대한정형도수치료학회지 제13권 제1호 (2007년 6월)
Korean J Orthop Manu Ther, 2007;13(1):58-66

골격근의 구조와 생역학에 관한 고찰

공원태
대구대학교대학원 재활과학과 물리치료전공

Abstract

A Review of Structure and Biomechanics of the Skeletal Muscle

Won-Tae Gong
Major in Physical Therapy, Department of Rehabilitation Science, Graduate School, Daegu University

The purpose of this study is to understand the structure and biomechanics of the skeletal muscle. The skeletal muscle takes 40 to 45% of the whole body. Stable posture requires a balance of muscle. However, when the muscle strength is unbalanced, movement initiates. The power generated by the muscle is a primary means to adjust the equilibrium of posture and movement. The structural unit of the skeletal muscle is a long cylindrical type muscle fiber which contains hundreds of nucleus. The thickness of muscle fiber is about 10-100□m, and its length is about 1-50cm. Muscle fiber is composed of myofibril that is covered with plasma membrane which is called sarcolemma. In understanding the movement of human body, it is important to comprehend the movement of bone and joint and the tension of muscle. Understanding the structure and biomechanics of muscle also provides basic information on clinical treatment of patients.

Key Words: Structure of muscle, Myofibril, Motor unit

교신저자: 공원태(대구대학교 대학원 재활과학과, 010-5087-6095, E-mail: owntae@hanmail.net)

Ⅰ. 서 론

골격근은 인체의 가장 풍부한 조직으로서 전체 체중의 40-45%를 차지하고 있다. 인체는 430개 이상의 근육을 갖고 있으며, 신체의 오른쪽과 왼쪽에서 쌍으로 볼 수 있다. 가장 활발한 움직임은 80쌍 이하의 근육에 의해 생산된다. 근육은 충격의 흡수와 부하의 분배를 통해 골격에 대한 보호와 근력을 제공하며, 관절에서 뼈가 움직일 수 있게 하고, 힘에 대항해 체위의 유지를 제공한다. 그러한 능력은 개별 근육에 의한 것이 아니라 대게 근육군의 작용에 의해 제공된다(Nordin 와 Frankel, 2003).

안정된 자세는 맞서고 있는 힘들의 균형으로 초래된다. 이와는 대조적으로, 움직임은 맞서고 있는 힘들의 균형이 깨질 때 일어난다. 근육에 의해 발생된 힘은 자세와 움직임 사이의 복잡한 균형을 조절하기 위한 일차적인 수단이다. 근육이 자세와 움직임을 조절하는데 있어 두 가지 방법이 있다. 그것은 뼈의 안정화와 뼈의 움직임이다. 뼈의 움직임을 부드럽고 강력하게 하기 위해 조절하거나 제어하는 근육도 필요시 된다. 주어진 과제에 노출된 무수히 많은 환경적 제한에 관계없이, 정상적인 움직임은 고도로 조절되고 정제된다. 비록 많은 조직들이 인체를 지지하는 골격에 붙어 있다 할지라도, 근육만이 인체를 동요시킬 수 있는 즉각적인 외적인 힘과 장기간의 외적인 힘 둘 다에 적응할 수 있다. 근조직이 이러한 기능에 이상적으로 적합한 이유는 근조직이 외적인 환경과 신경계에 의해 제공되는 내적인 조절기전 둘 다에 연결되어 있기 때문이다.

신경계의 미세한 조절하에, 근육은 굉장히 광범위한 상황들 속에서 골격구조를 안정화시키는데 필요한 힘을 발생시킨다. 예를 들어, 눈을 수술하는 동안 근육은 조그마한 외과용 메스를 사용하는 손가락들을 안정화시키기 위해 미세한 조절을 발휘한다. 또한 근조직은 극한의 무게를 들어올리는 과제를 수행하는 결정적인 몇 초 동안에는 큰 힘을 발생시킬 수 있다. 골격근은 관절의 디자인과 마찬가지로 인체가 필요로 하는 운동성과 안정성을 위해 설계 되었다. 근력은 인체 지렛대에 작용하고, 회전성(mobility)요소와 병진성(translatory, stability)요소 둘 다 가지고 있다. 근육은 관절을 축으로 한 골 지렛대의 운동발생 혹은 운동조절에 의해 운동기능을 발휘한다(Neumann, 2002).

골격이 없는 인체는 곧 바로 무너진다. 척수손상 환자는 하지의 근육기능을 잃게 되어 외적인 도움 없이는 서지도 걷지도 못한다. 그 손상된 환자의 관절구조는 완벽하지만 체중이 주어진 위치에서 중력 토오크에 대해 작용할 능력이 없다. 따라서, 손상된 환자가 서거나 혹은 걷기를 원할 때 보조기와 같은 기구를 사용한 하지 관절의 안정이 필요하다. 근육이 관절의 안정성 혹은 운동성에 기여할 수 있는 힘의 양은 근육구조의 기능, 수축능력, 생역학적(biomechanical) 특성이다. 이 요소들은 인체 기능 결정을 위한 상호관계를 이해하기 위해 탐구되어져야 한다(Norkin 와 Levangie, 2001). 이에 본 연구에서는 골격근의 구조와 생체역학을 연구함으로서 인간의 기능과 동작분석 및 치료에 있어 도움이 되는 근육의 기초적 정보를 제공하고자 한다.

