

⑦ 훈련중 일어나는 우리 몸속의 변화

# 반복운동이 그 종목의 맞춤체형으로 변화시킨다

글 | 박 현 \_ 경희대학교 스포츠의학과 교수 hpark@khu.ac.kr

**국**가대표급 운동선수와 일반인의 운동능력은 큰 차이가 난다. 마라토너는 100m를 18.5초에 달리는 속도로 두 시간 이상을 지속적으로 달릴 수 있으며, 일반 성인 남성의 체지방이 15% 정도인데 반해서 사이클리스트는 5% 이하인 경우가 많다. 이들의 신체가 일반인에 비해서 이렇듯 큰 차이를 보일 수 있는 이면에는 어떤 구체적인 변화들이 작용하고 있는 것일까?

### 운동 반복하면 생리적 항상성 범위 확대

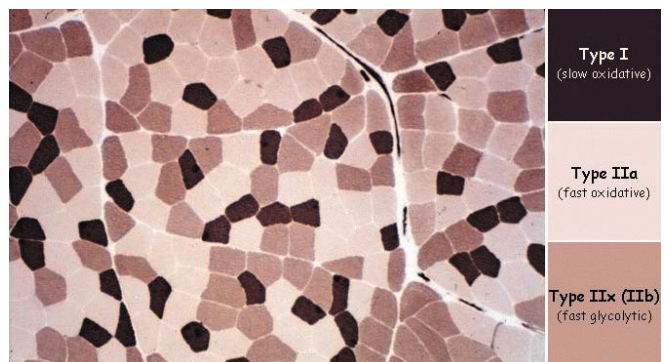
전력을 다해 100m를 달리거나, 30분간 에어로빅을 실시하거나, 한 두 시간 이상 조깅을 하는 등 일회성 운동은 심박수, 호흡수, 체온의 증가와 함께 대부분의 호르몬 수준과 대사활성의 상승을 포함하여 인체의 생리적 상태에 변화를 초래하게 된다. 따라서 운동은 인체가 그 생리적 기능을 적정 범위내에서 유지하려는 항상성을 일시적으로 무너뜨리는 자극의 하나라고 볼 수 있다. 이러한 변화는 운동을 중지하면 곧 원래의 상태로 회복된다. 물론 이 때 걸리는 시간은 각자의 생리적 능력과 운동의 종류 및 시간에 따라 다르다. 운동을 지속적으로 반복하면 인체는 이에 반응하여 변화를 계속하면서 차츰 운동이 덜 부담스러운 쪽으로 형태학적, 생리학적 변화를 나타내게 되는데, 이것을 훈련에 따른 적응이라고 한다. 항상성의 범위가 재조정되는 셈이다. 이러한 적응의 정도와 속도는 실시하는 운동이 어떤 종류인지, 주당 몇 번의 빈도로 행해지는지, 매 번 실시하는 강도는 어느 정도인지, 몇 주 몇 달 이상 얼마 동안이나 지속하는지 등에 영향을 받게 된다.

운동의 형태는 일단 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 30~40분 이상 지속할 수 있는 정도의 강도로 일주일에 3, 4회 이상 실시하는 조깅, 자전거 타기, 수영 등의 운동은 지구성 또는 유산소성 운동이

라고 한다. 이와 달리 20~30회 이상은 반복할 수 없는 무거운 중량을 가지고 주당 2, 3회 실시하는 운동은 저항성 또는 근력운동이라 부른다. 지구성 운동을 두 달 이상 지속하게 되면 더 먼 거리를 지치지 않고 달릴 수 있게 되며, 저항성 운동을 지속하게 되면 더 무거운 무게를 들어 올릴 수 있게 된다. 따라서 마라토너나 장거리 사이클선수는 지구성 훈련이 필요하고, 단거리 육상선수나 역도선수는 저항성 훈련이 필요하다. 신체의 외형은 지구성 운동을 통해서 필요 이상의 체지방이나 근육이 없는 보다 날렵한 체형으로, 저항성 운동을 통해서도 보기도 힘이 느껴지는 커다란 근육을 가진 체형으로 변하게 된다. 즉 이들 두 가지 운동은 인체의 형태적, 기능적 특성을 서로 다른 방향으로 변화시키는 것이다. 물론 축구, 농구, 쇼트트랙 등 대부분의 스포츠는 선수들에게 두 가지 형태 운동 모두를 병행하는 훈련을 요구한다. 축구선수의 경우라면, 후반 종료 직전까지도 지치지 않을 지구력과 순간적인 돌파 및 강력한 슛을 가능하게 하는 근력이 동시에 필요한 것이다. 이들 두 가지 특성을 모두 극한까지 끌어 올려야 하는 육상 중거리 종목의 선수들에게는 가장 미묘한 배합의 훈련이 요구되는 이유가 여기에 있다.

