



한국재활로봇학회 mini-workshop

Kinematics of foot and ankle during gait

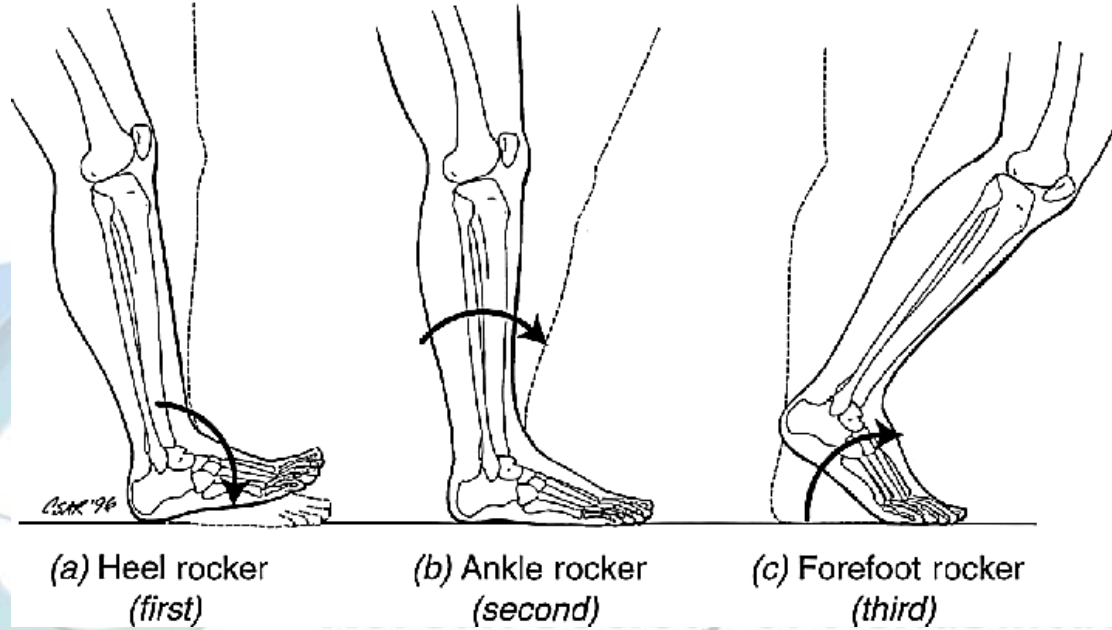
재활의학과 문창원

2022. 08. 30 19:00~19:20

충남대학교병원 대전충청권역 의료재활센터



1. Rocker system of foot



RO
ion Robot

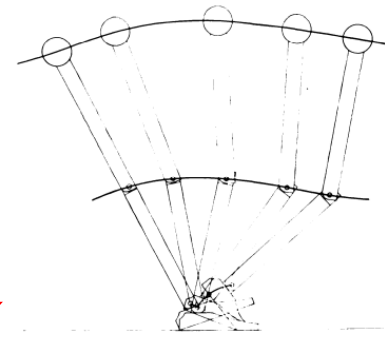
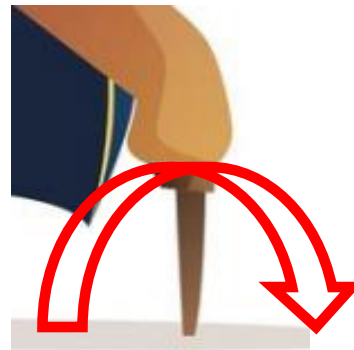


FIG. 8
The effects of the arcs of foot and knee rotation smooth out the abrupt inflexions at the intersection of the arcs of translation of the center of gravity.

2. Function of Foot

- Flexible shock-absorber
- Deforming to uneven surface
- Rigid lever to exert force



Kinematics (운동형상학)

- 운동(motion)을 만들어내는 힘이나 토크는 고려하지 않고 신체의 운동만을 묘사하는 역학(mechanics)의 한 분야
- 운동은 병진운동(translation, 직진+선형)과 돌림운동(rotation)