Ⅱ. 본 론

1. 근육의 구조

근육의 형태학은 전체 근육의 기본적 형태를 설명한다. 근육은 많은 형태를 갖고 있으 며, 근본적인 기능을 반영한다. 그림 1은 근육의 흔한 두 가지 형태인 방추상근과 익상근(익상근에서 penna는 깃털을 의미하는 라틴어에서 유리됨)을 보여주고 있다. 상완이두근과 같은 방추상근(fusiform muscle)은 서로에 대해 그리고 중심의 건에 대해 평행하게 달리는 섬유들을 갖고 있다. 익상근(pennate muscle)은 중심의 건에 대해 사선으로 붙는 섬유들을 갖고 있다. 익상근은 중심의 건에 유사한 각도로 붙는 섬유 집합의 수에 따라 반익상근, 쌍익상근, 또는 다익상근으로 분류된다(Neumann, 2002).

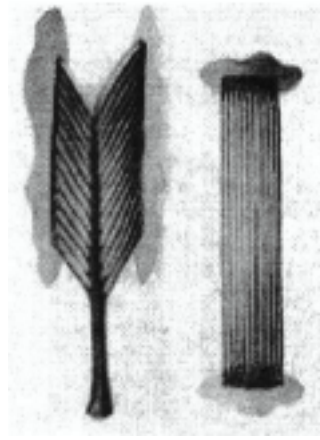

그림 1. 익상근과 방추상근

골격근의 구조적 단위는 수백개의 핵을 갖는 긴 원통형의 세포인 근섬유이다. 근섬유의 두께는 약 10-100㎛이며 길이는 약 1-50cm에 이른다(Yamaguchi 등, 1990). 근섬유는 근초(sarcolemma)라 불리는 미세한 형질막에 의해 쌓여 있는 많은 근원섬유(myofibril)로 구성된다. 근초는 빈쿨린(vinculin)과 디스트로핀(dystrophin)이 풍부한 costamere를 통해 근절의 Z선과 연결되며, 이것은 근원섬유의 세포골격(extramyofibrillar cytoskeleton)의 일부를 의미한다. 근원섬유는 가는 액틴필라멘트, 굵은 마이오신 필리멘트, 탄력성(티틴) 필라멘트, 그리고 비탄력성(네블린) 필라멘트로 구성되어 있다. 액틴과 마이오신은 근원섬유

의 수축성 부분인 반면, 티틴(titin)과 네블린(nebulin)은 근원섬유내 세포골격(intramyofibrillar cytoskeleton)의 일부이다(Stromer, 1998).

각각의 섬유는 근내막(endomysium)이라 불리는 느슨한 결합조직에 둘러싸여 있으며, 섬유들은 다양한 크기의 다발들(bundle)또는 근속들(fascicles)을 구성하고 있고, 이것들은 근주막(perimysium)이라고 알려진 치밀 결합조직에 싸여 있다. 근육은 근외막(epimysium)이라 불리는 섬유성 결합조직의 근막에 의해 둘러싸인 몇몇의 근속들로 구성되어있다. 일반적으로 근육의 각 끝은 건에 의해 뼈에 부착되며, 이러한 건들은 능동적인 수축성의 특성을 갖고 있지 않다. 근육은 수축성 요소와 직렬 탄성요소인 건을 구성한다. 근주막과 근외막내의 교원섬유는 건에 있는 교원섬유와 계속되며, 이러한 섬유들은 뼈와 근섬유의 부착을 위한 구조적 틀로서 작용한다. 근주막, 근내막, 근외막, 그리고 근초는 병렬 탄성요소로서 작용한다. 근수축에 의해 생산된 힘은 이러한 결합조직과 건을 통해 뼈에 전달된다(Kasser, 1996)(그림 2).

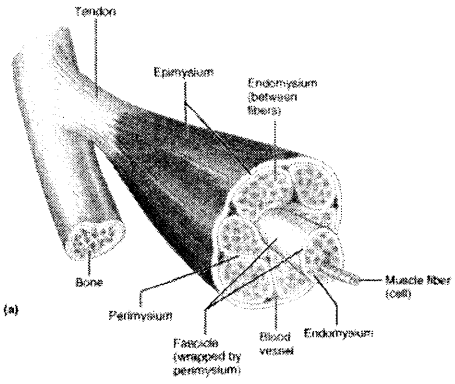

그림 2. 근육에서 볼 수 있는 3가지 결합조직

근세사는 아주 작은 필라멘트로 구성되는데 근필라멘트(myofilament)라고 부른다. 근필라멘트의 일부는 액틴(actin)단백질로 구성되고, 반면에 다른 것은 미오신(myosin)단백질이다. 이 두 개의 근필라멘트가 함께 묶여져서 근수축의 원인이 된다. 액틴 근필라멘트(actin myofilament)는 엷고 두가닥의 액틴 분자 사슬이 서로 감고 있다. 구슬형 단백토포닌(globular protein toponin)의 분자들이 액틴 분자사슬이 꼬여있는 사이에 붙어있고, 단백트로포미오신(tropomyosin)이 각각의 트로포닌(troponin)분자에 부착되어있다(Norkin와 Levangie, 2001). 각각의 근절은 다음과 같은 것들을 구성하고 있다.

