

실 전 개 념

2

Theme

근육의 수축 계산형

근육의 수축 계산형

근육의 수축 계산형 Algo (rithm)

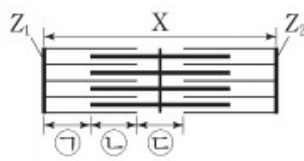
근수축 계산형 문항을 푸는 기본 뼈대는 다음과 같다.

1st 방향벡터(화살표) 대응

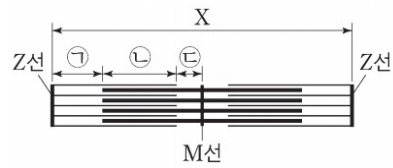
주어진 정보가 어떤 지점에 대응되는지 확인한다.

즉, ⊕, ⊙, ⊖의 정체성에 대해 확인하고 적절히 방향벡터를 대응한다.

보통은 다음과 같이 ⊕, ⊙, ⊖이 특정 구역에 대응된다.



23학년도 수능
⊕은 ↓, ⊙은 ↑, ⊖은 ↓↓



22학년도 9평
⊕은 ↓, ⊙은 ↑, ⊖은 ↓

2nd 요소 정리

알고 있는 Schema들을 활용하여 적절히 요소 정리한다.

이때 활용할 수 있는 표는 다음과 같다.

	수축 방향성	길이			
		X	⊕	⊙	⊖

각각의 칸에는 다음이 들어간다.

	수축 방향성	X	⊕	⊙	⊖

t₁, t₂와 같은 시점이나 F₁, F₂와 같은 힘이 들어간다.

근육이 수축함에 따른 변화의 시점을 나타내는 칸이다.

근육의 수축 계산형
Algo (rithm)

	수축 방향성	길이			
		X	⊖	⓪	⊕
t_1					
t_2					

수축 방향이 t_1 에서 t_2 인지, t_2 에서 t_1 인지 표기한다.

	수축 방향성	길이			
		X	⊖	⓪	⊕
t_1					
t_2					

⊖, ⓪, ⊕에 각각 어떤 화살표(방향벡터)가 대응되는지 기입하거나 머리로 생각한다.

	수축 방향성	길이			
		X	⊖	⓪	⊕
t_1			↓	↑	↘
t_2	↓				

X의 길이나 ⊖+⓪+⊕와 같이 문제에서 필요로 하는 전체 관점 미지수의 방향성을 적는다

	수축 방향성	길이			
		X	⊖	⓪	⊕
t_1		↘	↓	↑	↘
t_2	↓				

방향벡터의 크기, 수축 방향에 맞게 적절히 문제에 주어진 조건을 정리한다.

[요소 정리 완료]

시점	수축	길이			
		⊖+⓪+⊕	⊖	⓪	⊕
		↘	↓	↑	↘
t_1		ⓐ+13d	ⓐ	3d	10d
t_2	↓	ⓐ+5d	3d	ⓐ	2d

근육의 수축 계산형

근육의 수축 계산형 Algo (rithm)

앞으로 공부할 근육의 수축 계산형의 Schema를 정리하면 다음과 같다.

- Schema 1 구조의 이해
- Schema 2 화살표 대응
- Schema 3 수치적 특성
- Schema 4 불변량
- Schema 5 변화량
- Schema 6 전체 변화량
- Schema 7 요소 정리
- Schema 8 비율 관점
- Schema 9 미지수 도입
- Schema 10 단면 변화
- Schema 11 수축 강도

근육의 수축 계산형
Schema 1

구조의 이해

[중요도 ★★★★★]

- 문제에서 주어지는 근육의 여러 가지 구조에 대해 이해하는 게 계산형 문항을 푸는 기본이다.

○ 그림 (가)는 팔을 구부리는 과정의 세 시점 t_1, t_2, t_3 일 때 팔의 위치와 이 과정에 관여하는 골격근 P와 Q를, (나)는 P와 Q 중 한 골격근의 근육 원섬유 마디 X의 구조를 나타낸 것이다. X는 좌우 대칭이다.

