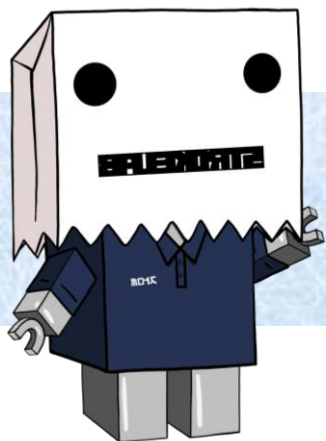




Gait / Walk

Handling of
hip/knee/ankle



機能的役割でみた分類

Elfman H : The functional structure of the lower limb .in :Kiopsteg PE ,Wilson PD(eds.) :Human Limbs and Their Substitutes .McGraw-Hill ,1954

Passenger

✓ 骨盤～上半身を含んだ部位

Locomotor

✓ 骨盤～下半身を含んだ部位



機能的歩行の決定因子

- ✓ 歩行能力は、身体的な要素と認知面の両方に問題が存在します。これには①筋緊張、②筋力低下、③歩行サイクルのタイミング、④歩行速度、⑤バランスシステム、⑥感覚障害、⑦視覚処理、⑧認知・安全意識、⑨軟部組織の長さなど、多様な要因が関係しています。また、身体的な要素に問題があっても、認知面でカバーできる場合があります。一方で、認知面や機能に問題があっても、身体機能面で解決できることもあります。

認知面に問題があるが、身体機能面で解決する例：

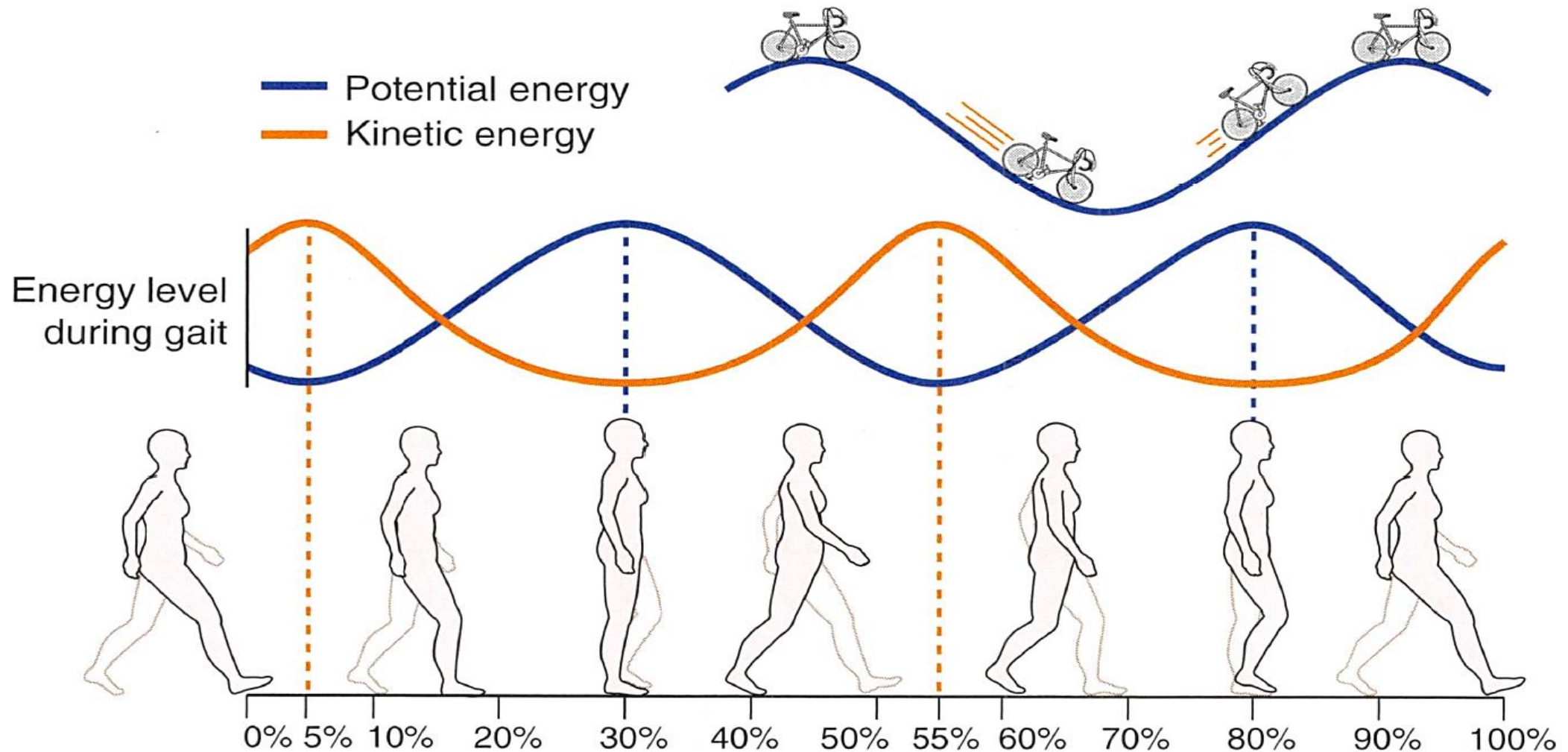
脳卒中により認知機能に障害が生じた患者でも、身体機能を利用して歩行能力を維持または改善することがあります。これは、特に身体機能が比較的保存されている場合に顕著です。認知機能の障害があっても、身体的な練習や運動療法により筋力を強化し、バランス能力を向上させることで、歩行能力を改善することが可能です。また、身体的な反復練習により、身体が自然と適切な歩行パターンを記憶し、これを無意識に実行できるようになることもあります。



