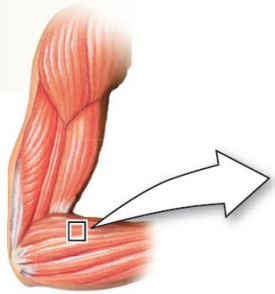
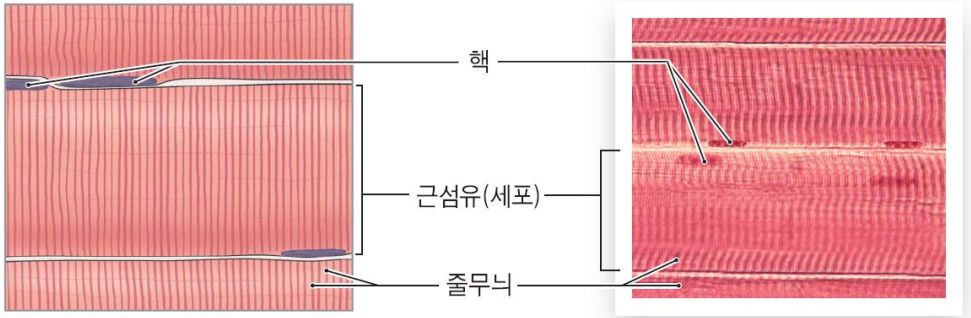
12장 근육

- 골격근
- 몸 운동의 역학
- 평활근
- 심근

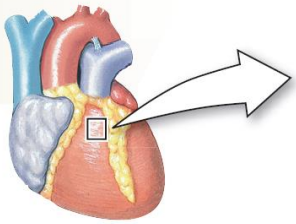
근육

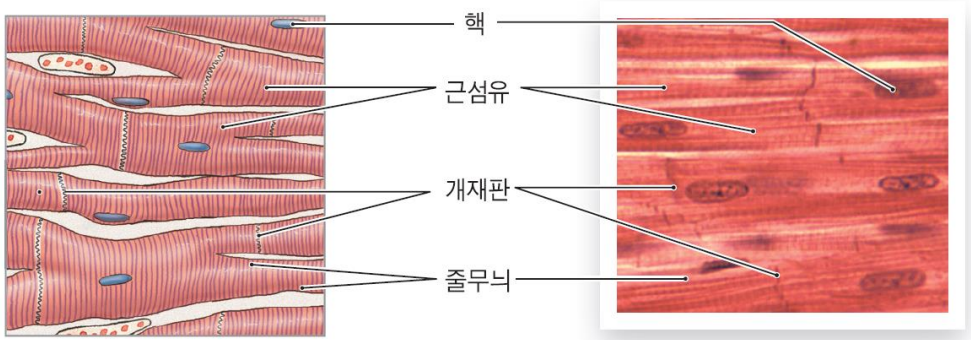
(a) **골격근** 섬유들은 현미경에서 줄무늬 모습을 가지고 있는 큰 다핵세포이다.



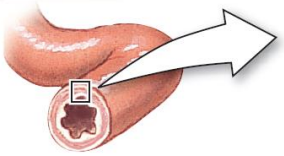


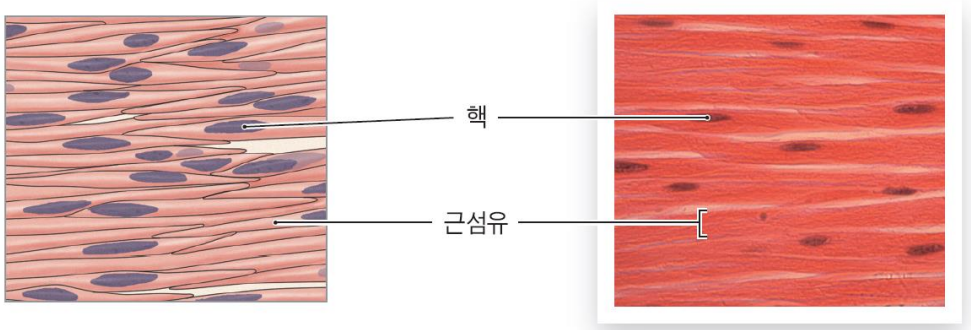
(b) **심근** 섬유들 또한 줄무늬를 가지고 있으나 더 작고 가지를 치고 있고 단핵이다. 세포들은 개재판(intercalated disc)이라 하는 이음에 의해서 서로 부착되어 있다.





(c) **평활근** 섬유들은 작고 줄무늬를 가지고 있지 않다.





골격근

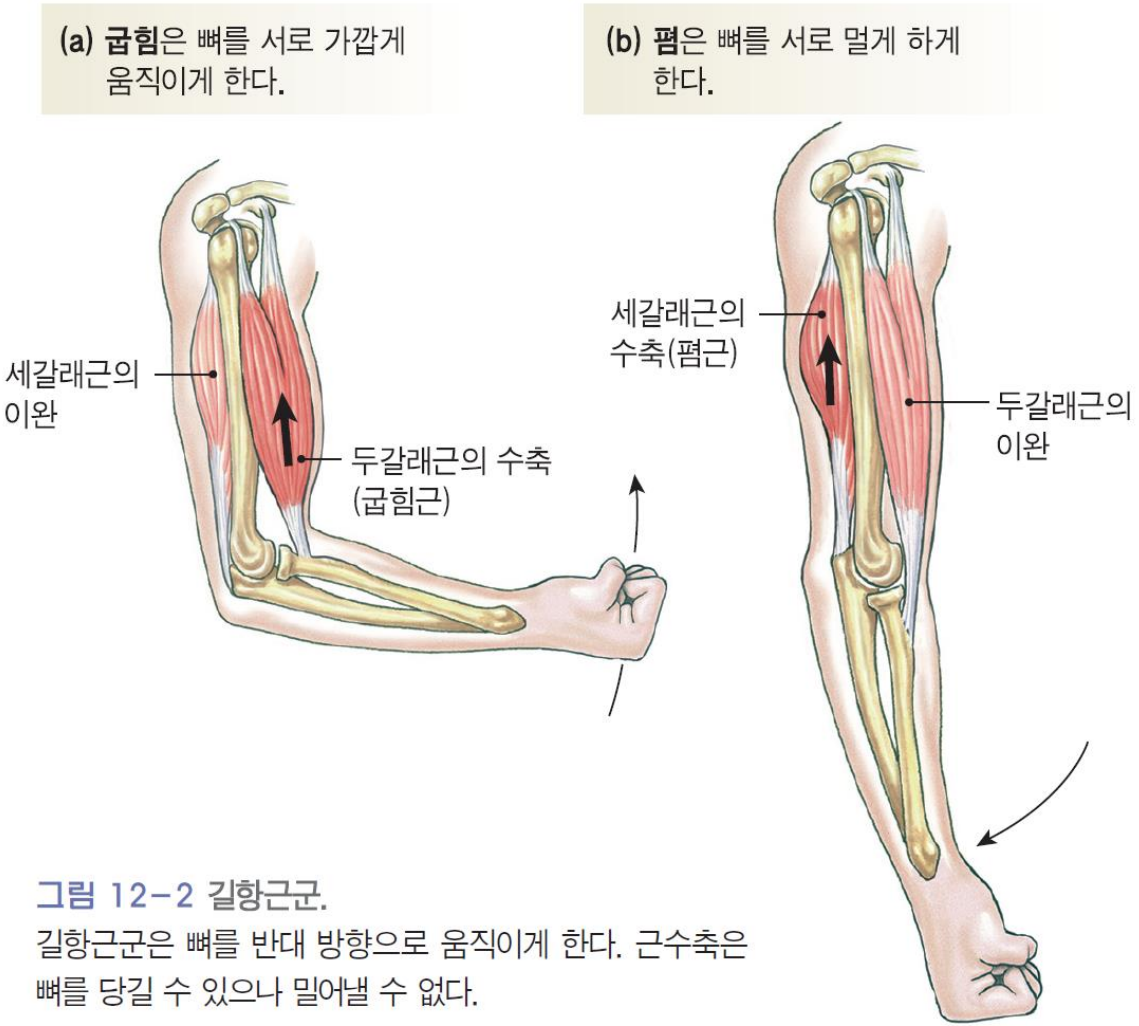
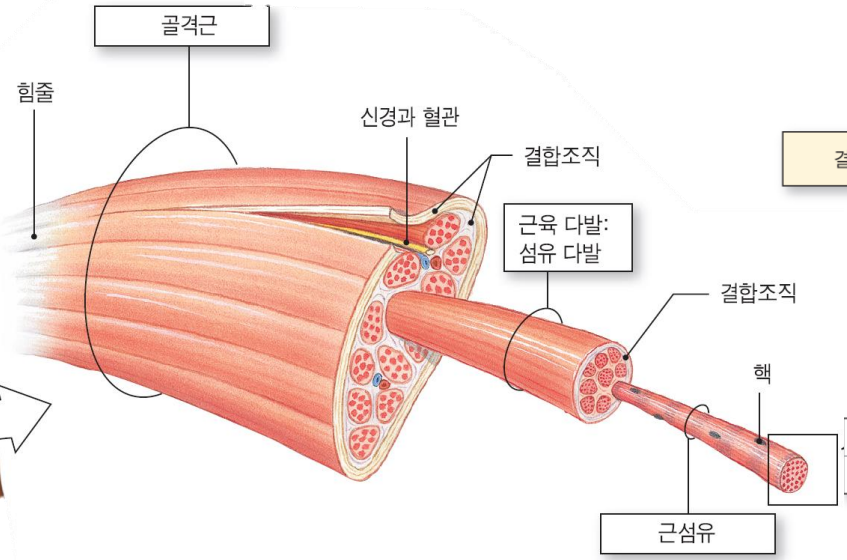


그림 12-2 길항근군.
길항근군은 뼈를 반대 방향으로 움직이게 한다. 근수축은 뼈를 당길 수 있으나 밀어낼 수 없다.

골격근은 근섬유로 이루어져 있다



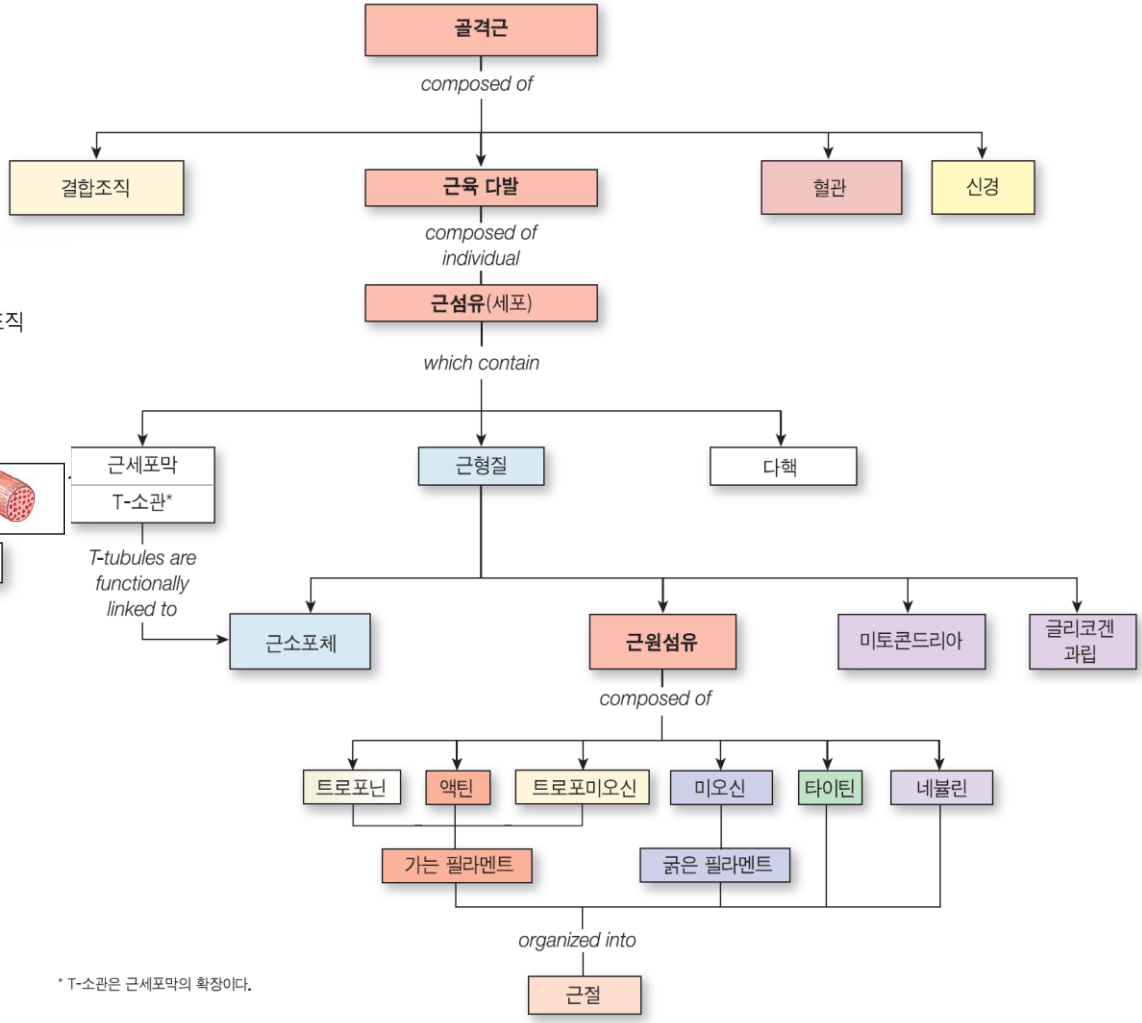


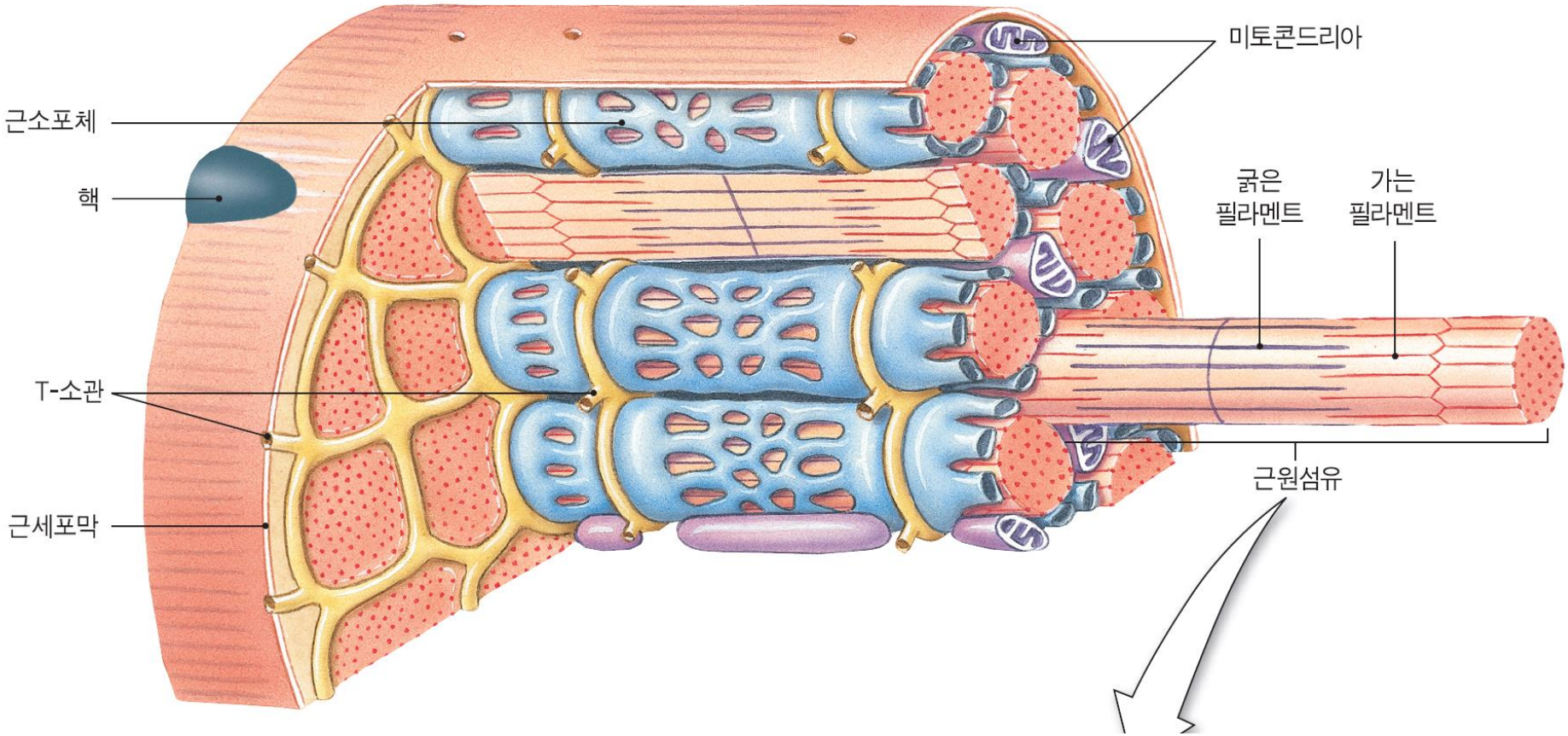
표 12-1 근육 용어

일반적 용어	근육 용어
근세포(muscle cell)	근섬유(muscle fiber)
세포막(cell membrane)	근세포막(sarcolemma)
세포질(cytoplasm)	근형질(sarcoplasm)
변형된 소포체(modified endoplasmic reticulum)	근소포체(sarcoplasmic reticulum)

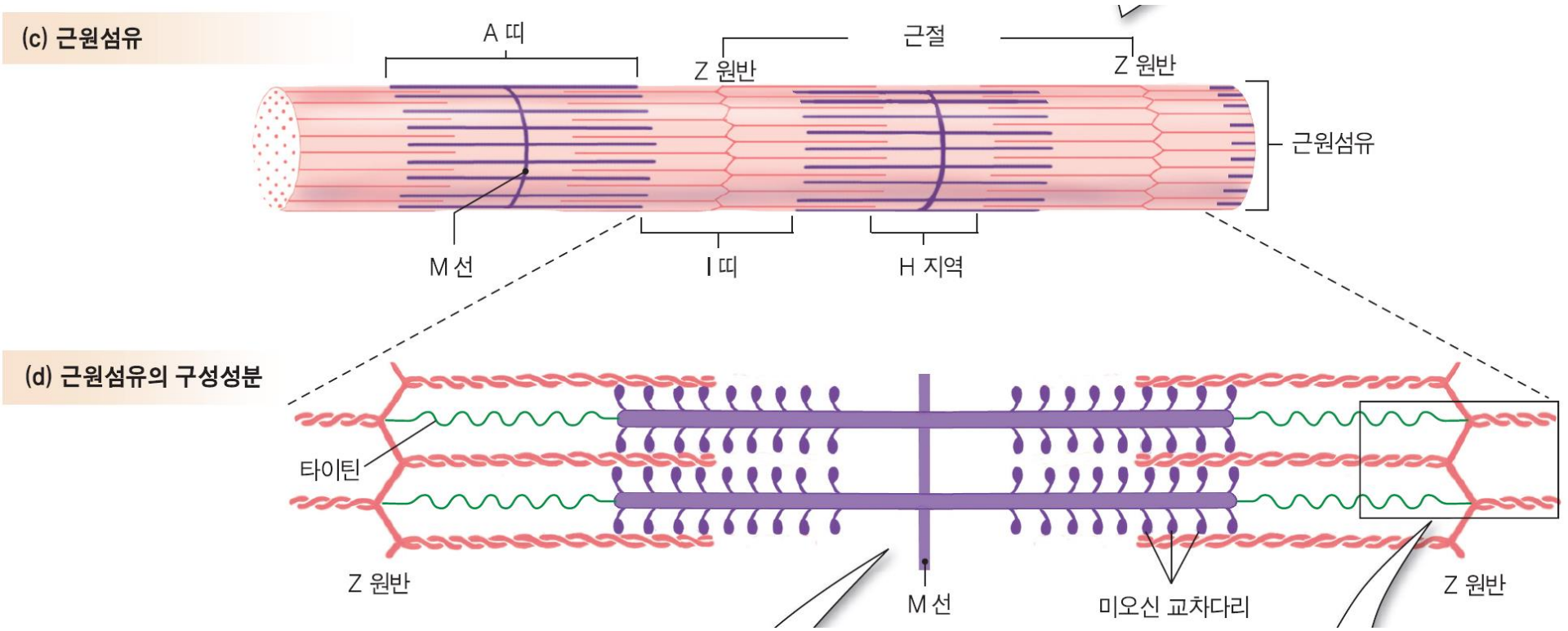
* T-소관은 근세포막의 확장이다.