○ 구간 ㉠은 마이오신 필라멘트만 있는 부분이고, ㉡은 액틴 필라멘트와 마이오신 필라멘트가 겹치는 부분이며, ㉢은 액틴 필라멘트만 있는 부분이다.

○ 표는 $t_1 \sim t_3$ 일 때 ㉠의 길이와 ㉡의 길이를 더한 값(㉠+㉡), ㉢의 길이, X의 길이를 나타낸 것이다.

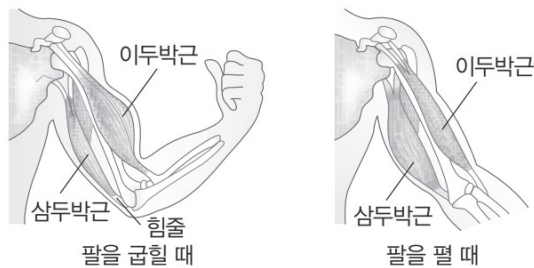
시점	㉠+㉡	㉢의 길이	X의 길이
t_1	1.2	a	?
t_2	?	0.7	3.0
t_3	a	0.6	?

(단위: μm)

22학년도 수능

문제에서 주어지는 근육의 여러 가지 구조에 대해 알아보면 다음과 같다.

[근육의 수축과 이완]



인체가 움직일 땐 근육이 수축 및 이완이 되어 움직인다.

팔을 굽힐 때 이두박근은 수축, 삼두박근은 이완되며

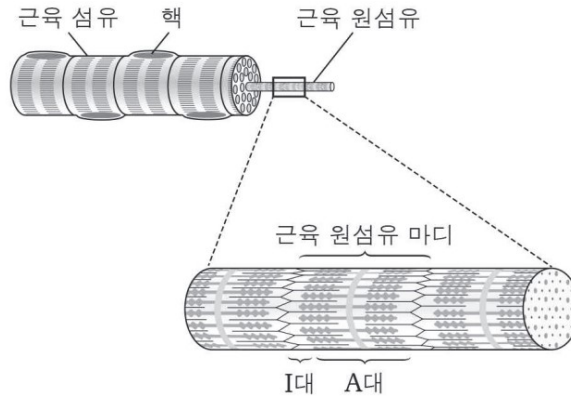
팔을 펼 때 이두박근은 이완, 삼두박근은 수축된다.

이와 같이 수축과 이완은 “변화”를 기준으로 일어나는 변화량임에 주목하여 수학적 계산 문제가 출제되곤 한다.

근육의 수축 계산형

근육의 수축 계산형 Schema 1 구조의 이해

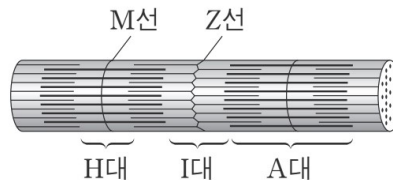
[근육 섬유와 근육 원섬유]



근육 섬유는 근육 원섬유로 구성되어 있고 여러 개의 핵을 가진다.

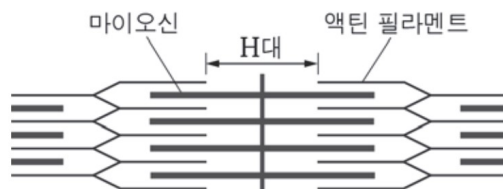
근육 원섬유가 근육 섬유로 구성되어 있다와 같이 포함 관계가 역전된 경우 틀린 선지로 출제될 수 있으니 주의하자.

[근육 원섬유]



근육 원섬유는 가는 액틴 필라멘트 사이에 굵은 마이오신이 부분적으로 겹쳐 있는 구조이다. 팔을 구부리는 동안 마이오신이 액틴 필라멘트 사이로 미끄러져 들어가 근육 원섬유 마디(근절)가 짧아짐으로써 근수축이 일어난다.