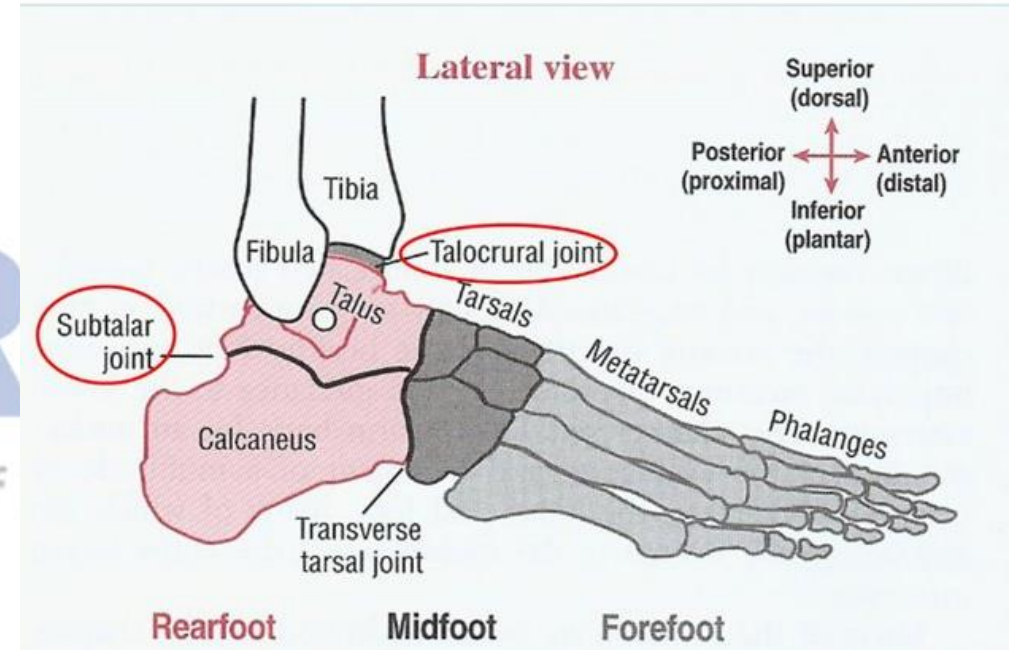


KORERO

Korean Society of Rehabilitation Robot

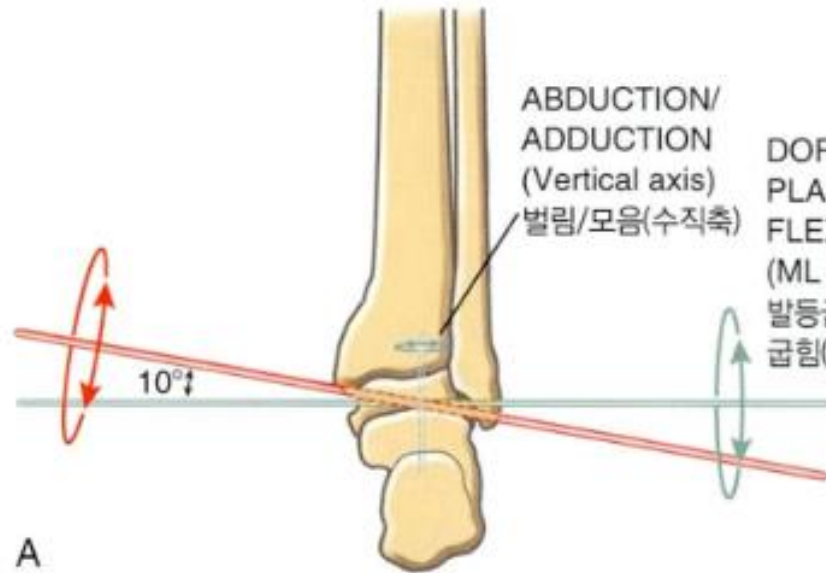
발목/발의 관절학

- 목말종아리관절 (발목관절, Talocrural joint)
- 목말밑관절 (Subtalar joint)
- 가로발목뼈관절 (Transverse tarsal joint)
- 발목발허리관절 (Tarsometatarsal joint)
- 발허리발가락관절 (Metatarsophalangeal joint)

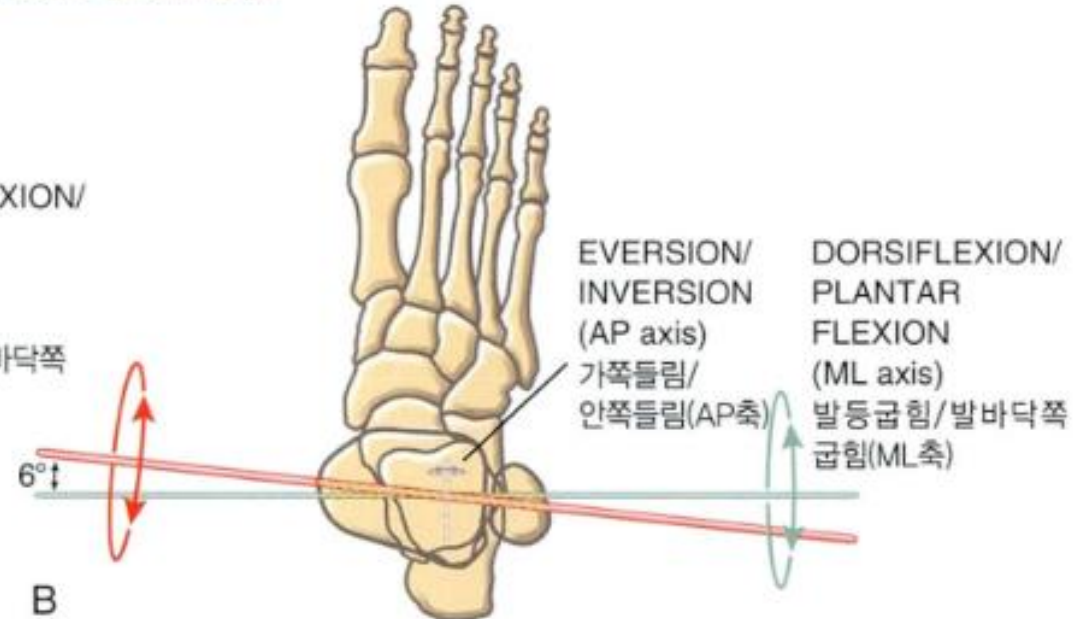


목말종아리관절 (talocrural joint)

