

분자생물학적 분석 방법을 이용한 복합트레이닝 연구 고찰

서태범 · 김영수(한국스포츠개발원), 김지연(동덕여자대학교), 이진석 · 박해찬*(고려대학교)

연구의 목적은 복합트레이닝의 효과를 분자생물학적 분석 방법으로 검증한 국내·외 논문들의 세부내용을 파악하여 트레이닝의 효과분석을 위한 분자생물학적 연구의 방향 및 분석 샘플의 장단점 그리고 분석 변인을 조사하는 것이다. 분석 논문은 현재까지 보고된 복합트레이닝 논문들 중 사람을 대상으로 분자생물학적 분석 방법을 이용하여 트레이닝의 효과를 조사한 국내·외 논문으로 한정하였다. 선정된 논문들의 신뢰성 및 본 연구 목적과의 적합성을 높이기 위해 체육학과 교수 및 운동생리학 분야 박사로 구성된 전문가들에 의해 재분류하였다. 최종적으로 선정된 논문은 거시적 관점에서 연구주제 및 연구동향 분석을 바탕으로 혈액, 근육조직을 통해 호르몬 및 효소 그리고 조직 형태의 변화를 측정하였다. 세부적으로는 혈액에서는 leptin, 5-HT, ACTH(adrenocorticotrophic hormone), cortisol, testosterone, GH(growth hormone), LDH (lactate dehydrogenase), CPK(creatine phosphokinase), antioxidants와 같은 호르몬과 효소의 변화, 근생검으로 적출된 근육 조직에서는 CRP, VEGF(vascular endothelial growth factor), PAI-1(plasminogen activator inhibitor-1), MAD(malondialdehyde), carnosin, SDH(succinate dehydrogenase), 섬유의 면적, 근섬유 비율, 근섬유 당 모세혈관 비율과 같은 단백질, 효소, 형태학적 변화를 조사·분석하였다. 복합트레이닝에 대한 국내·외 연구 분석 결과는 단일 트레이닝보다 다양한 효과가 발생하고, 더 높은 상승효과가 발생할 것이라는 기대보다는 간접 효과에 의한 효과의 반감이나 혼합된 트레이닝 형태 중 한 가지 트레이닝의 효과가 부각되는 양상을 보인다고 할 수 있다. 따라서 스포츠 종목의 특성과 관련하여 경기력 향상 관점에서 향후 보다 심도 있게 연구될 필요가 있다.

주요어 : 복합트레이닝, 분자생물학적분석, 호르몬, 근육조직

서론

스포츠과학이란 스포츠 상황에서 발생하는 다양한 신체활동을 과학적인 시각에서 해석하는 연구학문으로 운동생리학, 운동역학, 스포츠심리학, 스포츠사회학, 인간공학, 스포츠의학, 영양학, 교육학, 역사학, 통계학, 측정평가, 물리학, 전자과학 등의 포괄적인 학문적 영역들로 구성되어 있다(이명천, 1993; 김기진, 2001). 따라서 스포츠과학의 수준은 그 나라의 과학수준과 일치하며, 결과적으로 엘리트 국가대표선수들의 경기력을 결정짓는 중요한 요인이다(이명천, 1993).

일반적으로 지구성 트레이닝은 최대산소섭취량, 모세혈관밀도, 미토콘드리아의 수와 크기 및 산화효소의 활성도를 증가시키는 반면 근력과 근섬유 크기를 감소시키고(Moroz & Houston, 1987; Schantz, 1986), 저항성 트레이닝은 근력의 증가와 근비대를 일으키는 반면 모세혈관의 밀도와 미토콘드리아의 양을 감소시키는 것으로 알려지고 있다(Schantz, 1983; Tesch et al., 1984). 이러한 트레이닝 형태에 따른 서로 다른 신체 발달을 하나의 트레이닝을 통해 상승효과(synergistic effect)를 얻고자 많은 연구자들은 지구성 트레이닝과 저항성 트레이닝을 병행하는 복합트레이닝 연구를 수행하고 있다(Häkkinen et al., 2003).

현재까지 보고된 복합트레이닝 국내 학술 논문들을 살펴보면, 트레이닝의 효과 확인을 위해 주로 에너지대사의 동원능력과 관련된 심폐지구력과 무산소성 파워 측

논문 투고일 : 2014. 8. 29.

논문 수정일 : 2014. 9. 15.

게재 확정일 : 2014. 9. 17

* 저자 연락처 : 박해찬(haechan@naver.com).

정/평가를 통한 효과 검증이 일반적이다. 심폐지구력 평가의 중요한 지표는 운동부하검사 장비를 이용한 최대산소섭취량, 무산소성 역치수준, 상대적 완충능력, 회복능력 등을 토대로 효과적인 트레이닝 프로그램 개발이 이루어졌고(김기진 등, 1991; 김찬희 2002; 박동호 등, 2005), 훈련강도 분석에서 널리 이용된 생리학 지표로는 심박수, RPE 및 혈중 젖산농도 등을 들 수 있다(박일봉 등, 2006). 무산소성 운동능력 평가는 Wingate test가 가장 대표적인 방법으로 제시되고 있으며, 테스트과정에서 발휘되는 시간대별 파워, 혈중 젖산 및 암모니아 농도, 효소활성도, 혈중 호르몬 농도 등이 함께 분석되어지고 있다(유재량 등, 2010).

국내에서 발표된 학술 논문들과는 달리, 트레이닝 프로그램이 적용된 국외 논문에서는 심폐지구력과 무산소성 파워 측정뿐만 아니라 혈액, 타액, 근육조직 등을 이용하여 최신의 분자생물학적 분석 기술(western blot, RT-PCR, Proteomix, Microarray, SNP 등)을 접목한 트레이닝 효과 분석이 이루어지고 있다. 특히 트레이닝 적용 후 근생검 방법으로 샘플을 적출하여 골격근의 적응상태(근비대 및 근위축), 면역, 근섬유 타입 변화, 미토콘드리아 재생성, 유전자발현 수준에서의 mRNA 변화 그리고 단백질 발현 등을 분자생물학적으로 분석하고 있다(Tegtbur et al., 2009; Malm et al., 2000; Winder et al., 2006; Bodine et al., 2006; Wang et al., 2011). 이러한 연구 결과들을 종합해 볼 때, 국내 학술 논문에서 발표되는 복합트레이닝 효과 분석 논문들은 트레이닝 적용 전·후 체격, 심폐지구력, 근력, 파워, 스피드, 유연성, 평형성, 각근력 등과 같은 퍼포먼스 관련 변인들의 변화 관찰에만 국한되어 있는 실정이다. 따라서 트레이닝 프로그램 적용 후 효과 분석을 함에 있어, 체격 및 체력과 같은 경기력 관련 변인만을 조사·분석하는 제한된 연구에서 탈피하여 새로운 트레이닝 효과 분석 방법의 필요성을 인식하고, 세계 연구 동향에 걸맞은 스포츠과학 연구능력 배양의 절실함이 강조된다.