[액틴 필라멘트와 마이오신 필라멘트]

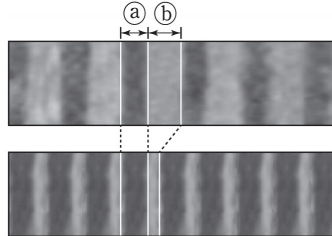


근육 원섬유는 두 종류의 필라멘트로 이루어지며 상대적으로 가느다른 것을 액틴 필라멘트, 두꺼운 것을 마이오신 필라멘트라고 한다.

근육의 수축 계산형
Schema 1

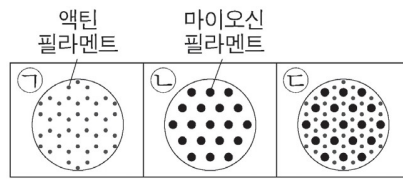
구조의 이해

[명대와 암대]



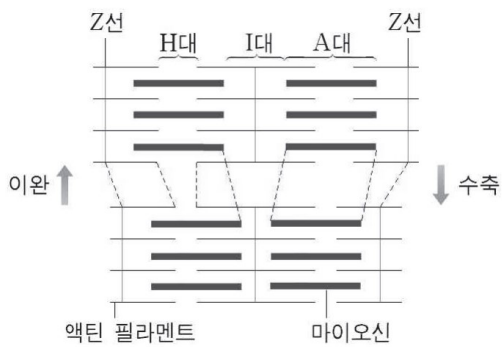
ⓐ와 ⓑ는 근육 원섬유에서 각각 어둡게 보이는 부분(암대)과 밝게 보이는 부분(명대)이며 근육 원섬유에서 어둡게 보이는 부분(암대)에는 A대가 있고, 밝게 보이는 부분(명대)에는 I대가 있다.

[단면의 모양]



- ⓐ은 액틴 필라멘트만 있는 부분의 단면
- ⓑ은 마이오신 필라멘트만 있는 부분의 단면
- ⓒ은 액틴 필라멘트와 마이오신 필라멘트가 함께 있는 부분의 단면이다.

[근육 원섬유 변화]



근육 원섬유의 변화 모식도

	수축	이완
Z선 간격	감소	증가
H대	감소	증가
I대	감소	증가
A대	일정	일정
액틴 필라멘트	일정	일정
마이오신	일정	일정
겹치는 부위	증가	감소

수축과 이완에 따른 길이 변화

팔을 구부렸을 때와 폈을 때 근 수축과 이완에 따라 A대(암대) 길이는 변화가 없지만, I대(명대), H대, Z선과 Z선 사이(근육 원섬유 마디)의 길이는 변한다.

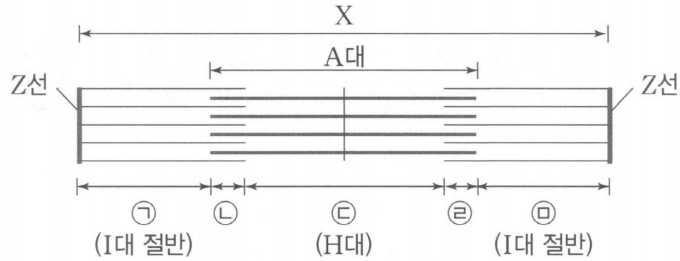
근육의 수축 계산형

근육의 수축 계산형
Schema 1

구조의 이해

문제에서 수학적 계산으로 출제하는 원섬유 마디 모식도의 대표격 구조를 원 문자와 함께 표현하면 아래와 같다.

[근육 원섬유 마디 X]



- ㉠은 I대의 절반
- ㉡은 액틴 필라멘트와 마이오신 필라멘트가 겹치는 부분의 절반이며
- ㉢은 H대(마이오신 필라멘트만 있는 부분)이다.

(X는 좌우 대칭 구조이므로 ㉣과 ㉤은 각각 ㉡과 ㉠으로 바꿔 생각할 수 있다.)