1) 단백질 액틴으로 구성된 가는 필라멘트(직경은 약 5nm)

2) 단백질 마이오신으로 구성된 굵은 필라멘트(직경은 약 15nm)

3) 단백질 티틴으로 구성된 탄력성 필라멘트

4) 단백질 네블린과 티틴으로 구성된 비탄력성 필라멘트(그림 3).

근원섬유내 세포골격에는 비탄력성의 네블린(nebulin)필라멘트가 있는데 Z선에서부터 액틴 필라멘트까지를 연결한다. 또한 네블린은 가는 필라멘트 집합을 위한 쇄기로서 작용할 것이다. 티틴의 길이는 1□m이다. 가장 긴 폴리펩타이드이며 Z선에서부터 M선까지를 연결한다. 티틴은 탄력성 필라멘트이다. Z선과 마이오신 사이의 부분은 끈과 같은 모양을 갖는다. 티틴은 신장동안 근육의 능동적인 힘 전개에 크게 기여한다고 제안되어 왔다. 또한 굵은 필라멘트 집합을 위한 쇄기로서 작용할 것이다(Linke 등, 1998; Squire, 1997). I 밴드는 Z선에 의해 이등분되는데, 굵은 필라멘트와 중첩되지 않는 가는 필라멘트 부분과 티틴의 탄력부위를 포함하고 있다. A밴드의 중앙에 가는 필라멘트의 끝 사이에 있는 부위를 H지대라 하며, 단지 굵은 필라멘트만을 포함하고 있는 밝은 밴드와 티틴의 일부가 형성하고 있다. H지대의 중앙에 있는 좁고 어두운 지역을 M선이라 하는데 인접한 굵은 필라멘트를 연결하는 횡적이고 종적인 단백질에 의해 만들어진 선이며 평행한 정렬을 유지하고 있다(Nordin와 Frankel, 1989).

2. 근육의 구성

골격근에는 근육의 수축조직(contracture)과 결합조직인 비수축조직(noncontrcture)으로써 두 가지 형태가 있다. 이 조직들의 성질과 범위는 서로 밀접한 관계가 있어서 근육의 독특한 특징을 형성한다. 다른 생물학상의 조직과 마찬가지로 근육조직은 점탄성(viscoelastic)이다(Williams 등, 1989). 또한 근육조직은 수축성(contractility)과 흥분성(irritability)의 성질을 갖고 있다. 수축성은 장력을 발생시키는 근육의 능력이라 할 수 있다. 흥분성은 화학적, 전기적, 또는 역학적인 자극에 대해 반응하는 능력이다(Williams 등, 1989). 근섬유는 근육의 구조적 단위이며, 그 두께는 약

10-100□m이고, 길이는 약 1-50cm이다. 사실 각각의 근섬유는 다수의 핵을 갖고 있는 개별적인 세포이다. 근육을 둘러싸고 지지하는 결합조직은 많은 역할을 수행한다. 다른 신체조직에 있는 결합조직과 유사하게, 근육내의 결합조직은 무형질에 둘러싸인 섬유들로 구성되어 있다. 대부분의 섬유가 교원질(collagen)이며 나머지 섬유는 탄력소(elastin)이다. 이러한 두 가지 단백질의 결합은 내구력, 구조적 지지, 그리고 탄력성을 근육에 제공한다(Neumann, 2002).