### TYPE I 근섬유 많을수록 지구성 운동에 유리

이제 장기적인 훈련에 따른 인체의 변화가 어떻게 이루어지는지 형태학적 측면과 생리적 측면에서 살펴보자. 인체의 운동이 가능하기 위해서는 수축과 이완이 가능한 근육, 이들 근육의 양 끝에



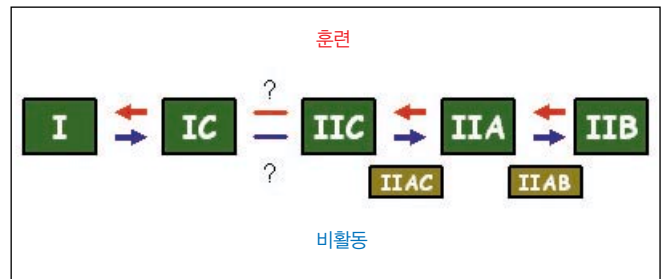
<그림 1> 골격근의 단면에 나타난 세 가지 근섬유의 모자이크형 배치. Type I(유산소성 지근), type IIa(유산소성 속근), 그리고 type IIb(해당성 속근) 섬유가 ATPase를 활용한 염색에 의해서 구분될 수 있다.



1998년 나가노 동계 올림픽 쇼트트랙 남자 5,000m계주에서 이호응이 김동성을 밀어주고 있다(나가노=연합뉴스).

붙어 운동의 방향과 형태가 결정될 골격, 지속적인 운동을 가능하게 하는 에너지의 공급을 담당하는 미토콘드리아를 포함한 세포내 대사 등 세 가지가 필수적이다. 근육, 특히 골격근 세포는 일반적인 세포에 비해서 매우 긴 실과 같은 모양 때문에 근섬유라고도 불린다. 바디빌더의 다리 뒤편에 잘 발달된 장판지근은 무수한 근섬유가 모여 이루어져 있고, 다양한 결합조직과 신경세포의 도움으로 함께 수축해야만 배구선수의 1m 가까운 점프를 가능하게 할 수 있다.

근육의 단면을 확대해 보면 <그림 1>과 같이 크게 세 가지 유형의 근섬유들이 고루 섞여 있는 것을 알 수 있다. 근섬유는 그 유형에 따라 유산소성 대사 능력이 뛰어나며 지구력이 우수하지만 수축과 이완 속도가 느린 type I과 무산소성 대사에 의존하여 산소가 충분히 공급되지 않는 상황에서 쉽게 지치지만 수축과 이완 속도가 빠르고 큰 힘을 낼 수 있는 type IIb가 있다. 그리고 그 중간에 해당하는 type IIa 근섬유가 존재한다. 이들은 서로 섞여 있지만 근육의 위치와 역할에 따라 그 구성 비율이 다르다. 즉 자세를 유지하는 것처럼 큰 힘을 들지 않지만 지속적으로 힘을 발휘해야 하는 가자미근에는 주로 type I 근섬유가 많으며, 점프와 같은 순간적 움직임에 필요한 장판지근은 주로 type II 근섬유로 구성되어 있다.



<그림 2> 오랜 훈련에 의한 근섬유 유형의 변화와 활동중지에 따른 역전의 방향. 주로 근섬유 유형의 변화는 같은 type I이나 II 사이에 국한되어 나타나는 것이 보통이다.

Type I 섬유에는 산소운반체인 마이오글로빈이 type II 근섬유들에 비해서 많기 때문에 색이 더 붉게 보여 적근으로도 불리며, 상대적으로 색이 연한 type II는 백근이라 부르기도 한다. 같은 근육이라도 사람에 따른 차이가 날 수 있는데, 선천적으로 type I 근섬유가 많은 사람은 지구성 운동에 유리한 근육을 가졌다고 말할 수도 있다. 후천적으로 오랜 훈련에 의해서도 근섬유 유형이 단계적 이나마 바뀔 수 있는데, 주로 type IIa와 IIb 사이에서 나타나며 type I과 II 사이의 전환은 거의 나타나지 않는다(그림 2 참조).