歩行とLocomotorの関係性

Jacquelin Perry et al : Gait Analysis: Normal and Pathological Function. Slack Incorporated. 1992

- ✓ 歩行中において位置エネルギー(Potential Energy)と運動エネルギー(Kinetic Energy)は相反的关系をもつ
- ✓ 位置エネルギーが低くなれば運動エネルギーが必要となるため、上下左右動は最小限に抑えられることが望ましい



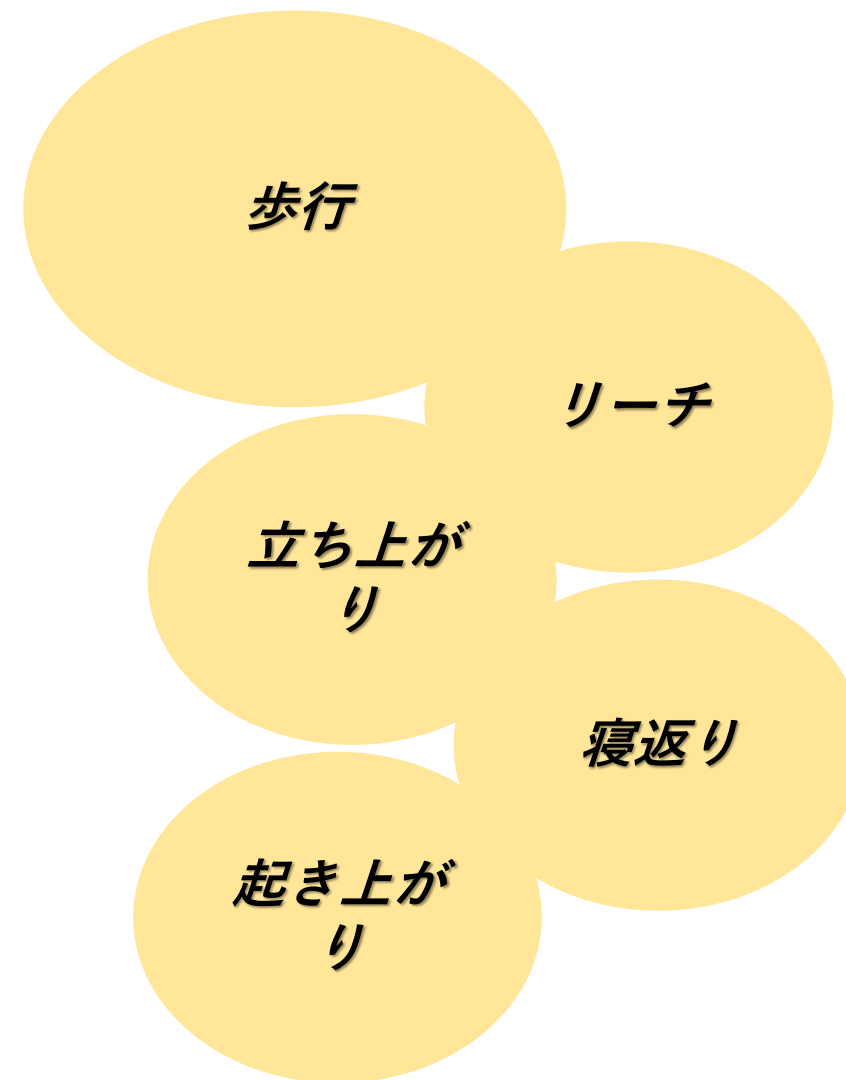
機能的歩行の決定因子

SAUNDERS JB et al : The major determinants in normal and pathological gait. J Bone Joint Surg Am. 1953 Jul;35-A(3):543-58

○ 過度なCOM動揺を防ぐ

歩行の決定因子

- ①反対側骨盤の側方傾斜
- ②水平面における骨盤回旋
- ③骨盤の側方シフトと膝関節の生理的外反位
- ④足関節と膝関節の協調運動メカニズム
- ⑤Mstにおける制御された足関節背屈
- ⑥TstでのHeel OffとICでのHeel Contact



歩行に必要な構成要素はそれまでの基本動作に含まれる

双方に要求される骨盤機能

Elfman H : The functional structure of the lower limb .in :Kiopsteg PE ,Wilson PD(eds.) :Human Limbs and Their Substitutes .McGraw-Hill ,1954