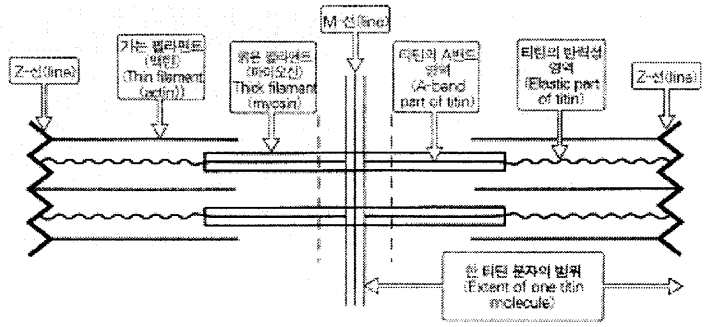

그림 3. 근절내의 티틴 분자의 정렬

3. 수축단위

근수축의 이론에서 가장 널리 받아들여지고 있는 것은 1964년 A.F. Huxley와 H.E. Huxley에 의해 동시에 제안되고, 그 후에 세밀하게 논의된 활주 필라멘트설(sliding filament theory)이다(Huxley, 1974). 이 이론에 의하면 근절의 능동적 단축은 액틴 필라멘트와 마이오신 필라멘트의 원래 길이는 계속 유지하는 반면 서로에 대해 지나가는 액틴 필라멘트와 마이오신 필라멘트의 상대적 움직임을 초래한다. 수축의 힘은 액틴과 마이오신 사이의 중첩영역(A밴드)에서 전개된다. 이러한 교차연결은 보트의 노와 같이 마이오신 필라멘트의 표면위에 고정된 그들의 위치에서 호를 그리며 회전시킨다. 액틴 필라멘트와의 접촉점에서의 이러한 교차연결의 움직임은 근절의 중앙을 향한 액틴 필라멘트의 활주를 만들어 낸다. 모든 근절이 실무율(all-or-nothing)의 양상으로 동시에 짧아질 때 근섬유는 수축하며 이것을 연축(twitch)이라 한다(Nordin와 Frankel, 1989).

근절내의 영역을 정리하면 다음과 같다 (그림 4).

* A띠- 굵은 마이오신 필라멘트의 존재에 의해 형성된 어두운 띠

* I띠 - 가는 액틴 필라멘트의 존재에 의해 형성된 밝은 띠

* H띠- 액틴과 마이오신이 중첩되지 않은 A띠 내의 영역

* M선- H띠의 중앙에서 굵은 마이오신 필라멘트가 비후해 있는 중앙영역

* Z판- 연속적인 액틴 필라멘트가 서로 맞물려 있는 영역, Z판은 가는 필라멘트를 고정시키는 것을 도와준다.

근육의 흥분, 수축, 그리고 이완동안의 기전을 정리하면 아래와 같다.

1). 활동전위는 운동축삭에서 시작되고 전파된다.

2). 이러한 활동전위는 신경근 접합부에 있는 축삭종말로부터 아세틸콜린의 방출을 유발한다.

3). 아세틸콜린은 운동종판막 위에 있는 수용기 자리에 결합된다.

4). 아세틸콜린은 나트륨 이온과 칼륨 이온에 대한 운동 종판의 투과성을 증가시켜 종판 전위를 만들어 낸다.

5). 종판전위는 근육막을 탈분극시켜 근육막 위에 전파되어 근육의 활동전위를 전개시킨다

6). 아세틸콜린은 종판막 위에 있는 아세틸콜린에스터라제에 의해 빠르게 파괴된다.

7). 근육의 활동전위는 횡관을 탈분극 시킨다.

8). 횡관의 탈분극은 근원섬유를 에워싸는 근형질 세망의 종말소조로부터 칼슘 이온의 방출을 유발한다. 이러한 이온은 조절 단백질인 트로포마이오신과 트로포닌의 바로 근처에서 근형절로 방출된다.

9). 칼슘이온은 트로포닌과 결합하여 차단되어 왔던 액틴 필라멘트에 있는 마이오신 수용기 자리로부터 트로포마이오신 분자의 움직임을 허락하여 액틴과 마이오신과의 결합을 방지했던 억제를 해리시킨다.

10).액틴(A)은 마이오신ATP(M-ATP)와 결합한다. 이 상태에서 ATP는 ADP와 인산염 으로 가수분해 되나 그 산물은 여전히 마이오신에 붙어 있다(마이오신의 교차연결에 있는 수용기 자리는 액틴 사슬에 있는 수용기 자리에 결합한다): A+M.ATP→A.M.ATP

11).액틴은 마이오신의 교차연결에서 발견되는 마이오신 ATPase를 활성화시켜 ATP가 분해될 수 있도록 (가수분해 되도록)한다. 이러한 과정은 마이오신의 교차연결의 움직 임을 만들어 내기 위해 사용될 에너지를 방출한다: A.M.ATP→A.M+A에+Pi

12).교차연결의 노(oar)와 같은 움직임은 서로에 대해 지나가는 굵은 필라멘트와 가는 필라멘트의 상대적 활주를 만들어 낸다.

13).새로운 ATP는 마이오신의 교차연결과 결합하여 액틴 마이오신 결합을 깨고 교차 연결이 액틴으로부터 분리되는 것을 허락한다: A.M+ATP→A+M.ATP

14).ATPase는 마이오신 ATP 복합체를 M.ATP 복합체로 가수분해하고, 이것은 근절 의 이완된 상태를 나타낸다: M.ATP→M.ATP

15).액틴 필라멘트를 따라 연속적인 자리에서의 마이오신의 교차연결과 액틴과의 결합과 비결합주기(단계 11, 12, 13, 14)는 칼슘의 농도가 트로포닌-트로포마이오신 시스템의 활동을 억제하기에 충분히 높은 한 계속된다.

16).칼슘 이온의 농도는 ATP를 분해하는 에너지를 요구하는 과정에 의해 근형질 세망조직의 종말소조로 펌프될 때 떨어진다.

