



# 운동학 원리

## 제1장 운동형상학 (Kinematics)

운동형상학은 움직임을 유발하는 힘이나 토크에 대한 고려 없이, 물체의 이동 양상만을 묘사하는 생체역학의 한 분야이다. 여기에는 뼈의 전체적인 움직임을 다루는 뼈운동형상학과 관절면 사이의 미세한 움직임을 연구하는 관절운동형상학이 포함된다.

### 1. 뼈운동형상학 (Osteokinematics)

신체의 주요 면(시상면, 관상면, 수평면)에서 일어나는 뼈의 회전 운동을 설명한다.

- **운동의 자유도**: 관절에서 허용되는 독립적인 가동 방향의 수를 의미한다.
  - **자유도 1**: 경첩관절(팔굽, 손가락뼈사이관절) 및 종쇠관절(노자관절, 고리뒤통수관절)이 해당하며, 굽힘-펴기 혹은 축돌림만 가능하다.
  - **자유도 2**: 타원관절(손목, 무릎)과 안장관절(엄지 손목손허리관절) 등이 포함되며, 두 개의 축을 중심으로 움직임이 일어난다.
  - **자유도 3**: 절구관절(어깨, 엉덩관절)이 대표적이며, 모든 면에서의 회전이 가능하다.
- **운동사슬 (Kinematic Chain)**: 신체 분절들의 연결된 움직임을 정의한다.
  - **열린운동사슬 (OKC)**: 몸쪽 분절이 고정된 상태에서 먼쪽 분절이 자유롭게 움직이는 형태이다(예: 공 던지기, 밥 먹기).
  - **닫힌운동사슬 (CKC)**: 먼쪽 분절이 지면 등에 고정된 상태에서 몸쪽 분절이 움직이는 형태이다(예: 스쿼트, 턱걸이, 팔굽혀펴기).

### 2. 관절운동형상학 (Arthrokinematics)

관절면 사이에서 발생하는 구르기, 미끄러짐, 스피んの 세 가지 기본 움직임을 다룬다.

- **오목-볼록 법칙 (Convex-Concave Rule)**: 관절면의 형태에 따라 움직임의 방향이 결정된다.
    - 오목면에 대한 볼록면의 이동: 구르기와 미끄러짐이 서로 반대 방향으로 발생한다.
    - 볼록면에 대한 오목면의 이동: 구르기와 미끄러짐이 같은 방향으로 일어난다.
-



## 제2장 운동역학 (Kinetics)

운동역학은 신체에 작용하는 힘이 운동에 미치는 효과를 분석하는 학문이다.

### 1. 스트레스-스트레인 곡선 (Stress-Strain Curve)

조직에 가해지는 하중(Stress)과 그에 따른 변형률(Strain)의 관계를 나타내며, 조직의 기계적 특성을 이해하는 데 필수적이다.

영역	특징
탄성 영역 (Elastic Region)	스트레스 제거 시 조직이 <b>본래 길이로 회복</b> 되는 구간이다.
항복점 (Yield Point)	탄성 한계를 넘어 <b>가소성</b> 영역으로 진입하는 <b>경계 지점</b> 이다.
가소성 영역 (Plastic Region)	하중을 제거해도 <b>영구적인 변형</b> 이 남아 원래대로 돌아가지 못한다.
병목 영역 (Necking)	조직이 급격히 약해지며 <b>찢어짐이 시작</b> 되는 구간이다.
최종 파열점 (Ultimate Failure Point)	조직이 <b>완전히 분리</b> 되어 <b>장력</b> 유지 능력을 <b>상실</b> 하는 지점이다.

### 2. 힘(Force)과 토크(Torque)

- **내적인 힘**: 근육 수축에 의한 능동적인 힘과 인대, 관절주머니의 장력에 의한 수동적인 힘으로 구분된다.
- **외적인 힘**: 중력, 외부 저항(덤벨), 치료사의 저항 등 신체 외부에서 가해지는 힘이다.
- **토크**: 관절의 돌림 운동을 유발하는 힘으로, 힘과 모멘트팔(돌림축에서 힘의 작용선까지의 수직 거리)의 곱으로 계산된다.



### 3. 인체의 지레 (Levers)

인체는 골격과 근육을 통해 세 가지 유형의 지레 시스템을 구축하여 효율적으로 움직인다.

지레 유형	구성 요소 순서	특징 및 인체 예시
제1형	힘 - 축 - 무게	균형과 안정성에 유리하다. (예: 목의 편, 한 발 서기 시의 중간볼기근).
제2형	축 - 무게 - 힘	기계적 이득이 1보다 커서 적은 힘으로 큰 무게를 지탱한다. (예: 까치발 들기).
제3형	축 - 힘 - 무게	기계적 이득이 1보다 작아 힘은 많이 들지만 속도와 가동범위에서 이득을 본다. 인체에서 가장 흔한 형태이다. (예: 위팔두갈래근에 의한 팔굽 굽힘).



## 제3장 근육의 구조적 분류

뼈대근육은 근섬유가 긴축에 대해 배열된 방식에 따라 크게 방추근육과 깃근육으로 구분된다. 이러한 형태적 차이는 근육이 발휘할 수 있는 힘의 크기와 가동 범위에 결정적인 영향을 미친다.

### 1. 방추근육 (Fusiform Muscles)

근섬유가 근육의 긴축과 **평행하게 배열**된 형태이다. 근육의 양 끝은 가늘고 중간 부분은 볼록한 모양을 띤다. 위팔두갈래근이 대표적인 예이다.

- **특징:** 근섬유의 길이가 상대적으로 길어 수축 시 더 큰 가동 범위를 확보할 수 있으며, 빠른 수축 속도를 제공하는 데 유리하다.

### 2. 깃근육 (Pennate Muscles)

근섬유가 **힘줄에 대해 비스듬한 각도로 부착**된 형태이다. 깃털 모양과 유사하며, 섬유가 부착되는 방향에 따라 반깃근, 깃근, 못깃근 등으로 세분화된다.

- **특징:** 비스듬한 배열 덕분에 **동일한 부피 내에서 더 많은 수의 근섬유를 포함**할 수 있다. 이는 **생리학적 단면적을 넓혀** 방추근육보다 훨씬 **강력한 힘을 생산**할 수 있게 한다.
-



## 제4장 근육의 기능적 특성 및 수축 원리

근육이 힘을 생성하고 조절하는 방식은 물리적인 길이와 수축 속도, 그리고 신경계의 조절 능력에 의해 결정된다.

### 1. 길이-장력 관계 (Length-Tension Relationship)

근육이 발생시키는 총 장력은 능동적 요소와 수동적 요소의 합으로 결정된다.