저항성 훈련이 근육의 크기를 증가시키는 것은 누구나 알 수 있

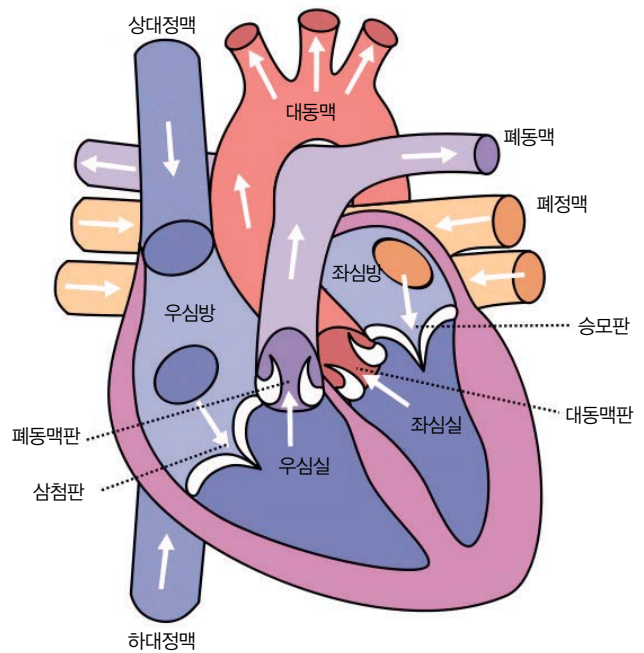
는데, 이 때 근육 크기의 증가는 근섬유 각각의 구성 단백질 합성이 증가하여 그 부피가 늘어난 결과다. 이를 근비대라고 한다. 또 하나의 가능성인 근섬유 수의 증가는 인체 근육의 경우 아주 특별한 상황을 제외하고는 나타나지 않는다. 지구성 훈련은 근섬유 내부 소기관, 특히 미토콘드리아의 유산소성 에너지 생산 기능과 크기를 증가시켜 보다 효율적인 ATP 생산을 가능하게 한다. 그 결과, 근육은 더 오래 지치지 않고 운동을 할 수 있게 되며, 피로에서 더 빨리 회복될 수 있는 기능을 지니게 된다.

### 지구성·저항성 훈련 반복하면 좌심실 커져

훈련은 심장에도 많은 변화를 가져온다. 특히 체순환을 위한 혈액 펌핑을 담당하는 좌심실에 많은 변화가 나타나는데, 지구성 훈련과 저항성 훈련의 결과가 서로 다르게 나타난다. 지구성 운동을 하는 동안에는 단위 시간당 보다 많은 혈액이 근육에 공급되어야 충분한 산소 및 영양소 공급과 노폐물 처리가 가능해져 더 오랫동안 지치지 않고 운동할 수 있게 된다. 따라서 심장은 한 번의 박동시 더 많은 혈액을 뿜어내야 하고, 이는 곧 좌심실 용적이 커야함을 의미한다. 저항성 운동 중에는 극도로 수축하는 근육이 혈관을 압박하여 심장에서 뿜어져 나가는 혈액의 흐름을 방해하게 된다. 이런 저항을 극복하고 혈액을 밀어 보내야 하는 심장은 혈압을 높일 수밖에 없고, 이런 상황이 오랜 시간 반복되면 좌심실 벽이 두껍고 튼튼하게 변한다. 지구성이나 저항성 훈련 결과 그 원인과 내부 상황은 다르지만, 모두 심장의 외형에 동일한 변화를 가져와 좌심실이 비대해지도록 만든다. 오랜 훈련의 결과로 나타난 경우가 아니라면 좌심실 비대는 심장이 비정상임을 의미한다. 이렇듯 훈련에 의해 나타난 외형적, 기능적 변화가 마라토너의 안정시 심박수가 분당 약 35회의 박동만으로 일반인의 70회 박동에 해당하는 혈액 공급을 가능하게 만드는 것이다.

이밖에도 훈련에 의한 기능적 변화는 근육의 움직임 조절하는 신경의 재조정, 각종 호르몬 수준의 변화와 관련된 내분비계 적응, 에너지 생산 관련 효소들의 활성화, 운동에 의해서 발생하는 여러 가지 생물학적 신호들에 의한 유전자발현의 조절, 고강도 운동 중 높아지는 반응성 산소종(ROS)의 유해성 작용에 대항하는 항산화능의 변화, 그리고 면역 또는 항노화 기능의 변화를 포함한다. 이들 중 최근 많은 운동과학 연구들을 통해서 조명되고 있는 유전자의 영향과 항산화 관련 적응에 대해서 좀 더 살펴보자.