- ✓ 骨盤(Pelvis)はPassengerとLomotorを単純に連結しているだけの骨剛体ではない



①HAT-下肢間のハブ機能

HAT重量を両側下肢に伝達、
荷重による安定性を提供

②衝撃の吸収

床反力が骨盤を通して体幹
に伝達され、脊柱構造によ
りその衝撃を吸収

③歩幅の調節

骨盤回旋することで機能的
下肢長を延長し歩幅を調整

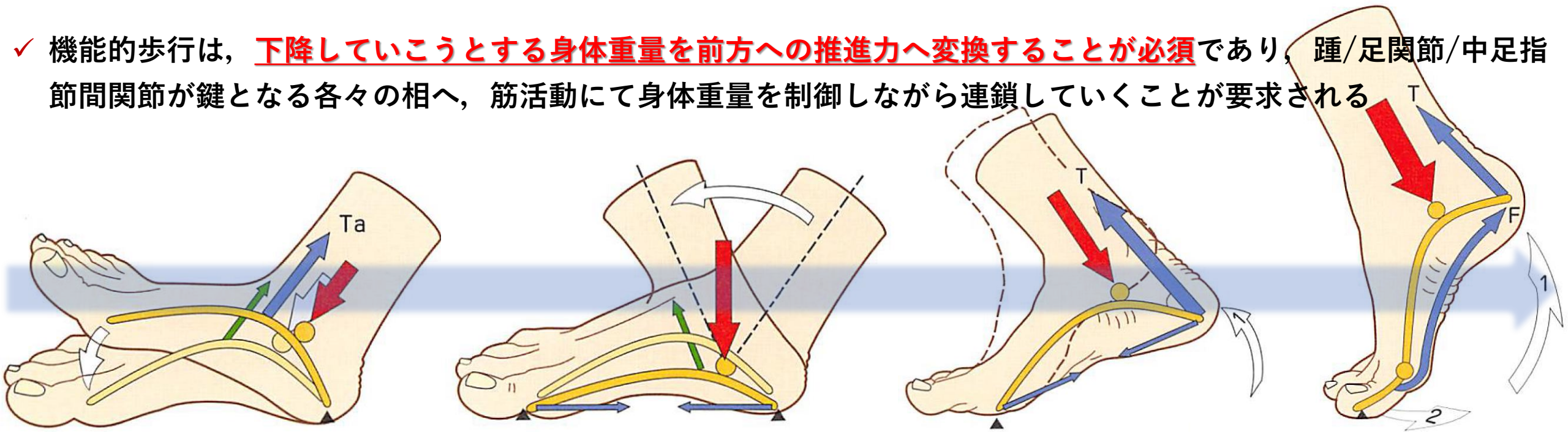
④COM移動の調節

股関節屈曲角度を減少させ、
StにCOM ↓ しないよう調節

機能的歩行のためのRocker Functionの理解

Jacquelin Perry et al : Gait Analysis: Normal and Pathological Function. Slack Incorporated. 1992

✓ 機能的歩行は、下降していこうとする身体重量を前方への推進力へ変換することが必須であり、踵/足関節/中足指節間関節が鍵となる各々の相へ、筋活動にて身体重量を制御しながら連鎖していくことが要求される



Heel Rocker

Ankle Rocker

Fore Foot Rocker

Toe Rocker