Talocrural joint 목말종아리관절



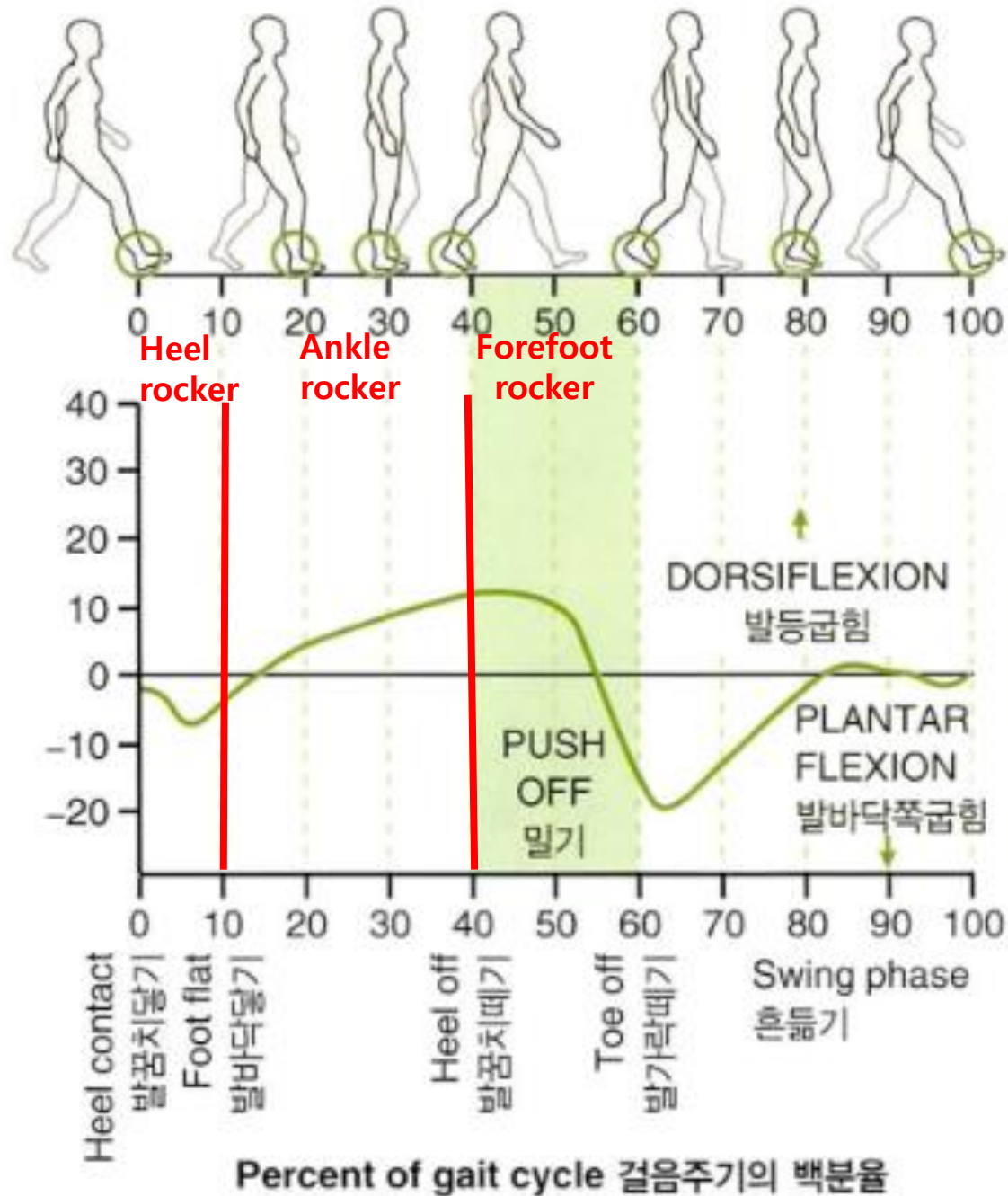
Posterior view 뒤면



Superior view 위면



Ankle joint motion (degrees)
발목관절 운동(°)

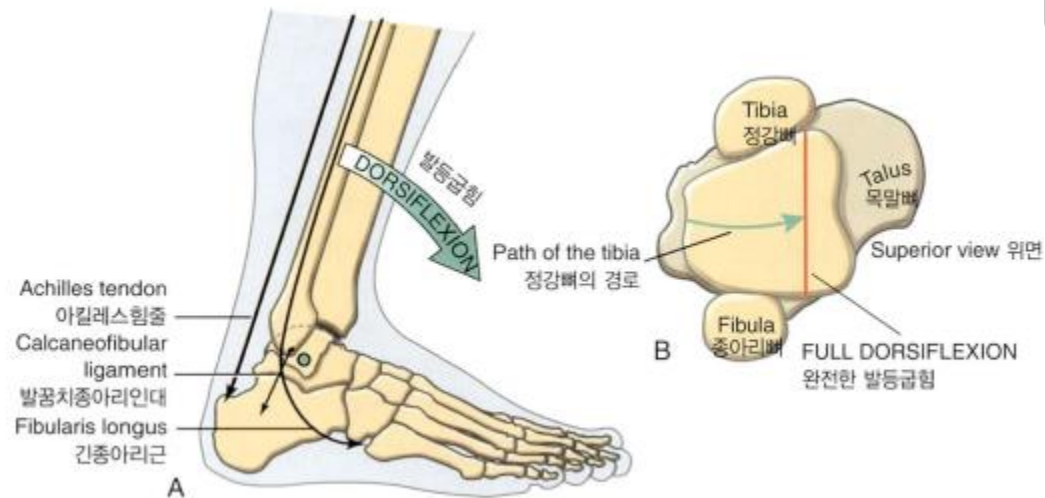


ot

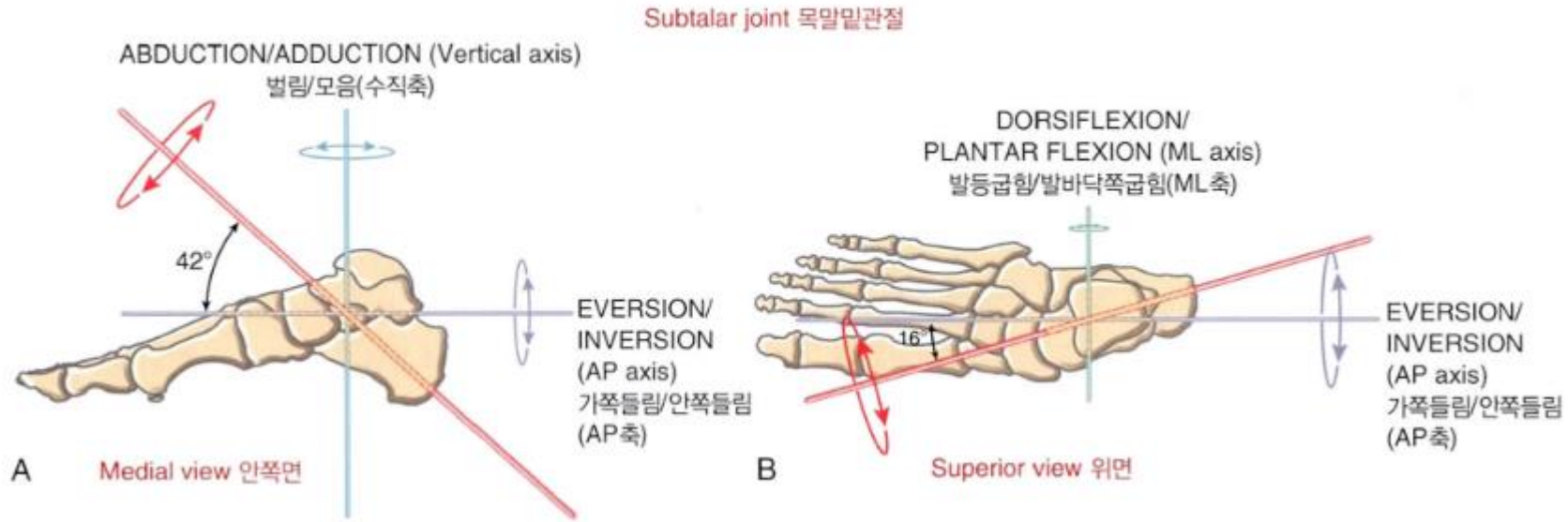
목말종아리관절 (talocalcaneal joint)