본 연구에서는 복합트레이닝 프로그램 적용 후 세포생물학적·분자생물학적 분석방법을 이용하여 트레이닝 효과 분석을 수행한 국내·외 연구 논문을 선정하였다. 선정된 논문들 중 사람을 대상으로 발표된 논문만을 한정하여 연구주제, 분자생물학적 분석 변인 그리고 분석 샘플의 장·단점별로 분류하였고, 그 세부적인 내용을 파악함으로써 트레이닝의 효과분석을 위한 분자생물학

적 연구동향을 조사하는데 그 목적이 있다. 또한 스포츠 동호인 및 엘리트 선수들의 경기력 향상에 도움이 되는 분자생물학적 연구 방향 설정에 필요한 기초자료로 활용하고자 한다.

연구내용 및 방법

분석 논문 선정

2000년부터 2013년까지 보고된 복합트레이닝 적용 후 분자생물학적 분석방법을 이용한 국내·외 논문을 선정하였다. 논문은 국내 한국교육학술정보원(www.riss.kr), 국외 US National Library of Medicine National Institutes of Health(www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed) 기관 사이트를 주로 하여 검색하였고, 검색 키워드는 복합운동, 사람, 단백질, 근육, 호르몬, mRNA 등으로 하여 국내의 논문 약 180편의 연구논문이 선정되었다. 선정된 연구논문들은 전문가(체육학과 교수, 국가대표 지도자 그리고 운동생리학 분야 전문가)들에 의한 재검증 과정을 통해 본 연구의 목적과 관련성이 높은 연구들로 재선정하였다. 구체적으로, 논문 선별 조건에서 국외 논문은 SCI급과 SCIE급, 국내 논문은 한국연구재단 등재지로 제한하였다. 또한, 트레이닝이 아닌 일회성 운동과 연구 대상으로 아동, 청소년, 노인, 질환자 등을 제외하여, 최종적으로 국내 논문 10편, 국외 논문 20편을 중심으로 분석하였다.

연구방법

복합트레이닝 연구 동향 조사

전문가 회의를 통해 선정된 국내·외 연구 논문을 대상으로 연구주제, 연구방향 그리고 활용방안 측면에서 조사하였다.

복합트레이닝 적용 후 분석요인 조사 및 분석샘플의 특성 분석

트레이닝 적용 후 분자생물학적 분석을 통한 효과 검증 연구들의 분석을 위해 분석요인별 분류를 통해 구체적으로 조사·분석하였다. 혈액 샘플에서는 호르몬과 효소, 근육에서는 단백질, 효소, 근육의 형태학적 변화를

조사하였다. 또한 분석에 사용된 혈액, 근육 샘플의 장·단점을 조사하였다.

연구결과

복합트레이닝의 분자생물학적 국내·외 연구동향

복합트레이닝에 관한 연구는 대부분 지구성 트레이닝과 저항성 트레이닝을 병행하는 형태로 연구가 이루어지고 있다(Hawley, 2009). 특히, 복합트레이닝은 단일 트레이닝 보다 다양한 효과(diversity effect)를 낼 가능성과 상승효과(synergistic effect)에 대한 기대로 국내·외에서 연구가 진행되고 있다(Häkkinen et al., 2003). 하지만 복합트레이닝에 관한 연구는 단일 트레이닝에 관한 연구에 비해 양적으로 적은 실정이다. 그 이유로, 단일 형태와 복합 형태 간의 비교에서 상호 총 에너지 소비량을 맞추기 어렵고, 선수와 같은 특정 집단에 임의로 복합트레이닝을 적용하기는 제한되며, 혼합된 트레이닝 간의 순서 및 측정 시점 결정에 모호함 등을 제시하고 있다(Coffey & Hawley, 2007). 또한 복합트레이닝에 대한 연구 중에서 고가의 장비와 도구, 시약 등이 필요한 분자생물학적 연구는 매우 제한적이라고 할 수 있다. 본 연구에서는 분자생물학적 관점에서 복합트레이닝의 효과를 검토한 국내·외 선행연구를 정리하고, 앞으로의 연구 방향을 제시하고자 한다.

분자생물학적 변인을 사용하여 복합트레이닝 효과를 검증한 선행연구에서는 성인 남녀를 대상으로 복합트레이닝과 단일 트레이닝 간 골격근의 비율과 호르몬 농도에 대해 검토하였다(Bell et al., 2000). 선행연구에서는 지구성 트레이닝 집단과 저항성 트레이닝 집단, 지구성과 저항성 복합트레이닝 집단, 통제 집단으로 구성하여 12주간의 트레이닝을 실시한 분자생물학적 변인에 관한 결과에서 복합트레이닝에 의해 type II 근섬유의 면적과 근섬유 당 모세혈관 비율(capillary per fiber ratio), SDH(succinate dehydrogenase) 발현량이 증가하였다고 보고하였다. 이러한 연구 결과로 복합트레이닝에 따른 효과에는 혼합된 트레이닝(지구성과 저항성 트레이닝) 간에 간섭(interference)이 존재한다고 보고하였으며, 혈관신생의 양상과 산화적 효소 활성화, 근섬유 영역에서 모세혈관의 변화, SDH 활성화는 복합트레

이닝이 단일 트레이닝과 비교해서 더 높은 향상이 있었다. 결론적으로, 근력과 지구력 모두의 향상이 필요한 선수에게서 단기간(7~10주 미만)의 복합트레이닝은 부분적으로 근력과 지구력 모두의 향상을 가져올 수 있다. 더불어, 지구성과 저항성 복합트레이닝은 동일한 기간의 지구성 트레이닝(단일 트레이닝)보다 모세혈관 증가와 같은 지구성 요인에 높은 향상을 나타낼 수 있지만, 장기간의 트레이닝은 이화작용 호르몬의 증가와 근비대의 감소 등으로 근력 향상을 제한할 수 있다고 제안하였다. Putman et al.(2004)의 연구에서는 직접적으로 간섭 효과에 관하여 언급하지 않았지만, 성인 남녀를 대상으로 복합트레이닝과 단일 트레이닝 간의 MHC(myosin heavy chain)와 근섬유 형태를 관찰한 연구에서 복합트레이닝의 간섭 효과에 따른 유사한 결과를 보고하였으며, 분자생물학적 변인에 관한 결과에서는 복합트레이닝에 의해 MHC II d(x)의 감소와 type I 근섬유 비율의 증가가 다른 트레이닝보다 높게 나타났다고 보고하였다. Type II 섬유의 비율은 복합트레이닝에서 가장 낮게 나타났고 지구성 트레이닝 보다 복합트레이닝에서 type II A/II D(X) hybrid 속근섬유의 비율은 3~4배 감소한 것으로 나타났으며, 복합트레이닝에 의한 섬유 횡단면적은 type II A 근섬유만이 약 18% 증가하였다. 이러한 결과로 복합트레이닝은 근섬유의 형태를 불문하고 근 비대를 제한한다고 할 수 있다.