役割	接地を開始し、立脚期が開始される	体重移動と歩行の流れを確立する。	推進力を提供し、スイングフェーズへの移行を促進する。	足の振り出しを促進し、足指のクリアランスを確保する。
メカニズム	踵接地により初期接触が行われ、足関節の微背屈が起こる。これにより、脛骨の前方移動が減速され、衝撃吸収が行われる。	足底が接地し、足関節が背屈することで体重中心が足の上を前方に移動する。これを下腿三頭筋が制御し、安定した重心移動をサポートする。	中足部の荷重が増加し、かかとが持ち上がる。これにより、下腿三頭筋が活動し、足の押し出しと体の前進をサポートする。	足関節の背屈と足指の伸展が行われ、足の振り出しと地面クリアランスが確保される。下腿の筋肉がこの動作をサポートする。

歩行の回復を予測する要因

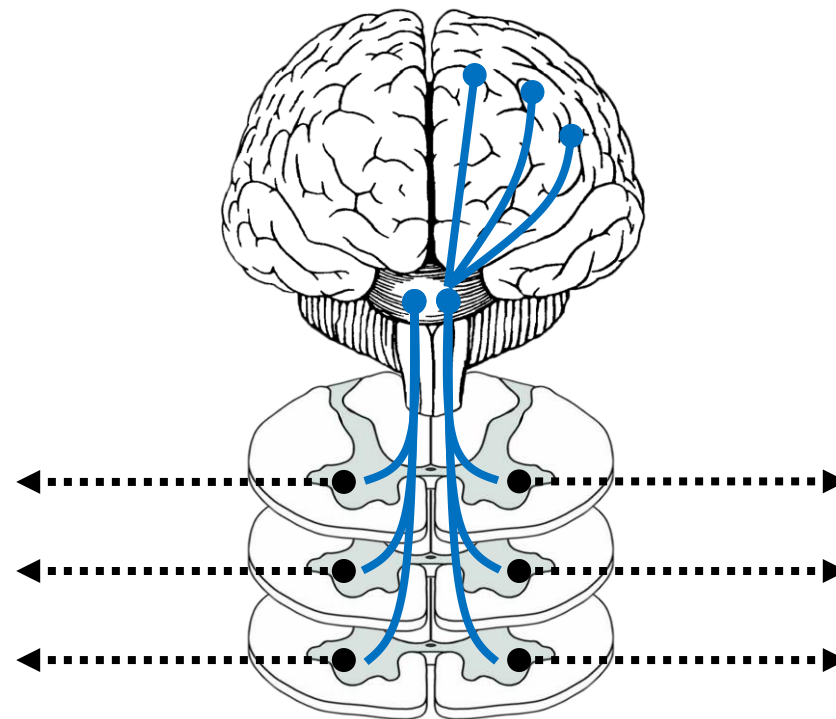
Selves C, Stoquart G, Lejeune T. Gait rehabilitation after stroke: review of the evidence of predictors, clinical outcomes and timing for interventions. Acta Neurol Belg. 2020 Aug;120(4):783-790