• 걸기의 디딤기 동안 목말종아리관절의 점진적인 안정화

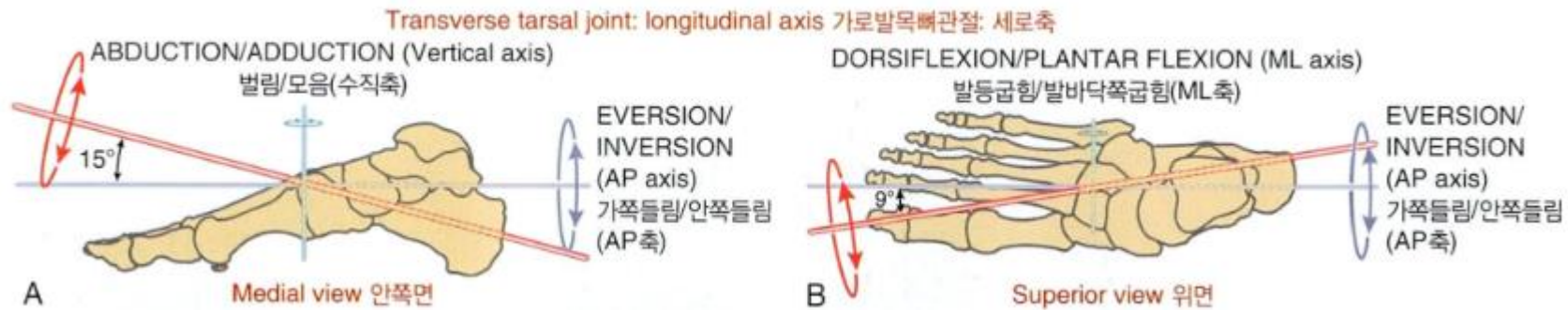
- 초기 발꿈치닿기에서 지면에 발을 내려놓기 위해 발목은 빠르게 발바닥쪽 굽힘 (걸음주기의 0~5% 사이) : Heel rocker
- 발바닥닿기 단계가 일어나자마자 종아리는 지면에 있는 발에 대해 앞으로 돌림운동(발등굽힘) 시작
 - 발등굽힘은 발꿈치떼기 직후까지 계속 (걸음주기 40%)
 - 발목의 안정성 증가
 - 신장된 많은 결인대들과 발바닥쪽굽힘근육들에서의 증가된 장력
 - 더 넓은 목말뼈의 앞쪽 부위가 장부축이음(mortise)의 정강종아리성분 (tibio fibular component)에 끼임 (Wedging effect)
 - 밀기단계(push off phase) 초기에서(걸음주기의 약 40%), 완전히 발등굽힘된 목말종아리관절은 **체중의 4배 이상에 달하는 압박력을 수용할 수 있도록 잘 안정화됨.**



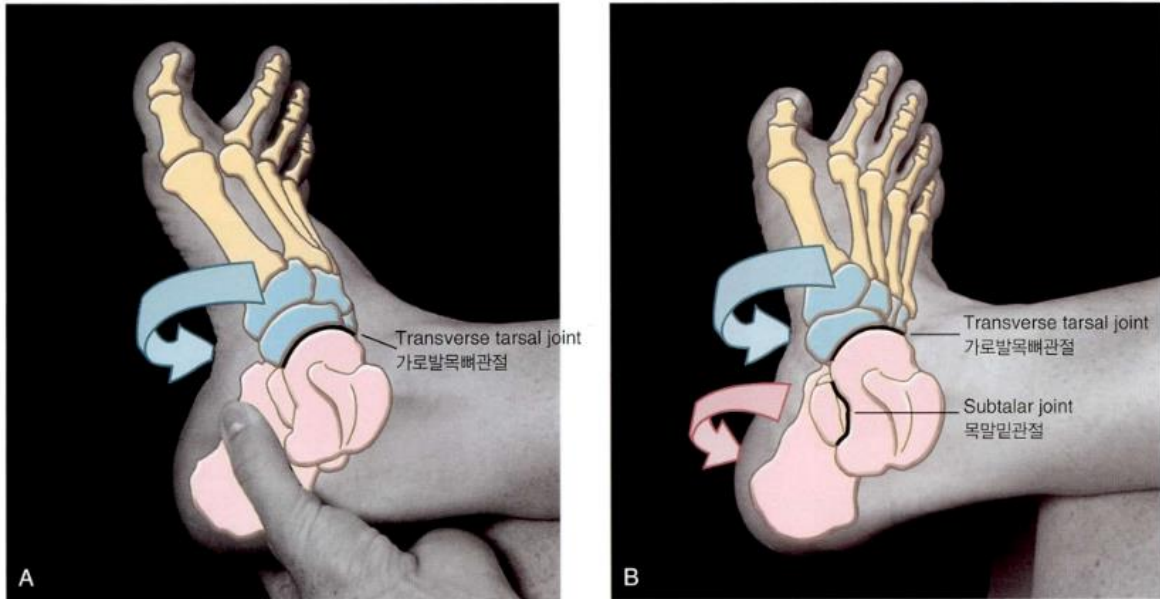
- 목말밑관절 (subtalar joint)