17).칼슘은 트로포닌으로부터 분리되고 트로포닌-트로포마이오신의 억제 작용은 회복된다. 액틴 필라멘트는 원래의 위치로 활주하여 근육이 길어진다. ATP가 있는 상태에서 액틴과 마이오신은 분리되어 이완된 상태로 남아있다(Nordin와 Frankel, 1989).

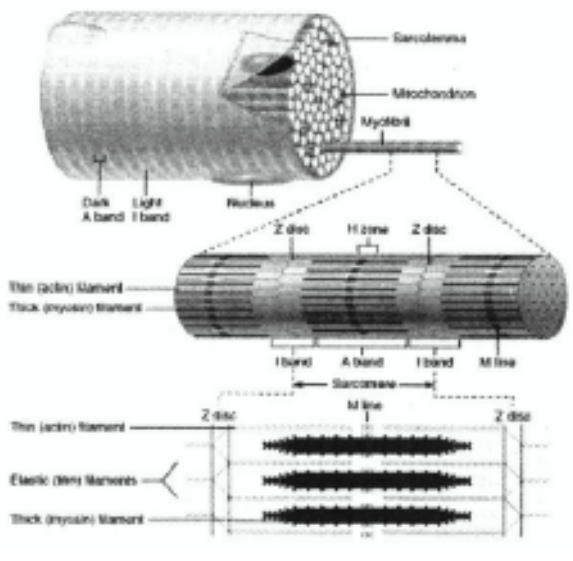

그림 4. 근절의 세부적 모습

4. 운동단위

골격근의 기능적 단위는 운동 단위이며, 단일 운동신경원과 이것에 의해 신경지배를 받는 모든 근섬유를 포함하고 있다. 이러한 운동단위는 독립적으로 수축하게 만들 수 있는 근육의 가장 작은 부분이다. 자극되었을 때 운동단위에 있는 모든 근섬유는 하나로서 반응한다. 운동단위의 섬유들은 자극에 대해 최대로 수축하거나 전혀 수축하지 않는 실무율 반응을 보인다(Nordin와 Frankel, 1989). 근섬유의 수는 두세개로부터 수천개까지 다양하다. 섬세한 운동(fine movement)을 조절하는 근육 혹은 작은 운동조절을 하는 근육은 운동단위

의 크기가 작고, 이와같은 운동단위는 작은 세포체(cell body)와 축삭의 직경이 작다. 힘을 크게 증가시키고 큰 운동을 일으키는 근육은 운동단위의 크기가 크고, 큰 세포체, 축삭의 직경이 크다. 눈 운동을 조절하는 작은 근육의 운동단위는 6개의 근섬유를 가지고 있으며 반면 비복근(gastrocnemius)은 근섬유 200개를 함유한 운동단위를 가지고 있다(Norkin와 Levangie, 2001). 대부분의 근육은 작은 운동단위와 큰 운동단위가 적어도 몇 개씩 혼합되어 있다. 보통으로 근육활동이 필요할 때 작은 세포체와 적은 근섬유 수를 가진 운동단위들이 신경계에 의해 자동적으로 먼저 선택된다(Gowitzke와 Milner, 1988).작은 운동단위는 큰 운동단위보다 근장력 생산이 작고, 에너지 소모도 작으며, 이와같이 적은 근섬유수를 가진 운동단위들이 선택되는 것은 에너지 보호라고 생각된다.

5. 근건단위

근육은 결합조직의 망상구조인 근외막, 근주막, 그리고 근내막으로 둘러싸인 수축성 단백질을 갖고 있다. 표 1 은 이러한 조직들의 기능을 기록하였다.

표 1. 근육내에 있는 결합조직의 기능

근육내에 있는 결합조직의 기능
1. 근육에 대한 전반적인 구조를 제공한다.
2 .혈관과 신경을 위한 도관으로서의 역할을 수행한다.
3. 신장에 저항함으로써 수동장력을 발생시킨다.
4. 신장후 원래의 형태를 회복하도록 근육을 돕는다.
5. 수축력을 관절 건너에 있는 건으로 전달한다.

결합조직은 고무밴드와 같이 약간 탄력적이며 신장되었을 때 저항력(즉, 장력)을 발생시킨다. 해부학적 목적보다는 기능적 목적을 위해, 근육과 건 내에 있는 결합조직은 병렬탄성요소(parallel elastic component)와 직렬탄성요소(series elastic component)로 설명된다. 전체 근육의 신장은 결합조직 요소를 늘어나게 한다(Neumann, 2002)(그림 5).