- **능동적 장력:** 근절 내의 액틴과 미오신이 교차결합을 형성하며 발생하는 힘이다. 근육이 너무 짧거나 너무 길면 결합 수가 줄어들어 힘이 약해지며, 최적의 길이(안정 길이)에서 최대의 힘을 발휘한다.
- **수동적 장력:** 근육이 한계 이상으로 늘어날 때 근육 내의 결합조직(근막, 인대 등)이 고무줄처럼 저항하며 발생하는 힘이다.

### 2. 힘-속도 관계 (Force-Velocity Relationship)

근육의 수축 속도와 발생 힘 사이의 상관관계를 나타낸다.

- **동심성 수축:** 근육이 짧아지며 힘을 낼 때는 수축 속도가 빠를수록 액틴과 미오신의 재결합 시간이 부족해져 발생 힘이 감소한다.
- **편심성 수축:** 근육이 늘어나면서 힘을 낼 때는 늘어나는 속도가 빠를수록 더 큰 장력이 발생한다. 이는 수동적인 저항 요소가 가미되기 때문이다.

### 3. 능동불충분과 수동불충분

다관절 근육(두 개 이상의 관절을 지나는 근육)에서 주로 나타나는 현상이다.

- **능동불충분 (Active Insufficiency):** 근육이 이미 너무 짧아져서 더 이상 유효한 수축 힘을 발휘하지 못하는 상태를 말한다. 예를 들어, 무릎을 완전히 굽힌 상태에서 발목을 발바닥 쪽으로 굽히려고 할 때 장딴지근의 힘이 약해지는 현상이다.
  - **수동불충분 (Passive Insufficiency):** 길항근이 최대한 늘어나서 더 이상의 관절 가동범위를 허용하지 않는 상태이다. 예를 들어, 무릎을 편 상태에서는 뒤넙다리근의 긴장 때문에 엉덩관절을 충분히 굽히기 어려운 현상이 해당한다.
-



## 제5장 근육 활성화 방식 및 조절

### 1. 수축의 형태

근육은 상황에 따라 세 가지 방식으로 활성화되어 신체를 조절한다.

- **등척성 활성화:** 근육의 길이에 변화가 없으며, 외부 부하와 내부 힘이 평형을 이루어 관절을 고정하거나 안정화한다.
- **동심성 활성화:** 내부 토크가 외부 토크를 압도하여 근육이 짧아지며 움직임을 가속한다.
- **편심성 활성화:** 외부 토크에 의해 근육이 서서히 길어지며, 주로 움직임을 감속하거나 충격을 흡수하고 조절하는 역할을 한다.

### 2. 근육의 역할에 따른 분류

- **주동근:** 특정 움직임을 일으키는 데 가장 직접적으로 관여하는 근육이다.
  - **길항근:** 주동근과 반대되는 작용을 하는 근육으로, 움직임을 조절하거나 제어한다.
  - **협력근:** 주동근을 도와 원활한 움직임이 일어나도록 보조하는 근육이다.
-



# 어깨, 팔

## 제1장 어깨복합체의 구조와 관절 (Shoulder Complex Joints)

어깨복합체는 독립적인 하나의 관절이 아니라, 네 개의 주요 관절이 상호작용하며 기능하는 복합적인 구조이다.

관절 명칭	약어	특징 및 기능
복장빗장관절	SC Joint	빗장뼈와 복장뼈가 만나는 부위로, 몸통 뼈대와 팔을 연결하는 유일한 관절이다.
봉우리빗장관절	AC Joint	어깨봉우리와 빗장뼈의 먼쪽 끝이 연결되며, 어깨가슴관절의 미세한 조절을 담당한다.
오목위팔관절	GH Joint	전형적인 절구관절로, 신체에서 가장 가동범위가 넓지만 탈구 위험이 높다.
어깨가슴관절	ST Joint	해부학적인 관절은 아니나, 어깨뼈와 가슴벽 사이의 미끄러짐을 통해 큰 가동성을 제공한다.

### 1. 복장빗장관절 (Sternoclavicular Joint)

이 관절은 안장관절의 형태를 띠며, 올림과 내림, 내밈과 들임, 그리고 축돌림의 세 가지 자유도를 가진다. 특히 팔을 머리 위로 올릴 때 빗장뼈는 뒤쪽으로 회전하며 어깨의 전체적인 가동 범위를 확보한다.

### 2. 봉우리빗장관절 (Acromioclavicular Joint)

어깨뼈의 봉우리와 빗장뼈 사이의 연결 부위로, 관절주머니인대와 부리빗장인대에 의해 강력하게 지지된다. 주로 어깨뼈가 가슴벽의 곡면을 따라 잘 밀착될 수 있도록 미세하게 조정하는 역할을 수행한다.

### 3. 어깨가슴관절 (Scapulothoracic Joint)

어깨뼈가 등뼈와 갈비뼈 위에서 움직이는 기능적 단위이다. 주요 움직임으로는 올림, 내림, 내밈, 들임, 위쪽돌림, 아래쪽돌림이 있으며, 이는 SC 관절과 AC 관절의 협동 작용 결과물이다.



## 제2장 어깨의 운동형상학 (Kinematics)

### 1. 어깨위팔리듬 (Scapulohumeral Rhythm)

어깨를 벌릴 때 오목위팔관절과 어깨가슴관절은 일정한 비율로 동시에 움직인다. 일반적으로 전체 180도의 벌림 중 GH 관절에서 약 120도, ST 관절에서 약 60도의 움직임이 발생하며, 이를 2:1의 리듬이라고 한다. 이 리듬은 근육의 효율적인 길이-장력 관계를 유지하고, 위팔뼈 머리와 어깨봉우리 사이의 충돌을 방지하는 데 필수적이다.

### 2. 관절운동형상학적 특성

GH 관절에서 위팔뼈 머리가 오목위팔오목 위에서 구를 때, 동시에 반대 방향으로 미끄러짐이 발생한다.

- 벌림 시: 위팔뼈 머리는 위쪽으로 구르고 아래쪽으로 미끄러진다.
- 굽힘 및 폼: 주로 스핀(Spin) 운동이 우세하게 일어난다.

---

## 제3장 어깨의 근육 역학 및 짝힘 (Muscle Mechanics and Force Couples)

어깨의 안정성과 움직임은 여러 근육의 협동 작용에 의해 결정된다.

### 1. 어깨뼈의 위쪽돌림 짝힘 (Force Couple for Upward Rotation)

팔을 들어 올릴 때 어깨뼈를 위쪽으로 돌리기 위해 세 가지 근육이 서로 다른 방향에서 힘을 가한다.