- ✓ MRI等による脳画像からの情報は脳卒中後の上肢回復の強力な予測因子であることが判明している。
- ✓ しかし、歩行回復の事前指示因子にはならないことも報告されている。下肢の運動制御は体幹の制御が下肢の運動回復に重要な役割を果たすという知見から、網様体路や前庭脊髄路など、他の経路の研究が必要かもしれない。

○ 歩行回復の要因

- ① 体幹コントロール（座位保持）
- ② 股関節伸展筋力
- ③ 無視、半盲の有無
- ④ 運動麻痺の程度
- ⑤ 感覚障害の程度
- ⑥ 発症からの時期
- ⑦ 病前の歩行能力

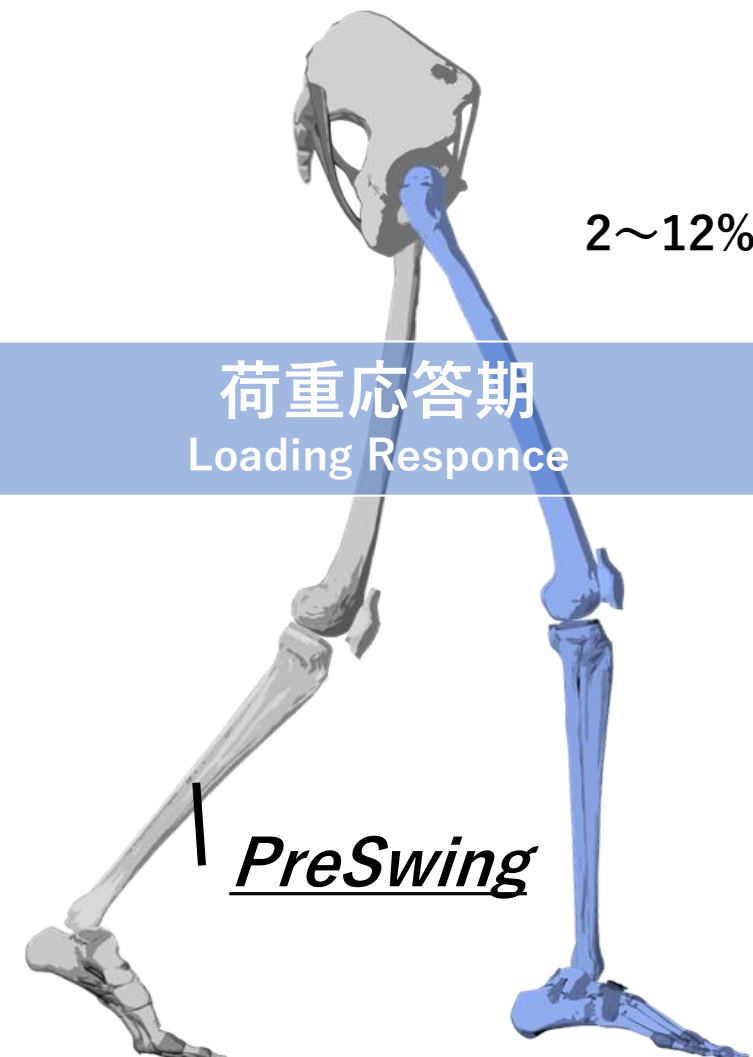
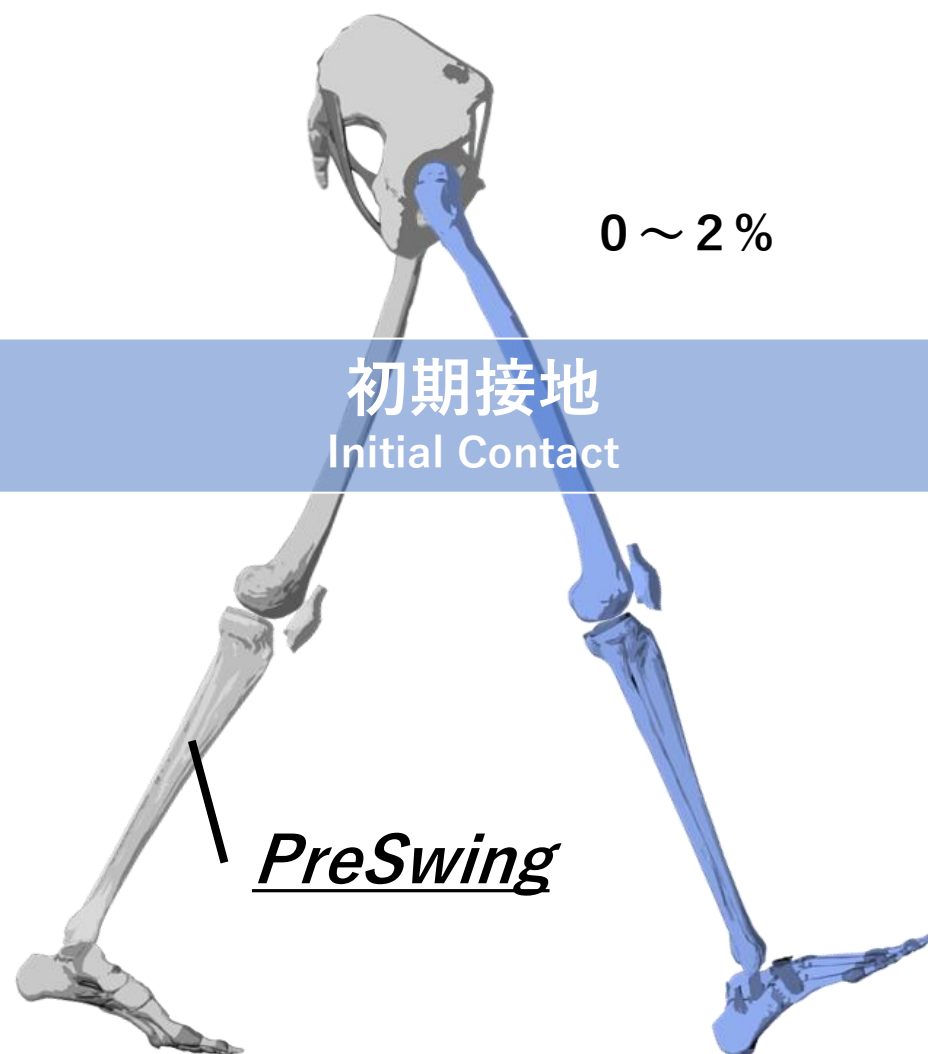
腹内側運動系
(皮質網様体脊髄路 etc.) = 姿勢制御



①荷重応答：Weight Acceptance

Kirsten Götz-Neumann : Gehen verstehen: Ganganalyse in der Physiotherapie. Thieme:Auflage. 2006