- 가로발목뼈관절 (Transverse tarsal joint)



PRONATION of the foot (dorsal-medial view) 발의 업침(발등쪽-안쪽면)



업침 (Pronation)

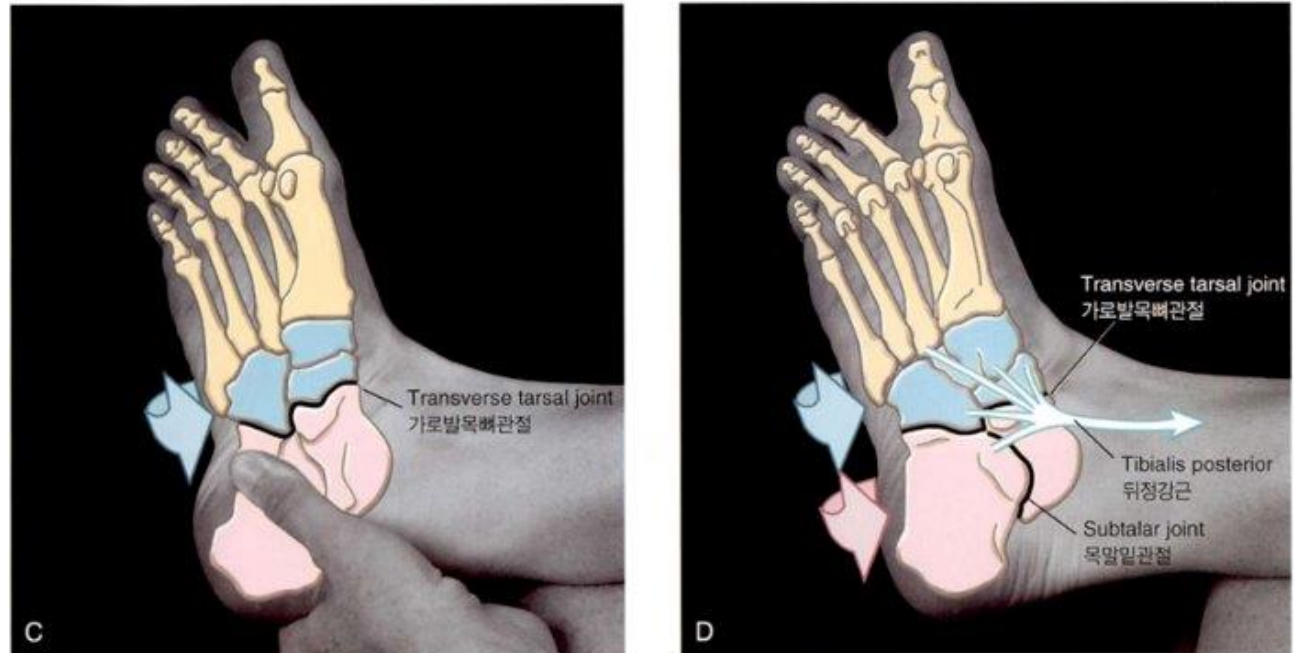
- = 발등굽힘 (Dorsi flexion)
- + **가쪽돌림 (Eversion)**
- + 벌림 (Abduction)