[구간의 대응]

	불변량	변화량
Z선 내 간격		$2㉠+2㉡+㉢$
H대		$㉢$
I대		$2㉠$
A대	$㉢+2㉡ = X - 2㉠$	
액틴 필라멘트	$2㉠+2㉡ = X - ㉢$	
마이오신	$㉢+2㉡ = X - 2㉠$	
겹치는 부위		$2㉡$

[Remark 1] 근육 원섬유 마디를 근절이라고 하며 근절의 길이는 A대+I대, 액틴+H대 등으로 자유자재로 바꿔 생각할 수 있어야 한다.

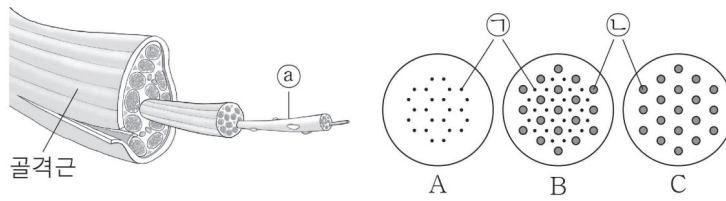
[Remark 2] 각각의 합을 관점 외에 전체에서 여사건으로 바라보는 관점도 항상 생각해두도록 하자. 합이나 차로 관찰하는 관점이 Key가 되는 경우가 많다.

근육의 수축 계산형
Schema 1

구조의 이해

[문제 1]

그림은 골격근의 구조와 이 근육에 포함된 근육 원섬유의 서로 다른 세 지점의 단면 A~C를 나타낸 것이다. ㉠은 근육 원섬유와 근육 섬유 중 하나이고 ㉡과 ㉢은 각각 액틴 필라멘트와 마이오신 필라멘트 중 하나이다.



㉠, ㉡, ㉢은 각각 무엇인가

[정답]

㉠은 근육 섬유, ㉡은 액틴 필라멘트, ㉢은 마이오신 필라멘트

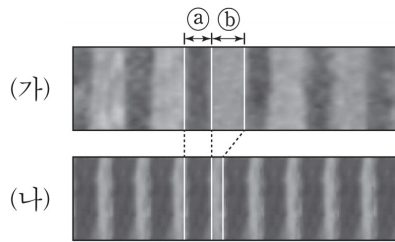
근육의 수축 계산형

근육의 수축 계산형
Schema 1

구조의 이해

[문제 2]

그림은 골격근 수축 과정의 두 시점 (가)와 (나)일 때 관찰된 근육 원섬유를, 표는 (가)와 (나)일 때 ㉠의 길이와 ㉡의 길이를 나타낸 것이다. ㉠과 ㉡는 근육 원섬유에서 각각 어둡게 보이는 부분(암대)과 밝게 보이는 부분(명대)이고, ㉠과 ㉡은 ㉠과 ㉡를 순서 없이 나타낸 것이다.



시점	㉠의 길이	㉡의 길이
(가)	1.6 μ m	1.8 μ m
(나)	1.6 μ m	0.6 μ m

이에 대한 설명으로 옳은 것만을 있는 대로 고르시오.

- ㄱ. (가)일 때 ㉡에 Z선이 있다.
- ㄴ. (나)일 때 ㉠에 액틴 필라멘트가 있다.
- ㄷ. (가)에서 (나)로 될 때 ATP에 저장된 에너지가 사용된다.

[해설 및 정답]

근육 수축 과정에서 A대의 길이는 변하지 않으므로 ㉠은 ㉠이고, A대가 있는 부분이다. ㉡는 ㉡이고, I대가 있는 부분이다.

- ㄱ. (가)일 때 ㉡(㉡, I대가 있는 부분)의 중앙에 Z선이 있다. (○)
- ㄴ. (나)일 때 ㉠(㉠, A대가 있는 부분)에는 액틴 필라멘트와 마이오신 필라멘트가 모두 있다. (○)
- ㄷ. (가)에서 (나)로 골격근이 수축하는 과정에서 액틴 필라멘트가 마이오신 필라멘트 사이로 미끄러져 들어가는데, 이때 ATP가 분해될 때 방출된 에너지가 사용된다. (○)

[정답]

ㄱ, ㄴ, ㄷ

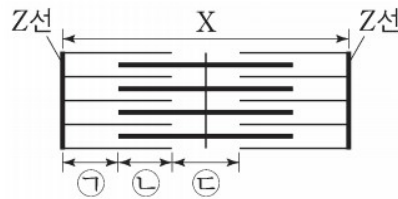
근육의 수축 계산형
Schema 2

화살표 대응

[중요도 ★★★★★]

- 화살표(방향벡터)를 도입해서 각 길이의 변화를 적절히 도식화할 수 있다.
- 화살표는 '변화량'과 '변화 방향', '시점 간 수축 방향성'을 모두 내포할 수 있다.