- 앞톱니근: 어깨뼈를 가슴벽에 밀착시키며 가쪽으로 당긴다.
- 위등세모근: 어깨뼈의 봉우리 부위를 위로 들어 올린다.
- 아래등세모근: 어깨뼈의 가시 안쪽 부분을 아래로 당겨 회전축을 형성한다.

### 2. 회전근개 (Rotator Cuff)의 기능

회전근개는 가시위근, 어깨밑근, 작은원근, 가시아래근으로 구성된다. 이들은 위팔뼈 머리를 오목위팔오목 방향으로 강력하게 압착하여 관절의 동적 안정성을 제공한다. 특히 팔을 올릴 때 위팔뼈 머리가 위로 치솟아 충돌이 일어나는 것을 막기 위해 아래쪽으로 당겨주는 역학적 기능을 수행한다.

---





## 제4장 임상적 고려사항 및 약증 (Weakness and Pathologies)

### 1. 앞톱니근 약화와 날개어깨뼈 (Winging Scapula)

앞톱니근을 지배하는 긴가슴신경이 손상되거나 근육 자체가 약해지면 어깨뼈의 안쪽 모서리가 가슴벽에서 떠오르는 날개어깨뼈 현상이 나타난다. 이는 어깨의 안정성을 크게 저해하며 팔을 머리 위로 들어 올리는 동작을 불가능하게 만든다.

### 2. 충돌증후군 (Impingement Syndrome)

어깨봉우리 아래 공간이 좁아지면서 가시위근 힘줄이나 점액낭이 압박받는 상태이다. 어깨위팔리듬이 깨지거나 회전근개의 조절 능력이 상실되었을 때 주로 발생하며, 팔을 60도에서 120도 사이로 벌릴 때 심한 통증이 나타나는 것이 특징이다.

### 3. 어깨 근육의 작용과 보조적 역할

근육 구분	주요 근육	기능적 기여
어깨뼈 올림근	어깨올림근, 위등세모근, 마름근	어깨의 수직 거상을 담당하며 자세 유지에 관여한다.
어깨뼈 내밀근	앞톱니근	푸쉬업 플러스와 같이 어깨뼈를 앞으로 밀어내는 동작을 주도한다.
팔 벌림근	가시위근, 어깨세모근	GH 관절에서 팔을 가쪽으로 들어 올리는 역할을 수행한다.



## 제5장 팔꿈관절 (Elbow Joint)

팔꿈관절은 위팔뼈와 자뼈, 노뼈가 만나 형성되는 관절로, 전형적인 경첩관절의 특성을 가진다.

### 1. 구조적 특징

- **위팔자관절 (Humero-ulnar Joint):** 위팔뼈의 도르래와 자뼈의 도르래패임이 맞물리는 지점으로, 팔꿈관절의 주된 안정성을 담당한다.
- **위팔노관절 (Humero-radial Joint):** 위팔뼈의 작은머리와 노뼈머리가 만나는 지점이다.

### 2. 뼈운동형상학

- **운동 범위:** 굽힘과 펴의 자유도 1을 가지며, 시상면에서 운동이 일어난다.
- **운반각 (Carrying Angle):** 해부학적 자세에서 위팔의 긴축과 아래팔의 긴축이 이루는 가쪽 각도를 말한다. 남성은 약 5~10도, 여성은 약 10~15도 정도의 가쪽외반을 보이는 것이 정상이다.

### 3. 관절운동형상학

- **굽힘 시:** 오목한 자뼈의 도르래패임이 볼록한 위팔뼈 도르래 위에서 앞쪽으로 구르며 미끄러진다.
- **펴 시:** 자뼈가 위팔뼈 위에서 뒤쪽으로 구르며 미끄러진다.

---

## 제6장 아래팔 복합체 (Forearm Complex)

아래팔은 노자관절을 통해 손바닥을 위로 향하게 하거나(뒤침) 아래로 향하게 하는(앞침) 기능을 수행한다.

### 1. 노자관절 (Radio-ulnar Joint)

몸쪽 노자관절과 먼쪽 노자관절로 구성되며, 두 관절은 기계적으로 연결되어 동시에 움직인다.

- **몸쪽 노자관절:** 노뼈머리가 자뼈의 노패임 안에서 회전하는 종쇠관절이다.
- **먼쪽 노자관절:** 노뼈의 자패임이 자뼈머리 위를 구르며 움직인다.

### 2. 뒤침(Supination)과 앞침(Pronation)

- **뒤침:** 노뼈와 자뼈가 평행하게 놓이는 상태이다. 먼쪽 노자관절에서 노뼈가 자뼈 위를 가쪽으로 구르고 미끄러진다.
- **앞침:** 노뼈가 자뼈 위를 가로질러 교차되는 상태이다. 뒤침과 반대로 안쪽 방향의 움직임이 일어난다.



## 제7장 역학 및 임상적 고려사항

### 1. 팔꿈관절의 굽힘근과 펴근

- **굽힘근:** 위팔두갈래근, 위팔근, 위팔노근이 주동근 역할을 한다. 특히 위팔근은 아래팔의 위치(뒤침/앞침)와 상관없이 가장 큰 굽힘력을 발휘하여 '일꾼 근육'이라 불린다.
- **펴근:** 위팔세갈래근과 팔꿈치근이 담당한다. 위팔세갈래근은 긴갈래, 가쪽갈래, 안쪽갈래로 나뉘며, 긴갈래는 어깨관절의 펴에도 관여하는 다관절 근육이다.

### 2. 아래팔의 돌림 근육

- **뒤침근:** 위팔두갈래근과 뒤침근이 작용한다. 특히 위팔두갈래근은 팔꿈관절이 약 90도 굽힘된 상태에서 가장 강력한 뒤침 토크를 발생시킨다.
- **앞침근:** 원앞침근과 네모앞침근이 담당한다. 네모앞침근은 먼쪽 노자관절을 가로지르며 모든 앞침 범위에서 일정한 힘을 유지한다.

### 3. 임상적 특징 및 약증

- **가쪽위관절염기염 (Tennis Elbow):** 손목 펴근육들의 공통 힘줄 부위에 과부하가 걸려 염증과 통증이 발생하는 질환이다.
- **안쪽위관절염기염 (Golfer's Elbow):** 손목 굽힘근육들과 원앞침근의 기시부에 발생하는 과사용 증후군이다.
- **노뼈머리 탈구 (Pulled Elbow):** 어린아이들에게 흔히 나타나며, 갑자기 팔을 잡아당길 때 노뼈머리가 고리인대 밖으로 빠져나오는 현상이다.