트레이닝 형태에 따른 효과는 엘리트선수의 체력, 경기력 등과 밀접한 관련을 가지고 연구되고 있다. 그리고 복합트레이닝은 다수의 종목에서 선수를 대상으로 실시하고 있지만, 분자생물학적 접근은 국내·외적으로 많이 이루어지고 있지는 않고 있다. 최근 국외 연구에서는 남성 유도선수를 대상으로 지구성과 저항성 복합트레이닝에 따른 산화 스트레스 생물학적 지표에 대해 검토하였다(Radovanovic et al., 2009). 복합트레이닝에 의한 분자생물학적 변인에 관한 결과에서는 관찰 변인 중 MAD(malondialdehyde)와 CAT(catalase)의 발현량이 증가하였다. 이러한 결과로 단일 트레이닝보다 복합트레이닝에 의해 산화 스트레스 수준이 더욱 상승될 수 있고 이에, 유전자나 면역체계 등에 악영향을 미칠 가능성이 높다고 할 수 있다(조수연 등, 2012). 엘리트 선수를 대상으로 한 국내 연구를 살펴보면, 고등학교 남성 레슬링선수를 대상으로 12주간의 복합트레이닝에 따른 기초체력, 피로회복능력과 함께 스트레스 및 염증 반

응 지표의 변화를 검토하였다(박은철 등, 2012). 분자생물학적 변인에 관한 결과에서는 지구성과 저항성 복합트레이닝은 레슬링선수의 혈중 CRP(c-reactive protein)와 LDH(lactate dehydrogenase), 젖산 농도 모두를 낮추는 효과가 있는 것으로 보고하였다. 이러한 결과로, 복합트레이닝은 레슬링선수의 피로 내성 및 항염증 능력을 향상시킨다고 할 수 있다.

복합트레이닝의 분자생물학적 접근에서 엘리트선수에 대한 국내연구는 국외연구와 유사하게 그 편 수가 매우 제한적이며 그 주요 이유 중 하나는 선수라는 환경적 특성을 들 수 있다. 그리고 건강한 성인을 대상으로 분자생물학적 접근을 한 연구에서는 혈관신생인자(이신호 등, 2012), 혈중 지질 및 스트레스 호르몬(김시영 등, 2009)의 변화를 검토한 정도이다. 이상 복합트레이닝에 대한 국내·외 연구 결과는 다양한 효과나 상승효과에 힘을 실어주기 보다는 간접 효과에 의한 효과의 반감이나 혼합된 트레이닝 형태 중 한 가지 트레이닝의 효과가 부각되는 양상을 보인다고 할 수 있다. 그리고 대부분 선행연구가 근섬유 형태의 이행, 혈중 지질, 혈액 중 스트레스 및 피로 관련 요인에 편중되어 보고되고 있다. 분자생물학적 변인으로 유전자나 대사에 여러 기능을 하는 단백질과 효소에 관한 연구가 스포츠 종목의 특성과 관련하여 경기력 향상 관점에서 향후 보다 심도 있게 연구될 필요가 있다.

복합트레이닝 효과 분석을 위한 분자생물학적 변인

혈액 분석의 특성

혈액 채취에 따른 변인은 측정 전 최소 12시간 이상 음식물 섭취를 통제해야 신뢰도 있는 결과를 획득할 수 있고, 긴 공복 상태를 유지하기 때문에 대상자가 느끼는 생리·심리적 제한점이 있다 또한, 다수의 혈액 변인은 주기성을 갖거나 컨디션 등에 영향을 받으므로 변화 폭이 크며, 변인의 종류에 따라 비용 차이가 크다는 제한점을 가지고 있다. 하지만, 혈액은 샘플 확보가 용이하고 채취부터 분석 및 완료까지 다른 분자생물학적 변인에 비해서 상대적으로 단기간이 소요된다. 또한, 분석 절차가 간단하고 장비와 기술의 발달로 분석 방법이 쉽고 용이하기 때문에 트레이닝의 분자생물학적 접근에 광범위하게 활용되고 있다.

복합트레이닝 효과 분석을 위한 혈중 호르몬

호르몬은 인체 내의 한 부분에서 분비되어 혈액을 타고 표적기관으로 이동하는 일종의 화학물질을 말한다. 표적기관으로 이동한 호르몬은 세포 외부 또는 내부에 있는 수용체와 결합하여 작용을 하게 되는데 구체적으로 호르몬의 기능을 살펴보면, 체액의 내부 환경을 일정하게 유지하고 신체 성장과 발달, 성적 성숙의 촉진, 생식 과정의 조정, 에너지 생산을 조절, 대사를 안정 그리고 신체가 스트레스나 위기 상황에 잘 대응하도록 도와주는 기능이 있다(Becker et al., 1990, Kaltbach, 1988, Mary, 1997, Shephare et al., 1995, Yen et al., 1991).

복합트레이닝 적용 후 혈중 호르몬 농도를 분석한 선행연구에서 대표적으로 조사된 변인들을 나열하고, 일반적인 기능과 운동 시 변화 그리고 복합트레이닝 적용 후 변화 결과는 <표 1>에서 보는 바와 같다.

복합트레이닝 효과 분석을 위한 혈중 효소

효소는 고도의 세분화된 특이성을 지닌 단백질 촉매제로 화학작용의 속도를 가속시키는 역할을 한다(백일영, 2009). 혈액을 통한 효소분석의 특성은 샘플 확보가 용이하며, 분석 완료까지 상대적으로 단시간이 소요되므로 시간적 측면에서 효율적이고 분석 절차가 간단하고 분석 난이도가 쉽다. 하지만, 측정 전 최소 12시간 이상 음식물 섭취를 통제해야 신뢰도 있는 결과를 얻을 수 있고 대상자들이 긴 공복 시간 속에서 측정해야 한다는 부담이 있고, 샘플의 변화가 크므로 결과의 신뢰도가 떨어진다. 또한, 운동의 효과라 단정 짓기에 어려움이 있다.

복합트레이닝 적용 후 혈중 효소의 농도를 분석한 선행연구에서 대표적으로 조사된 변인들을 나열하고, 일반적인 기능과 운동 시 변화 그리고 복합트레이닝 적용 후 변화 결과는 <표 2>에서 보는 바와 같다.