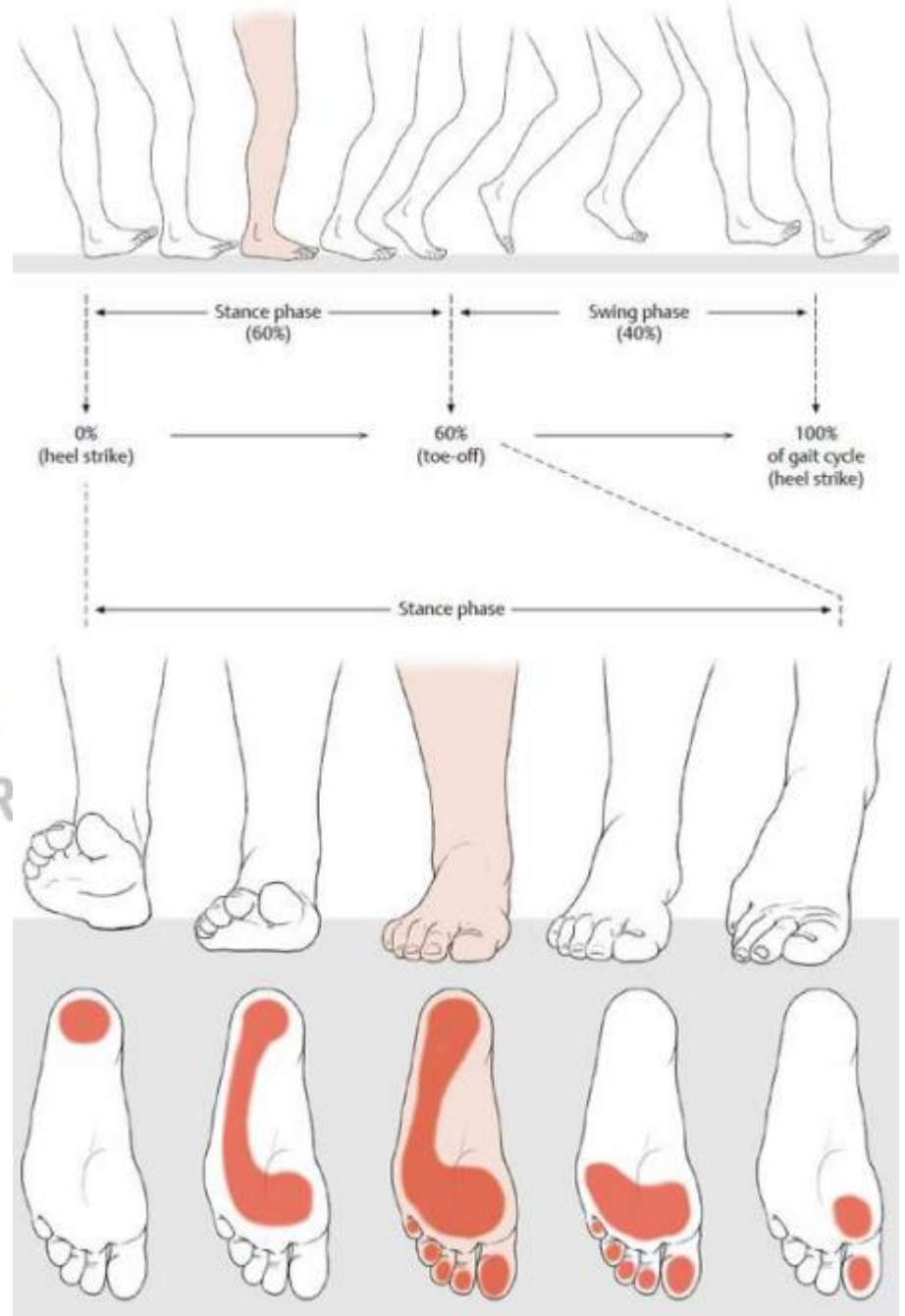
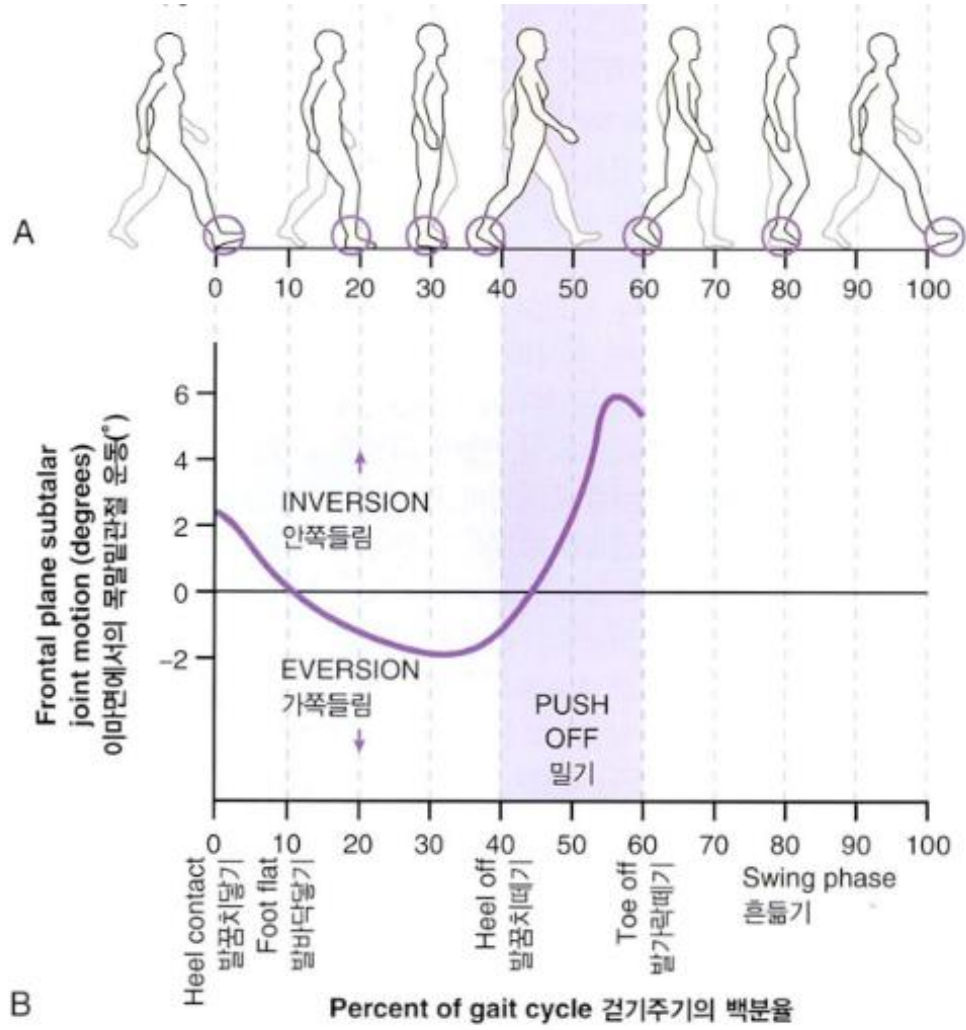


SUPINATION of the foot (plantar-medial view) 발의 뒤침(발바닥쪽-안쪽면)

뒤침 (Supination)

- = 발바닥굽힘 (Plantar flexion)
- + **안쪽돌림 (Inversion)**
- + 모음 (Adduction)

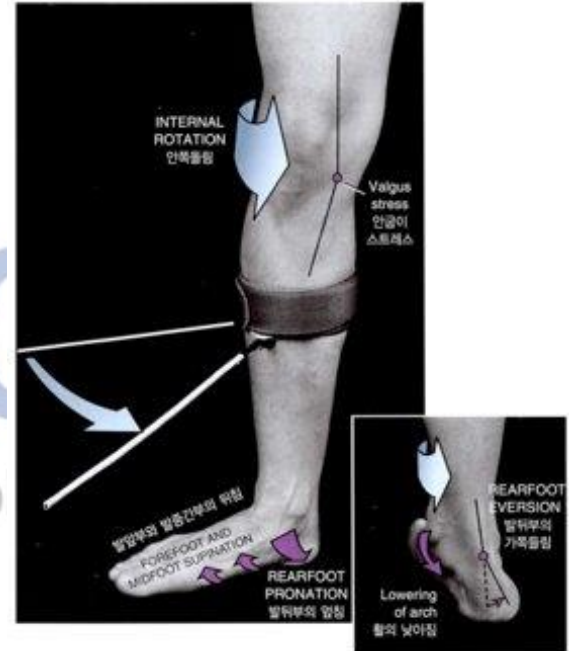




목말 밑관절 (subtalar joint)