---

## 제8장 팔꿈관절 (Elbow Joint)

팔꿈관절은 위팔뼈와 자뼈, 노뼈가 만나 형성되는 관절로, 전형적인 경첩관절의 특성을 가진다.

### 1. 구조적 특징

- **위팔자관절 (Humero-ulnar Joint):** 위팔뼈의 도르래와 자뼈의 도르래패임이 맞물리는 지점으로, 팔꿈관절의 주된 안정성을 담당한다.
- **위팔노관절 (Humero-radial Joint):** 위팔뼈의 작은머리와 노뼈머리가 만나는 지점이다.

### 2. 뼈운동형상학

- **운동 범위:** 굽힘과 펴의 자유도 1을 가지며, 시상면에서 운동이 일어난다.
- **운반각 (Carrying Angle):** 해부학적 자세에서 위팔의 긴축과 아래팔의 긴축이 이루는 가쪽 각도를 말한다. 남성은 약 5~10도, 여성은 약 10~15도 정도의 가쪽외반을 보이는 것이 정상이다.

### 3. 관절운동형상학

- **굽힘 시:** 오목한 자뼈의 도르래패임이 볼록한 위팔뼈 도르래 위에서 앞쪽으로 구르며 미끄러진다.
  - **펴 시:** 자뼈가 위팔뼈 위에서 뒤쪽으로 구르며 미끄러진다.
-



## 제9장 아래팔 복합체 (Forearm Complex)

아래팔은 노자관절을 통해 손바닥을 위로 향하게 하거나(뒤침) 아래로 향하게 하는(앞침) 기능을 수행한다.

### 1. 노자관절 (Radio-ulnar Joint)

몸쪽 노자관절과 먼쪽 노자관절로 구성되며, 두 관절은 기계적으로 연결되어 동시에 움직인다.

- **몸쪽 노자관절:** 노뼈머리가 자뼈의 노패임 안에서 회전하는 중쇠관절이다.
- **먼쪽 노자관절:** 노뼈의 자패임이 자뼈머리 위를 구르며 움직인다.

### 2. 뒤침(Supination)과 앞침(Pronation)

- **뒤침:** 노뼈와 자뼈가 평행하게 놓이는 상태이다. 먼쪽 노자관절에서 노뼈가 자뼈 위를 가쪽으로 구르고 미끄러진다.
- **앞침:** 노뼈가 자뼈 위를 가로질러 교차되는 상태이다. 뒤침과 반대로 안쪽 방향의 움직임이 일어난다.

## 제10장 근육 역학 및 임상적 고려사항

### 1. 팔꿈관절의 굽힘근과 펴근

- **굽힘근:** 위팔두갈래근, 위팔근, 위팔노근이 주동근 역할을 한다. 특히 위팔근은 아래팔의 위치(뒤침/앞침)와 상관없이 가장 큰 굽힘력을 발휘하여 '일꾼 근육'이라 불린다.
- **펴근:** 위팔세갈래근과 팔꿈치근이 담당한다. 위팔세갈래근은 긴갈래, 가쪽갈래, 안쪽갈래로 나뉘며, 긴갈래는 어깨관절의 펴에도 관여하는 다관절 근육이다.

### 2. 아래팔의 돌림 근육

- **뒤침근:** 위팔두갈래근과 뒤침근이 작용한다. 특히 위팔두갈래근은 팔꿈관절이 약 90도 굽힘된 상태에서 가장 강력한 뒤침 토크를 발생시킨다.
- **앞침근:** 원앞침근과 네모앞침근이 담당한다. 네모앞침근은 먼쪽 노자관절을 가로지르며 모든 앞침 범위에서 일정한 힘을 유지한다.

### 3. 임상적 특징 및 약증

- **가쪽위관절염기염 (Tennis Elbow):** 손목 펴근육들의 공통 힘줄 부위에 과부하가 걸려 염증과 통증이 발생하는 질환이다.
  - **안쪽위관절염기염 (Golfer's Elbow):** 손목 굽힘근육들과 원앞침근의 기시부에 발생하는 과사용 증후군이다.
  - **노뼈머리 탈구 (Pulled Elbow):** 어린아이들에게 흔히 나타나며, 갑자기 팔을 잡아당길 때 노뼈머리가 고리인대 밖으로 빠져나오는 현상이다.
-



## 제11장 손목관절 (Wrist Joint)

손목은 여러 개의 작은 손목뼈들이 복합적인 관절면을 형성하여 가동성을 제공한다.

### 1. 구조적 특징

- **노손목관절 (Radiocarpal Joint):** 노뼈의 먼쪽 오목면과 몸쪽 손목뼈 열(손배뼈, 반달뼈, 세모뼈) 사이의 관절이다.
- **손목중간관절 (Midcarpal Joint):** 몸쪽 손목뼈 열과 먼쪽 손목뼈 열 사이의 관절이다.
- **손목뼈 (Carpal Bones):** 손배뼈, 반달뼈, 세모뼈, 콩알뼈(몸쪽 열)와 알머리뼈, 갈고리뼈, 큰마름뼈, 작은마름뼈(먼쪽 열)로 구성된다.

### 2. 뼈운동형상학 및 관절운동형상학

- **운동 범위:** 굽힘과 펴(시상면), 노쪽치우침과 자쪽치우침(관상면)의 자유도 2를 가진다.
- **관절면의 움직임:** 손목의 굽힘과 펴는 주로 노손목관절과 손목중간관절의 결합된 움직임으로 나타난다. 노손목관절에서 볼록한 손목뼈들이 오목한 노뼈면 위에서 구를 때, 미끄러짐은 구르기의 반대 방향으로 발생한다.

---

## 제12장 손과 손가락 (Hand and Fingers)

손은 물건을 잡고 조작하기 위한 여러 개의 아치 구조와 관절 시스템을 갖추고 있다.

### 1. 손목손허리관절 (CMC Joint)

- **엄지손가락:** 안장관절 형태로, 굽힘-펴, 벌림-모음, 대립(맞섬) 운동이 가능하다. 대립은 벌림, 굽힘, 안쪽돌림이 결합된 복합적인 움직임이다.
- **나머지 손가락:** 제2~3지는 거의 움직임이 없어 손의 안정된 중앙 기둥 역할을 하며, 제4~5지는 가동성이 있어 물건을 감싸 칠 때 유연성을 제공한다.