골격근은 근섬유로 이루어져 있다

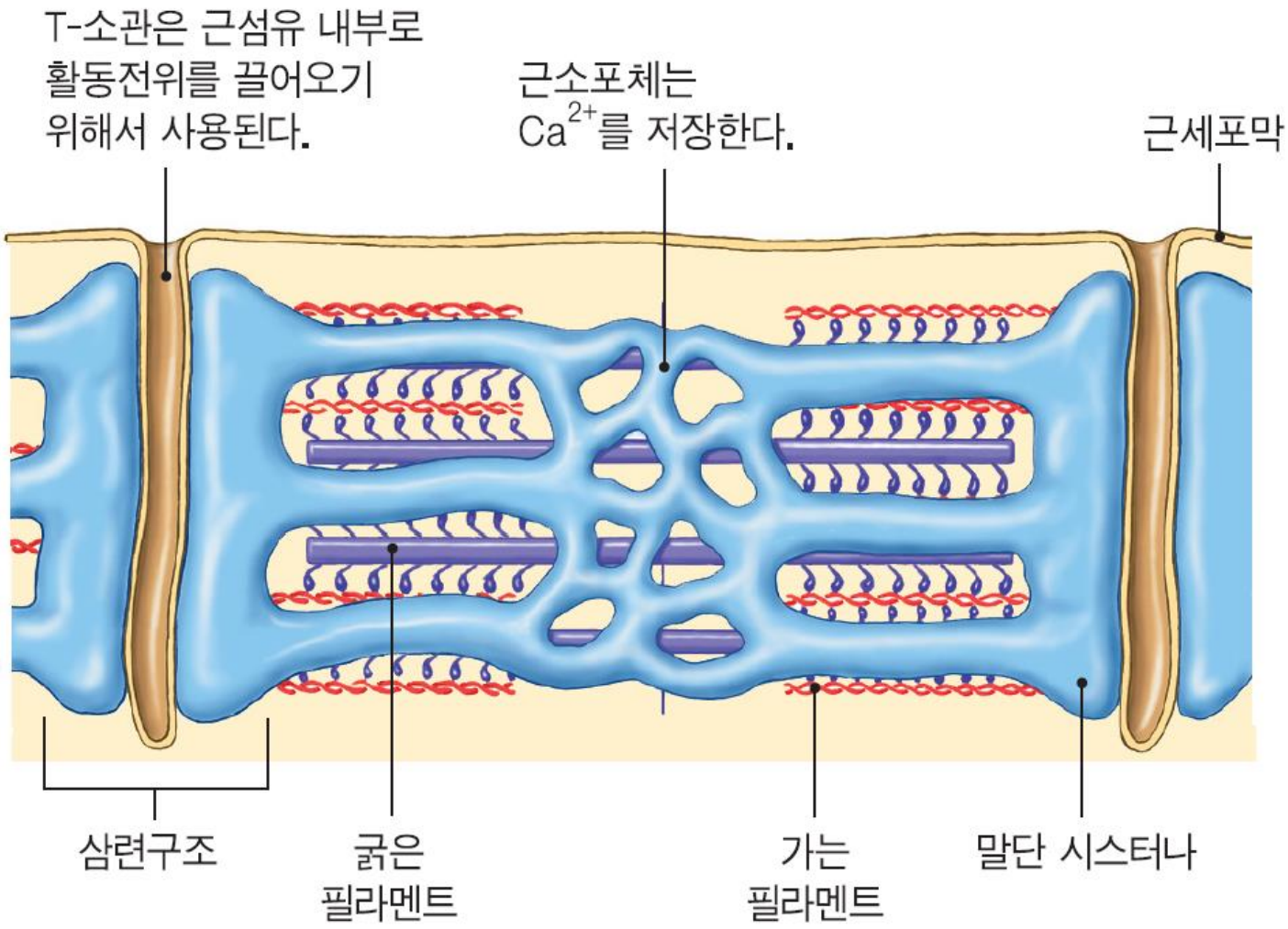
(b) 골격근 섬유의 구조



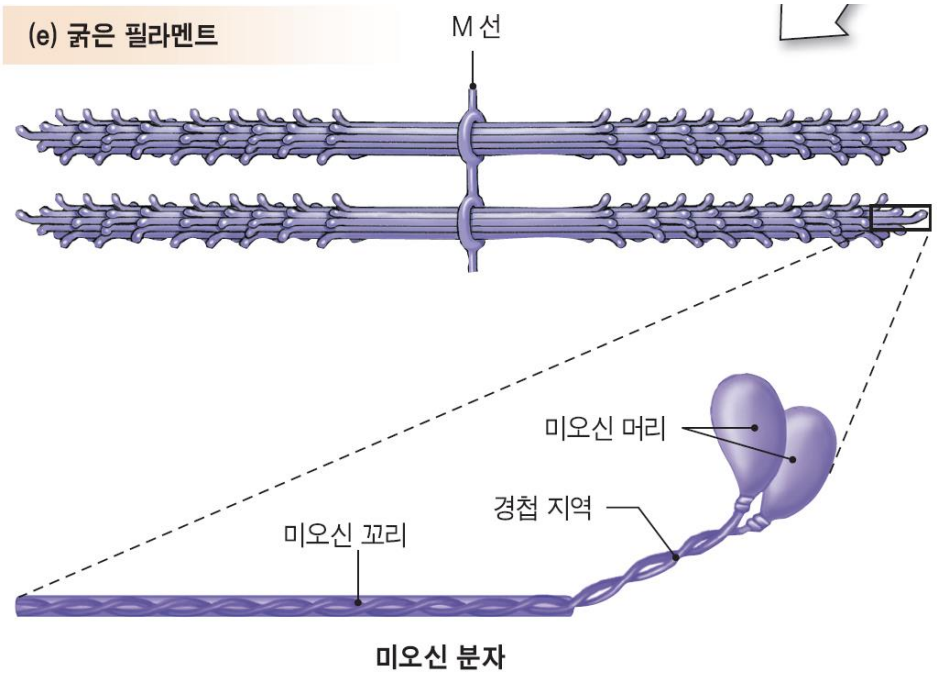
골격근은 근섬유로 이루어져 있다

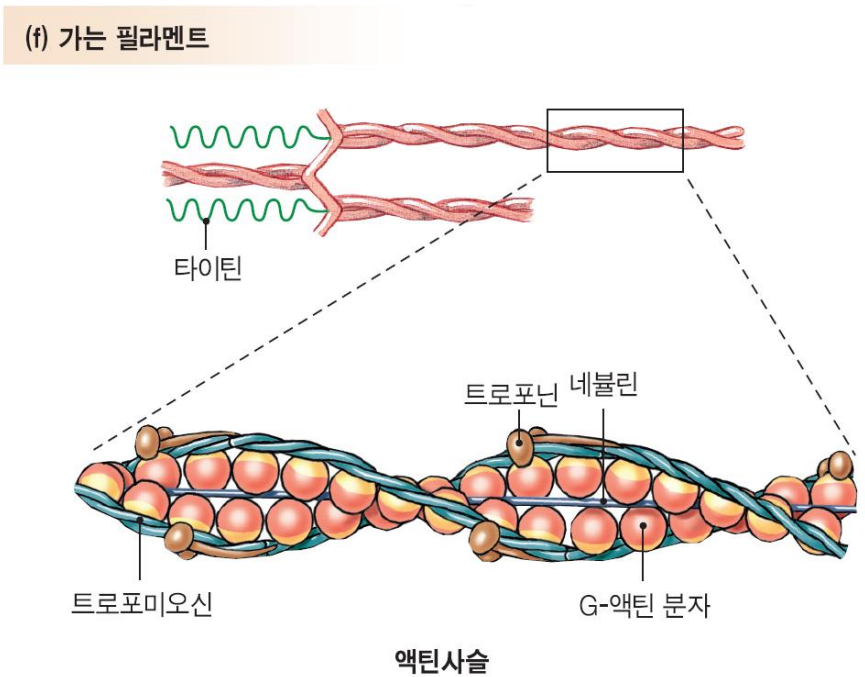


골격근은 근섬유로 이루어져 있다



근원섬유는 근섬유의 수축성 구조이다

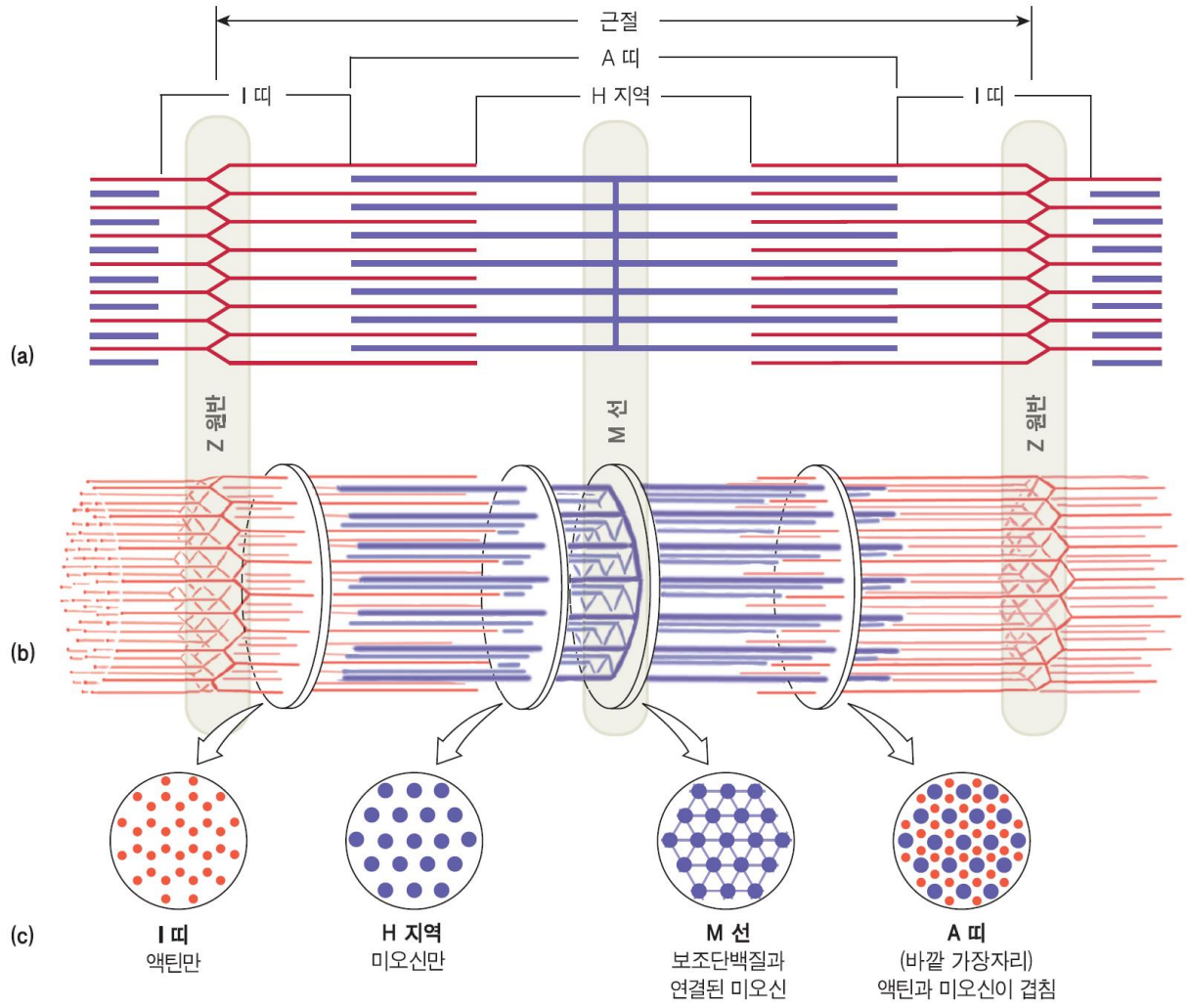




근원섬유는 근섬유의 수축성 구조이다

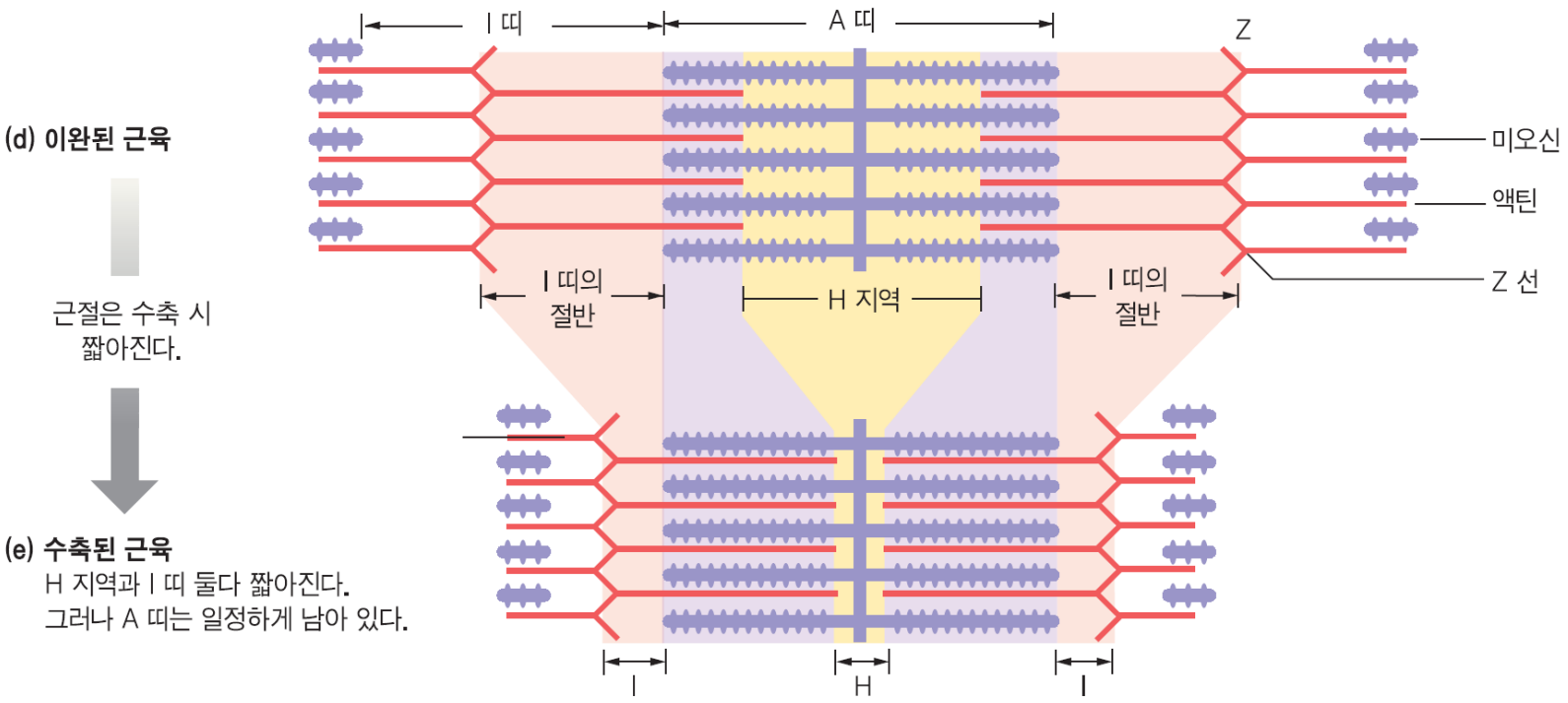
근절의 조직

Z 원반[(c) 부분에서 나타내지 않음]은 M 선에서 볼 수 있는 보조단백질들과 유사하게 가는 필라멘트를 연결시키는 보조단백질들을 가진다. 단순성을 위해서 미오신 머리는 생략되었다.