• 걷기의 초기에서 중간 디딤기 : 관절에서 옆침의 운동형상학

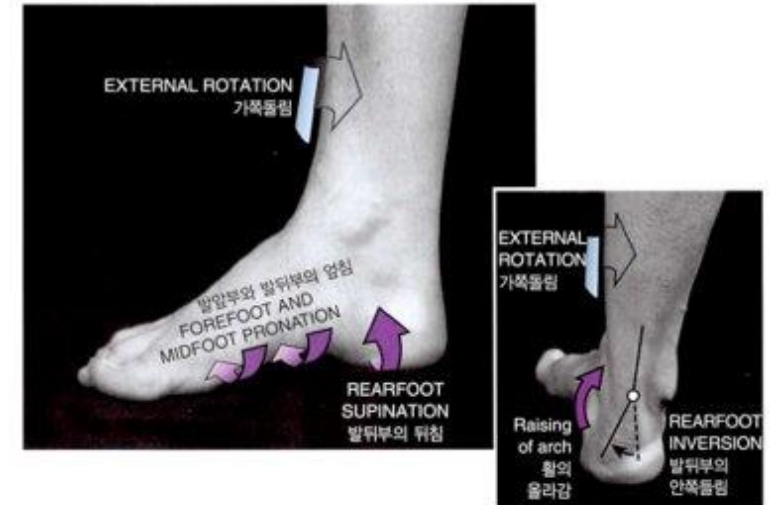
- 최초 **평균 최대 2도의 가쪽들림**을 보임
 - 다른 연구자들은 5~9 도의 더 높은 수치를 보고
 - 불일치의 원인
 - 목말밑관절의 0도에 대한 정의, 연구 대상자 수, 다양한 측정기법 등
 - 그러므로 걷기 동안 "비정상적"인 가쪽들림에 대해 정의하기가 어려움
- 디딤기 동안 옆침 제한의 생체역학적 이득
 - 목말밑관절에서의 조절된 옆침
 - 발중간부의 상대적 유연성을 제공하여, 발이 다양한 형태의 지형에 적응 가능



목말 밑관절 (subtalar joint)

- 걷기의 중간에서 후기 디딤기: 목말밑관절에서 뒤침의 운동형상학
 - 발뒤부의 뒤침과 함께 발중간부와 발앞부는 상대적 옆침
 - 발이 완전하게 지면과 접촉된 상태를 유지
 - 생체 역학적 이득
 - 후기 디딤기에서 뒤침 + 긴장된 안쪽세로활(Arch)은 발중간부가 좀 더 단단한 지레가 되도록 전환
 - 아킬레스힘줄로부터의 힘들을 발중간부를 통해 발허리뼈머리들에 전달하기 위해 위한 안정성 제공

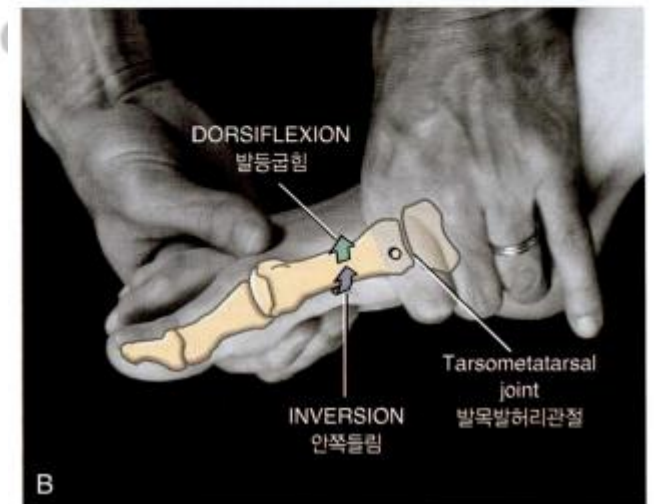
K O R E R O
Korean Society of Rehabilitation Robot



먼쪽 발목 뼈사이 관절 (Distal intertarsal joint)

• 발목발허리관절(Tarsometatarsal joint)

- 전족부의 바닥관절(base joint)로서의 역할을 수행
- 걷기의 초기에서 중간 디딤기
 - 첫째발목발허리관절은 약 5도 정도 발등 굽힘
 - 안쪽세로활(arch)의 점진적인 내려감과 연관
 - 체중의 스트레스를 흡수하는 데 도움
- 걷기의 후기 디딤기
 - 첫째발목발허리관절은 약 5도 정도 빠르게 발바닥 굽힘
 - 안쪽세로활의 올라감을 도와 활의 안정성 증가



발허리발가락관절 (metatarsophalangeal joint)

- 걷기의 후기 디딤기 동안 전족부에 있는 관절들의 작용

- Forefoot rocker

- 후기 디딤기 동안 무릎의 높이가 일정하게 유지되게 해줌

- 안쪽 세로활의 상승

- 국소적인 내재근의 활성화 + 안쪽 세로활의 장력 (+ windlass effect)
- 6mm가량 상승

- Windlass effect

- 몸쪽발가락뼈에 부착하는 발바닥근막 때문에 발허리발가락관절들의 완전한 펴는 안쪽세로활에서의 장력을 증가

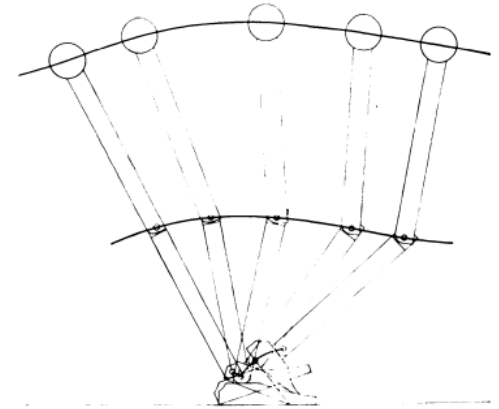
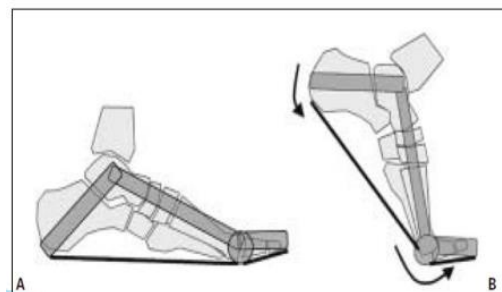
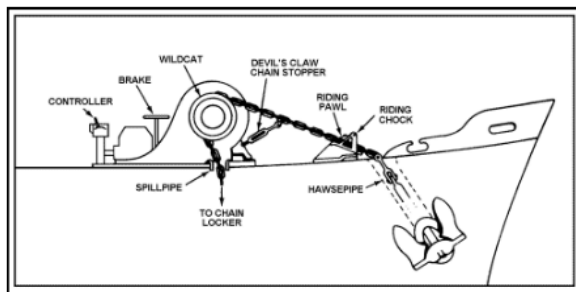


FIG. 8

The effects of the arcs of foot and knee rotation smooth out the abrupt inflexions at the intersection of the arcs of translation of the center of gravity.