근육 분석의 특성

신체의 조직을 적출하여 각종 화학 성분 혹은 효소 활성을 이용하여 그 반응 생성물을 특이적으로 염색제와 반응·발색시켜서 단백질이나 효소의 존재 여부를 정성적 그리고 정량적으로 분석할 수 있다. 구체적으로 복합트레이닝 전·후 근육 조직 내 단백질 분해와 합성과 같은 단백질 대사, 광학 및 형광 현미경을 이용한 근육조직의

표 1. 운동관련 혈중 호르몬의 기능 및 복합트레이닝 후 변화

호르몬 변인	기능	복합훈련 후 변화
leptin	○배고픔의 신호를 차단 ○CART(cocaineamphetamineregulatory transcript:뇌가 식욕 억제)를 자극 ○지방세포에서 생성 <i>이복환, 김정규, 2002; Rosa et al., 2012</i>	감소 (식욕과 에너지대사에 영향)
5-HT	○중추신경계에 광범위하게 존재 ○신경전달물질로 전신기능 조절 ○저강도 수영 후 증가 ○90분간의 트레드밀 운동 후 증가 ○중추피로의 원인 <i>Barchas & Freedman, 1963; Romanowski & Grabies, 1974; Wilson & Maughan, 1992</i>	증가 (운동강도와 운동량에 따라 증가하여 중추피로 유발)
ACTH (Adrenocorticotrophic hormone)	○정신적 또는 신체적 스트레스에 관여 ○혈중 글루코스 감소를 통해 시상하부를 자극 ○corticotropin releasing factor(CRF)를 분비 유도 ○운동강도와 밀접한 관련 ○60%VO ₂ max 이상에서 혈장 농도 증가 ○운동직후 급격한 증가 ○회복기 30분에 안정상태 <i>김시영 등, 2009; 진영수 등, 1991; Farrell et al., 1983; Fraioli et al., 1980; Bouissou et al., 1988</i>	감소 (운동강도에 영향을 받지만, 복합트레이닝 후 감소하는 것은 스트레스 반응에 관여하는 것으로 사료됨)
Cortisol	○근육의 단백질을 아미노산으로 분해 ○간에서 포도당 신생(gluconeogenesis)을 촉진 ○조직 세포의 포도당 사용을 억제하여 혈당을 증가 ○운동 시작 30-45분 후에 혈중농도가 최고치 ○운동강도가 증가함에 따라 다양한 변화 <i>진영수 등, 1998; 한상섭, 1999; 김시영 등, 2009; Rosa et al., 2012</i>	트레이닝의 순서에 따라 상반된 결과 - 저항성 트레이닝 우선 = 감소 - 지구성 트레이닝 우선 = 증가
Testosterone	○스테로이드 호르몬 ○뼈의 성장, Ca ⁺ 의 보존, Na ⁺ 의 재흡수 ○대사율을 증가 ○근육 내 아미노산의 축적을 증가 ○골격근의 단백질 합성을 촉진 <i>Booth et al., 1993; Bell et al., 2000</i>	변화 없음 (근육동화작용에 큰 효과 없음)
Growth hormone	○유리지방산이 분해 촉진 ○유리지방산이 아세틸 CoA로 전환 촉진 ○운동 시 지방분해 자극 ○포도당 흡수 억제 ○운동강도 증가에 따라 안정시보다 25배 증가 ○60%VO ₂ max에서 60분간 운동 시 증가 <i>김성수 등, 1995; 정동식, 1995; McArdle et al., 1996; Romijn et al., 1993; Bell et al., 2000</i>	변화 없음 (근육동화작용에 큰 효과 없음)

형태학적 변화(근비대, 근위축, 위성세포의 수 등) 분석을 의미한다. 조직형태 분석을 위한 샘플은 동물의 경우, 근육, 간, 신장, 뼈, 뇌 등에서 획득할 수 있지만, 사람의 경우에는 주로 근생검(biopsy)을 통해 근육에서 획득할 수 있다. 근 조직에 대한 분자생물학적 접근에서 샘플 확보가 번거롭고, 샘플 확보 시 대상자에게 부작용이 있을 수 있으며(예, 샘플 확보 부위의 흉터 등), 분석 완료까지 상대적으로 장시간이 소요된다는 제한점이 있

다. 하지만, 근 조직은 샘플의 신뢰도가 높기 때문에 상대적으로 높은 신뢰도를 요구하는 연구에서 적극적으로 활용되고 있다.

복합트레이닝 효과 분석을 위한 근육 단백질
단백질은 아미노산들이 화학결합을 통해 서로 연결되어 폴리펩티드(polypeptide) 결합을 이루고 있는 형태를 말한다. 분자량 크기에 따라 분자량이 작으면 폴리펩

표 2. 운동관련 혈중 효소의 기능 및 복합트레이닝 후 변화

효소변인	기능	복합훈련 후 변화
LDH (Lactate dehydrogenase)	○무산소성 대사과정 중에 축적 ○젖산의 형성에 밀접한 관련 ○피루빈산이 과량으로 증가할 때 LDH 농도의 증가 <i>김정우, 2005; 박은철 등, 2012; Sale et al., 1990</i>	감소 (피로내성능력 향상)
CPK (Creatine phosphokinase)	○혈장에 낮은 농도로 존재 ○ATP-PC 시스템 대사를 조절 ○운동 시 ATP의 고갈을 방지 ○혈청 CPK는 골격근에 다량 존재 ○근손상 지표 ○운동강도나 시간, 훈련의 양과 밀접한 관련 <i>김정우, 2005; 협송자, 1990; 김백수 등, 2007</i>	감소 (근섬유의 피사 등 부상 예방의 효과 확인 가능)
oxidant stress FORT	○정상적인 생활의 활동에서 ROS가 생산 ○ROS는 산화적 손상이 발생시키는 주요 원인 <i>윤동현, 2011; 임채성 등, 2011</i>	감소 (유리기로부터 세포 손상 예방 효과)
antioxidant capacity FORT	○활성산소는 인체의 세포막과 세포핵을 공격 ○활성산소는 과산화 지질 유도 ○활성산소는 DNA의 손상을 일으켜 세포사멸을 유도 ○항산화 체계 수준은 antioxidant capacity FORT로 확인 <i>임채성 등, 2011; Sen, 1995</i>	증가 (유리기의 생성을 감소시키고 항산화 효소의 활성화를 가짐)
CAT (catalase)	○H ₂ O ₂ 의 분해를 촉진 ○급격한 운동 후 심장, 간, 골격근에서 증가 ○탈진 운동시 심장, 간, 골격근에서 증가 <i>조수연 등, 2012; Ji, 1996</i>	증가 (산화스트레스 수준 상승 및 유전자와 면역체계에 악영향 미침)

표 3. 운동관련 근육 단백질의 기능 및 복합트레이닝 후 변화

단백질 변인	기능	복합훈련 후 변화
CRP (c-reactive protein)	○염증이나 조직 손상에 반응 ○interleukin-6(IL-6)가 간세포를 자극하여 CRP의 생산을 촉진 <i>박은철 등, 2012; Libardi et al., 2012</i>	감소 (항염증능력 향상)
VEGF (vascular endothelial growth factor)	○혈관투과성 및 혈관확장, 혈관생성, matrix remodeling 작용 ○운동이 혈관생성을 재생하는 기전 모름 ○체중감량과 정적 상관관계 보임 <i>박진기, 박상갑, 2008; 이신호, 2012; Ding et al., 2004</i>	증가 (체중감량 및 혈관탄성에 효과적)
PAI-1 (plasminogen activator inhibitor-1)	○동맥경화 발달의 주요 인자 ○t-PA의 plasmin 생성 작용을 방해 ○식이에 의해 조절 받음 <i>이신호, 2012; Alessi et al., 1997; Bastrard et al., 2000; Per et al., 2000</i>	감소 (체중감량과 함께 감소되어 혈관기능 향상)
MAD (malondialdehyde)	○세포막의 구조와 기능을 변질시킴 ○세포피사 유도 ○단백질의 구조적 손상 유도 <i>조수연 등, 2012; Halliwell, 1994</i>	증가 (산화 스트레스 수준을 상승시키고, 유전자나 면역체계에 악영향 미침)

티드라 하고, 분자량이 크면 단백질이라 칭한다. 단백질은 생체의 구성과 생체내의 반응 및 에너지 대사에 관여하는 매우 중대한 역할을 한다. 단백질 분석을 위한 샘플은 주로 근육과 같은 생체 조직에서 획득할 수 있다. 복합트레이닝 적용 후 근육 내 단백질 농도를 분석한 선행연구에서 대표적으로 조사된 변인들을 나열하고, 일

반적인 기능과 운동 시 변화 그리고 복합트레이닝 적용 후 변화 결과는 <표 3>에서 보는 바와 같다.