[기본 형태]



근육 원섬유 마디가 수축할 때

겹치는 부위(G대 = ㉡)는 골격근 마디의 길이가 증가하고
겹치지 않는 부위(㉠, ㉢)는 골격근 마디의 길이가 감소한다.

수축하는 과정을 기준으로

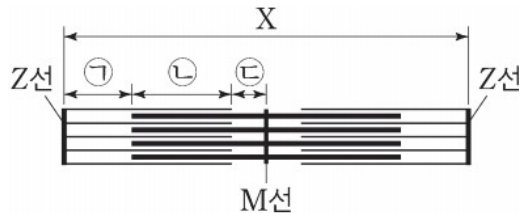
㉠을 ↓, ㉡을 ↑, ㉢을 ↓, X의 길이를 ↓와 같이 나타낼 수 있다.

이는 X의 길이가 2d만큼 감소할 때(수축 시)

㉠, ㉡, ㉢의 길이 변화가 각각 -d, +d, -2d이기 때문이다.

또한 그림이 다음과 같이 기본 형태에서 벗어나게 제시될 수 있다.

[변형된 형태 ①]



변화량의 비만 화살표로 나타낼 수 있으면 되고

㉠과 ㉢의 경우 기본 형태와 동일하므로

㉠을 ↓, ㉡을 ↑, ㉢을 ↓, X의 길이를 ↓에 대응할 수 있다.

[Remark 1] 기본 형태에서 ㉠+㉢의 길이는 화살표가 상쇄되어 수축 이완과 관계없이 불변량으로 나타나는 것을 알 수 있다

[Remark 2] 변형된 형태 ①에서는 ㉠+㉢의 길이 뿐만 아니라 ㉡+㉢의 길이도 불변량으로 나타나는 것을 알 수 있다.

겹치는 부위

생각의 편의를 위해 G대라는 없는 용어를 정의하도록 하자.

변화량

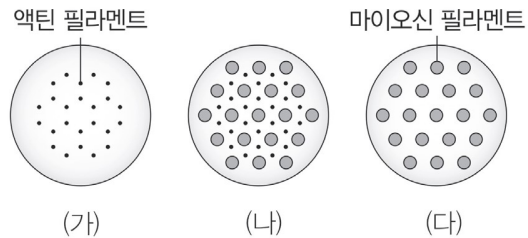
Δ (delta)
표기의 편의상 d라 하자.

근육의 수축 계산형

근육의 수축 계산형
Schema 2

화살표 대응

[변형된 형태 ②]



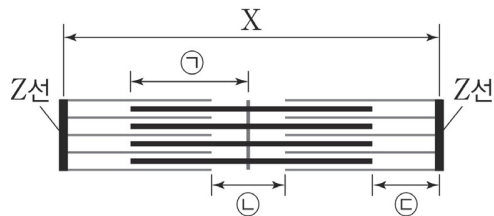
(가)가 관찰되는 구간은 ㉠, (나)가 관찰되는 구간은 ㉡, (다)가 관찰되는 구간은 ㉢이다.

변화량의 비만 화살표로 나타낼 수 있으면 되고

㉢의 경우 기본 형태와 동일하므로

㉠을 ↓, ㉡을 ↑, ㉢을 ↓, X의 길이를 ↓에 대응할 수 있다.

[변형된 형태 ③]



㉠의 경우 A대의 절반이므로 수축, 이완 시 길이 변화가 일어나지 않는다.

그에 따라 ㉠을 -, ㉡을 ↓, ㉢을 ↓, X의 길이를 ↓에 대응할 수 있다.