정리

- 시상면(Saggital plane)에서의 운동형상학
- 이마면(Coronal plane)에서의 운동형상학
- 수평면(Axial plane)에서의 운동형상학



정리

- 시상면(Saggital plane)에서의 운동형상학

- 이마면(Coronal plane)에서의 운동형상학

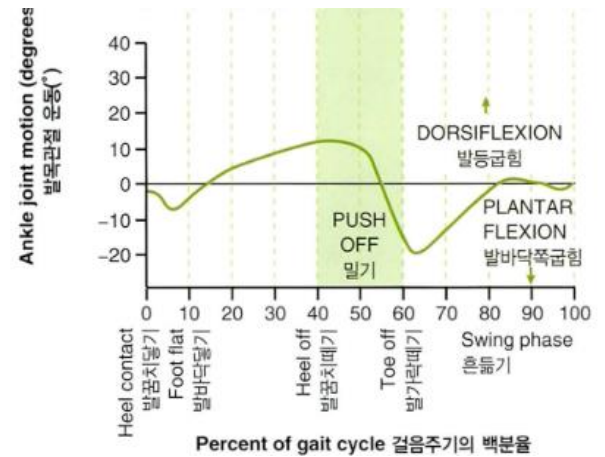
- 수평면(Axial plane)에서의 운동형상학



정리

• 시상면에서의 운동형상학

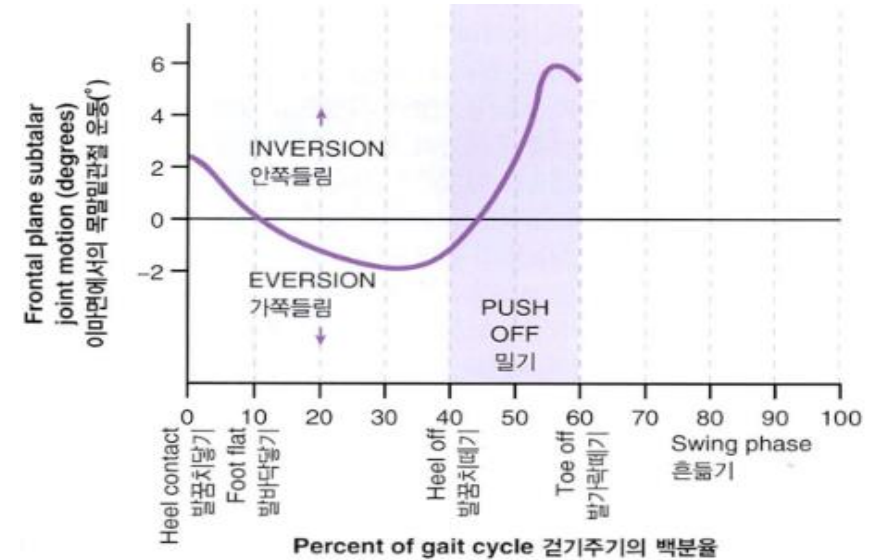
- 발꿈치닿기는 약간 발바닥쪽굽힘된 위치 (0도와 5도 사이)에서 일어남
- 발꿈치닿기 바로 직후에 (걸음주기의 첫 8%), 발목의 발등굽힘근육에 의해 편심성으로 조절되는 발바닥쪽굽힘 움직임에 의해 발바닥은 지면에 닿음
- 지면에 놓인 발에서 정강뼈가 앞으로 움직임에 따라 발목의 발등굽힘이 10도까지 일어남 (걸음주기의 8~45%)
- 발꿈치떼기 바로 직후에(걸음주기의 30~40%), 발목은 발바닥쪽굽힘되기 시작하여, 발가락떼기 직후까지 최대 15~20도의 발바닥쪽굽힘이 일어남
- 발목은 지면에 발가락이 걸리지 않게 하기 위해 중립위치로 다시 발등굽힘 됨
- 평균 속력으로 걷기 위해 발목에 약 10도의 발등굽힘과 약 20도의 발바닥쪽굽힘이 요구됨
- 걷기의 흔들기 때보다 디딤기 동안에 더 큰 발등굽힘이 요구됨.
 - 발등굽힘이 제한될 경우 ankle rocker가 작용하지 않아 jumping gait가 발생



정리

• 이마면에서의 운동형상학

- 발꿈치뼈 뒤쪽면과 종아리의 뒤쪽면 사이에서 생긴 각도로 측정
- 발꿈치닿기의 시점에서, 목말밑관절은 약 2~3도정도 안쪽들림
- 발꿈치닿기 직후에, 발꿈치뼈의 빠른 가쪽들림이 시작되고 중간디딤기(걸음주기의 30~35%)까지 계속되며, 이때 약 2도의 최대 가쪽들림 위치에 이르게 됨
- 이후 목말 밑관절은 움직임의 방향이 역전되어 안쪽들림쪽으로 움직이기 시작함.
- 정상적으로 비교적 발꿈치뼈의 중립위치는 거의 발꿈치떼기인 걸음주기의 약 40~45%에서 일어남
- 발꿈치떼기와 발가락떼기 사이에 발꿈치뼈의 안쪽들림은 약 6도의 안쪽들림이 일어날 때까지 계속됨



경청해 주셔서 감사합니다.

