 weeks of endurance and strength training on running economy, maximal aerobic speed, and gait kinematics in trained runners. *Applied Sciences-Basel*, 15(2), 1-11.
- Rosado, J., Duarte, J. P., Sousa-e-Silva, P., Costa, D. C., Martinho, D. V., Valente-dos-Santos, J., Rama, L. M., Tavares, Ó M., Conde, J., & Castanheira, J. (2020). Body composition among long distance runners. *Journal of Brazilian Medical Association*, 66(2), 180-186.
- Sato, K., & Mokha, M. (2009). Does core strength training influence running kinetics, lower-extremity stability, and 5000-M performance in runners? *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 133-140.
- Schoenfeld, B. J., Grgic, J., Van Every, D. W., & Plotkin, D. L. (2021). Loading recommendations for muscle strength, hypertrophy, and local endurance: A re-examination of the repetition continuum. *Sports*, 9(2), 1-25.
- Schumann, M., & Rønnestad, B. R. (2019). *Concurrent aerobic and strength training*. Springer.
- Sedano, S., Marin, P. J., Cuadrado, G., & Redondo, J. C. (2013). Concurrent training in elite male runners: The influence of strength versus muscular endurance training on performance outcomes. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(9), 2433-2443.
- Sedeaud, A., Marc, A., Marck, A., Dor, F., Schipman, J., Dorsey, M., Haida, A., Berthelot, G., & Toussaint, J. (2014). BMI, a performance parameter for speed improvement. *PLoS One*, 9(2), 1-7.
- Seiberl, W., Hahn, D., Power, G. A., Fletcher, J. R., & Siebert, T. (2021). Editorial: The stretch-shortening cycle of active muscle and muscle-tendon complex: What, why and how it increases muscle performance? *Frontiers in Physiology*, 12, 1-4.
- Sperlich, P. F., Holmberg, H. C., Reed, J. L., Zimmer, C., Mester, J., & Sperlich, B. (2015). Individual versus standardized running protocols in the determination of VO₂max. *Journal of Sports Science and Medicine*, 14(2), 386-393.
- Šuc, A., Šarko, P., Pleša, J., & Kozinc, Ž. (2022). Resistance exercise for improving running economy and running biomechanics and decreasing running-related injury risk: A narrative review. *Sports*, 10(7), 1-16.
- Theofilidis, G., Bogdanis, G. C., Koutedakis, Y., & Karatzaferi, C. (2018). Monitoring exercise-induced muscle fatigue and adaptations: Making sense of popular or emerging indices and biomarkers. *Sports*, 6(4), 1-15.
- Thomas, J. R., Martin, P., Etnier, J. L., & Silverman, S. J. (2023). *Research Methods in Physical Activity*. Human Kinetics.

- Trevisol Possamai, L., Antonacci Guglielmo, L. G., Felix Salvador, A., Denadai, B. S., & Do Nascimento Salvador, P. C. (2024).** Effects of high-intensity interval training and resistance training on physiological parameters and performance of well-trained runners: A randomized controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 42(9), 785-792.
- Turner, A. N., & Jeffreys, I. (2010).** The stretch-shortening cycle: Proposed mechanisms and methods for enhancement. *Strength and Conditioning Journal*, 32(4), 87-99.
- Valentini, M., & Parati, G. (2009).** Variables influencing heart rate. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 52(1), 11-19.
- Zhang, Q., Nassis, G. P., Chen, S., Shi, Y., & Li, F. (2022).** Not lower-limb joint strength and stiffness but vertical stiffness and isometric force-time characteristics correlate with running economy in recreational male runners. *Frontiers in Physiology*, 13, 1-12.
- Zimmermann, H. B., MacIntosh, B. R., & Dal Pupo, J. (2020).** Does postactivation potentiation(PAP) increase voluntary performance? *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 45(4), 349-356.

10주간의 Complex Training이 20~30대 남성 마라톤 동호인의 체력과 달리기 수행능력에 미치는 영향

이정현¹, 이규민², 이만균^{3*}

¹경희대학교 체육대학원, 석사과정

²경희대학교 체육대학원, 연구원

³경희대학교 체육대학원, 교수

*교신저자: 이만균(mlee@khu.ac.kr)

[목적] 이 연구의 목적은 10주간의 complex training이 남성 마라톤 동호인의 체력과 달리기 수행능력에 미치는 영향을 규명하는 것이다.

[방법] 20~30대 남성 마라톤 동호인 30명을 운동집단과 통제집단에 15명씩 무선 할당(random assignment) 하였으나, 탈락자를 제외하고 운동집단 14명, 통제집단 13명의 데이터를 최종 분석하였다. 운동집단의 대상자는 10주간 주 2회, 60분씩 complex training을 수행하였고, 통제집단의 대상자는 동일한 처치기간 동안 평소의 생활습관을 그대로 유지하도록 하였다. 사전검사와 사후검사에 체격 및 신체구성, 체력, 그리고 달리기 수행능력과 관련된 변인을 측정한 후 반복 이원분산분석을 실시하여 두 집단 간, 그리고 두 시기 간 차이를 비교하였다.

[결과] 이 연구의 주요 결과는 다음과 같다. 1) 체력과 관련하여 운동집단의 스쿼트 1 RM, 트랩바-데드리프트 1 RM, 그리고 CMJ(counter-movement jump)가 유의하게 향상되었다. 2) 달리기 수행능력과 관련하여 운동집단의 drop jump와 RSI(reactive strength index)가 유의하게 향상되었다. 3) 달리기 수행능력과 관련하여 운동지속시간이 운동집단에서 증가되고 통제집단에서 유의하게 감소되어 집단과 시간의 상호작용이 유의하게 나타났다. 이를 통하여 통제집단에서 나타난 운동지속시간의 유의한 감소를 막아주는 complex training의 효과를 확인하였다.

[결론] 이상의 결과를 종합해 보면, 10주간의 complex training이 남성 마라톤 동호인의 근력과 순발력, 탄성활용능력, 그리고 운동지속시간에 긍정적인 영향을 미치나 달리기 효율성, 피로도, 그리고 힘생성률에서는 효과가 제한적이었다. 따라서 향후 후속 연구에서는 complex training의 강도와 운동량을 조정 및 운동을 다양화하여 달리기 수행능력의 개선에 더욱 효과적인 운동 프로그램의 개발이 요청된다.

주요어

복합훈련, 마라톤 동호인, 체력, 달리기 수행능력