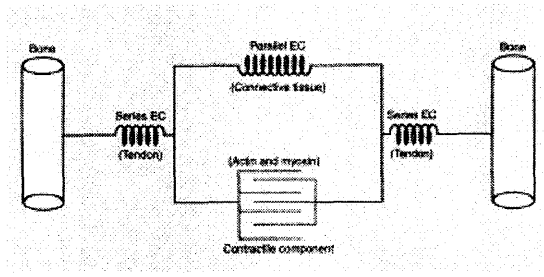

그림 5. 근-건 결합조직

병렬탄성요소는 근육의 수축을 유발하는 수축성 단백질에 평행하게 놓여 있거나 둘러싸고 있는 결합조직을 말한다. 이와는 대조적으로, 직렬탄성요소는 건 내에 있는 결합조직을 말한다. 건은 수축성 단백질에 대해 질렬로 놓기 때문에, 이러한 단백질에 의해 생산된 능동적인 힘은 뼈에 직접적으로 전달된다. 관절을 폈을 때 일어나는 근육의 신장은 병렬성탄성요소와 직렬성탄성요소 둘 다를 늘리게 되고 이것은 근육에서의 스프링과 같은 저항력 또는 강성(stiffness)을 발생시키게 된다. 이때의 저항력을 수동장력(passive tension)이라고 하는데, 그 이유는 이러한 저항력이 능동적 또는 의지적수축에 의존하지 않기 때문이다. 병렬성탄성요소와 직렬성탄성요소의 개념은 해부학적 설명을 단순화시키기 위한 것이다. 따라서 이러한 개념들은 신장된 근육

에 의해 발생된 저항력의 수준을 설명하는데 유용하게 사용된다(Neumann, 2002).

6. 근섬유의 종류

근섬유를 분류하는 많은 방법들이 연구되었다. 이미 1678년에 Lorenzini는 적근(red muscle)과 백근(white muscle)사이의 큰 차이를 해부학적으로 관찰하였고, 1873년에 Ranvier는 수축성과 피로성에 따라 근육을 분류하였다. 골격근을 분류하기 위한 방법과 용어에 있어 상당한 혼동이 있었지만, 최근의 조직학적 관찰과 조직화학적 관찰들은 수축 특성과 대사적 특성에 근거하여 3가지의 다른 근섬유 유형을 식별하였다(Buchtahl와 Sohmalburch, 1980).

근섬유의 유형은 ATP를 발생시킬 수 있는 대사과정과 에너지가 근절의 수축시스템에서 이용 가능하게 만들어지는 속도에 의한 수축 속도에 의해 주로 구분된다. 3가지의 섬유 유형은 느린-연축 산화섬유(SO)인 Type Ⅰ, 빠른-연축 산화-해당섬유(FOG)인 Type ⅡA, 그리고 빠른-연축 해당섬유(FG)인 TypeⅡB로 명명된다.

Type Ⅰ(SO)섬유는 근섬유에 있는 마이오신의 ATPase의 느린 활동과 이로 인한 상대적인 느린 수축시간의 특성을 보인다. 해당과정(무산소성)의 활동은 이러한 섬유 유형에 있어 낮다. 그러나 미토콘드리아의 높은 함유량은 산화적(.유산소성) 활동을 위한 높은 가능성을 만들어 낸다. 높은 혈류가 마이오신의 ATPase에 의한 상대적으로 낮은 ATP분해율을 유지하는데 충분한 비율로 이러한 섬유들에 산소와 영양을 수송하기 때문에 Type Ⅰ섬유는 피로해지기 어렵다. 따라서 섬유들은 지속적인 낮은 강도의 일을 수행하는데 매우 적절하다. 이러한 섬유들은 직경에 있어 상대적으로 작아서 상대적으로 작은 장력을 생산한다. Type Ⅰ섬유의 높은 마이오글로빈 함유량은 근육이 빨간색을 띄게 한다(Nordin와 Frankel, 1989).

TypeⅡ 근섬유들은 배양 이전에 다른 완충액으로 처치하는데 대한 다른 감수성에 근거하여 2개의 중요한 소그룹임 ⅡA와 ⅡB로 나누어 진다(Brooke와 Kaiser, 1970). 세 번째 소그룹인 TypeⅡC는 미분화된 섬유로서 드물며, 대게 임신 30주전에 관찰된다. 이러한 섬유는 인간의 근육에서는 좀처럼 없다(Banker, 1994). TypeⅡA와 TypeⅡB 섬유들은 마이오신 ATPase의 높은 활동에 의해 특징 지워지며, 상대적으로 빠른 수축을 초래한다. TypeⅡA(FOG) 섬유는 유산소(산화적) 활동과 무산소(해당작용) 활동에 알맞게 잘 발달된 능력과 빠른 수축시간을 갖고 있기 때문에 Type Ⅰ과 TypeⅡB 사이의 중간으로 고려된다. 또한 이러한 섬유들은 잘 발달된 혈액 공급을 갖고 있다. 이 섬유들은 상대적으로 긴 시간동안 수축활동을 유지할 수 있다(Nordin와 Frankel, 1989)(표 2).