복합트레이닝 효과 분석을 위한 근육 내 효소 근육을 통한 효소 분석의 특성은 샘플의 신뢰도가 높으며, 국소적인 부위의 반응을 분석함에 있어 정확성이

표 4. 운동관련 근육 효소의 기능 및 복합트레이닝 후 변화

효소변인	기능	복합훈련 후 변화
carosine	○β-alanine과 histidine이라는 두 개의 peptide가 결합 ○속근섬유(type II fiber)에 다량 존재 ○carosine 농도 증가는 고강도 운동 시 운동수행능력을 향상 <i>손희정 등, 2010; Bex et al., 1985</i>	변화없음
SDH (succinate dehydrogenase)	○미토콘드리아 내막이나 세균의 세포막 전자전달계에 존재 ○불용성 ○푸마르산환원효소라는 효소가 별도로 존재 <i>강영희, 2008; Bell et al., 2000</i>	증가 (대사적으로 근지구력 향상에 도움)

표 5. 복합트레이닝 적용 후 근육의 형태학적 변화

근육의 특성	
○수축단백질인 마이오신 분자는 마이오신 경쇄 성분 4개로 구성 ○마이오신 중쇄와 경쇄 모두 각각 속근형과 지근형의 isoform이 존재 ○사람의 경우, MHC 성분에 따라서 근섬유 형태는 다음과 같이 나뉨 ○MHC I 과 MHC IIa를 포함한 근섬유는 Type IIa ○MHC I 과 MHC IIa를 포함하는 비율에 따라 Type I, Type IIb로 분류 ○근횡단면적의 증가, 근육 무게 증가, 근세포 크기 증가 유·무를 통해 근비대 평가 가능 ○또한 수축성 단백질인 액틴(actin)과 미오신(myosin) 증가, 근섬유 횡단면적이 증가 = 근력 증가 <i>Carpenter & Karpati, 2001; Schiaffino & Reggiani, 1996; Staron, 1997; Prior, Yang, & Terjung, 2004</i>	
지구성 트레이닝	저항성 트레이닝
○근세포 내 미토콘드리아 수 증가 ○근섬유 당 모세혈관의 밀도의 증가 ○근육 내 모세혈관의 기능 향상 ○내피세포에서 분비하는 단백질 ○분해효소(protease)활성-내피세포의 세포의 기질이 분해-내피 세포는 이주와 유사 분열-모세혈관 내강 형성-모세혈관의 생성 및 발달 <i>Saltin et al., 1983; Huonker et al., 2003; Folkman et al., 1992; Fry, 2004; Bell et al., 2000; Folkman et al., 1992; Peters & Peters & Collen, 1997; White et al.,1998</i>	○근육의 단면적 증가 ○단백질 동화작용 호르몬 분비 증가 ○속근섬유의 크기 증가 및 근력 증가 ○위성세포 증가에 따른 근섬유 수 증가(가설) ○남성호르몬인 테스테스테론 증가 ○수축성 단백질인 액틴과 미오신 증가 <i>Collen, 1997; Saltin et al., 1983</i>
복합트레이닝	
○type I, typeIIa, typeIIb 근섬유의 횡단면적 증가 ○하지만 typeIIb의 비율은 감소 ○근섬유 당 모세혈관 비율(capillary per fiber ratio) 증가 ○MHC II(d(x)의 감소와 지근섬유 비율의 증가 ○속근섬유의 비율 감소 ○지구성 트레이닝보다 속근섬유 비율이 3~4배 감소 ○섬유 횡단면적은 typeIIA 근섬유만이 약 18% 증가 ○속근섬유에서 지근섬유로의 이행이 지구성 트레이닝 보다 더 크게 나타남 ○type I 의 근비대는 낮게 나타남 ○트레이닝 초반 근력 발달, 트레이닝 후반 근력 향상 제한적 <i>김효정 등, 2005; Bell et al., 2000; Folkman et al., 1992; Huonker et al., 2003; Häkkinen et al., 2003; Peters & Collen, 1997; Saltin et al., 1983; White et al.,1998</i>	

▶ 상반된 연구결과 보고
 ▶ 논쟁의 여지는 존재
 ▶ 하지만 다수의 연구에서 복합트레이닝은 근섬유의 형태를 불문하고 근비대를 제한한다고 할 수 있음
Putna et al., 2004

높으므로 운동의 효과라 단정 짓기에 적합하다. 하지만, 샘플 확보 시에 근생검을 해야 함으로 샘플 확보가 번거롭고, 샘플 확보 시에 의사가 반드시 참여해야 한다. 또한, 샘플 확보 시에 대상자에게 부작용이 있을 수 있다 (예, 샘플 확보 부위의 흉터 등).

복합트레이닝 적용 후 근육 내 효소의 농도를 분석한 선행연구에서 대표적으로 조사된 변인들을 나열하고, 일반적인 기능과 운동 시 변화 그리고 복합트레이닝 적용 후 변화 결과는 <표 4>에서 보는 바와 같다.

복합트레이닝 효과 분석을 위한 근육의 형태학적 변화

복합트레이닝 전·후 신체의 조직을 적출하여 단백질 및 조직의 형태학적 변화 관찰이 가능하다. 사람을 대상으로 한 연구에서는 조직 적출을 함에 있어 윤리적 문제와 의료적인 문제가 동반되는 어려움이 있어, 많은 연구자들이 동물 실험에 의존하는 경우가 많다. 하지만 본 연구에서는 연구의 목적에 부합되도록

사람에게 복합트레이닝을 적용한 연구들에 근육의 형태학적 변화를 조사·분석하였다. 근육을 통한 조직형태 분석의 특성은 샘플의 신뢰도가 높으며, 국소적인 부위의 반응을 분석함에 있어 정확성이 높으므로 운동의 효과과 단정 짓기에 적합하다. 하지만, 샘플 확보 시에 의사가 반드시 참여하여 근생검을 해야 함으로 절차가 번거롭고 샘플 확보 시 대상자에게 부작용이 있을 수 있으며(예, 샘플 확보 부위의 흉터 등), 분석 절차가 복잡하고 분석 난이도가 높으며, 분석 완료까지 상대적으로 장시간이 소요되므로 시간적 측면에서 비효율적이다.