어떤 사람은 조금만 운동을 해도 근육이 커지고, 어떤 사람은 지

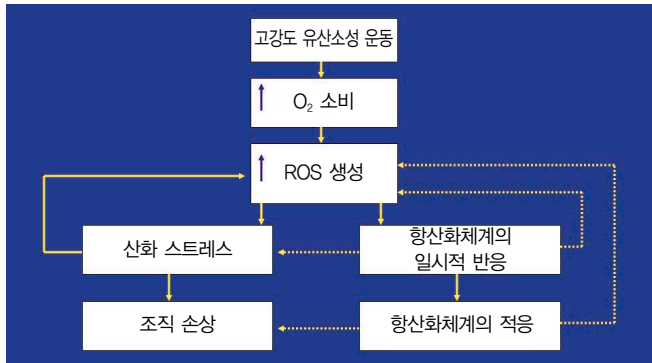


〈그림 3〉 심장 단면과 혈액순환의 방향. 특히 좌심실(left ventricle)은 몸 전체로 보내질 혈액을 충분한 압력을 가지고 뿜어내야 하기 때문에 주변 심실벽을 구성하는 근육이 두껍고 강하다. 훈련은 주로 좌심실의 용적과 좌심실벽의 두께에 변화를 가져온다.

구력이 남보다 더 빨리 향상되는 경우를 볼 수 있다. 이렇듯 운동에 반응하여 인체가 변하는 방향과 속도는 사람마다 차이가 있는데, 이는 유전적 요인의 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 인간게놈프로젝트(HGP)가 완성된 이후 소위 포스트게놈시대에서는 각 개인의 유전적 특성에 맞춘 운동과 훈련방법을 제시하기 위한 연구가 진행되고 있다. 특정 신체 능력에 영향을 주는 유전자형을 찾아내어 이를 바탕으로 훈련효과와 발전 가능성을 예측하는 것이다.

대표적인 운동능력 관련 유전자로는 ACE 유전자가 있다. ACE 유전자는 II, ID, DD의 세 가지 유형으로 발현되는데, 고산등반에 성공한 알피니스트들의 대부분은 II형의 ACE유전자를 가지고 있었다. 즉 부모로부터 각각 I형만을 전해 받은 경우에, I와 D 또는 D만을 물려받은 사람에 비해서 훈련에 의한 유산소성 능력 증가가 훨씬 더 빠르고 크게 나타날 수 있다. 이를 입증하는 연구 결과들도 많이 있다. 약 60% 정도의 사람들이 II형을 나타내고 DD형은 6~7% 정도인 것으로 조사되고 있지만, 스포츠 종목이나 포지션별로 어떤 ACE유전자 표현형이 더 적합한지, 아니면 일반인을 위한 운동처방시 제시하는 운동의 종류를 결정 근거로 활용할 수 있는지에 대한 더 많은 연구가 필요하다.





(그림 4) 오랜 운동에 적응하는 항산화체계(실선은 직접적인 영향을, 점선은 가능한 영향관계 표시)

### 고강도 운동시 반응성산소종 생성 증가

인간의 노화를 설명하는 다양한 이론들 중에서 운동과 가장 관련이 깊고, 중요한 것은 고강도 신체활동시 많이 생성되는 자유라디칼, 특히 ROS에 관한 것이다. 우리가 사용하는 산소의 약 3%가 미토콘드리아에서의 대사 중 화학적으로 매우 불안정하여 반응성이 높아진 형태인 ROS로 변형되는 것은 피할 수 없는 현상이며, 이들이 안정화되기까지 주변 조직에 미치는 부정적 영향들이 누적되어 노화가 진행된다는 것이 핵심 내용이다. 특히 고강도 운동 중에는 ROS의 생성이 증가하며, 이에 따른 피해 역시 높아지게 된다. 그러나 인체는 ROS에 대한 자체 방어기전인 항산화체계를 가지고 있으며, 이 체계가 ROS의 증가에 반응하여 더욱 발달하게 되며, 그 결과 운동을 지속적으로 하는 사람들은 나이가 들어서도 그렇지 않았던 사람들에 비해 더 뛰어난 항산화능력을 지니게 된다는 것도 사실이다.