### 2. 손허리손가락관절 (MCP Joint) 및 손가락뼈사이관절 (IP Joint)

- **MCP 관절:** 타원관절로 굽힘-펴, 벌림-모음이 가능하다.
  - **IP 관절:** 경첩관절로 굽힘과 펴만 허용된다.
-



## 제13장 근육 역학 및 기능적 동작

### 1. 쥐기 (Grip)와 파악 (Prehension)

손의 기능은 크게 강력한 힘을 사용하는 '힘찬 쥐기'와 정교한 조작을 위한 '정밀 파악'으로 나뉜다.

- **힘찬 쥐기 (Power Grip):** 원통형 쥐기, 구형 쥐기, 갈고리 쥐기 등이 있으며 주로 자쪽 손가락들이 강하게 관여한다.
- **정밀 파악 (Precision Pinch):** 끝대끝 파악, 집게 파악 등이 있으며 엄지와 집게손가락의 조절이 핵심이다.

### 2. 손목 펴근의 중요성

강력한 쥐기를 수행할 때 손목 펴근(긴노쪽손목펴근, 짧은노쪽손목펴근 등)은 매우 중요한 역할을 한다. 손목을 약간 펴시킨 상태(약 30도)로 유지해야 손가락 굽힘근들이 최적의 길이-장력 관계를 가져 최대의 쥐기 힘을 발휘할 수 있기 때문이다. 손목 펴근이 마비되면 '낙수(Wrist Drop)' 현상이 나타나며 쥐기 능력이 현저히 감소한다.

### 3. 임상적 고려사항 및 약증

- **손목터널증후군 (Carpal Tunnel Syndrome):** 가로손목인대 아래의 통로가 좁아져 정중신경이 압박받는 질환으로, 엄지와 검지 부위의 감각 이상과 엄지두덩근의 약화를 초래한다.
  - **자쪽치우침 (Ulnar Drift):** 류마티스 관절염 등에서 흔히 나타나며, MCP 관절 부위에서 손가락들이 자쪽 방향으로 변형되는 현상이다.
  - **수동불충분에 의한 변형:** 손가락 펴근이 과도하게 팽팽해지면 손목을 굽힐 때 손가락이 저절로 펴지게 되며, 반대로 굽힘근의 긴장은 손목을 펼 때 손가락이 저절로 굽혀지는 '힘줄고정 효과(Tenodesis effect)'를 만든다.
-



# 척주

## 제1장 척추의 구조적 특성

척추는 총 33개의 척추뼈로 구성되며, 각 부위별로 고유한 형태와 기능을 가진다.

### 1. 척추의 구성 요소

- **앞쪽 기둥(Anterior Pillar):** 척추뼈몸통과 척추사이원반(디스크)으로 구성된다. 체중의 대부분을 지지하며 충격을 완화하는 유압 장치 역할을 한다.
- **뒤쪽 기둥(Posterior Pillar):** 척추뼈고리, 관절돌기, 후관절로 이루어져 있다. 주로 움직임을 조절하고 가이드하는 기능을 하며, 활주 운동을 통해 굽힘과 돌림을 가능하게 한다.

### 2. 척추의 만곡 (Spinal Curvatures)

척추는 측면에서 보았을 때 고유한 만곡을 그리며 역학적 효율성을 높인다.

- **일차 만곡 (후만, Kyphosis):** 태생기부터 존재하는 만곡으로, 등뼈와 엉치뼈 부위가 뒤쪽으로 볼록한 형태를 띤다.
- **이차 만곡 (전만, Lordosis):** 출생 후 머리를 들고 걷기 시작하며 형성되는 만곡으로, 목뼈와 허리뼈 부위가 앞으로 볼록한 형태를 띤다.

---

## 제2장 척추의 운동학 (Kinematics)

척추의 움직임은 인접한 척추뼈 사이의 미세한 움직임이 합쳐져 큰 가동범위를 만들어낸다.

### 1. 뼈운동형상학

척추는 세 가지 면에서 모두 움직임이 일어난다.

- **굽힘과 펴:** 시상면에서 발생하며, 목뼈와 허리뼈에서 가장 큰 가동 범위를 보인다.
- **가쪽굽힘:** 관상면에서 발생하며, 등뼈 부위는 갈비뼈에 의해 제한을 받는다.
- **축돌림:** 수평면에서 발생하며, 고리중쇠관절(C1-C2)에서 목 전체 돌림의 약 50%가 일어난다.

### 2. 척추 짝운동 (Coupled Motion)

척추는 한 면에서의 움직임이 발생할 때 다른 면에서의 움직임이 불수의적으로 동반되는 특성이 있다. 이를 짝운동이라 하며, 부위별로 차이가 있다.

- **Type I (반대 방향):** 가쪽굽힘과 돌림이 서로 반대 방향으로 일어난다. (예: C0-C1 관절, 중립 상태의 등허리뼈)
  - **Type II (같은 방향):** 가쪽굽힘과 돌림이 같은 방향으로 발생한다. (예: C2-C7 하부 목뼈)
-



### 제3장 척추의 역학적 안정성 및 근육

#### 1. 수동적 및 능동적 안정화 시스템

- **수동적 요소:** 척추뼈, 관절주머니, 그리고 앞세로인대, 뒤세로인대, 황색인대 등의 인대 조직이 한계 범위에서의 안정성을 제공한다.
- **능동적 요소:** 척추 세움근, 가로돌기가시근육군(반가시근, 못갈래근, 돌림근)이 수축을 통해 척추의 분절 간 안정성을 유지한다. 특히 못갈래근(Multifidus)은 척추의 미세한 분절 조절에 핵심적인 역할을 한다.

#### 2. 척추사이원반(Intervertebral Disc)의 역학

원반은 섬유테와 속질핵으로 구성되어 부하를 분산시킨다.

- **압축 부하:** 수직 하중이 가해지면 속질핵의 압력이 상승하고, 이 압력이 섬유테로 전달되어 장력으로 전환됨으로써 하중을 지탱한다.
- **굽힘 시 변화:** 허리를 굽히면 속질핵은 뒤쪽으로 밀려나며, 뒤쪽 섬유테에 인장 스트레스가 가해진다.

### 제4장 호흡과 몸통뼈대 (Ventilation)

몸통뼈대의 갈비뼈와 등뼈는 호흡 작용을 위한 가슴속 용적 변화의 중심이다.

- **보일의 법칙(Boyle's law):** 압력은 부피에 반비례한다. 가슴안의 부피가 커지면 내부 압력이 낮아져 외부 공기가 폐로 유입된다(들숨).
- **호흡 근육의 작용:**
  - **들숨:** 가로막이 아래로 내려가고 바깥갈비사이근이 갈비뼈를 올리며 가슴안 용적을 확장한다.
  - **날숨:** 평상시에는 근육의 이완과 조직의 탄성 반동에 의해 수동적으로 일어나며, 강한 날숨 시에는 배근육과 속갈비사이근이 작용한다.