복합트레이닝 적용 후 근육의 조직학적·형태학적 변화를 분석한 선행연구에서 근육의 특성 변화를 비교한 결과는 <표 5>에서 보는 바와 같다.

결 론

본 연구에서는 복합트레이닝 프로그램 적용 후 분자생물학적 분석방법을 이용하여 트레이닝 효과 분석을 수행한 국내·외 연구 논문을 조사·분석하여 트레이닝의 효과분석을 위한 분자생물학적 연구의 방향 및 분석 샘플의 장단점 그리고 변인을 조사하였다.

대다수의 연구에서 복합트레이닝 적용 후 분자생물학적 분석을 위해 혈액, 근육 샘플을 사용하였고, 혈액에서는 주로 호르몬과 효소의 반응, 근육에서는 단백질, 효소, 조직형태를 분석하였다. 우리나라의 연구 현실에서 혈액 샘플을 이용한 분석에는 어려움이 없고, 국외 연구에서 접근하는 것과 같이 분석 변인에 다양화만 갖춘다면 세계 수준의 연구가 가능할 것으로 생각된다. 하지만 근육샘플을 이용한 분자생물학적 분석에는 많은 어려움이 존재하고, 다음의 다섯 가지 과제가 해결되어야 한다. 첫째, 근생검을 통한 근육 적출이 연구윤리 문제에 직면한다. 둘째, 의료진이 없는 상황에서는 조직 적

출을 수행하면 의료법에 접촉된다. 셋째, 근생검 후 부작용이 발생할 수 있다. 넷째, 근생검 후 수일동안 훈련에 참여할 수 없다. 다섯째, 분석기법 및 고가의 장비가 부재하다. 마지막으로 본 연구에서 분석된 모든 연구결과들을 종합해 보면, 복합트레이닝은 지구성 트레이닝과 저항성 트레이닝을 병행하는 형태로 연구가 이루어지고 있고, 단일 트레이닝 보다 다양한 효과를 낼 가능성과 상승효과에 대한 기대로 국내·외에서 연구가 진행되었다. 하지만 복합트레이닝은 전·후에 수행된 트레이닝의 간섭이 발생하여 효과가 반감하였고, 혼합된 트레이닝 형태 중 한 가지 트레이닝의 효과만이 부각되는 양상을 보였다. 또한 단일 트레이닝에 관한 연구에 비해 복합트레이닝 적용 후 분자생물학적 분석 기법이 사용된 연구는 양적으로 제한적이다. 그 이유는 다음 4가지로 설명할 수 있다. 첫째, 단일과 복합트레이닝 비교 시 총 에너지 소비량을 맞추기 어렵다. 둘째, 엘리트 선수들에게 복합트레이닝을 적용하는 것이 현실적으로 어렵다. 셋째, 혼합된 트레이닝 간의 순서 및 측정 시점 결정에 모호함이 있다. 넷째, 장비와 도구, 시약을 구입할 수 있는 연구비가 제한적이다.

결론적으로 트레이닝의 분자생물학적 효과에 관해 검증한 연구는 현실적인 문제들로 연구를 수행함에 어려움이 있지만, 다양한 분석 샘플과 변인을 이용하여 과학적인 정보를 제공할 수 있는 중요한 접근 방법 중에 하나이다. 앞으로 위에서 언급된 문제들이 해결되고, 스포츠 현장에서의 인식이 높아진다면 스포츠 동호인이나 엘리트 선수들의 경기력 향상에 지대한 영향을 미칠 수 있을 것이라 생각된다.

참고문헌

- 강영희 (2008). 생명과학대사전. 아카데미서적.
 김기진(2001). 경기력 향상과 스포츠과학. 체육과학연구원, 76, 15-23.
 김기진, 김용근, 윤성원, 김상수, 손태열, 안의수(1991). 사이클 선수의 무산소성 운동능력 측정방법 비교. 한국체육학회, 211-216.
 김백수 (2007). 태권도 선수의 웨이트 트레이닝과 PNF 훈련이 무산소성 능력 및 혈중 스트레스 변인에 미치는 영향. 대한운동사회 스포츠건강의학 학술지, 9(1), 1-12.
 김성수 (1995). 스포츠 생리학. 서울, 신광출판사.