표 2. 골격근 섬유의 3가지 유형

	Type Ⅰ(SO)	TypeⅡA(FOG)	TypeⅡB(FG)
수축속도	느리다	빠르다	빠르다
ATP생산의 일차적 공급원	산화적 인산화	산화적 인산화	무산소성 해당과정
해당작용성 효소활동	낮다	중간	높다
모세혈관	많다	많다	낮다
마이오글로빈 함유량	높다	높다	낮다
글리코겐 함유량	낮다	중간	높다
섬유직경	작다	중간	크다
피로속도	느리다	중간	빠르다

이두근과 같이 FG섬유가 상대적으로 많은 근육들은 운동성 근육(mobility m), 비자세 근육(nonpostural m), 위상성 근육(phasic m)이라고 부른다. 이런 근육들은 골격 구성으로 하여금 큰 ROM으 생산과 관련된다(Eyzaguirre와 Fidone, 1975). FG섬유들은 자극에 대해 SO섬유보다 더 빨리 반응하지만 피로는 더 빨리 일어난다. 한차례의 고강도 운동(high-intensity)후 FG섬유의 비율이 높은 근육은 SO섬유 비율이 높은 섬유보

다 피로가 굉장히 크고 회복도 느리다(Colliander 등, 1988).

7. 무용과 고정의 영향

무용(disuse)과 고정(immobilization)은 근섬유에 해로운 영향을 미친다. 이러한 영향에는 지구력과 근력의 상실 그리고 섬유의 감소된 수와 크기와 같은 미세구조와 대구조 수준에 대한 근육의 위축이 있다. 생화학적 변화가 일어나 유산소와 무산소 에너지 생산에 영향을 미친다. 이러한 영향들은 고정동안의 근섬유와 근길이에 좌우된다. 늘어난 위치에서의 고정은 덜 해로운 영향을 갖는다(Appell, 1997; Ohira 등, 1997; Sandmann 등, 1998). 인간 근육의 생검 연구는 주로 type I 섬유들이 고정(immobilization)으로 위축된다고 보여주었으며, type I 섬유의 횡단면은 감소되고 산화적 효소 활동을 위한 잠재력도 감소된다(Kannus 등, 1998). 초기 동작은 이러한 위축을 예방할 것이다. 신체분절이 움직이게 되어 근육이 장력 하에 놓이게 된다면 근방추로부터의 구심성(감각)자극은 증가하게 되어 type I 섬유의 증가된 자극을 유발하게 된다. 간헐적인 등척성 운동이 type II 섬유의 대사능력을 유지하기에는 충분할지라도, type I 섬유(자세성 섬유)는 좀 더 계속적인 자극을 요구한다. 또한 전기적 자극은 고정에 의해 유발된 type I 섬유크기의 감소와 산화적 효소 활동에서의 감소를 예방할 것이다(Eriksson 등, 1981).

8. 신체적 훈련의 영향

신체적 훈련은 모든 근섬유의 횡단면을 증가시키고, 근육의 용적과 근력에서의 증가 원인이 된다. 또한 어떤 사람의 근육이 구성하고 있는 근섬유의 상대적 비율이 신체 훈련으로 변화할 것이라고 몇몇 증거들은 제안한다(Arvidson 등, 1984). 운동선수의 주요 활동에 의해 영향을 받는 근섬유의 횡단면은 증가한다. 예를 들면, 지구력을 요하는 운동선수에 있어 type I 과 type II A 섬유에 의해 차지된 근육의 면적은 type II B 섬유의 전체 면적에 의해 증가된다. 신장은 근육의 유연성을 증가시키고, 관절 가동범위를 유지하고 증가시키며, 근건 단위의 탄력성과 길이를 증가 시킨다(Brobeck, 1979). 또한 근건 단위가 점탄성(viscoelastic)요소와 수축성 요소에 좀 더 에너지를 저장하게 한다. 근육의 신장동안 일어나는 기전들은 복잡하며 완전히 이해되고 있지 않다(Gollnick, 1982). 이러한 기전들은 근복의 방추외 섬유와 직렬로 놓여 있는 방추내의 근방추와 근복의 방추외 섬유와 직렬로 놓여 있는 골지건 기관에 의해 조절되고 수정된다고 보인다. 근방추는 근육의 길이 증가에 반응하고 골지 기관은 근장력의 증가에 반응한다. 결과적으로 근방추 반사는 근수축을 증가시키는 반면, 골지 반사는 근육의 수축을 억제하고 이완을 강화시킨다.

Ⅲ. 결 론

골격근은 인체 근육의 가장 큰 덩어리로 구성되며 가축에서 이 조직은 보통 고기로 인식되고 있다. 골격근의 각 근육세포나 섬유는 마치 실과 같은 모양으로 직경은 수분의1mm 정도이나 길이는 약 5cm또는 그 이상인 것도 있다. 섬유표면을 근초(sarcolemma)라고 한다. 근초의 바로 외층은 아주 섬세한 결합조직층으로서 근육을 둘서싸고 있는 근외막(perimysium)과 연속되어 있으며 이 결합조직층의 하나의 근섬유를 다른 근섬유에 느슨하게 연결시키고 있으며, 더욱 중요한 것은 근육섬유의 한쪽 끝을 다른 근섬유의 끝이나 혹은 건(tendon)에 연결시켜 주는 것이다.