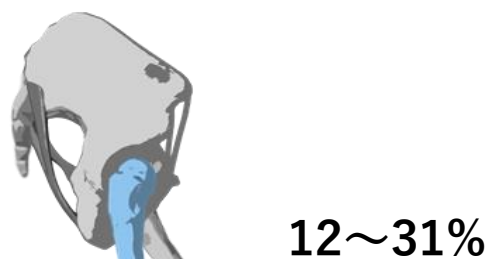
- ✓ 荷重応答は、初期接地(Initial Contact)と荷重応答期>Loading Response)で構成される
- ✓ 歩行における12%を占め、衝撃吸収・COM制御・推進力生成が要求される相である



②単脚支持：Single Limb Support

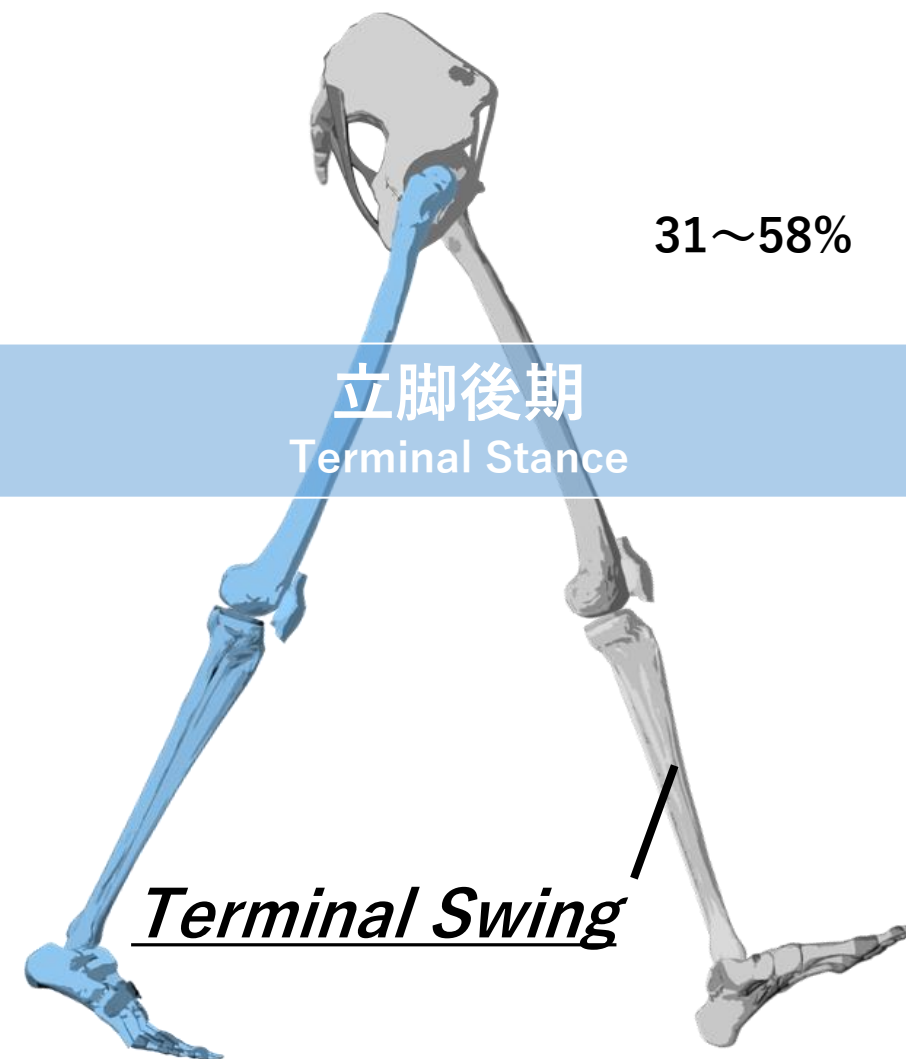
Kirsten Götz-Neumann : Gehen verstehen: Ganganalyse in der Physiotherapie. Thieme:Auflage. 2006