- 김시영, 김효중, 이용수 (2009). 복합트레이닝시 유산소성 운동과 저항성 운동의 순서 차이가 신체구성, 혈중 지질 및 스트레스 호르몬에 미치는 영향. *한국체육학회지*, 48(2), 421-432.
- 김정우 (2005). 규칙적인 운동이 여성노인의 혈장 LDH 동위 효소와 CPK 농도 및 체력에 미치는 영향. *단국대학교 미간행 석사학위논문*.
- 김찬희, 원미숙, 송영선(2002). trans 지방산 함유 지방이 콜레스테롤대사와 간 세포막 유동성에 미치는 영향. *생명과학회지*, 12(6), 769-779.
- 김효정, 손희정, 이용우, 김창근 (2005). 사이클 선수에 대한 β -alanine 보충이 12주간의 복합트레이닝에 따른 운동능력과 근세포 변화에 미치는 영향. *운동과학*, 14(4), 515-524.
- 박동호, 김창선, 정동식, 이종각, 이명천, 윤재량, 김영수, 성봉주(2005). 탈진 운동 후 세로토닌 운반체 유전자다형성에 따른 혈중 FFA, f-Trp, BCAAs 및 f-Trp/BCAAs의 반응. *체육과학연구원*, 16(2), 74-88.
- 박은철, 강준용, 권대근, 송영주 (2012). 복합 트레이닝이 고교 레슬링 선수의 기초체력과 피로회복 및 운동 유발성 스트레스 반응에 미치는 영향. *대한무도학회지*, 14(3), 69-80.
- 박일봉, 강성훈, 여남희 (2006) 운동 강도에 따른 장기간 저항성 운동이 중년여성들의 과산화지질(MDA)과 항산화효소(SOD)에 미치는 영향. *체육과학연구*, 17(4), 11-18.
- 박진기, 박상갑 (2008). 복합운동이 중년 비만 남성의 동맥혈관과 혈관내피세포 성장인자(VEGF)에 미치는 영향. *한국체육과학회지*, 17(3), 947-958.
- 백일영 (2009). 운동과 에너지 대사. 연세대학교 출판부.
- 손희정, 하영일, 박노환, 육현철, 김효정, 김창근 (2010). 12주간의 β -alanine 보충과 운동 훈련이 근육 내 carnosine 농도와 운동수행능력에 미치는 영향. *운동과학*, 19(3), 247-256.
- 윤동현 (2011). 규칙적인 운동과 홍삼 복합처치가 산화적 스트레스 및 항산화 방어능력에 미치는 영향. *미간행 세종대학교대학원 석사학위논문*.
- 윤재량, 임승길(2010). 무산소성 파워 측정을 위한 윈게이트 검사 변인과 등속성 검사 변인의 상관관계. *대한운동사학회*, 12(1), 1-11.
- 이명천(1993). 경기력 향상을 위한 스포츠과학의 현장적용 방안. 서울: 한국체육과학연구원.
- 이복환, 김정규 (2002). 훈련이 운동시 leptin과 5-HT 분비 변화에 미치는 영향. *운동과학*, 11(1), 177-178.
- 이신호, 진영운, 강현식 (2012). 복합운동에 의한 체중감량 정도의 차이와 심폐체력 및 혈관신생인자 간의 연관성. *운동과학*, 21(1), 79-88.
- 임채성, 지용석, 장창현 (2011). 9주간 복합운동 프로그램이 맨스스포츠 선수인 여고생의 체력, 혈액성분, 산화적 스트레스 및 항산화 능력에 미치는 영향. *운동과학*, 20(3), 227-238.
- 정동식 (1995). 근력트레이닝과 성장호르몬. *스포츠과학*, 51, 43-48.
- 조수연, 백일영, 진화은, 노희태 (2012). NADPH oxidase p22phox C242T 유전자 다형성이 8주간의 유산소성 훈련에 따른 운동수행능력 및 산화적 손상에 미치는 영향. *운동과학*, 21(4), 475-484.
- 진영수, 류승현, 박준영, 이혁중, 김용권, 송욱 (1998). 운동 강도에 따른 홍항산화능과 MDA의 변화. *대한스포츠학회지*, 16(2), 252-257.
- 진영수, 전태원, 김의수, 정성태 (1991). 운동강도에 따른 β -endolpin and ACTH의 분비 양상. *대한스포츠의학회지*, 9(1), 234-241.
- 한상섭 (1999). 트레드밀에 의한 운동강도가 흰쥐의 혈청지질과 호르몬에 미치는 영향. *부산대학교 대학원 박사학위논문*.
- 현송자 (1990) 운동생화학. 보경문화사.
- Alessi, M. C., Peiretti, F., Morange, P., Henry, M., Nalbon, G., & Irene, J. V. (1997). Production of Plasminogen Activator Inhibitor 1 by Human Adipose Tissue: Possible Link Between Visceral Fat Accumulation and Molecular Disease. *Diabetes*, 46, 53-62.
- Barchas, J. D., & Freedman, D. (1963). Brain amines: response to physiological stress. *Biochemical Pharmacology*, 12, 1232-1235.
- Bastard J. P., Pironi, L., & Hainque, B. (2000). Relationship between plasma plasminogen activator inhibitor 1 and insulin resistance. *Diabetes Metab. Res. Rev.* 16, 192-201.
- Becker, K. L., Bilezikian, J. P., Bremner, W., Hung, W., Kahn, C. R., Loriaux, D. L., Nylm, E. S., Rebar, R. W., Robertson, G. L., Snider, R. H. Jr. (1990). Principles and Practice of Endocrinology and Metabolism. Lippincott Williams & Wilkins. Philadelphia.
- Bell, G. J., Syrotuik, D., Martin, T. P., Burnham, R., & Quinney, H. A. (2000). Effect of concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 81(5), 418-427.
- Bex, T., Chung, W., Baguet, A., Stegen, S., Stautemas, J., Achten, E., Derave, W. (1985) Muscle carnosine loading by beta-alanine supplementation is more pronounced in trained vs. untrained muscles. *J Appl Physiol (1985)*. 2014; 116(2):204-9.

- Bodine, S. C. (2006). mTOR signaling and the molecular adaptation to resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(11), 1950-1957.
- Booth, A., Mazur, A. C., & Dabbs, J. M. (1993). Endogenous testosterone and competition. *The effect of fasting. Steroids*, 58, 348-350.
- Bouissou, P., Defer, G., & Guezennec, C. T. (1988). Metabolic and blood catecholamine responses to exercise during alkalosis. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 20(3), 228-232.
- Carpenter, S. & Karpati, G. (2001). *Pathology of skeletal muscle*. Oxford University Press: London.
- Coffey, V. G., & Hawley, J. A. (2007). The molecular bases of training adaptation. *Sports Med.*, 37(9), 737-763.
- Ding, Y. H., Luan, X. D., L. I., J., Rafols, J. A., Guthinkonda, M., Diaz, F. G., & Ding, Y. (2004). Exercise-induced overexpression of angiogenic factors and reduction of ischemia/reperfusion injury in stroke. *Curr. Neurovasc. Res.*, 1, 411- 420.
- Farrel, P. A., Garthwaite. T. L., & Gustafson, A. B. (1983). Plasma adrenococorticotropin and cortisol responses to submaximal and exhaustive exercise. *J. Appl. Physio.*, 55, 1441-1444.
- Folkman, J., & Shing, Y. (1992). *Angiogenesis. J. Biolog. Chem.*, 267(16), 10931-1093.
- Fraioli, F., Moretti, C., Paolucci, D., Alicicco, E., Crescenzi, E., & Fortunio, G. (1980). Physical exercise stimulates marked convomitant release of β -endolpin and adrenocorticotopic hormone(ACTH) in peripheral blood in man. *Experientia*, 36, 987-989.
- Fry, A.C., (2004) The role of resistance exercise intensity on muscle fibre adaptations. *Sports Med*. 2004;34(10):663-679.
- Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Häkkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J., & Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 89(1), 42-52.
- Halliwell, B. (1994). freeradicals, antioxidants and human disease: curiosity, cause or consequence? *Lancet*, 344, 721-724.
- Hawley, J. A. (2009). Molecular responses to strength and edurance training: Are they incompatible? *Appl. Physiol. Nutr. Metab.*, 34(3), 355-361.
- Huonker, M., Schmid, A., Schmidt, T., Grathwohl, D., & Keul, J. (2003). Sizeand blood flow of central and peripheral arteries in highly trained able-bodied and disabled athletes. *Journal of Applied Physiology*, 95, 685-691.
- Ji, L. L. (1996). Exercise, oxidative stress, and antioxidants. *Am J Sports Med.*, 24(6Suppl), 20-24.
- Libardi, C.A., De Souza, G.V., Cavaglieri, C.R., Madruga, V.A., Chacon-Mikahil, M.P. (2012) Effect of resistance, endurance, and concurrent training on TNF- α , IL-6, and CRP. *Med Sci Sports Exerc*. 201244(1):50-56.
- Malm, C., Nyberg, P., Engstrom, M., Sjodin, B., Lenkei, R., Ekblom, B., & Lundberg, I. (2000). Immunological changes in human skeletal muscle and blood after eccentric exercise and multiple biopsies. *The Journal Of Physiology*, 529(1), 243-262.
- Mary, K. C. (1997). *Biochemistry (3th ED.)*. saunders college. Boston.
- McArdle, W. D., Katch, F. I., & Katch, V. L. (1996). *Exercise Physiology: Energy, Nutrition, and Human Performance (4th de.)*. Baltimore, MD: Williams & Wilkins.
- Moroz, D. E. & Houston, M. E. (1987). The effects of replacing endurance running training with cycling in female runners. *Can. J. Sport Sci.*, 12, 131-135.
- Per, E., Harmelen, V. V., Hoffstedt, J., Per, L., Vidal, H., Stemme, V., Hamsten, A., Amer, P., & Reynisdottir, S. (2000). Reginal Variation in Plasminogen Activator Inhibitor-1 Expression in Adipose Tissue from Obese Individuals. *Thromb Haemost*, 83, 545-548.
- Peters, C., & Collen, D. (1997). Molecular analysis of Blood vessel for mation and disease. *Am. J. Physiol.*, 273(42), 2091-210.
- Prior, B. M., Yang, H. T., & Terjung, R. L. (2004). *What makes vessels grow with exercise training? Journal of Applied Physiology*, 97, 1119 - 1128.
- Putman, C. T., Xu, X., Gillies, E., MacLean, I. M., & Bell, G. J. (2004). Effects of strength, endurance and combined training on myosin heavy chain content and fibre-type distribution in humans. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 92(4-5), 376-384.
- Radovanovic, D., Bratic, M., Nurkic, M., Cvetkovic, T., Ignjatovic, A., & Aleksandrovic, M. (2009). Oxidative stress biomarker response to concurrent strength and endurance training. *Gen. Physiol. Biophys.*, 28, 205-211.
- Romanowski, W., & Grabies, S. (1974). The role of serotoninin the mechanism of central fatigue. *Acta Physiological Polonica*, 25, 127-134.
- Romijn, F., Lentjes, E. G., Maassen, R. J., de Graaf, L.,