호흡 단계	주요 작용	가슴안 압력 변화
들숨 (Inspiration)	가로막 하강, 갈비뼈 올림	대기압보다 낮아짐 (음압 형성)
날숨 (Expiration)	가로막 상승, 탄성 반동	대기압보다 높아짐





# 골반, 다리

## 제1장 골반과 엉덩관절의 구조 (Structure)

### 1. 골반의 구성

골반은 두 개의 볼기뼈와 엉치뼈, 꼬리뼈가 만나 형성된다. 볼기뼈는 다시 이음뼈인 엉덩뼈, 궁둥뼈, 두덩뼈가 성인이 되면서 하나로 합쳐진 구조이다.

- **관절구 (Acetabulum):** 볼기뼈의 가쪽에 위치한 오목한 부위로, 위팔뼈 머리와 유사하게 생긴 볼록한 넓다리뼈 머리와 만나 관절을 형성한다.
- **골반기울임 (Pelvic Tilt):** 골반의 위치는 척추와 하지의 정렬에 직접적인 영향을 미친다.
  - **앞굽힘 (Anterior Tilt):** 골반이 앞으로 기울며 허리뼈의 전만을 증가시킨다.
  - **뒤굽힘 (Posterior Tilt):** 골반이 뒤로 기울며 허리뼈의 만곡을 편평하게 만든다.

### 2. 엉덩관절의 해부학적 특성

- **안정성:** 어깨관절과 달리 절구의 깊이가 깊고, 관절순(Labrum)이 머리를 깊게 감싸고 있어 매우 안정적이다.
- **인대 구조:** 엉덩넓다리인대(Y-인대), 궁둥넓다리인대, 두덩넓다리인대가 관절을 나선형으로 감싸고 있어 엉덩관절을 펼 때 가장 팽팽해지며 안정성을 높인다.

---

## 제2장 엉덩관절의 운동형상학 (Kinematics)

### 1. 뼈운동형상학

엉덩관절은 자유도 3의 움직임을 가진다.

- **굽힘과 펴:** 시상면에서 일어나며, 무릎을 굽힌 상태에서 엉덩관절 굽힘 범위가 더 크다(뒤넓다리근의 장력 완화 덕분).
- **벌림과 모음:** 관상면에서 발생한다.
- **안쪽돌림과 가쪽돌림:** 수평면에서 넓다리뼈의 장축을 중심으로 회전한다.

### 2. 관절운동형상학 (오목-볼록 법칙)

- **넓다리뼈의 움직임:** 볼록한 넓다리뼈 머리가 오목한 관절구 내에서 움직이므로, 구르기와 미끄러짐은 반대 방향으로 일어난다.
  - 예: 넓다리뼈 벌림 시, 머리는 위로 구르고 아래로 미끄러진다.



## 제3장 엉덩관절의 역학적 특징 및 근육

### 1. 엉덩관절 벌림근의 짝힘 및 안정성

엉덩관절 벌림근(특히 중간볼기근)은 한 발 서거나 보행 시 골반의 수평을 유지하는 데 결정적인 역할을 한다.

- **기계적 이득:** 벌림근은 모멘트팔이 짧기 때문에 체중을 지탱하기 위해 체중의 약 2~3배에 달하는 강력한 수축력을 발휘해야 한다.

### 2. 엉덩관절 굽힘근과 허리뼈의 관계

엉덩관절 굽힘근(엉덩허리근)이 짧아지거나 과도하게 긴장하면 골반을 앞으로 잡아당겨 허리뼈의 전만을 심화시키고 통증을 유발할 수 있다.

---

## 제4장 임상적 고려사항 및 약증

### 1. 트렌델렌버그 징후 (Trendelenburg Sign)

엉덩관절 벌림근(중간볼기근)이 약화되었을 때 나타나는 특징적인 보행 양상이다.

- **비보상적 반응:** 약한 쪽 다리로 지지할 때, 반대쪽 골반이 아래로 처지는 현상이다.
- **보상적 반응:** 중력선을 약한 쪽 엉덩관절 돌림축에 가깝게 위치시키기 위해 몸통을 약한 쪽으로 기울이며 걷는다.

### 2. 넓다리뼈의 경사각 (Angle of Inclination)

넓다리뼈 목과 몸통이 이루는 각도로, 정상 성인은 약 125도이다.

- **외반고 (Coxa Valga):** 각도가 125도보다 큰 경우로, 다리가 길어 보이지만 관절의 탈구 위험이 높아진다.
- **내반고 (Coxa Vara):** 각도가 125도보다 작은 경우로, 벌림근의 모멘트팔은 증가하지만 넓다리뼈 목에 가해지는 전단력이 커져 골절 위험이 증가한다.

### 3. 뒤넓다리근(Hamstring)의 수동불충분

무릎을 편 상태에서 엉덩관절을 굽힐 때, 뒤넓다리근의 길이가 한계에 도달하여 엉덩관절 굽힘 범위를 제한하는 현상이 전형적인 수동불충분의 예이다.

### 2. 엉덩관절의 해부학적 특성

- **안정성:** 어깨관절과 달리 절구의 깊이가 깊고, 관절순(Labrum)이 머리를 깊게 감싸고 있어 매우 안정적이다.
  - **인대 구조:** 엉덩넓다리인대(Y-인대), 궁둥넓다리인대, 두덩넓다리인대가 관절을 나선형으로 감싸고 있어 엉덩관절을 펼 때 가장 팽팽해지며 안정성을 높인다.
-



## 제5장 발목과 발의 관절 구조

발목과 발은 여러 개의 관절이 복합적으로 작용하여 삼차원적인 움직임을 만들어낸다.

### 1. 주요 관절 구성

- **발목관절 (목말종아리관절, Talocrural Joint):** 정강뼈, 종아리뼈, 목말뼈가 만나 형성되는 경첩관절로, 주로 발등굽힘과 발바닥굽힘을 담당한다.
- **거골하관절 (목말밑관절, Subtalar Joint):** 목말뼈와 발꿈치뼈 사이의 관절로, 안쪽돌림(Inversion)과 가쪽돌림(Eversion)의 주된 축이 된다.
- **가로발목관절 (Transverse Tarsal Joint):** 발의 앞부분과 뒷부분을 연결하며, 지면의 형태에 발이 적응할 수 있도록 돕는다.

### 2. 발의 아치 (Arches of the Foot)

발은 체중 분산과 충격 흡수를 위해 세 개의 아치 구조를 유지한다.