[Remark 3] 변형된 형태 ②에서는 ㉠+㉡의 길이 뿐만 아니라 ㉡+㉢의 길이도 불변량으로 나타나는 것을 알 수 있다.

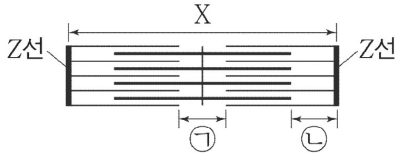
[Remark 4] 변형된 형태 ③에서 ㉡+㉢의 길이의 변화는 ↓↓↓와 같이 나타낼 수 있다.

근육의 수축 계산형
Schema 2

화살표 대응

[문제 3]

그림은 좌우 대칭인 근육 원섬유 마디 X의 구조를, 표는 시점 t_1 과 t_2 일 때 X와 ㉠의 길이를 나타낸 것이다. ㉠은 마이오신 필라멘트만, ㉡은 액틴 필라멘트만 있는 부분이다.



시점	X의 길이	㉠의 길이
t_1	?	$0.4\mu\text{m}$
t_2	$2.0\mu\text{m}$	$0.2\mu\text{m}$

t_1 일 때 X의 길이는?

[해설]

수축할 때를 기준으로 ㉡은 ↓, X의 길이는 ↓↓에 대응된다.

따라서 t_1 에서 t_2 로 갈 때를 기준으로

㉠의 길이가 0.2 감소했으므로 X의 길이는 0.4 감소해야 한다.

따라서 t_1 일 때 X의 길이는 $2.4\mu\text{m}$ 이다.

[정답]

X의 길이는 $2.4\mu\text{m}$ 이다.

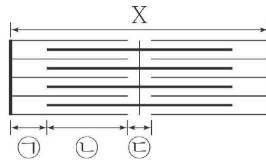
근육의 수축 계산형

근육의 수축 계산형
Schema 2

화살표 대응

[문제 4]

그림은 근육 원섬유 마디 X의 구조를, 표는 두 시점 t_1 과 t_2 에서 X와 (가)~(다)의 길이를 나타낸 것이다. X는 좌우 대칭이며, ㉠은 액틴 필라멘트만 있는 부분, ㉡은 액틴 필라멘트와 마이오신 필라멘트가 겹치는 부분, ㉢은 마이오신 필라멘트만 있는 부분이다. (가)~(다)는 ㉠~㉢을 순서 없이 나타낸 것이다.



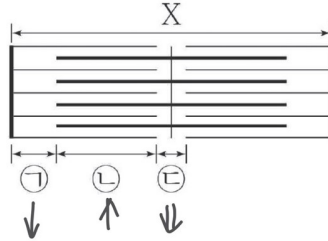
시점	길이(μm)			
	X	(가)	(나)	(다)
t_1	2.8	0.8	0.4	?
t_2	2.2	0.2	0.7	0.3

(가)~(다)와 ㉠~㉢을 대응하십시오

근육의 수축 계산형
Schema 2

화살표 대응

[해설]



수축 시 ㉠, ㉡, ㉢의 길이 변화가 각각 -d, +d, -2d이다.

[수축 방향성]

시점	수축 방향성	길이(μm)			
		X	(가)	(나)	(다)
t_1	↓	2.8	0.8	0.4	?
t_2		2.2	0.2	0.7	0.3

따라서 (다)에는 ↑이 대응되고, (가),(나),(다)는 각각 ㉡, ㉢, ㉠이다.

전체 X의 길이 변화량이 ↓에 대응될 때
㉠, ㉡, ㉢의 길이 변화는 각각 ↓, ↑, ↓에 대응되므로
이에 맞게 표에 대응하면 다음과 같다.

시점	수축 방향성	길이(μm)			
		X	(가)	(나)	(다)
		↓	↓	↓	↑
t_1	↓	2.8	0.8	0.4	0.6
t_2		2.2	0.2	0.7	0.3

[정답]

(가),(나),(다)는 각각 ㉡, ㉢, ㉠이다.