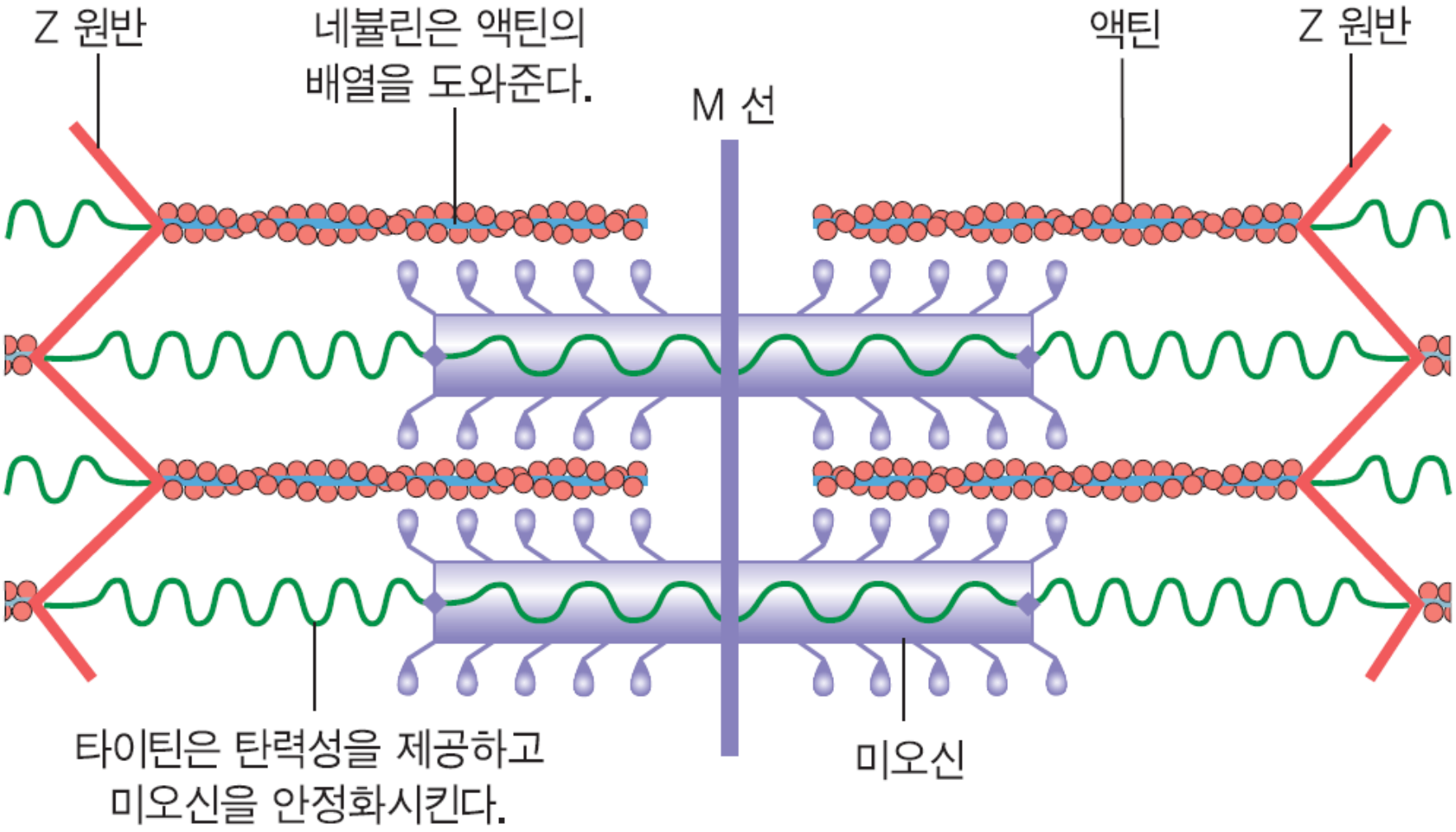


근원섬유는 근섬유의 수축성 구조이다

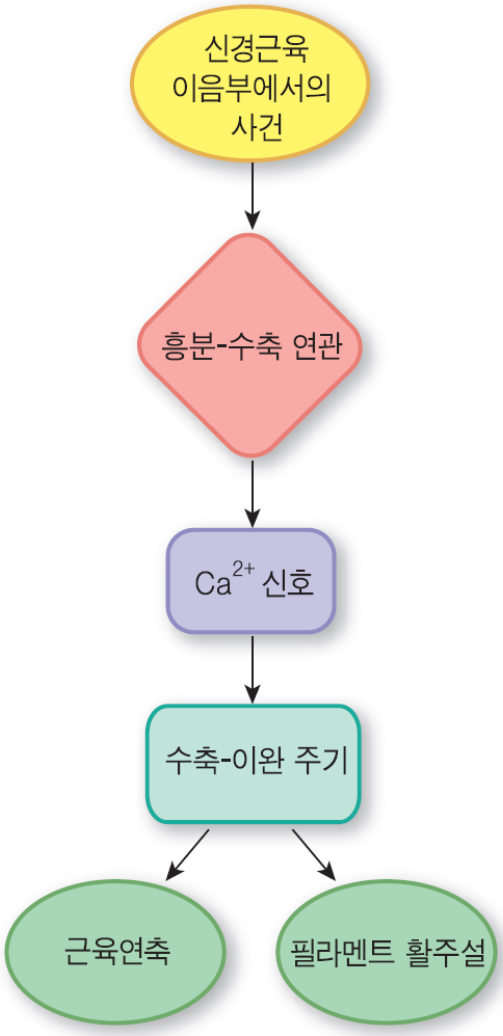
근절은 수축 동안 짧아진다. 수축이 일어나는 동안에 액틴과 미오신은 그 길이를 변화시키지 않지만 서로 미끄러진다.

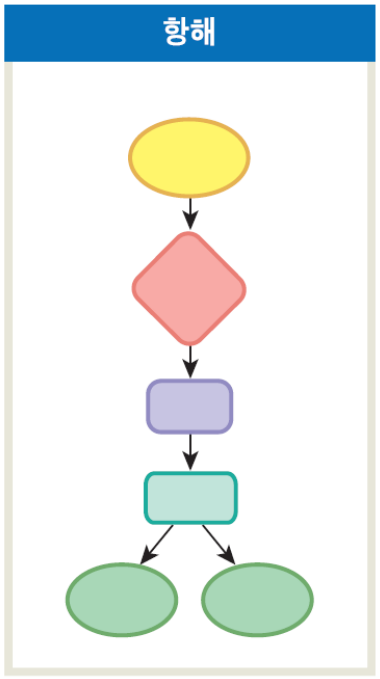


근원섬유는 근섬유의 수축성 구조이다



근수축은 힘을 만든다



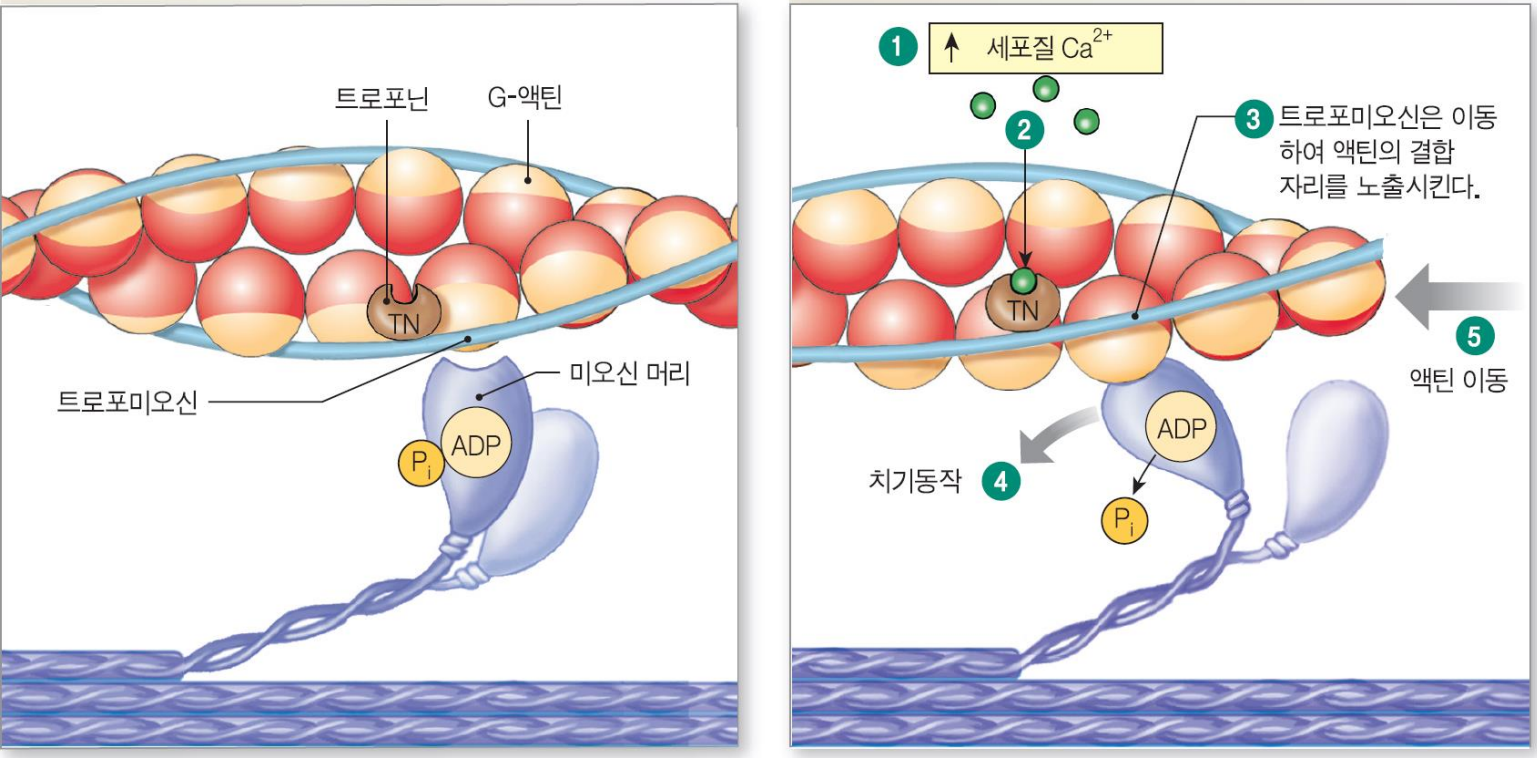


이 아이콘은 근육수축 동안 일어나는 사건들에 대한 지도를 나타낸다. 이 아이콘들은, 이 장 전체에 걸쳐서 각각의 사건들이 좀더 상세하게 다뤄질 때 볼 수 있을 것이다.

수축은 칼슘 신호로 시작한다

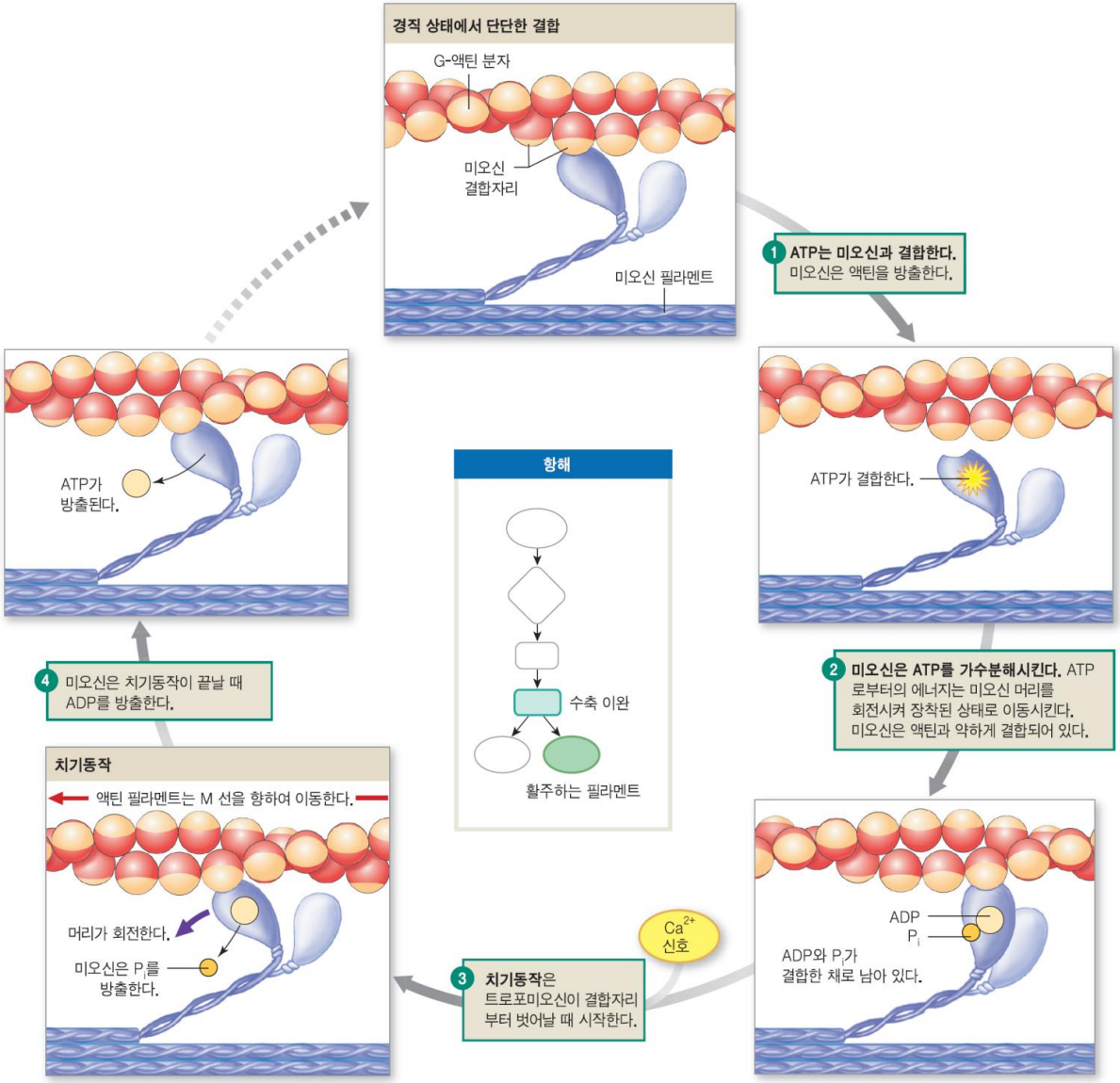
(a) 이완된 상태. 미오신 머리는 장착되어 있다. 트로포미오신은 부분적으로 액틴 결합자리를 봉쇄하고 있다. 미오신은 약하게 액틴과 결합되어 있다.

(b) 수축의 시작. 칼슘 신호는 수축을 시작하게 한다.



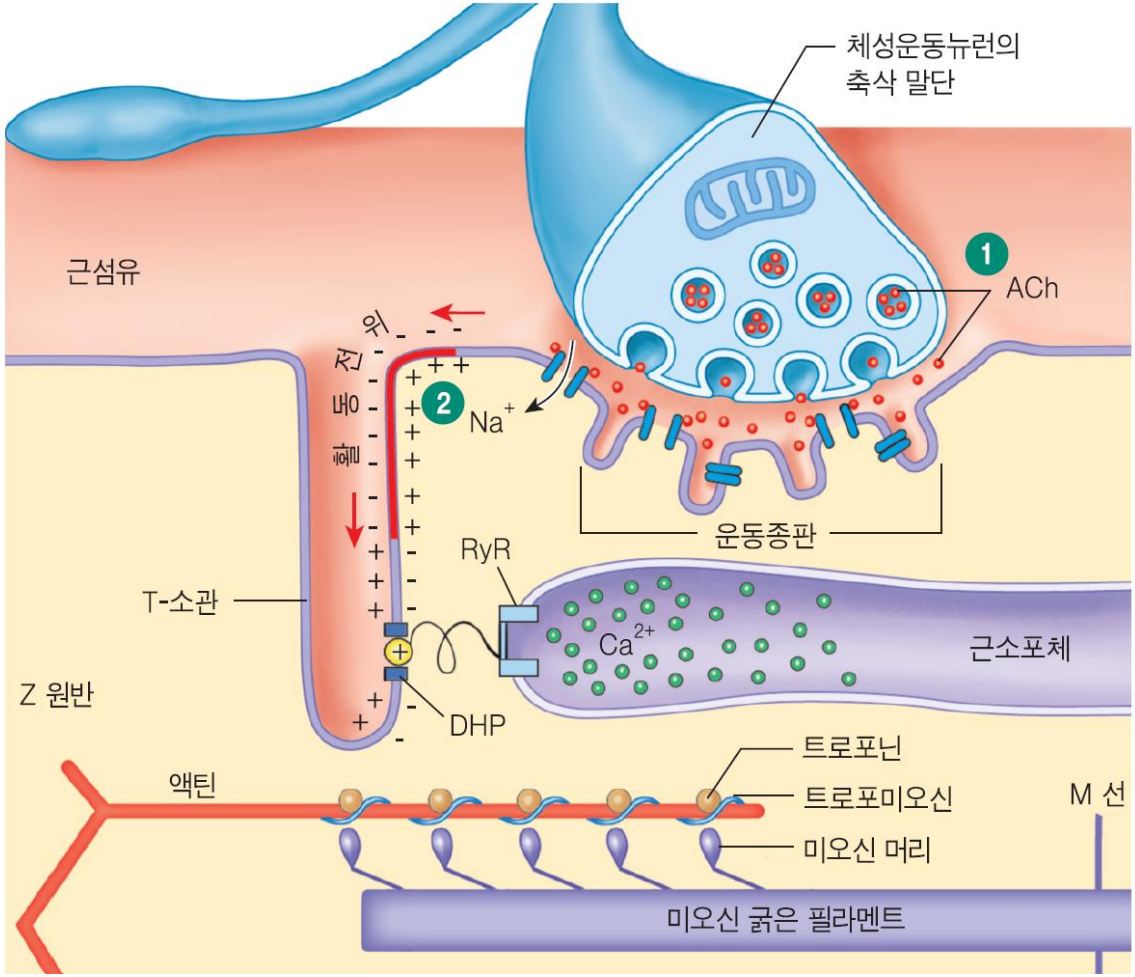
1. Ca^{2+} 양이 세포질에서 증가한다.
2. Ca^{2+}가 트로포닌에 결합한다(TN).
3. 트로포닌-Ca^{2+} 복합체는 G-액틴 결합자리로부터 트로포미오신을 밀어낸다.
4. 미오신이 액틴에 결합하고 치기동작이 완성된다.
5. 액틴 필라멘트가 움직인다.

미오신 머리는 액틴 필라멘트를 따라서 전진한다



아세틸콜린은 흥분-수축 짝물림을 시작하게 한다

(a) 근육 활동전위의 시작



기호

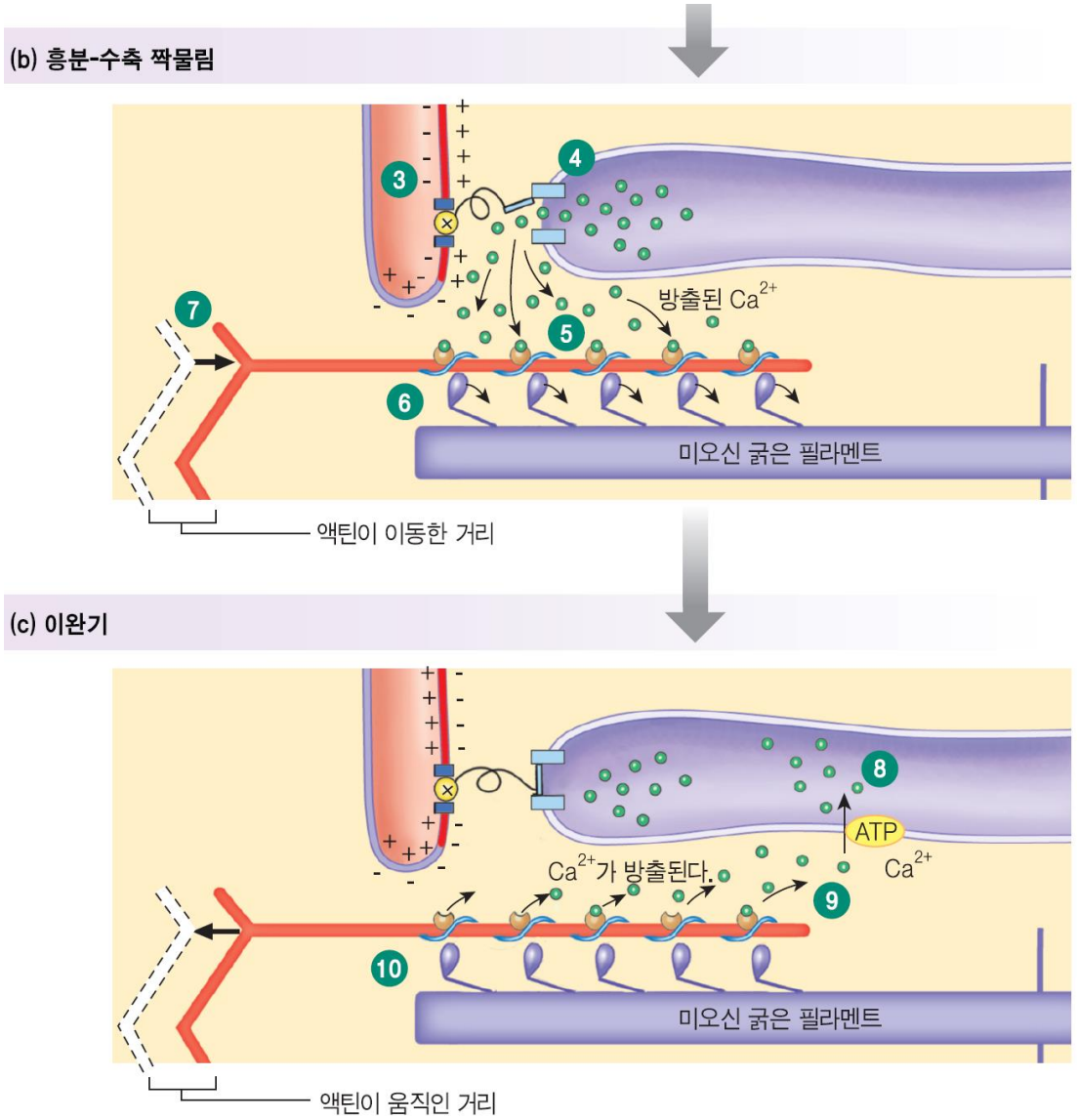
DHP = 다이하드로피리딘 L형 칼슘채널

RyR = 리아노다인 수용체-채널

1 체성운동뉴런은 신경근육이음부에서 ACh를 분비한다.