- Gautier, P., Moolenaar, A. J. (1993). Free cortisol in serum assayed by temperature-controlled ultrafiltration before fluorescence polarization immunoassay. *Clin. Chem. Dec.*, 39(12), 2518-21.
- Rosa, G., Dantas, E., Biehl, C., Montano, M.A., de Mello, D.B. (2012) Leptin, cortisol and distinct concurrent training sequences. *Int J Sports Med.* 2012 33(3):177-180.
- Sale, D.G., Jacobs, I., MacDougall, J.D., Garner, S. (1990) Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc.* 199022(3):348-356.
- Saltin, B., & Golnick (1983). Skeletal muscle adaptability: significance for metabolism and performance. In; Handbook of Physiology. Skeletal Muscle. Bethesda, MD: Am. Physiol. Soc., 10(19), 555-631.
- Schantz, P. G. (1983). Capillary supply in heavy-resistance trained non-postural human skeletal muscle. *Acta Physiol. Scand.*, 117(1), 153-155.
- Schantz, P. G. (1986). Plasticity of human skeletal muscle with special reference to effects of physical training on enzyme levels of the NADH shuttles and phenotypic expression of slow and fast myofibrillar proteins. *Acta Physiol. Scand. Suppl.*, 558, 1-62.
- Schiaffino, S., & Reggiani, C. (1996). Molecular diversity of myofibrillar proteins: Gene regulation and functional significance. *Physiol. Rev.*, 76, 371-423.
- Sen, C. K. (1995). Oxidants and antioxidants in exercise. *J. Appl. Physiol.*, 79(3), 675-86. Review
- Shephare, R. J. & Shek, P. N. (1995). Exercise, aging and immune function. *Int. J. Sports Med.*, 16, 1-1.
- Staron, R. S. (1997). Human skeletal muscle fiber types: Delineation, development, and distribution. *Can. J. Appl. Physiol.*, 22, 307-327.
- Tegtbur, U., Busse, M. W., Kubis, H. P. (2009). *Exercise and cellular adaptation of muscle.* 112(4), 365-372.
- Tesch, P. A., Thorsson, A., & Kaiser, P. (1984). Muscle capillary supply and fiber type characteristics in weight and power lifters. *J. Appl. Physiol.*, 56(1), 35-38.
- Wang, L. I., Mascher, H., Psilander, N., Blomstrand, E., & Sahlin, K. (2011). Resistance exercise enhances the molecular signaling of mitochondrial biogenesis induced by endurance exercise in human skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology.* 111(5), 1335-1344.
- White, F. C., Colin, M. B., Dan, M. M., & Susan, M. C. (1998). Exercise training in swine promotes growth of arteriolarbed and capillary angiogenesis in heart. *J. Appl. Physiol.*, 85(3), 1160-1168.
- Wilson, W. M., & Maughan, R. J. (1992). Evidence for a possible role of 5-hydroxytryptamine in the genesis of fatigue in man: administration of paroxetine, a 5-HT re-uptake inhibitor, reduces the capacity to perform prolonged exercise. *Experimental Physiology*, 77, 921-924.
- Winder, W. W., Taylor, E. B., & Thomson, D. M. (2006). Role of AMP-activated protein kinase in the molecular adaptation to endurance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(11), 1945-1949.
- Yen, S. S. C., & Juffe, R. B. (1991). Reproductive Endocrinology; Physiology, Pathophysiology, and Clinical Management. W. B. Saunders Co. Philadelphia.

Review on Molecular Biological Approaches to Investigate the Effect of Combined Exercise

Tae-Beom Seo¹, Young-Soo Kim¹, Ji-Yeon Kim², Jin-Suk Lee³, & Hae-Chan Park³

¹Korea Institute of Sports Science, ²Dong-duk women's University, & ³Korea University

The purpose of this study is to investigate the further direction of molecular biological studies, the advantages and limitations of assaying samples, and variables in figuring out the details of domestic and overseas studies verified through cell and molecular biological analysis in order to analyze the effect of concurrent training. The analysis study was limited to domestic and overseas literature, which investigated the effect of combined training using molecular biological analysis among studies to date. The study was reclassified by specialty, composed of professors of physical education and doctors of exercise physiology. The final selected study analyzed the subject and the trend of studies in terms of comprehensive perspectives. In detail, it analyzed hormonal and enzymatic changes in criteria such as leptin, 5-HT, ACTH(adrenocorticotrophic hormone), cortisol, testosterone, GH(growth hormone), LDH(lactate dehydrogenase), CPK(creatine phosphokinase), antioxidants in blood samples and protein, and enzymatic and morphologic changes in for CRP, VEGF(vascular endothelial growth factor), PAI-1(plasminogen activator inhibitor-1), MAD(malondialdehyde), carnosin, and SDH(succinate dehydrogenase), the area of muscle fibers, ratio of type I / II muscle fiber and capillary proportion per muscle fiber in the extracted muscle by biopsy, for example. Finally, urine samples, and hormonal changes (like cortisol), were analyzed. The results of the analysis of domestic and overseas studies according to combined training has shown that this training has more varied effects than single training and lower improvement by interference effect or magnifying the effect of one type of training amongst the combined training types appears, rather than higher improvement through combined trainings. Therefore, it should be investigated in view of performance improvements relating to the characteristic of sports.

Key Words: Molecular Biological Analysis, Combined Training, Hormone, Muscle 