따라서 운동이 주는 ROS의 추가적 생성이라는 부정적 효과와 오랜 운동을 통한 항산화능력의 향상이라는 긍정적 효과 사이에서의 손익 계산이 중요해진다. 같은 운동이라도 그 방법과 강도에 따라 ROS의 생성량이 달라지고, 사람마다 기본족인 항산화 능력에 차이가 있으며, 식이를 통한 항산화제(대표적으로 베타-카로틴, 비타민 C와 E, 멜라토닌 등) 섭취 여부 등의 요인으로 인해 아직까지는 이 둘만의 비교에서 어느 한쪽의 우세를 판단할 수 없다. 그렇지만 운동이 주는 긍정적 효과는 ROS에 관련된 내용 외에도 매우 많기 때문에 운동을 하는 것이 안하는 것에 비해서 좋다는 것은 분명한 사실이다(그림 4 참조).

이 문제가 운동선수들의 경우에는 조금 달라진다. 일반인이야 ROS 생성이 급격히 늘어나는 것으로 알려진 고강도 운동을 피하

면 되지만, 선수들은 각자의 운동능력을 극대화시키기 위해서 초고강도의 훈련을 지속할 수밖에 없기 때문이다. 정상적인 훈련에 참가하고 있는 운동선수들의 경우, 하루에 섭취하는 열량이 종목에 따라서는 5천 칼로리를 넘기도 하는데, 일반 성인 남성의 2천 칼로리를 두 배 이상 넘어서는 양이며, 실제 운동으로만 소모하게 되는 열량은 활동적인 일반인의 열 배를 넘는 것이 보통이다. 따라서 운동선수들은 엄청난 양의 ROS에 노출되게 되는데, 운동중 부상과 더불어 가장 주의해야 할 사항이다.

### ROS에 의한 산화스트레스 줄여야 경기력 유지

ROS에 의해서 발생하는 체내 지질구조물, 단백질 분자, DNA 등의 손상은 운동선수들에게 근육통증, 만성피로, 훈련효과 감소, 부상위험 증가 등을 초래하는 원인이 되기도 한다. 물론 오랜 기간 이런 훈련을 해 온 선수들은 항산화능력이 일반인보다는 훨씬 뛰어나지만, 다음과 같은 조치를 통해서 ROS에 의한 산화스트레스를 줄이는 것이 훈련효과나 선수 자신들의 건강을 위해 매우 중요하다. 첫째, 본격적인 훈련 전과 후에 적절한 준비운동을 해 인체에 급격한 상태변화를 초래하지 않는 것이 좋다. 둘째, 가능한 한 공해가 적고 공기가 깨끗한 곳에서 훈련한다. 셋째, 절한 식이 또는 보충제 섭취를 통해서 항산화 물질을 많이 섭취하도록 한다. 고강도 지구성 운동선수의 경우, 비타민 C를 일반인에 대한 하루권장량인 75mg보다 훨씬 많은 250~500mg 정도를 복용하는 경우도 많다. 넷째, 꼭 필요한 약품 이외에는 복용하지 않는다. 다섯째, 담배를 피우지 않는다. 흡연은 ROS의 생성뿐 아니라 대량의 비타민C 손실을 초래한다. 여섯째, 과식을 하지 않는다. 일곱째, 절대 탈수상태에 이르지 않도록 충분히 수분을 섭취한다.

훈련에 의한 신체의 변화는 실로 경이로운 인체 능력의 한계에 대한 도전이 아닐 수 없다. 그러나 모든 시도는 안전을 전제로 해야 하고, 인간이라는 종적 한계를 인정하는 범위내에서 이루어져야 한다고 믿는다. 아무리 뛰어난 수영선수라도 돌고래를 따라 잡을 수 없고, 세계 제일의 단거리 선수도 100m를 5초 이내에 달리는 치타를 앞지를 수 없다. 유전자 조작을 통해서 근육의 특성을 바꿀 수도 있겠지만, 이미 고릴라의 앞발과 같은 근육을 가진 선수를 인간의 한계에 대한 정당한 도전자로 인정할 수는 없을 것이다. 



글쓴이는 연세대학교 생화학과 졸업 후 서울대학교에서 운동생리학 석사학위를, 미국 텍사스대학교에서 박사학위를 받았다