2 ACh 수용체 채널을 통한 Na^+의 세포 내 유입은 근육의 활동전위를 시작하게 한다.

아세틸콜린은 흥분-수축 짝물림을 시작하게 한다



3 T-소관에서 활동전위는 DHP 수용체의 입체형태적 변화를 일으키게 한다.

4 DHP 수용체는 근소포체에 있는 Ca^{2+} 방출채널을 열게 하여 Ca^{2+}가 세포질로 들어가게 한다.

5 Ca^{2+}가 트로포닌에 결합하여 강한 액틴-미오신 결합이 일어나게 한다.

6 미오신 머리는 치기동작을 시행한다.

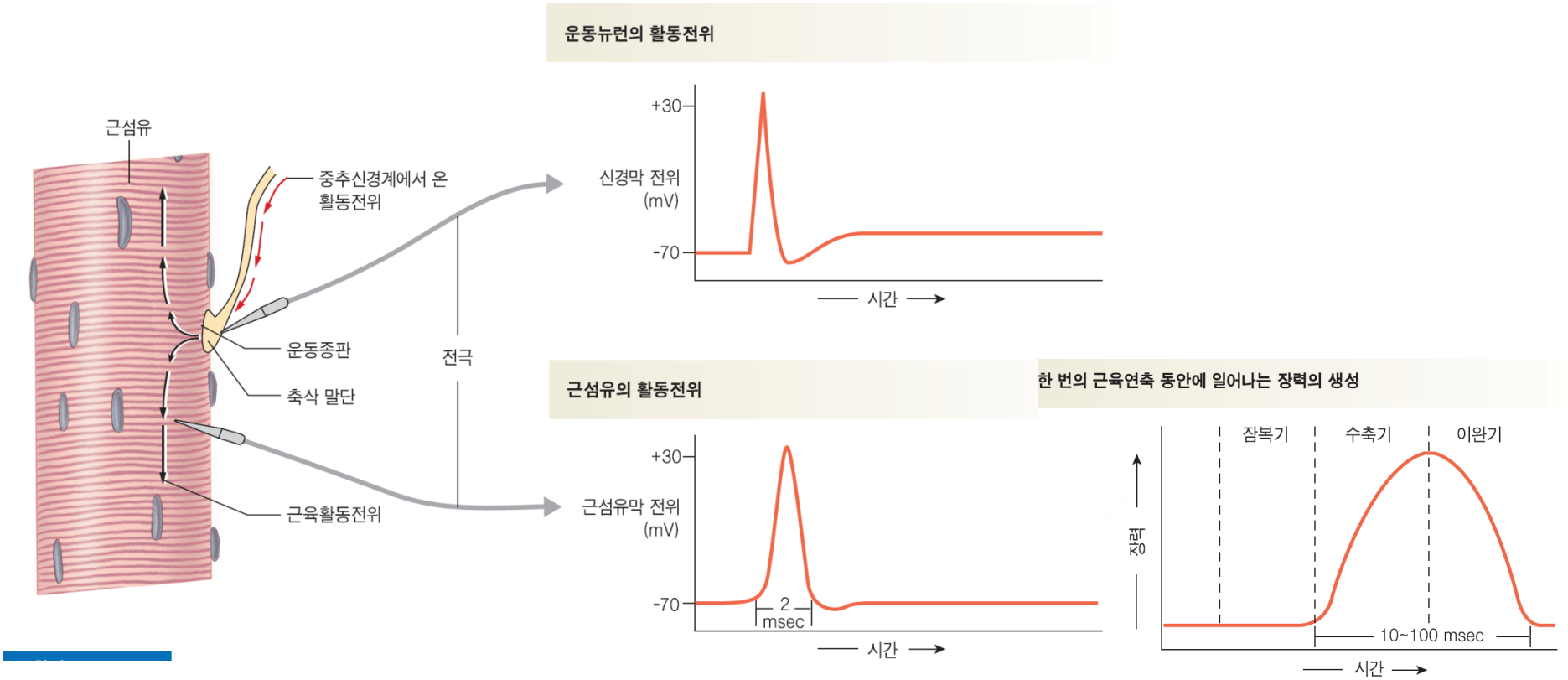
7 액틴 필라멘트는 근절의 중앙 부분으로 미끄러져 이동한다.

8 근소포체의 Ca^{2+}-ATPase는 Ca^{2+}를 소포체로 되돌리도록 펌핑한다.

9 자유 세포질 $[Ca^{2+}]$의 감소는 Ca^{2+}가 트로포닌에서 떨어지도록 한다.

10 트로포미오신은 결합자리를 다시 덮는다. 미오신 머리들이 방출될 때 탄력요소들은 필라멘트들을 원래의 이완된 위치로 되돌리게 한다.

아세틸콜린은 흥분-수축 짝물림을 시작하게 한다



골격근 수축에 지속적인 ATP가 필요하다

쉬고 있는 근육



물질대사로부터의 ATP + 크레아틴 $\xrightarrow[\text{인산화효소}]{\text{크레아틴}}$ ADP + 포스포크레아틴

일하는 근육

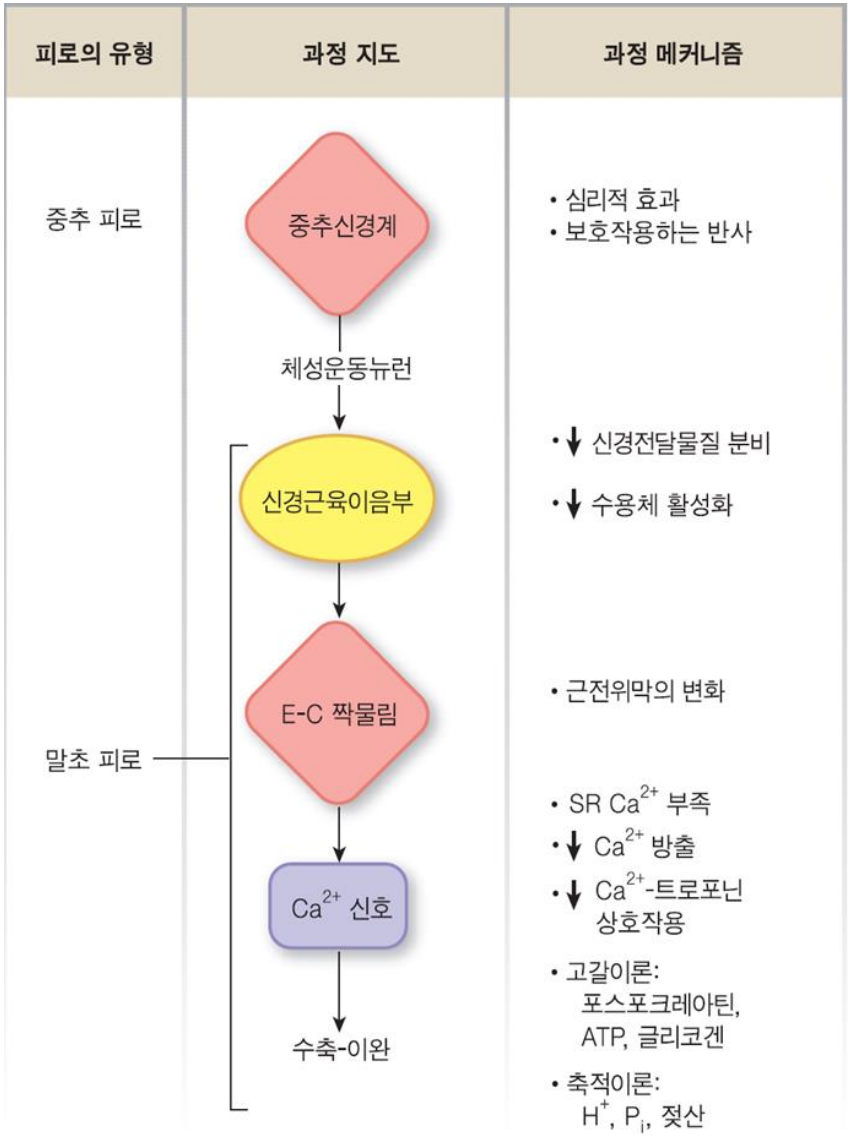


포스포크레아틴 + ADP $\xrightarrow[\text{인산화효소}]{\text{크레아틴}}$ 크레아틴 + ATP

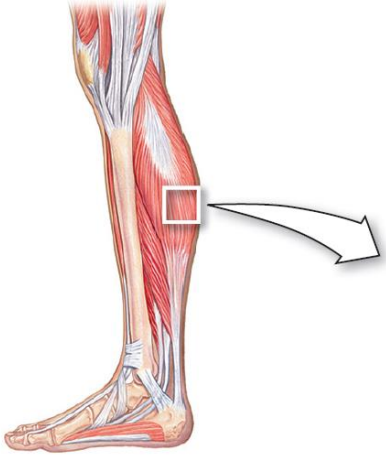
요구된다.

- 미오신 ATPase(수축)
- Ca^{2+}-ATPase(이완)
- Na^{+}-K^{+} ATPase
  (활동전위 동안 세포막을 통과했던 이온들을 원래의 위치로 되돌린다.)

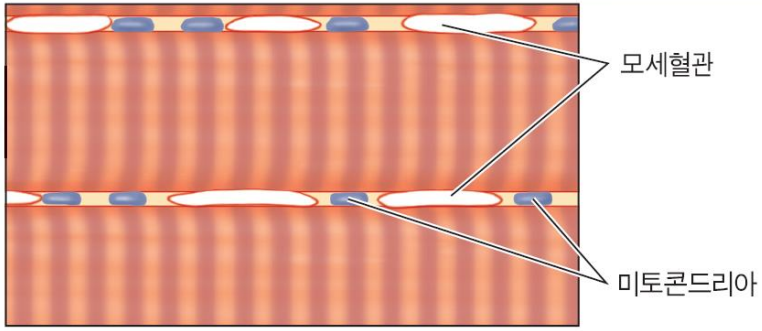
피로의 원인은 다양하다

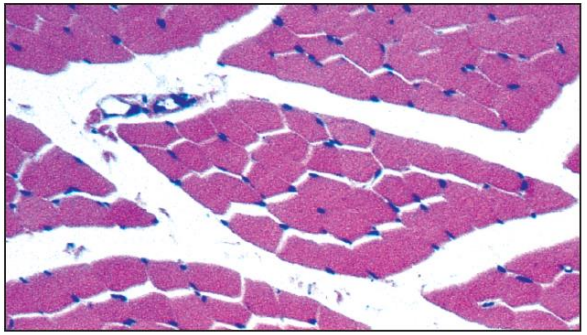

피로의 유형
과정 지도
과정 메커니즘
중추 피로
중추신경계
• 심리적 효과
• 보호작용하는 반사
체성운동뉴런
신경근육이음부
• ↓ 신경전달물질 분비
• ↓ 수용체 활성화
말초 피로
E-C 짝물림
• 근전위막의 변화
Ca2+ 신호
• SR Ca2+ 부족
• ↓ Ca2+ 방출
• ↓ Ca2+-트로포닌 상호작용
수축-이완
• 고갈이론: 포스포크레아틴, ATP, 글리코겐
• 축적이론: H+, Pi, 젖산

골격근섬유는 수축 속도와 피로 저항성에 따라 분류된다



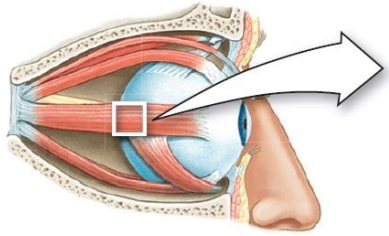
느린-연축 산화섬유. 좀더 작은 지름, 미오글로빈에 의한 진한 색을 주시하라. 피로-저항성.

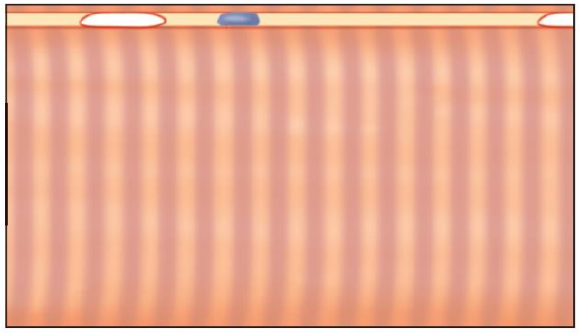


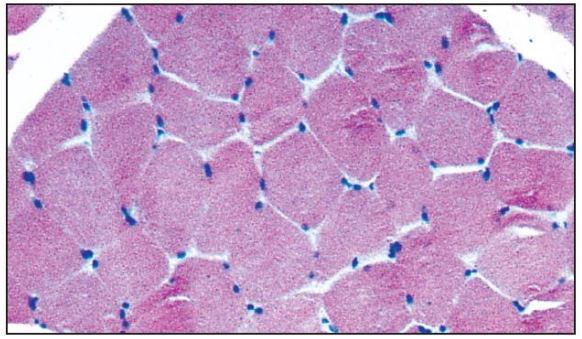


느린-연축 근섬유의 단면도
(LM × 170)

빠른-연축 해당섬유. 좀더 큰 지름, 연한 색을 주시하라. 쉽게 피로해짐.







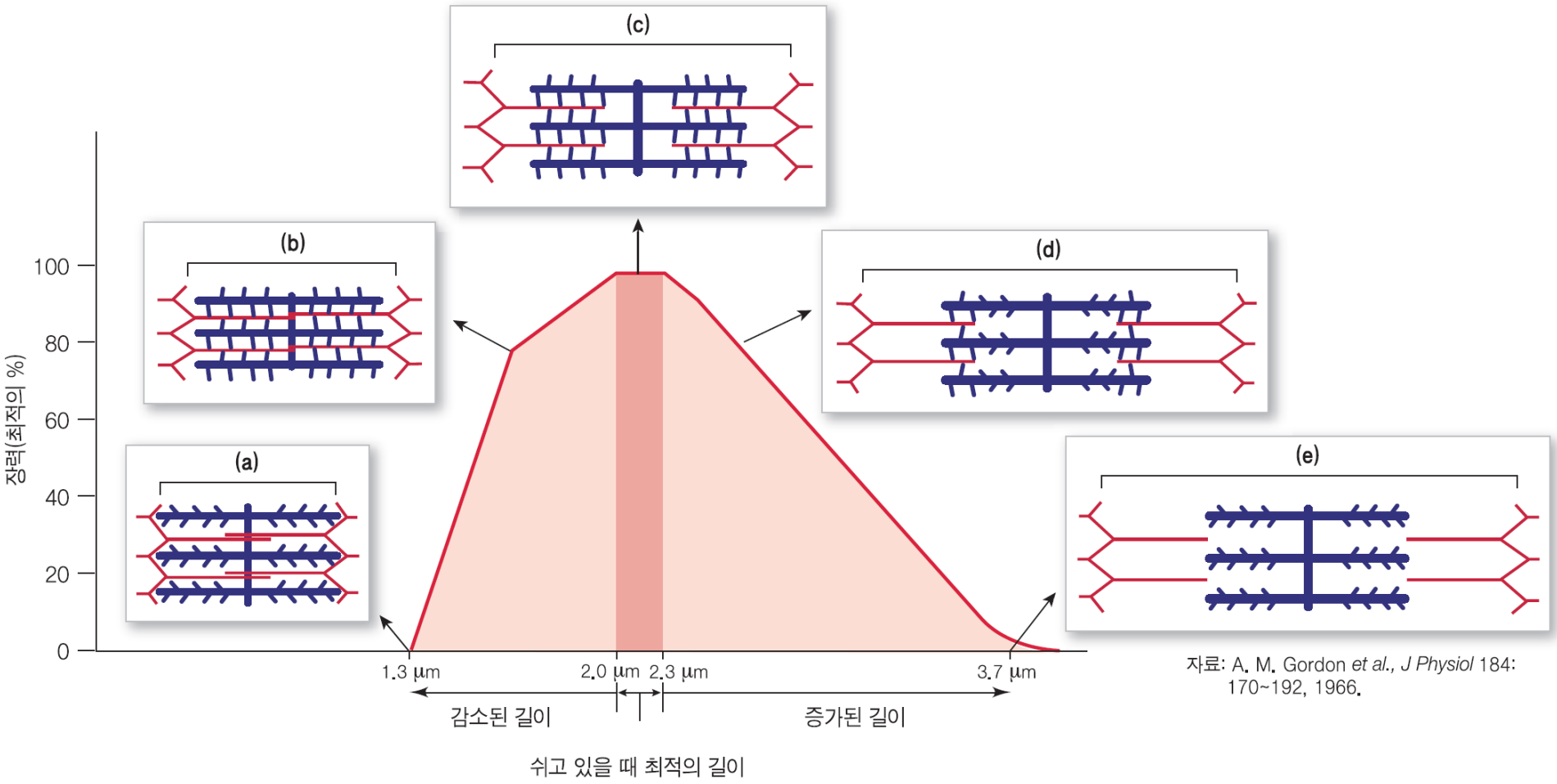
빠른-연축 근섬유의 단면도
(LM × 170)

골격근섬유는 수축 속도와 피로 저항성에 따라 분류된다

표 12-2 근섬유 유형의 특징

	느린-연축 산화; 적색 근육(유형 1)	빠른-연축 산화-해당; 적색 근육(유형 2A)	빠른-연축 해당; 백색 근육(유형 2X)
최대 장력에 도달하는 시간	가장 느림	중간	가장 빠름
미오신 ATPase 활성	느림	빠름	빠름
지 름	작음	중간	큼
수축기간	가장 김	짧음	짧음
근소포체에서 Ca^{2+}-ATPase 활성	중간	높음	높음
지구력	피로 저항성	피로 저항성	쉽게 피로해짐
사용장소	가장 광범위하게 사용됨: 자세	서 있을 때, 걷기	가장 적게 사용됨: 점프할 때, 빠르고 정교한 운동
물질대사	산화적; 유기성	해당과정이지만 지구력 훈련으로 보다 산화적으로 됨	해당과정; 빠른-연축 산화-해당보다 좀더 무기성임
모세혈관 밀도	높음	중간	낮음
미토콘드리아	많음	중간	적음
색 깔	암적색(미오글로빈)	적색	백색

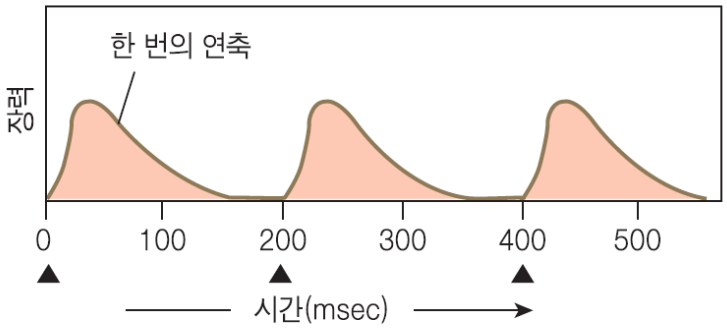
쉬고 있는 섬유의 길이는 장력에 영향을 준다



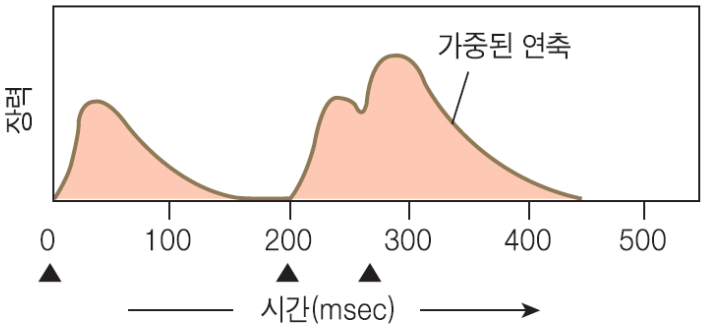
자료: A. M. Gordon *et al., J Physiol* 184: 170~192, 1966.