힘을 안정시키기 위해 발생한 근육의 특별한 역할에 대한 이해는 근육의 형태학과 근-건 구조가 주어진 근육이 이용할 수 있는 힘의 범위에 어떻게 영향을 미치는지를 인식하는 것에서부터 시작된다. 근육의 요소들은 근육이 길어질 때 수동장력을 만들어내고, 근육이 신경계에 의해 자극되었을 때 능동장력을 만들어낸다. 인간의 움직임을 이해하는데 있어서 골의 움직임을 이해하고, 관절의 움직임을 이해하고, 관절의 형태에 따른 골의 움직임을 이끌어내는 근육의 장력을 이해하여야 할것이다. 그러기위해서 근육의 구조와 생역학을 이해하는 것은 임상에서 환자를 치료하는데 중요한 기초자료가 될것이다. 비록 본 연구에서 근육의 길이-장력 관계, 힘-속도관계, 부하-속도관계, 힘-시간관계등 힘 생산과 관계된 부분은 언급하지 못하였으나 근육의 구성과 구조, 분자기초, 역학, 근 재형성등을 이해함은 임상치료설계에 도움이 될것이라 사료된다.

참 고 문 헌

Appell HJ. The muscle in the rehabilitation process. Orthopade. 1997;26(11):930-934.

Arvidson I, Eriksson E, Pitman M. Neuromuscular basis of rehabilitation. In E. Hunter & J. Funk(Eds.), Rehabilitation of the Injured Knee. CV Mosby. St. Louis. p.210-234,1984.

Brobeck JR. Best and Taylor's Physiological Basis of Medical Practice Baltimore. Willians & Wilkins. (10th ed), p.59-113, 1979.

Brooke MH, Kaiser KK. Three "myosin adenosine triphosphatase" systems: the nature of their pH lability and sulfhydryl dependence. J Histochem Cytochem. 1970;18(9):670-672.

Buchthal F, Schmalbruch H. Motor unit of mammalian muscle. Physiol Rev. 1980;60(1):90-142.

Colliander EB, Dudley GA, Tesch PA. Skeletal muscle fiber type composition and performance during repeated bouts of maximal, concentric contractions. Eur J Appl Physiol Occup Physiol. 1988;58(1-2):81-66.

Eriksson E, H□ggmark T, Kiessling KH, Karlsson J. Effect of electrical stimulation on human skeletal muscle. Int J Sports Med. 1981;2(1):18-22.

Eyzaguirre C, Fidone S. Physiology ofthe Nervous System(2nd ed). Chichago, Yearbook Medical Publishers, 1975.

Gollnick PD. Relationship of strength and endurance with skeletal muscle structure and metabolic potential. Int J Sports Med. 1982;3 Suppl 1: 26-32.

Gowitzke BA. Milner M. Scientific Basis of Human Movement(3rd ed). Baltimore, Williams & Wilkins. 1988.

Huxley AF. Muscular contraction. J Physiol. 1974;243 (1):1-43.

Huxley AF, Huxley HE. Organizer of a discussion of the physical and chemical basis of muscular contraction. Proc R Sec.1964;B160:433.

Kannus P, Jozsa L, J□rvinen TL, Kvist M, Vieno T, J□rvinen TA, Natri A, J□rvinen M. Free mobilization and low- to high-intensity exercise in immobilization-induced muscle atrophy. J Appl Physiol. 1998;84(4):1418-1424.

Kasser JR.. General Knowledge. In J.R. Kassera(Ed.) Orthopedic Knowledge Update 5: Home Study Syllabus. Illinois: American Academy of Orthopedic Surgeons, 1996.

Linke WA, Ivemeyer M, Mundel P, Stockmeier MR, Kolmerer B. Nature of PEVK-titin elasticity in skeletal muscle. Proc Natl Acad Sci USA. 19987;95(14):8052-8057.

Neumann DA. Kinesiology of the musculoskeletal system. Mosby, 2002.

Nordin M, Frankel VH. Basic Biomechanics of the musculoskeletal system(2nd ed), Philadelphia, Lea & Febiger, 1989.

Norkin CC, Levangie PK. Joint Structure & Function(배성수 외 역). 영문출판사, 2001.

Ohira Y, Yasui W, Roy RR, Edgerton VR. Effects of muscle length on the response to unloading. Acta Anat(Basel). 1997;159(2-3):90-98.

Sandmann ME, Shoemann JA, Thompson LV. The fiber-type-specific effect of inactivity and intermittent weight-bearing on the gastrocnemius of 30-month-old rats. Arch Phys Med Rehabil. 1998;79(6):658-662.

Squire JM. Architecture and function in the muscle sarcomere. Curr Opin Struct Biol. 1997;7(2): 247-257.

Stromer MH. The cytoskeleton in skeletal. cardiac and smooth muscle ells. Histol Histopathol. 1998; 13(1):283-291.

Williams PL, Warwick R, Dyson M, Bannister LH(Eds): Gray's Anatomy. Churchill Livingstone. London, 1989.

Yamaguchi G, Sawa A, Moran D, et al. A survey of human musculotendon actuator parameters. in Winters J, Woo SY(Eds): Multiple Muscle systems: Biomechanics and Movement Organization. New York, Springer-Verlag, 1990.