- **안쪽세로아치:** 가장 높고 유연하며, 발바닥근막과 뒤정강근 등에 의해 지지된다.
- **가쪽세로아치:** 상대적으로 낮고 견고하여 체중 지지에 기여한다.
- **가로아치:** 발의 종족골 부위를 가로질러 형성된다.

---

## 제6장 발목의 운동형상학 (Kinematics)

### 1. 뼈운동형상학

발목의 움직임은 용어상 혼용되기도 하나, 생체역학적으로는 다음과 같이 정의된다.

- **발등굽힘 (Dorsiflexion):** 발등이 정강이 쪽으로 가까워지는 동작이다.
- **발바닥굽힘 (Plantarflexion):** 발바닥 방향으로 발을 내리는 동작이다.
- **안쪽돌림 (Inversion):** 발바닥이 안쪽(정중면)을 향하게 회전하는 동작이다.
- **가쪽돌림 (Eversion):** 발바닥이 가쪽을 향하게 회전하는 동작이다.
- **엮침 (Pronation)과 뒤침 (Supination):** 위 동작들이 복합적으로 일어나는 삼차원적 운동이다. 엮침은 가쪽돌림, 벌림, 발등굽힘의 결합이며, 뒤침은 안쪽돌림, 모음, 발바닥굽힘의 결합이다.

### 2. 관절운동형상학

- **발등굽힘 시:** 볼록한 목말뼈 머리가 오목한 정강-종아리 소켓 안에서 앞쪽으로 구르고 뒤쪽으로 미끄러진다.
  - **발바닥굽힘 시:** 목말뼈가 뒤쪽으로 구르고 앞쪽으로 미끄러진다.
-



## 제7장 근육의 기능과 역학

발목 주변 근육은 위치에 따라 네 개의 칸(Compartment)으로 나뉘어 작용한다.

근육군	주요 근육	주요 작용
앞칸 근육	앞정강근, 긴엄지펴짐근	발등굽힘을 주도하며, 보행 시 발이 지면에 끌리지 않게 한다.
뒤칸 근육 (심층)	뒤정강근, 긴굽힘근군	안쪽세로아치를 지지하고 발바닥굽힘을 보조한다.
뒤칸 근육 (표층)	장딴지근, 가자미근	강력한 발바닥굽힘을 통해 보행 시 추진력을 제공한다.
가쪽칸 근육	긴종아리근, 짧은종아리근	가쪽들림을 유발하고 발의 가로 안정성을 유지한다.

### 1. 장딴지근과 가자미근의 차이

- **장딴지근**: 무릎과 발목을 모두 지나는 이관절 근육으로, 무릎을 편 상태에서 최대의 힘을 발휘한다.
  - **가자미근**: 발목만 지나는 일관절 근육이다. 무릎을 굽힌 상태에서는 장딴지근의 활성이 낮아지므로 가자미근을 단독으로 강화하거나 신장시킬 수 있다.
-



## 제8장 임상적 고려사항 및 약증

### 1. 편평발 (Pes Planus)

안쪽세로아치가 비정상적으로 낮아진 상태이다.

- **강직성 편평발:** 체중 지지와 상관없이 항상 아치가 낮으며, 뼈의 구조적 문제인 경우가 많다.
- **유연성 편평발:** 체중을 지지할 때만 아치가 내려앉는 상태로, 근육의 약화나 인대의 과신장이 원인이 된다. 뒤정강근의 약화는 이를 심화시키는 주요 요인이다.

### 2. 발목 염좌 (Ankle Sprain)

주로 발이 안쪽으로 꺾이면서(과도한 안쪽들림) 가쪽 측부인대(특히 앞목말종아리인대)가 손상되는 경우가 흔하다. 짧은종아리근의 약화는 이러한 안쪽들림을 조절하지 못해 반복적인 발목 뻘을 초래할 수 있다.

### 3. 무지외반증 (엄지발가락가쪽 휨증, Hallux Valgus)

엄지발가락이 가쪽으로 치우치고 제1중족골이 안쪽으로 돌출되는 변형이다. 신발의 형태나 유전적 요인, 발의 기능적 이상 등이 복합적으로 작용한다.

발목과 발의 건강은 신체 전체의 정렬과 보행 효율성에 직결되므로, 아치의 유지와 주변 근육의 균형 잡힌 근력이 필수적이다.

---



# 머리, 가슴우리

## 제1장 턱관절 (Temporomandibular Joint, TMJ)

턱관절은 아래턱뼈의 관절융기와 관자뼈의 턱오목 사이에서 형성되며, 그 사이에 섬유연골성 관절원반이 위치하는 특수한 구조를 가진다.

### 1. 구조적 특징 및 관절원반

- **관절원반 (Articular Disc):** 관절안을 위아래로 분리하며 씹기 시 발생하는 충격을 완화한다. 가장자리를 제외하고는 혈액 공급이 부족한 특성이 있다.
- **운동의 조절:** 입을 벌릴 때 아래턱 관절융기와 함께 앞으로 이동하며 관절의 일치성을 유지한다.

### 2. 턱관절의 운동형상학

턱관절의 움직임은 돌림운동(Rotation)과 병진운동(Translation)이 복합적으로 일어난다.

- **입 벌리기 (Depression):** 초기 단계에서는 돌림운동이 주로 일어나고, 후기 단계로 갈수록 관절융기가 앞으로 미끄러지는 병진운동이 우세해진다.
- **입 닫기 (Elevation):** 입을 벌릴 때와 반대로 병진운동 후 돌림운동이 발생하며 원래 위치로 돌아온다.

### 3. 씹기근육의 기능

- **입을 닫는 근육:** 관자근, 깨물근, 안쪽날개근이 작용하며 삼차신경의 지배를 받는다.
  - **입을 벌리는 근육:** 가쪽날개근과 목뿔위근육이 관여한다. 특히 가쪽날개근은 입을 닫을 때 편심성 수축을 통해 관절원반을 안정적인 위치에 고정시킨다.
-



## 제2장 호흡과 환기 (Ventilation)

환기는 가슴안의 용적 변화를 통해 폐 내부와 대기 사이의 압력 차이를 만들어 공기를 이동시키는 과정이다.

### 1. 역학적 원리: 보일의 법칙 (Boyle's Law)

압력과 부피는 반비례한다는 원리가 호흡의 기본이다. 가슴안의 용적이 커지면 내부 압력이 낮아져 외부 공기가 들어오고, 용적이 작아지면 압력이 높아져 공기가 밖으로 나간다.