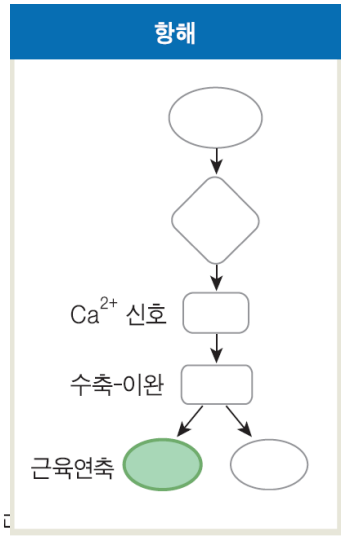
수축력은 가중에 비례한다

(a) 단일연축: 근육은 자극(▲) 사이에서 충분히 이완된다.

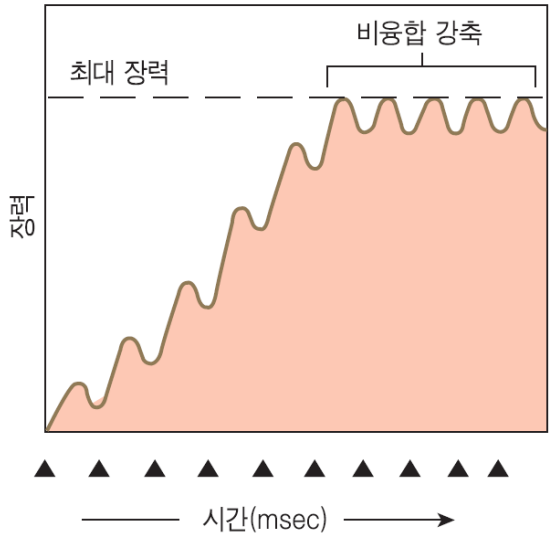


(b) 가중: 자극이 충분히 가깝게 있으면 근육은 충분히 이완되지 않는다.

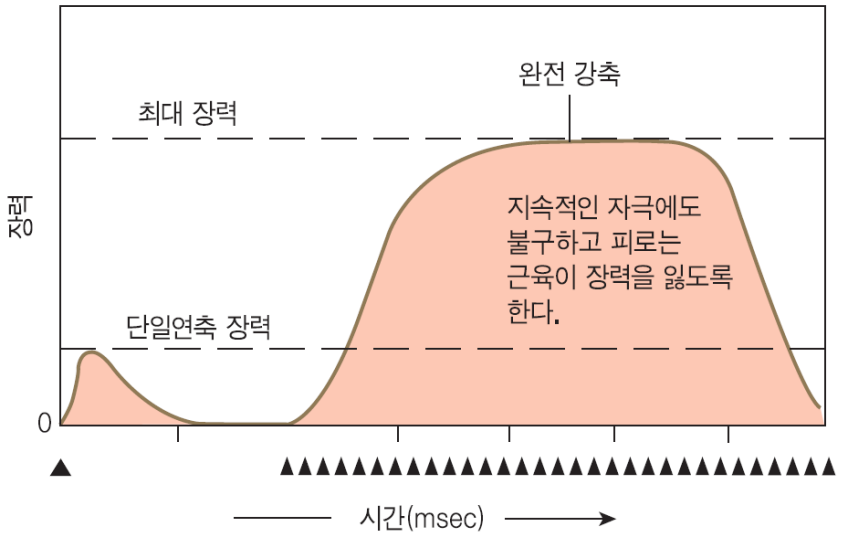




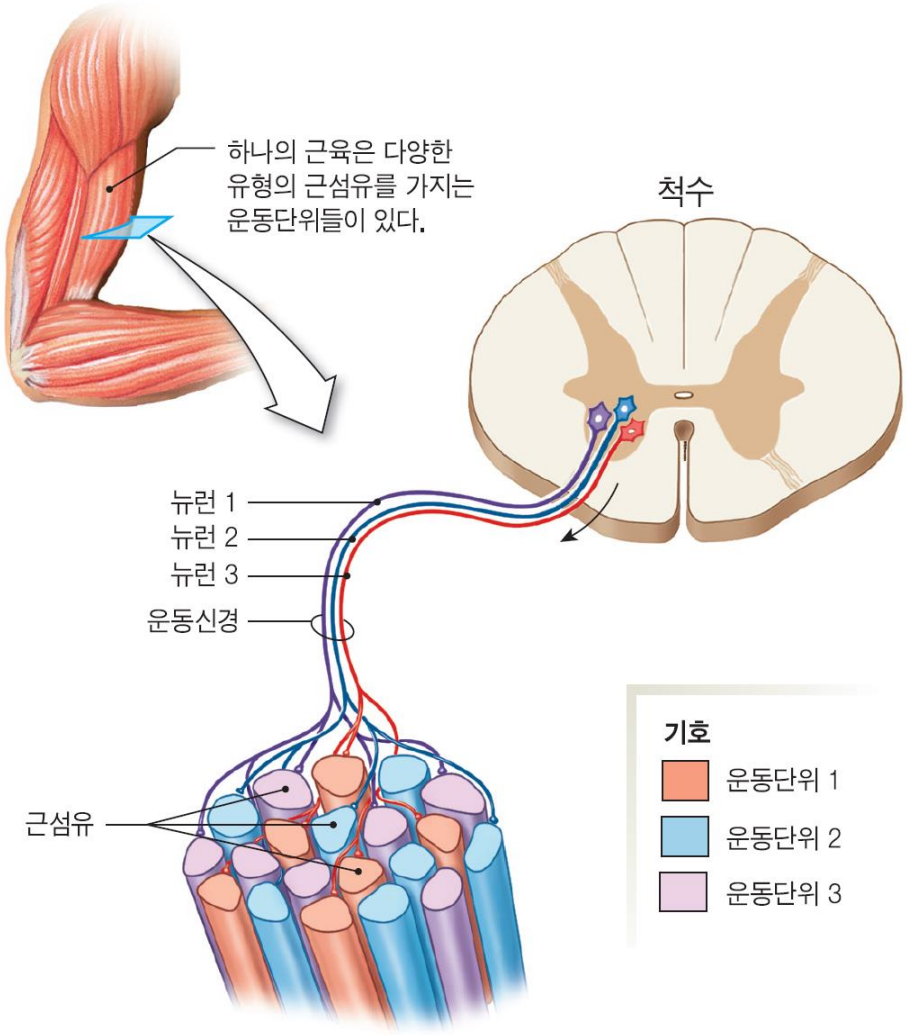
(c) 비융합 강축을 이끄는 가중 : 자극 사이의 시간적 차이는 약간 있어 자극 사이에 근육이 약간 이완된다.



(d) 융합 강축을 이끄는 가중 : 근육은 꾸준한 장력에 도달한다. 근육이 피로해지면 장력은 빠르게 감소한다.

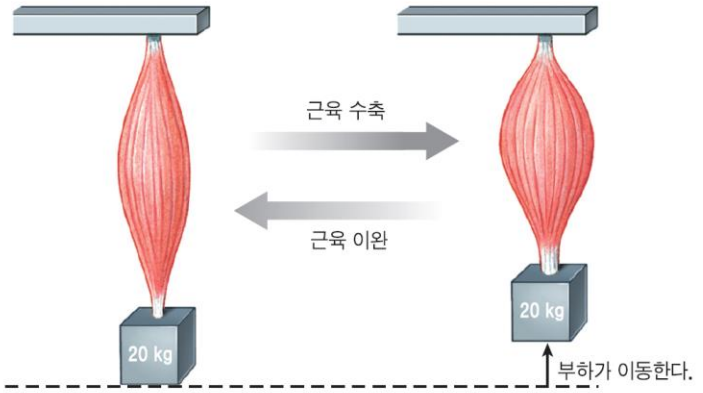


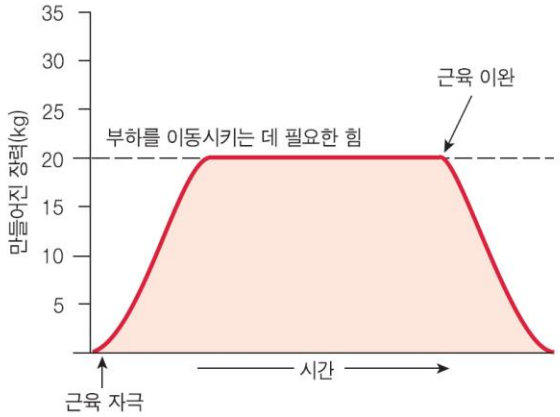
하나의 운동단위는 하나의 체성운동뉴런과 여러 근섬유로 구성된다



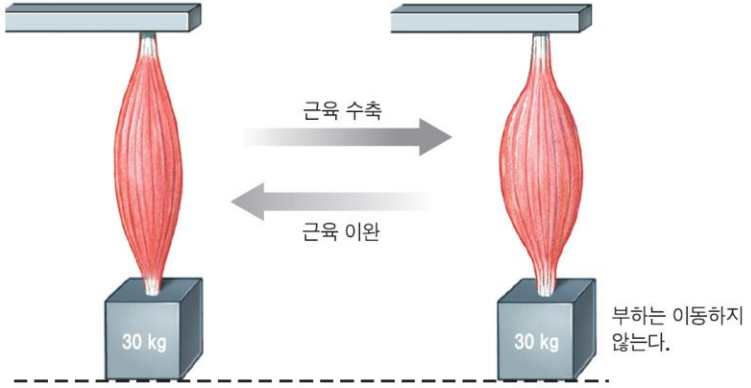
등력수축은 부하를 이동시키지만 제길이수축은 부하의 이동 없이 힘을 만든다

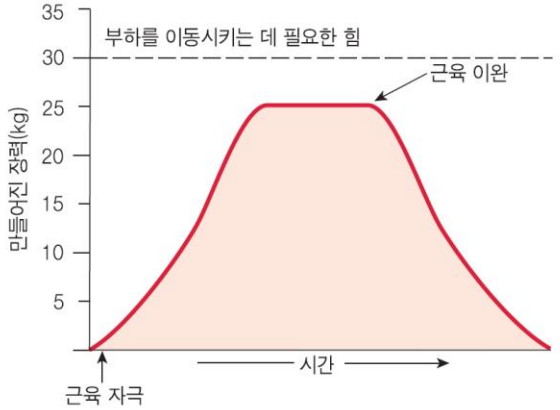
(a) 등력수축. 등력수축에서 근육은 수축하고 짧아져서 부하를 이동시키기에는 충분한 힘을 생성한다.



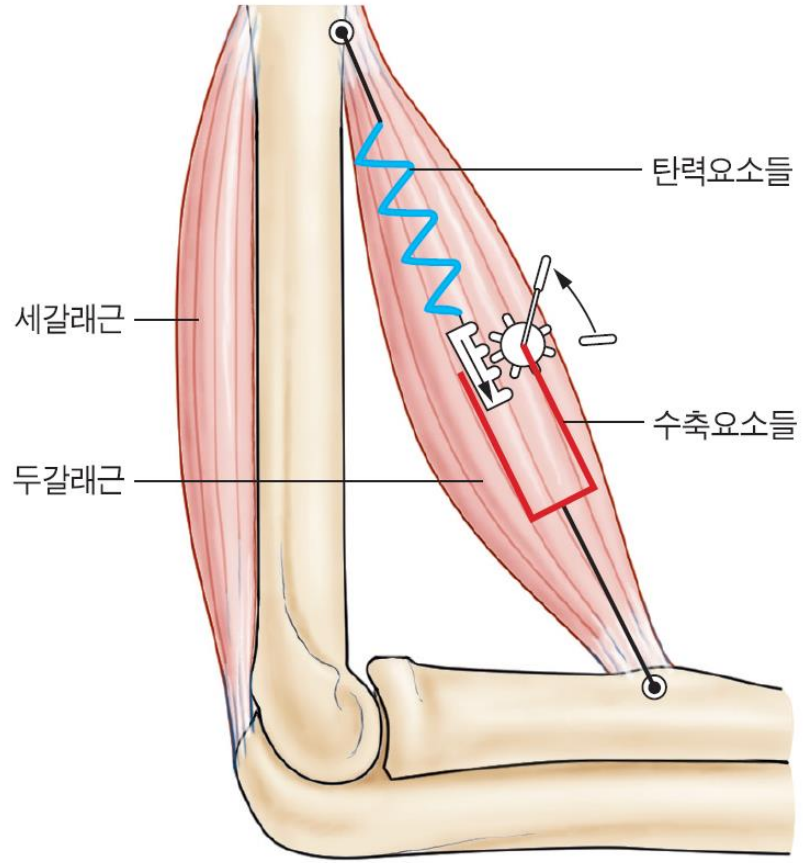


(b) 제길이수축. 제길이수축에서 근육은 수축하지만 짧아지지 않는다. 생성된 힘은 부하를 이동시키지 못한다.



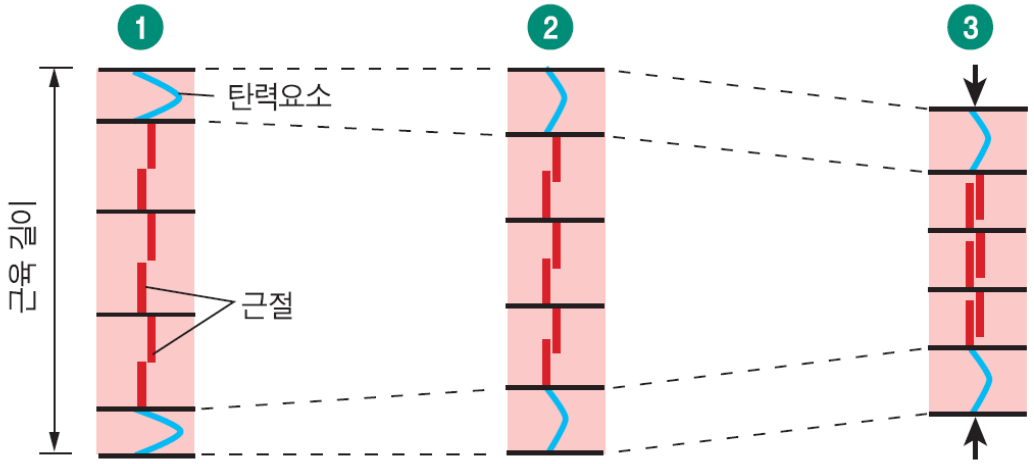


등력수축은 부하를 이동시키지만 제길이수축은 부하의 이동 없이 힘을 만든다



탄력요소들은 제길이수축을 허용한다.

- 제길이수축에서 근절이 짧아지면서 힘이 생성된다. 그러나 탄력요소들은 신장되어 근육 길이가 변하지 않은 상태로 남아 있다.
- 등력수축에서 근절은 보다 짧아진다. 그러나 탄력요소들은 이미 신장되어 있기 때문에 근육은 짧아진다.



1 쉬고 있을 때의 근육

2 **제길이수축:** 근육은 짧아지지 않는다.

3 **등력수축:** 전체 근육은 짧아진다.

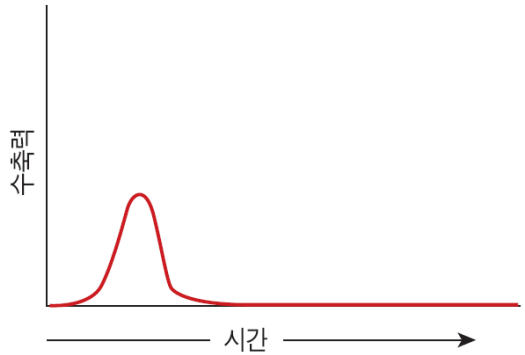
근육질환의 원인은 다양하다

- 근육경련: 지속적이며 고통스러운 골격근의 수축
- 과도한 사용 → 근육피로, 통증, 근육외상 등
- 과도하게 사용하지 않음 → 골격근의 위축

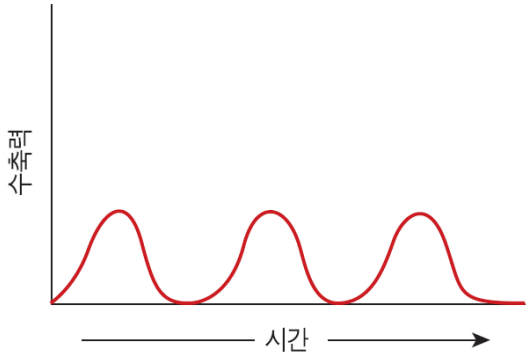
- 보툴리눅스 독소: 체성운동뉴런으로 부터 Ach 방출 억제
- 뒤시엔느 근위축증: 액틴을 세포막에 있는 단백질에 연결하는 구조단백질 디스트로핀이 존재하지 않음
- 맥아들병: 글리코겐을 포도당 6-인산으로 전환시키는 근육인 산화분해효소 결핍

평활근

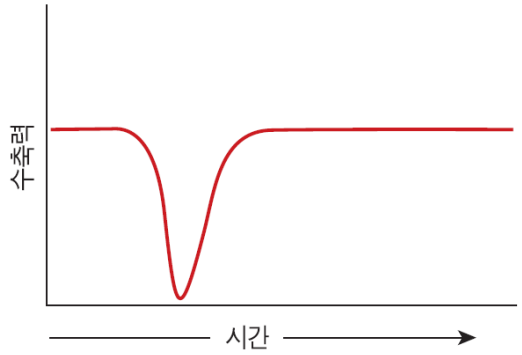
(a) 대체적으로 이완되어 있는 국면성 평활근.
예: 식도



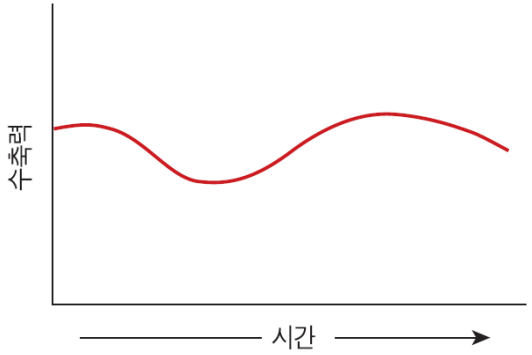
(b) 수축과 이완의 주기를 가지고 있는 국면성 평활근.
예: 소장



(c) 대체적으로 수축되어 있는 긴장성 평활근.
예: 물질의 통과를 허용하도록 이완되어 있는 조임근.

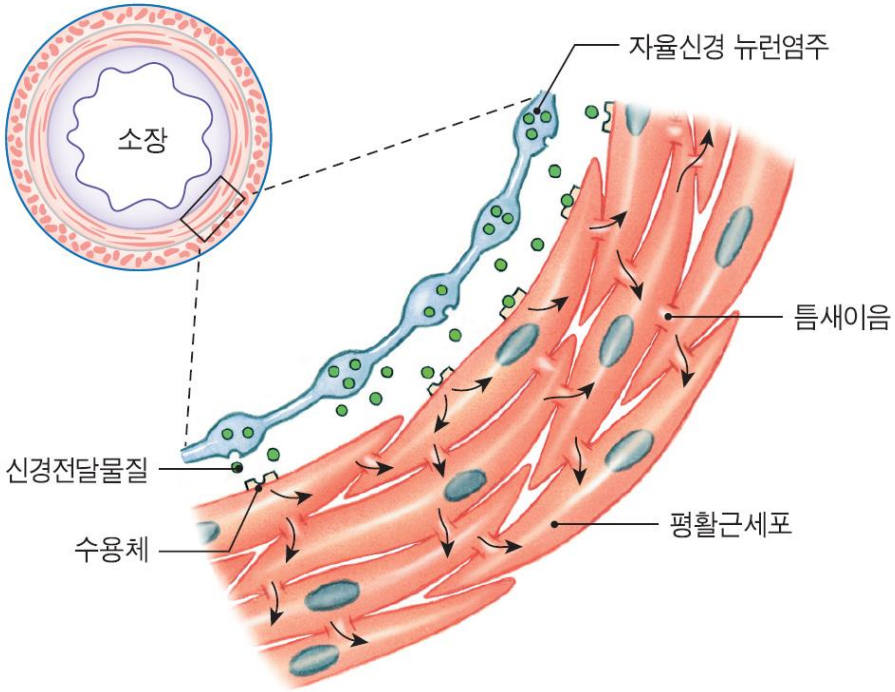


(d) 필요에 따라서 수축이 다양해지는 긴장성 평활근.
예: 혈관 평활근

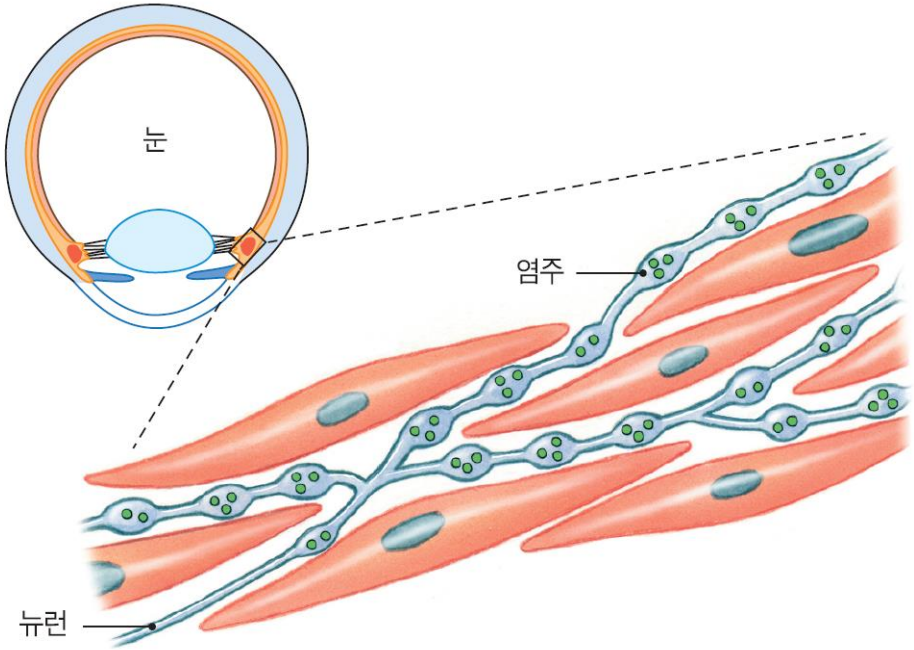


평활근

(a) 단일단위 평활근세포들은 틈새이음으로 연결되어 있어 세포들은 하나의 단위로서 수축한다.

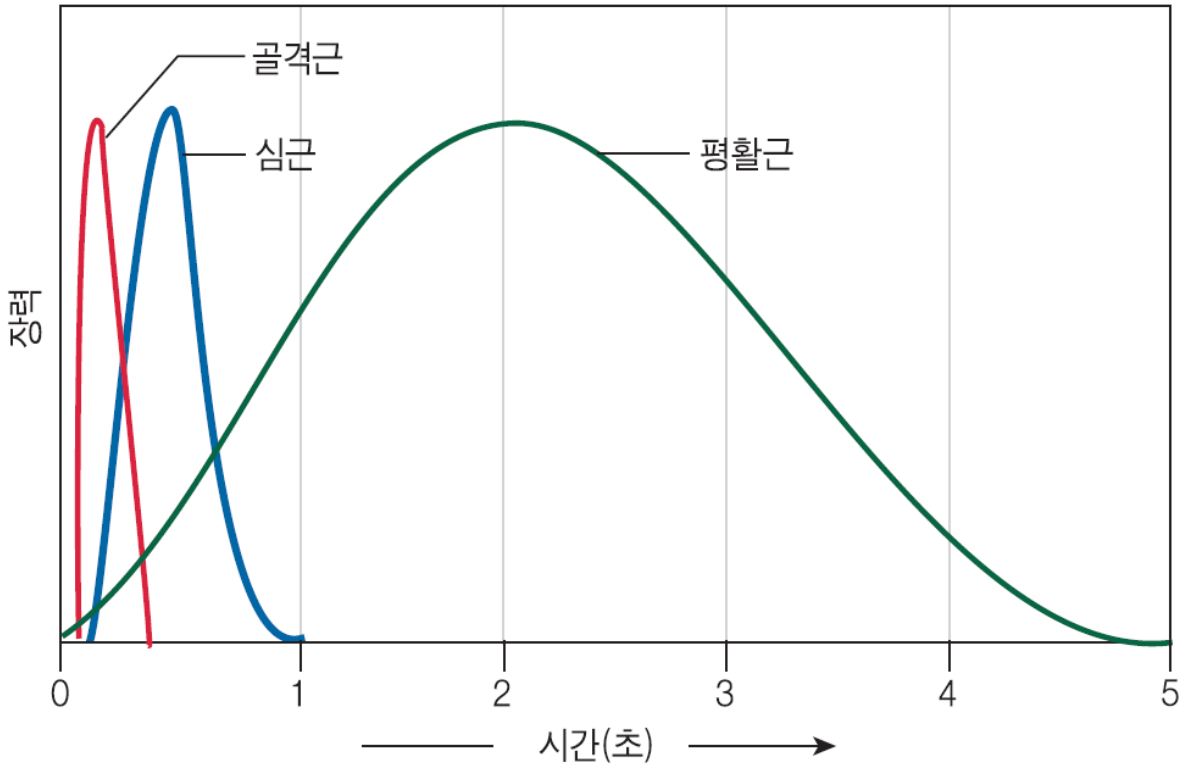


(b) 다중단위 평활근세포들은 전기적으로 연결되어 있지 않아 각 세포들은 독립적으로 자극된다.



평활근은 골격근보다 더 다양하다

- 평활근은 길이 전체에 걸쳐서 작동한다
- 기관 안에서 평활근층은 여러 방향으로 달린다
- 평활근의 수축과 이완은 골격근과 심근에 비해서 더 천천히 일어난다



평활근은 골격근보다 더 다양하다

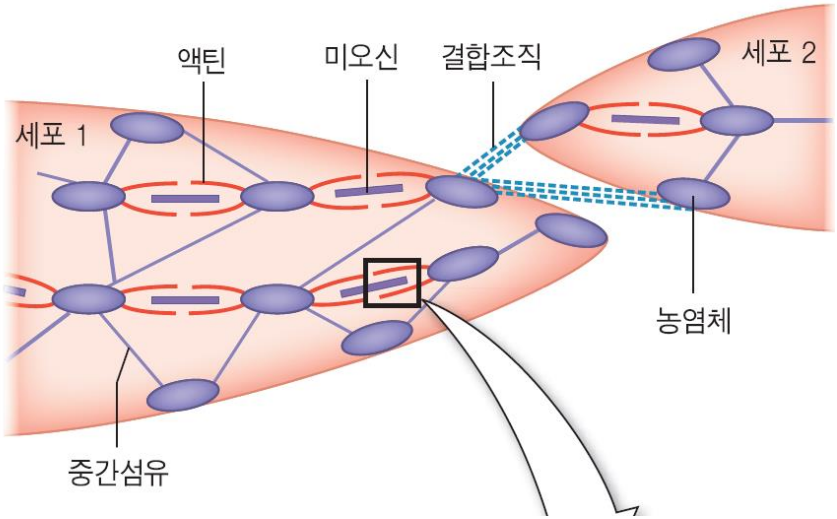
- 평활근은 주어진 힘을 생성하고 유지하는 데 더 적은 에너지를 사용한다
- 평활근은 피로 없이 오랜 기간 동안 수축을 유지할 수 있다
- 평활근은 하나의 핵을 가진 작은 방추형 모양이다
- 수축성 섬유는 근절로 배열되어 있지 않다
- 평활근의 수축은 전기적 또는 화학적 또는 둘 다의 신호에 의해서 시작될 것이다
- 평활근은 자율신경계에 의해서 조절된다

평활근은 골격근보다 더 다양하다

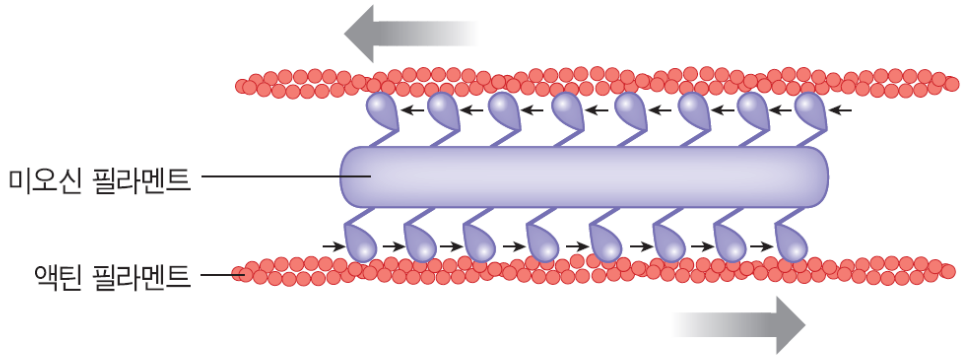
- 평활근은 골격근 시냅스에서 발견되는 운동종판과 같은 특수화된 수용체 지역이 없다
- 수축을 위한 Ca^{2+}는 근소포체뿐만 아니라 세포외액에서도 온다
- Ca^{2+}신호는 미오신 경사슬의 인산화와 미오신 ATPase의 활성으로 끝나는 증폭단계를 시작하게 한ㄷ

평활근에는 근절이 없다

(a) 중간섬유와 단백질 농염체는 세포골격을 형성한다. 액틴은 농염체에 부착된다. 각각의 미오신 분자는 액틴 필라멘트에 의해서 둘러싸여 있다.

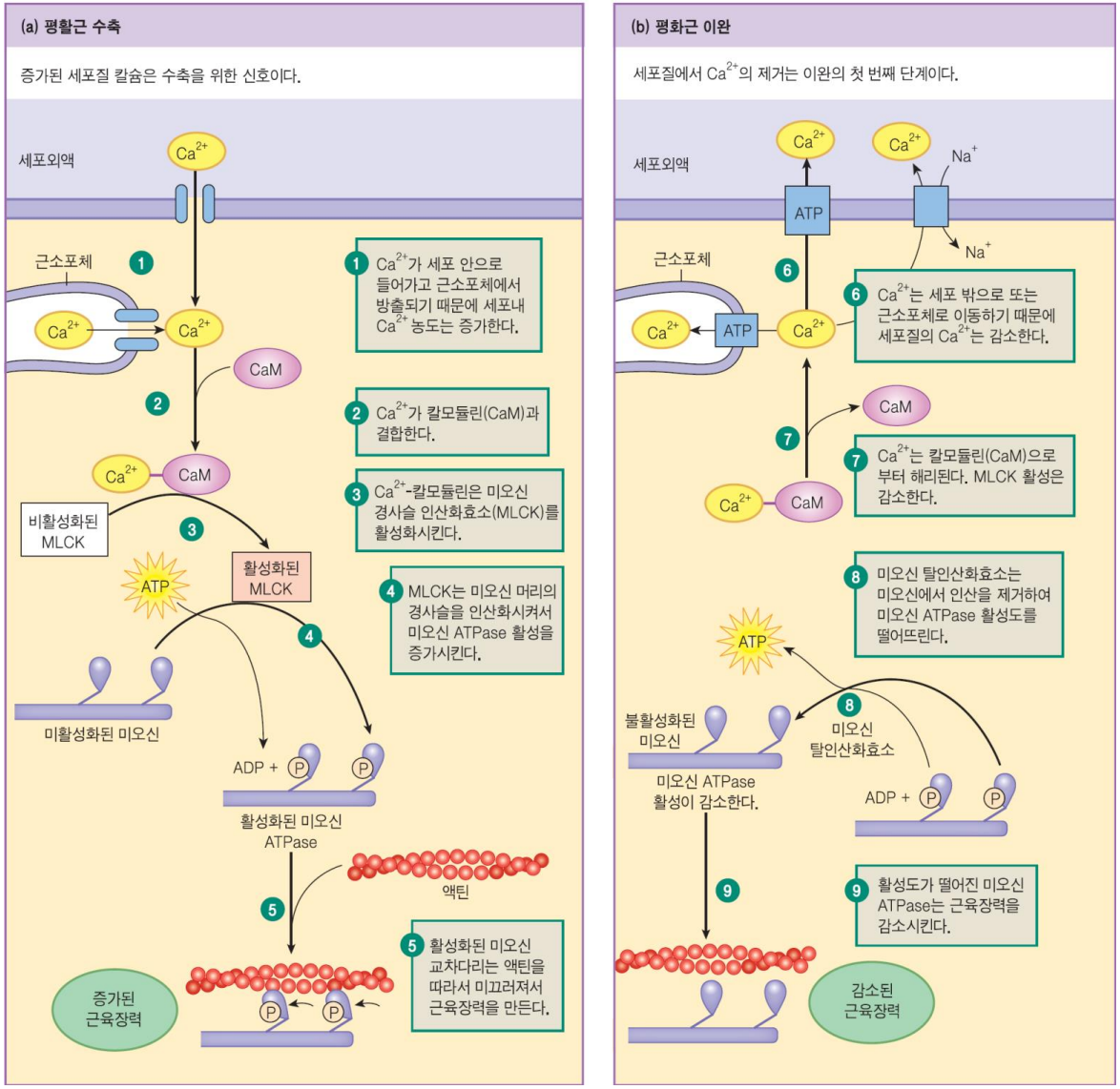


(b) 평활근 미오신은 길이에 따라서 배열된 경첩머리를 가지고 있다.

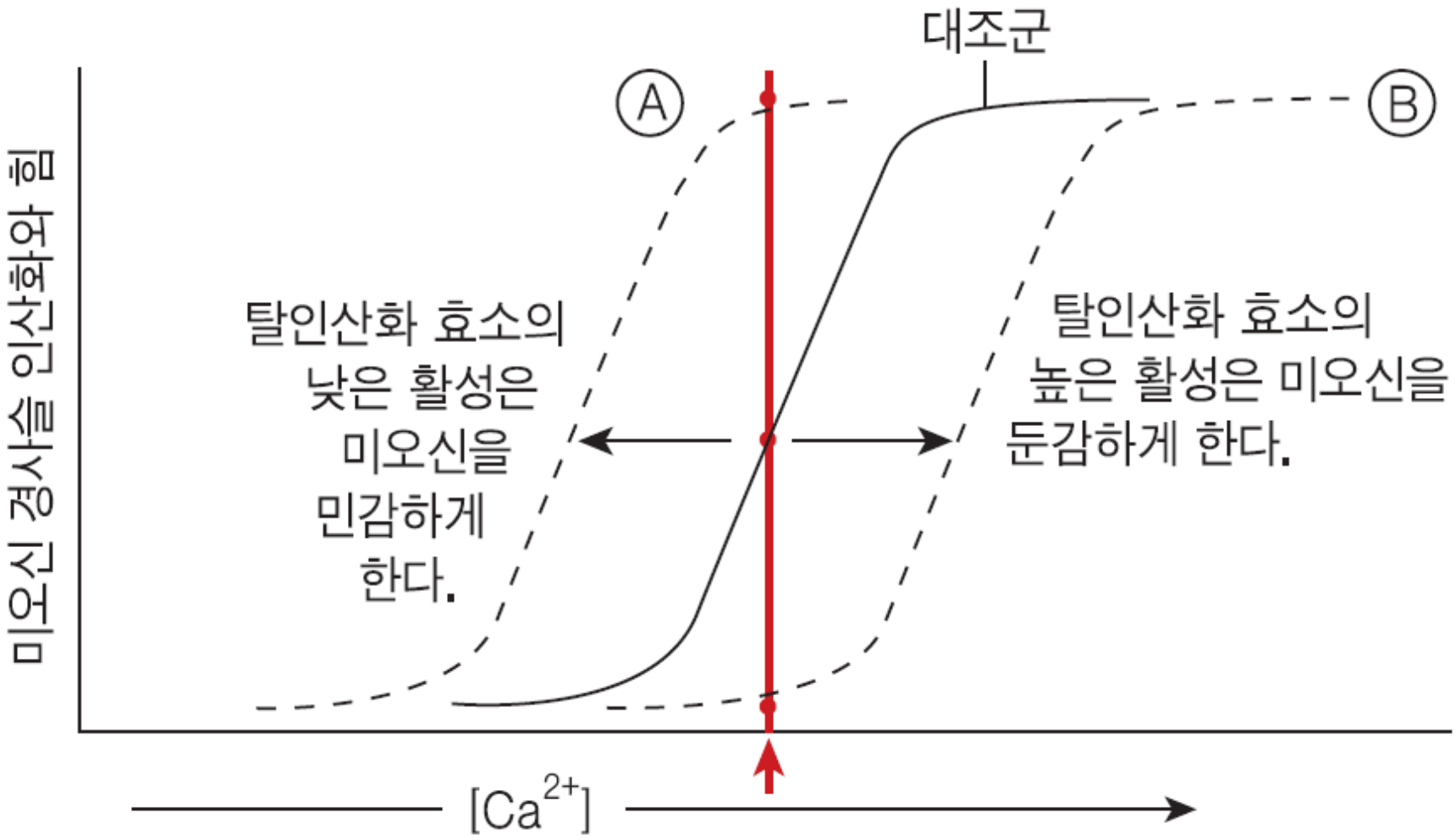


자료: Marion J. Siegman, Jefferson Medical College.