### 2. 환기 동안의 용적 변화

가슴안의 용적은 세 가지 직경의 변화를 통해 조절된다.

- 수직 직경: 가로막(횡격막)의 수축과 이완에 의해 조절된다.
- 앞뒤 및 가쪽 직경: 갈비뼈의 올림과 내림을 통해 조절된다. (양동이 손잡이 및 펌프 손잡이 운동)

### 3. 호흡 단계별 근육 작용

단계	주요 기전	관여 근육
들숨 (Inspiration)	가슴안 용적 증가, 폐 내압 하강	가로막(주동근), 바깥갈비사이근, 목빗근(보조)
날숨 (Expiration)	가슴안 용적 감소, 폐 내압 상승	평상시: 수동적 탄성 반동 강제 시: 배근육, 속갈비사이근



# 걷기, 달리기

## 제1장 보행의 기초 (Gait Cycle)

보행은 한쪽 발꿈치가 지면에 닿는 순간부터 다시 같은 쪽 발꿈치가 지면에 닿기까지의 전 과정을 의미한다.

### 1. 보행 주기의 구성

- **디딤기 (Stance Phase, 60%)**: 발이 지면에 닿아 있는 시기이다. 발꿈치 닿기, 발바닥 닿기, 중간 디딤기, 발꿈치 떼기, 발가락 떼기로 구분된다.
- **흔들기 (Swing Phase, 40%)**: 발이 지면에서 떨어져 이동하는 시기이다. 초기, 중간, 후기 흔들기로 나뉜다.

### 2. 보행 중 주요 근육 활성화

- **앞정강근**: 발꿈치 닿기 직후 발바닥이 지면에 급격히 떨어지지 않도록 편심성 수축을 조절한다.
- **엉덩관절 벌림근**: 중간 디딤기에서 반대쪽 골반이 처지지 않도록 골반의 수평 안정성을 유지한다.





## 제2장 보행 (Gait)

보행 주기는 한쪽 발꿈치가 지면에 닿는 순간부터 다시 같은 쪽 발꿈치가 지면에 닿기까지의 전 과정을 의미하며, 크게 디딤기와 흔들기로 나뉜다.

### 1. 보행 주기의 단계별 특성

보행은 크게 디딤기(60%)와 흔들기(40%)로 구성되며, 세부적으로는 8단계로 구분된다.

단계 (전통적 용어)	백분율	주요 역학적 사건
발꿈치 닿기 (Heel Contact)	0%	초기 지면 접촉 시기이며, 양다리 지지기가 시작된다.
발바닥 닿기 (Foot Flat)	8%	체중 수용기이며, 앞정강근의 편심성 수축으로 발바닥이 조절되며 지면에 닿는다.
중간 디딤기 (Mid Stance)	30%	체중이 지지하는 다리 바로 위를 통과하며, 신체 질량중심이 가장 높고 가쪽에 위치한다.
발꿈치 떼기 (Heel Off)	40%	추진력이 발생하는 시기로, 종아리근육의 활성이 높아진다.
발가락 떼기 (Toe Off)	60%	디딤기가 끝나고 흔들기가 시작되는 전환점이다.
초기 흔들기 (Early Swing)	60~75%	지면과의 간격을 확보하기 위해 무릎과 발목을 굽힌다.
중간 흔들기 (Mid Swing)	75~85%	흔드는 다리가 지지하는 다리 옆을 통과하는 시기이다.
후기 흔들기 (Terminal Swing)	85~100%	다음 접촉을 위해 다리를 펴며 속도를 조절(편심성 수축)한다.



## 2. 보행 중 근육의 역학적 활성

- **앞정강근:** 발꿈치 닿기 직후 발바닥이 바닥에 탁 부딪히지 않도록 조절하고, 흔들기 동안 발이 지면에 끌리지 않게 발등쪽굽힘을 유지한다.
- **큰볼기근 및 뒤넙다리근:** 발꿈치 닿기 시기에 엉덩관절의 과도한 굽힘을 방지하고 신체를 안정화한다.
- **중간볼기근:** 디딤기 동안 반대쪽 골반이 아래로 처지는 것을 방지하여 수평 안정성을 제공한다.
- **종아리근육 (장딴지근, 가자미근):** 디딤기 후반부에 강력한 발바닥쪽굽힘을 통해 신체를 전방으로 밀어내는 추진력을 제공한다.

---

## 제3장 달리기 (Running)

달리기는 보행과 유사한 주기를 가지나, 양발이 모두 지면에서 떨어지는 '**공중기**'가 존재한다는 점에서 본질적으로 다르다.

### 1. 보행과 달리의 역학적 차이

- **공중기 (Flight Phase):** 보행에는 양다리 지지기가 존재하지만, 달리기에는 양발이 지면에 닿지 않는 부유기가 존재한다.
- **충격 흡수:** 달리는 보행보다 지면 반발력이 훨씬 크며(체중의 2~3배 이상), 이를 흡수하기 위해 무릎과 발목의 더 큰 가동범위와 근력이 요구된다.
- **무게중심의 이동:** 보행보다 질량중심의 상하 진폭이 크며, 전방 추진을 위한 수평 운동 에너지가 극대화된다.

### 2. 달리기 시의 발 접촉 패턴

달리기는 속도와 숙련도에 따라 지면 접촉 방식이 달라진다.

- **뒤발 접촉 (Rearfoot Strike):** 발꿈치가 먼저 닿는 방식으로 일반적인 러너들에게 흔하다.
- **중간발/앞발 접촉 (Midfoot/Forefoot Strike):** 발의 중간이나 앞부분이 먼저 닿는 방식으로, 충격 흡수 효율이 높고 빠른 속도를 내는 엘리트 선수들에게 자주 관찰된다.

---

## 제4장 보행 및 달리기 변형과 보상작용

근육의 약화나 구조적 변형은 비정상적인 이동 양상을 만들어낸다.

- **트렌델렌버그 보행 (Trendelenburg Gait):** 엉덩관절 벌림근 약화로 인해 디딤기 시 반대쪽 골반이 아래로 기울어지는 현상이다. 이를 보상하기 위해 몸통을 약한 쪽으로 기울이는 '보상적 보행'이 나타나기도 한다.
- **넙다리네갈래근 약화 보행:** 무릎 펴근이 약하면 발꿈치 닿기 시 무릎이 굽혀지는 것을 막기 위해 상체를 앞으로 숙여 무게중심을 앞쪽으로 이동시킨다.
- **처진발 보행 (Drop Foot Gait):** 앞정강근 마비로 흔들기에 발등을 들지 못해 무릎을 과도하게 높이 들어 올리는 '계상보행'이 발생한다.