미오신의 인산화는 수축을 조절한다

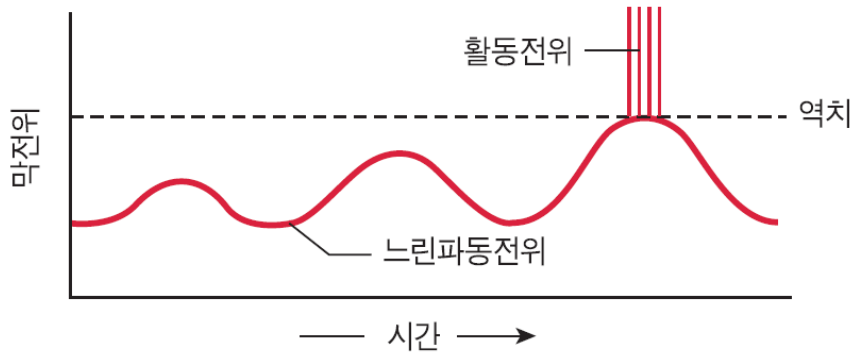


MLCP는 Ca2+ 민감성을 조절한다

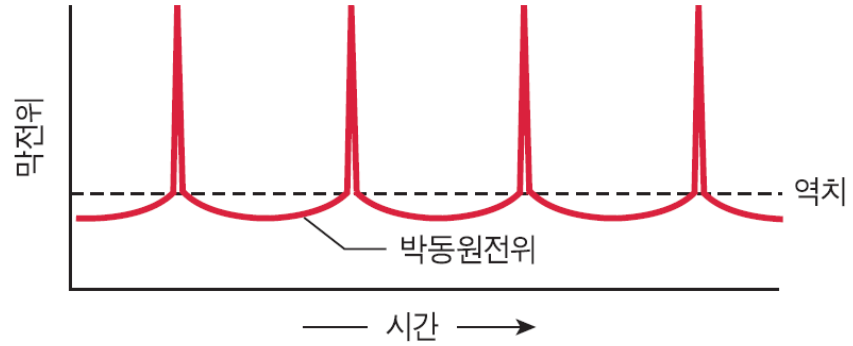


칼슘은 평활근 수축을 시작하게 한다

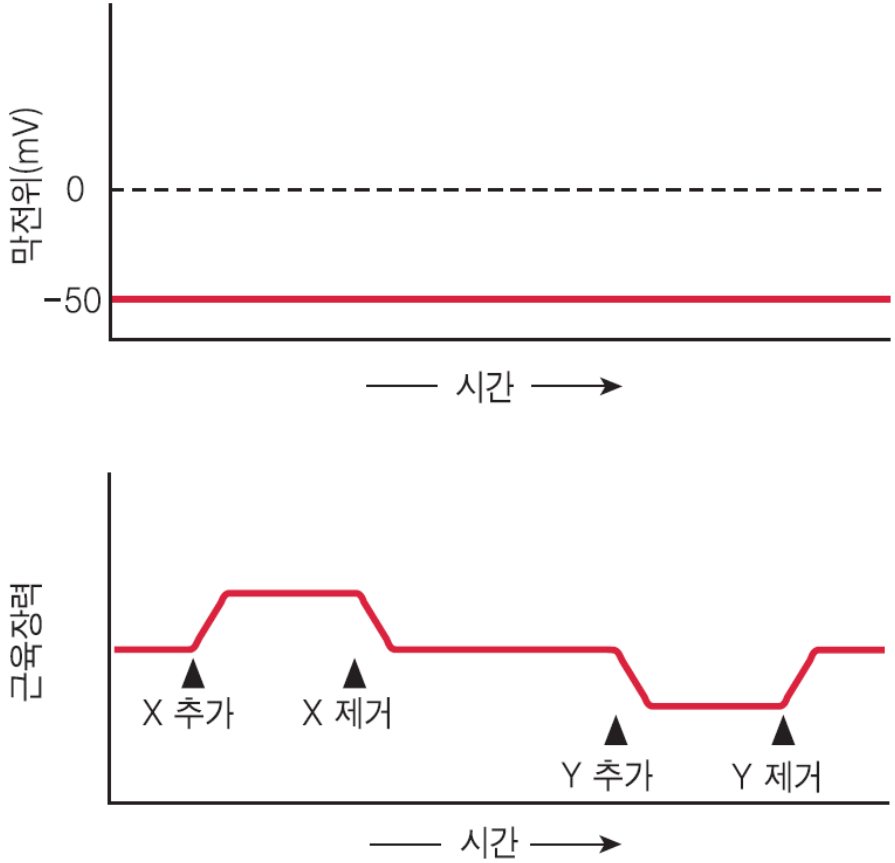
(a) **느린파동전위**는 역치에 도달할 때만 활동전위를 발화한다.



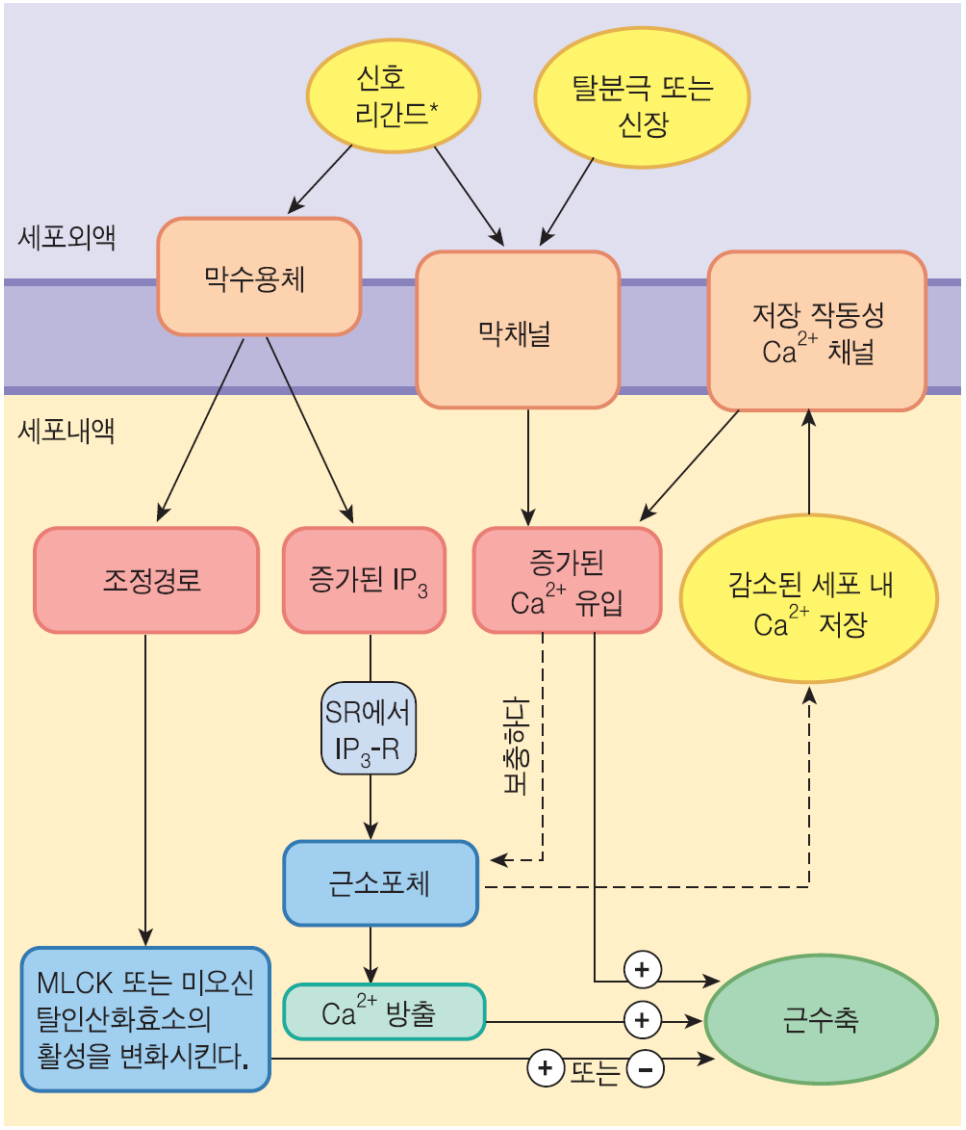
(b) **박동원전위**는 탈분극하여 항상 역치에 다다른다.



(c) **약리기계적 짝물림**은 화학신호들이 막전위의 변화가 없는데도 근육장력을 변화시킬 때 일어난다.



화학신호는 평활근의 활성에 영향을 준다



심근

	골격근	평활근	심근
광학현미경에서 모습	가로무늬	민무늬	가로무늬
섬유배열	근절	근절 없음	근절
위치	뼈에 부착되어 있음, 몇 개의 조임근은 속이 빈 기관을 닫는 데 사용됨	속이 빈 기관과 튜브의 벽을 구성함, 몇 개의 조임근	심근
조직의 모양	다핵이며 크고 원통형임	단핵이며 작고 원추형임	단핵이며 짧고 가지 친 모양임
내부 구조	T-소관과 근소포체	T-소관 없음, 근소포체가 적거나 없음	T-소관과 근소포체
섬유단백질	액틴, 미오신; 트로포닌과 트로포미오신	액틴, 미오신; 트로포미오신	액틴, 미오신; 트로포닌과 트로포미오신
조절	Ca^{2+}와 트로포닌, 섬유들은 서로 독립적임	Ca^{2+}와 칼모듈린, 섬유들은 틈새이음으로 전기적으로 연결되어 있음; 서로 독립적임	Ca^{2+}와 트로포닌, 섬유들은 틈새이음으로 전기적으로 연결되어 있음
수축 속도	가장 빠름	가장 느림	중간
하나의 섬유 연축의 수축력	차등적 아님	차등적	차등적
수축의 시작	운동뉴런에서의 Ach가 필요	신장신호과 화학신호; 율동적일 수 있음	율동적인
수축의 신경조절	체성운동뉴런	자율신경뉴런	자율신경뉴런
수축의 호르몬 영향	없음	다중의 호르몬	에피네프린

13장 통합적 생리학 I: 몸 운동의 조절

- 신경반사
- 자율반사
- 골격근반사
- 몸 운동의 통합적 조절

신경반사경로는 다양한 방법으로 분류된다

표 13-1 신경반사의 분류

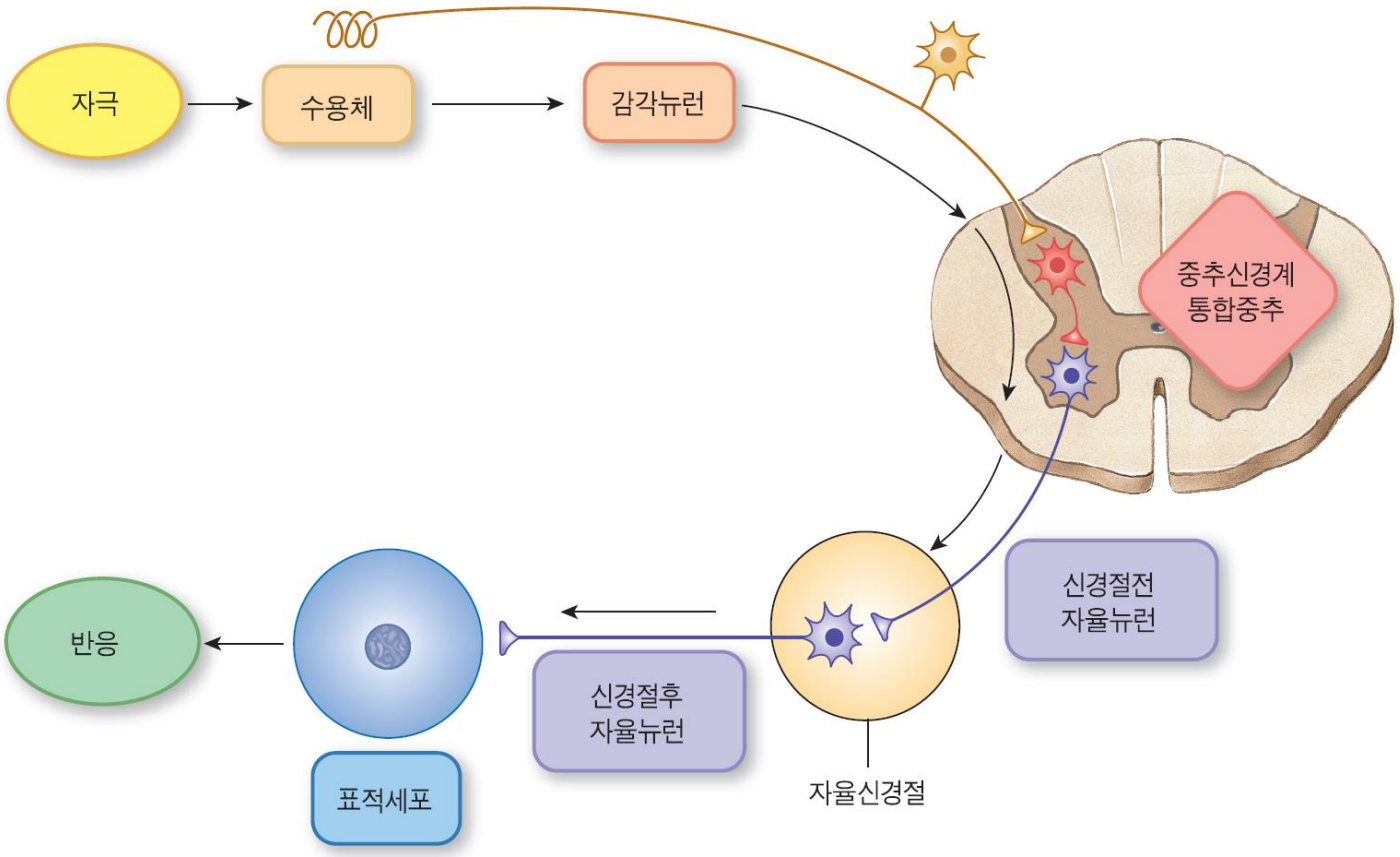
신경반사는 다음에 따라 분류할 수 있다:

1. **효과기를 조절하는 원심성 갈래**
   a. 체성운동뉴런은 골격근을 조절한다.
   b. 자율뉴런은 평활근, 심근, 분비샘, 지방조직을 조절한다.
2. **중추신경계 안에서의 통합 지역**
   a. 척수반사는 뇌로부터 입력이 필요하지 않다.
   b. 뇌반사는 뇌 안에서 통합된다.
3. **반사가 발생하는 시기**
   a. 선천적(타고난) 반사는 유전적으로 결정된다.
   b. 학습(후천적)반사는 경험으로 획득된다.
4. **반사경로에서 뉴런의 숫자**
   a. 단일 시냅스 반사는 단지 구심성(감각)과 원심성의 2개의 뉴런을 가진다. 체성운동반사만이 단일 시냅스성이다.
   b. 다중 시냅스 반사는 원심성과 구심성 뉴런 사이에 하나 이상의 중간뉴런을 가진다. 모든 자율반사는 3개의 뉴런, 즉 1개의 구심성과 2개의 원심성을 가지는 다중 시냅스성이다.

자율반사

자율반사

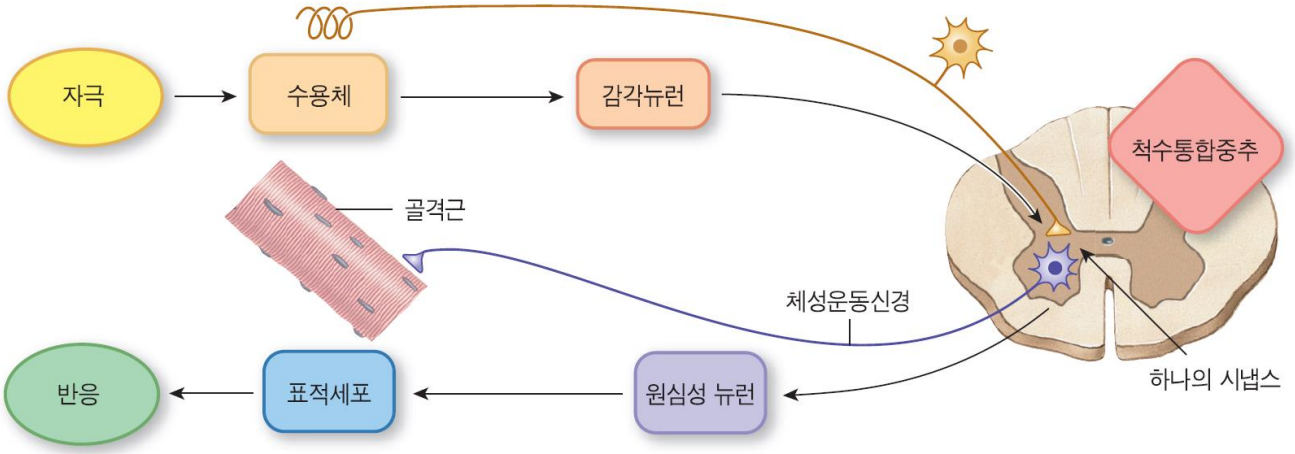
(c) 모든 자율반사는 다중 시냅스를 가지는데, 최소한 CNS에 하나 자율신경절(ganglion)에 또 다른 시냅스를 가진다.



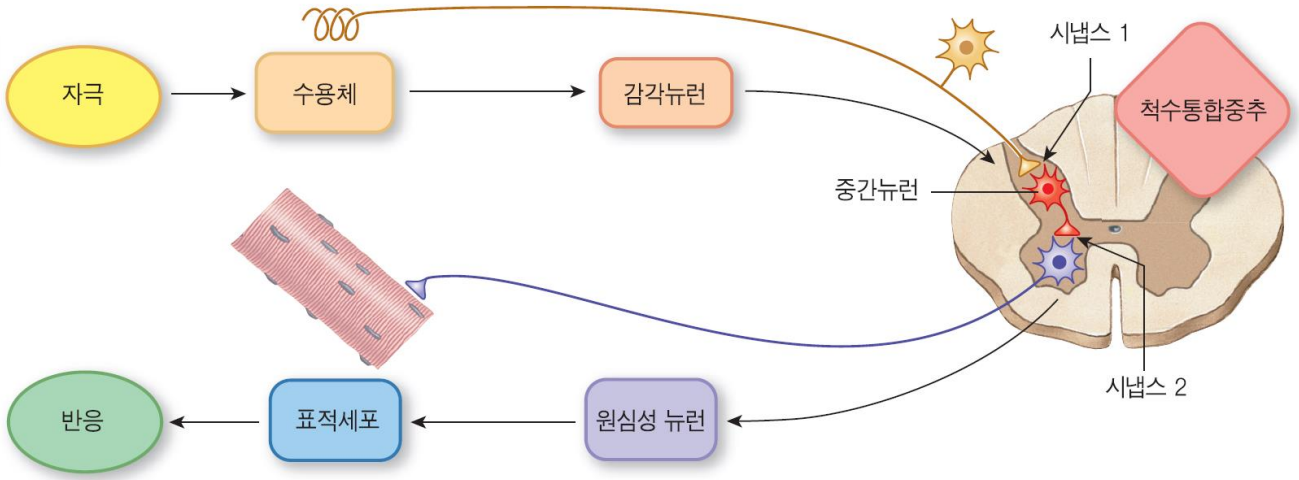
골격근반사

골격근반사

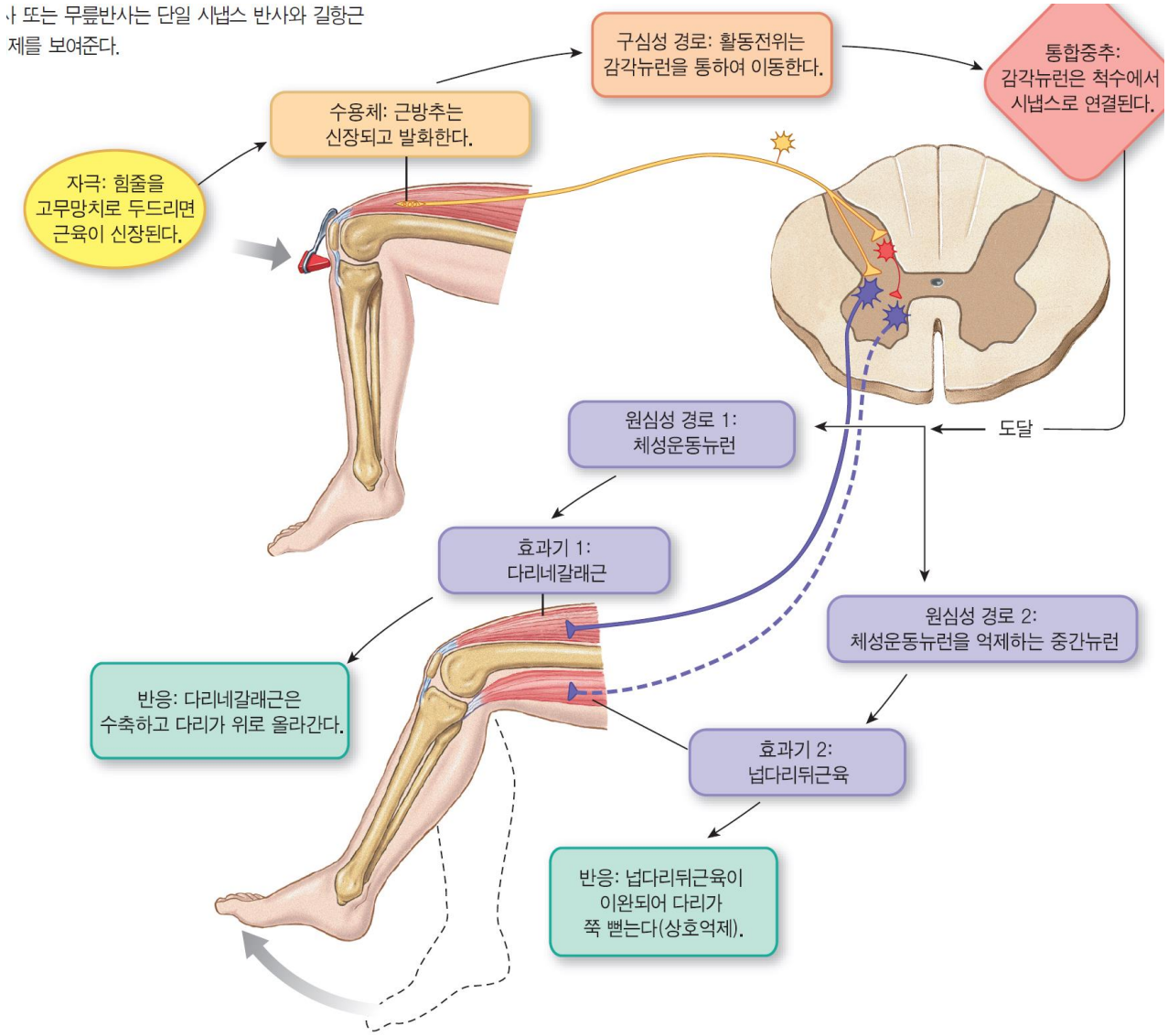
(a) 단일 시냅스 반사는 원심성과 구심성 뉴런 사이에 하나의 시냅스를 가진다.



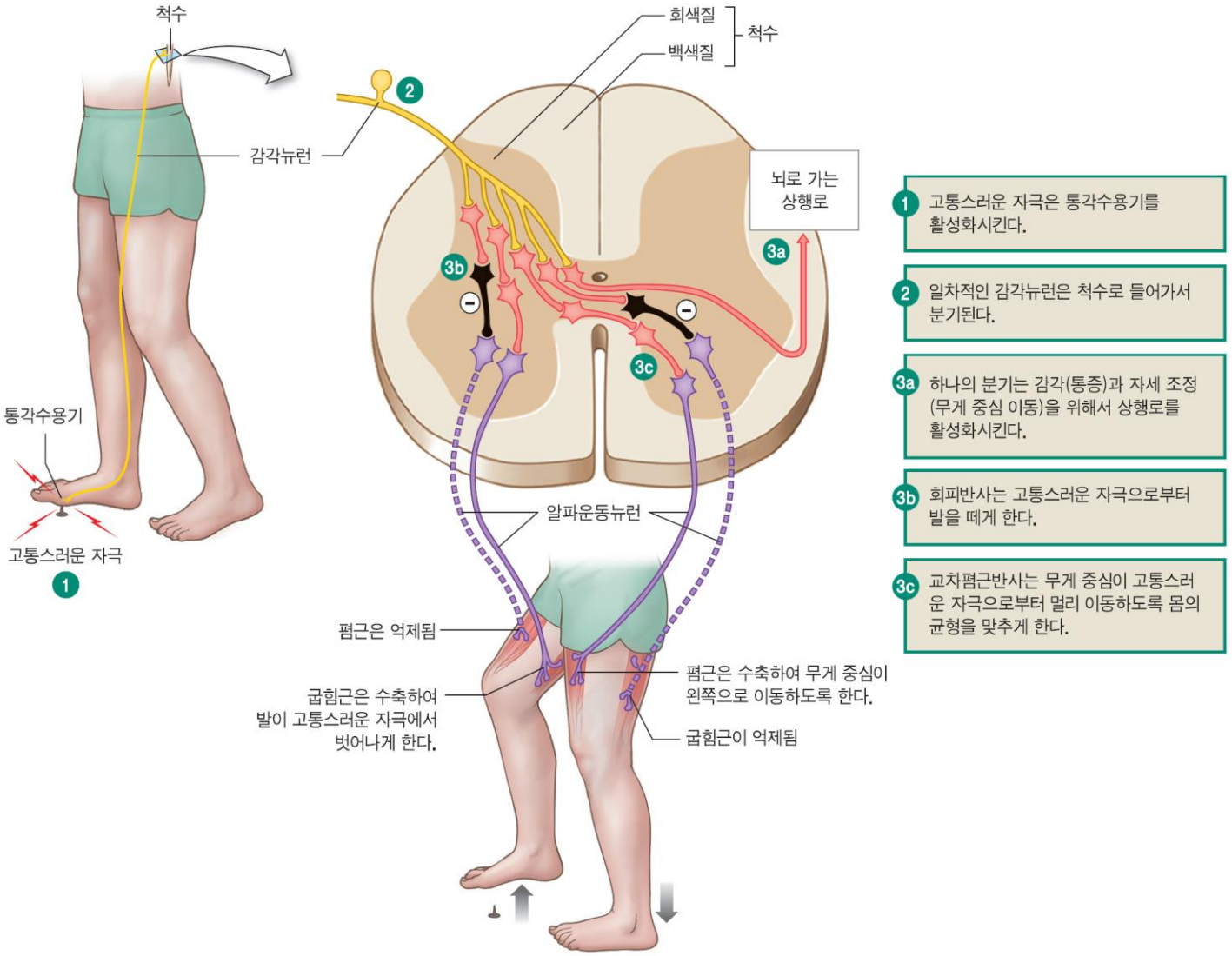
(b) 다중 시냅스 반사는 2개 이상의 시냅스를 가진다. 이러한 체성 운동 반사는 CNS에서 각각의 시냅스를 가진다.



신장반사와 상호억제는 관절 주변의 움직임을 조절한다



힘반사는 팔다리를 고통스러운 자극에서 벗어나게 한다



운동은 반사적, 수의적, 율동적으로 분류된다

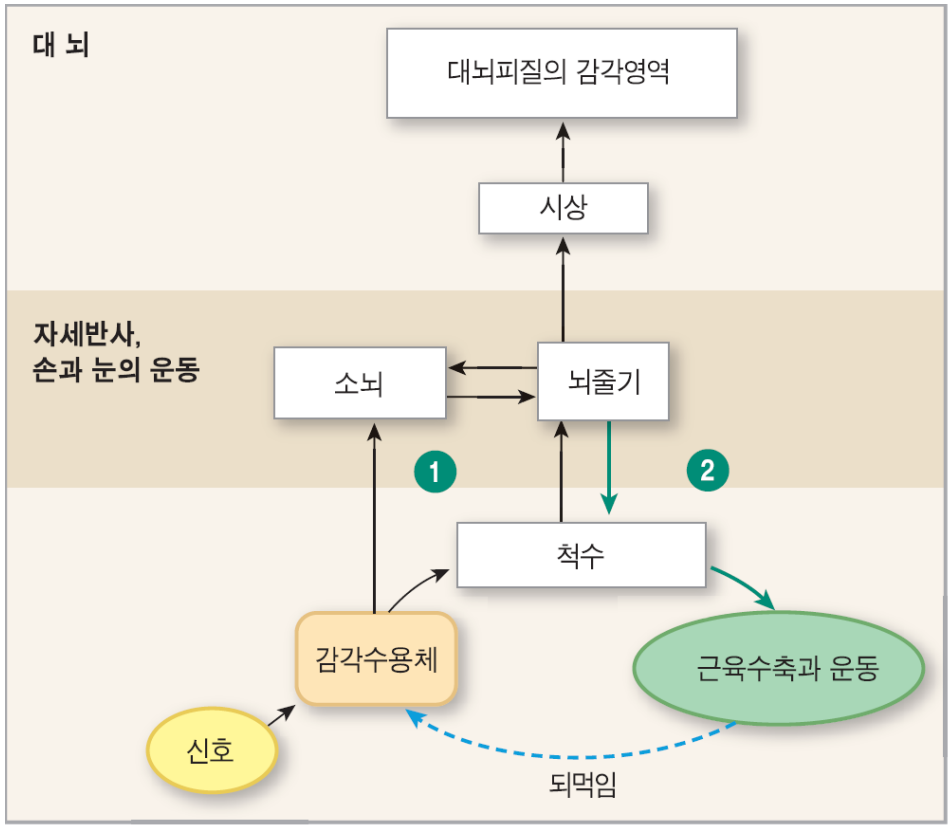
표 13-2 운동 유형

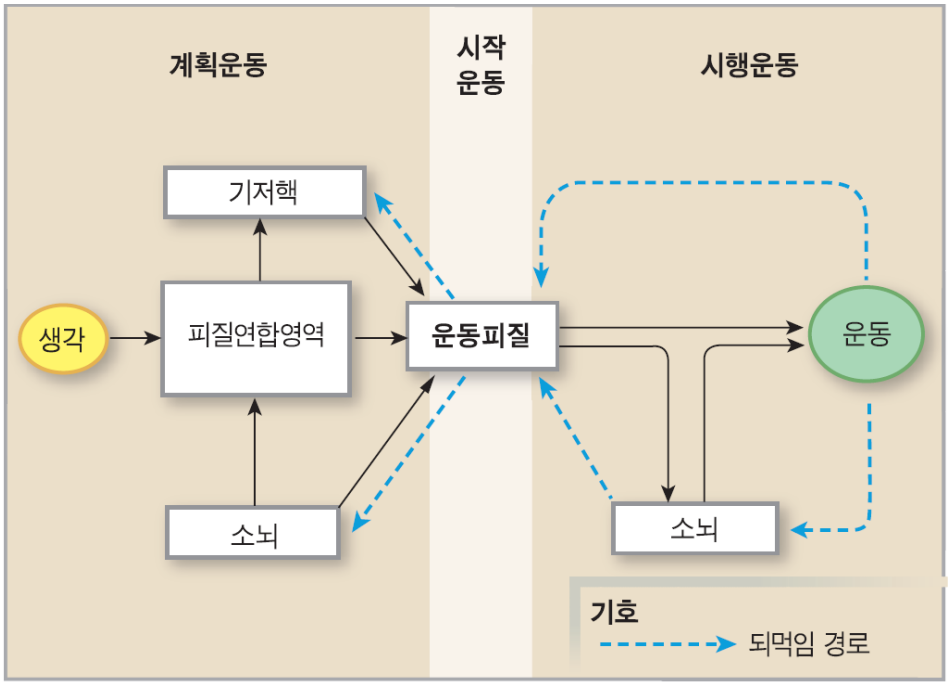
	반 사	수 의	율 동
운동을 시작하게 하는 자극	감각수용체를 통해서 주로 외부로부터 옴; 가장 덜 수의적임	외부 자극 또는 의지	시작과 끝이 수의적
예	무릎반사, 기침, 자세반사	피아노 연주	걷기, 뛰기
복잡성	가장 덜 복잡함; 척수와 뇌줄기에서 고위중추의 조정을 통하여 통합됨	가장 복잡함; 대뇌피질에서 통합됨	중간; 요구되는 고위중추 입력으로 척수에서 통합됨
의 견	유전적이고 빠름	훈련으로 향상되는 학습운동; 한 번 배우면 무의식적이 됨(예: 근육기억)	척수회로는 패턴발생기로 작용; 이러한 경로를 활성화시키기 위해서는 뇌줄기에서 입력이 필요함

표 13-3 운동의 신경조절

	역 할	입력을 받는 장소	통합적 출력을 보내는 곳
척 수	척수반사; 위치패턴발생기	감각수용체와 뇌	뇌줄기, 소뇌, 시상/대뇌피질
뇌줄기	자세, 손과 눈의 운동	소뇌, 시각과 내이의 감각수용체	척수
대뇌피질의 운동영역	계획과 통합의 복잡한 운동	시상	뇌줄기, 척수(피질척수로), 소뇌, 기저신경절
소 뇌	운동영역에서 오는 출력신호를 점검하고 운동을 조정한다.	척수(감각), 대뇌피질(명령)	뇌줄기, 대뇌피질(모든 출력은 억제성임을 주목하라.)
시 상	대뇌피질로 가는 메시지를 조정하여 통과시키는 연결핵을 포함한다.	기저신경절, 소뇌, 척수	대뇌피질
기저핵	운동 계획	대뇌피질	대뇌피질, 뇌줄기

중추신경계는 운동을 통합한다

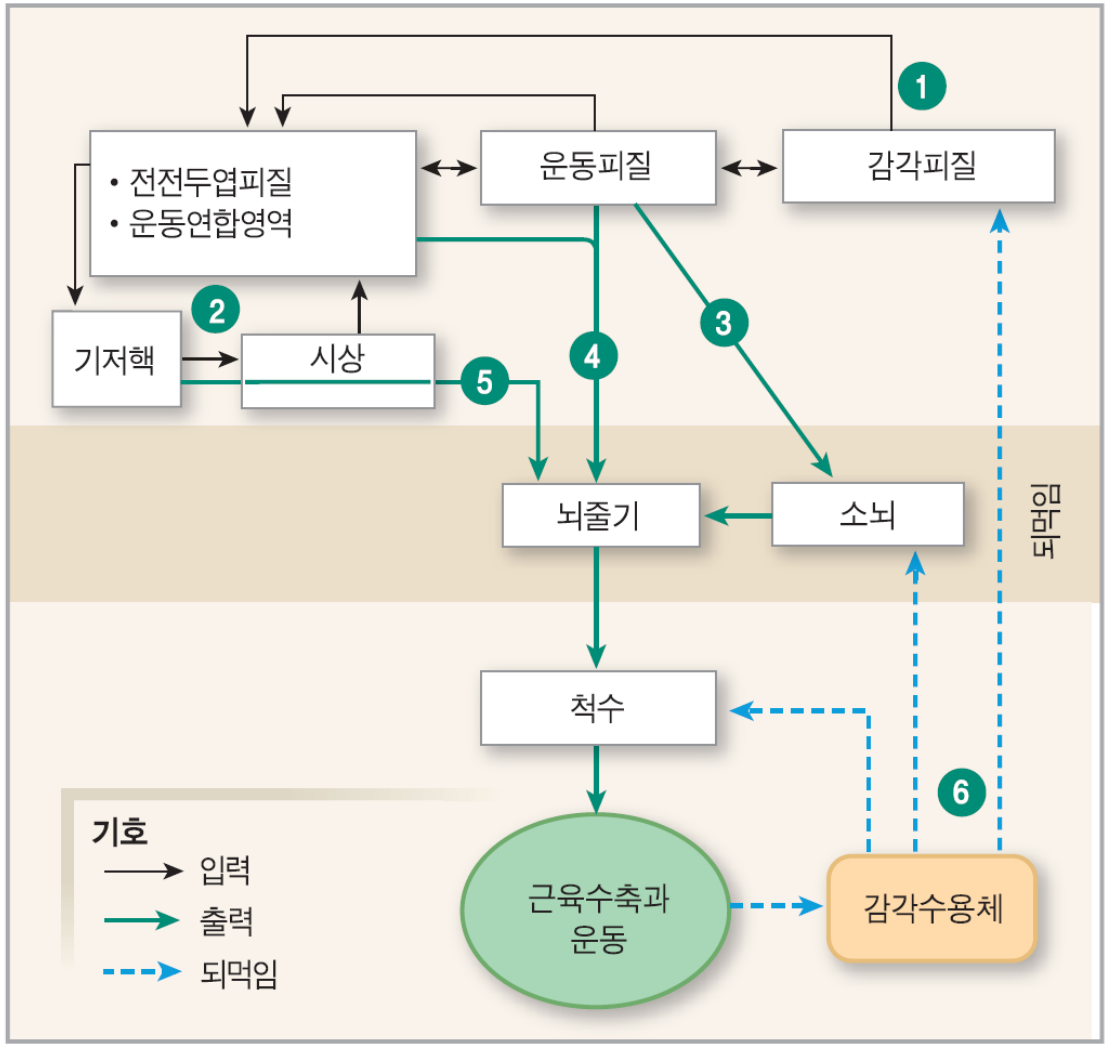




1 수용체로부터 온 감각입력(⟶)은 척수, 대뇌피질, 소뇌로 간다. 전정기는 소뇌로 직접 간다.

2 자세반사와 척수반사는 피질에서의 통합을 필요로 하지 않는다. 출력신호(⟶)는 뇌입력 없이 운동을 시작하게 한다.

중추신경계는 운동을 통합한다



1. 감각 입력
2. 계획과 결정
3. 통합과 타이밍: 소뇌 입력
4. 시행: 골격근으로 가는 겉질척수로
5. 시행: 자세, 균형, 보행에서 피라밋외 영향
6. 계속되는 되먹임

파킨슨병의 증상은 기저신경절의 기능을 반영한다

- 비정상적인 운동, 언어장애, 인지변화의 특징이 있는 진행성의 신경장애
- 도파민을 분비하는 기저신경절에서 뉴런의 상실과 연관
- 손, 팔, 다리의 떨림이 특징적인 증상
- 운동을 시작하는데 어려움, 자세가 구부정, 다리를 질질 끌며 천천히 걷기
- 표정변화 X, 눈 깜빡임 X, 우울증, 수면장애, 인성 변화 등