- ✓ 単脚支持は、立脚中期(Mid Stance)と立脚終期(Terminal Stance)で構成される
- ✓ 歩行の38%を占め、推進力生成・安定性・COM制御が要求される相である



立脚中期
Mid Stance

Initial Swing
~Mid Swing



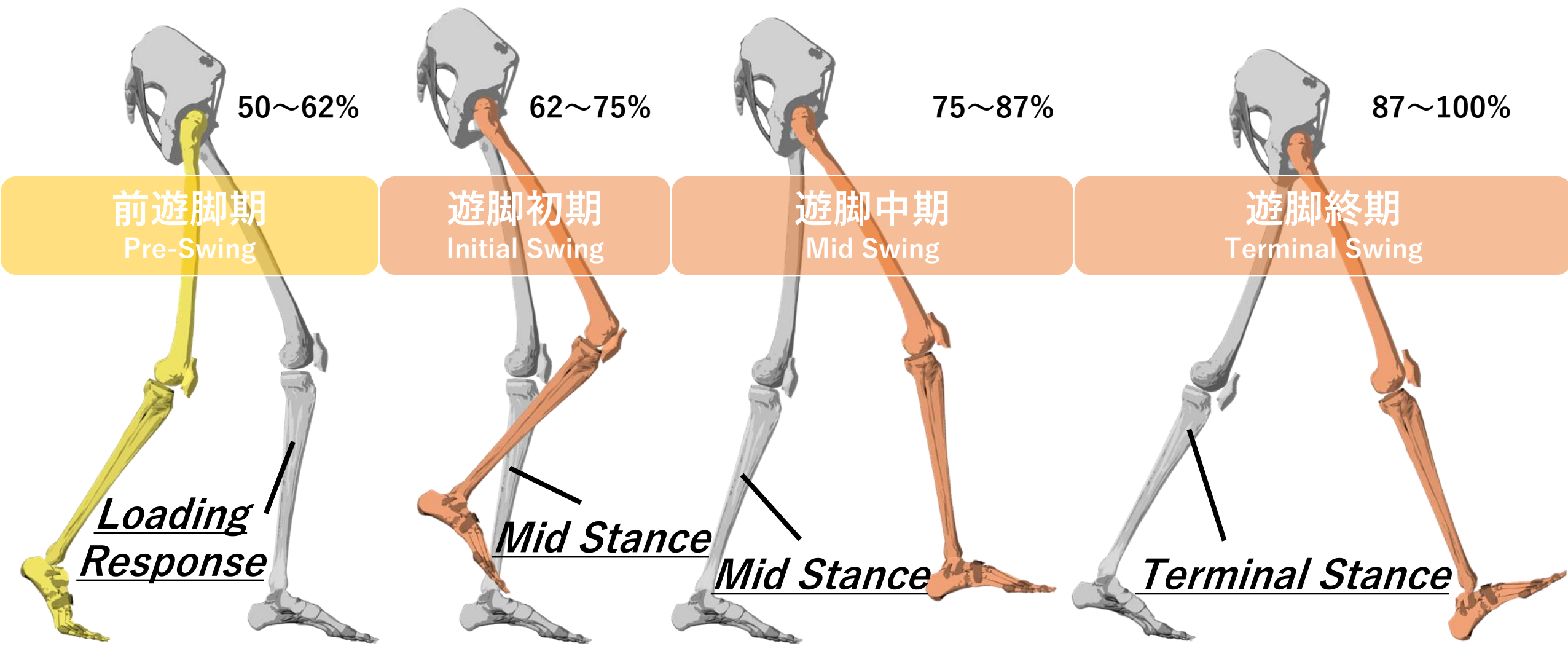
立脚後期
Terminal Stance

Terminal Swing

③脚推進：Swing Limb Advancement

Kirsten Götz-Neumann : Gehen verstehen: Ganganalyse in der Physiotherapie. Thieme:Auflage. 2006

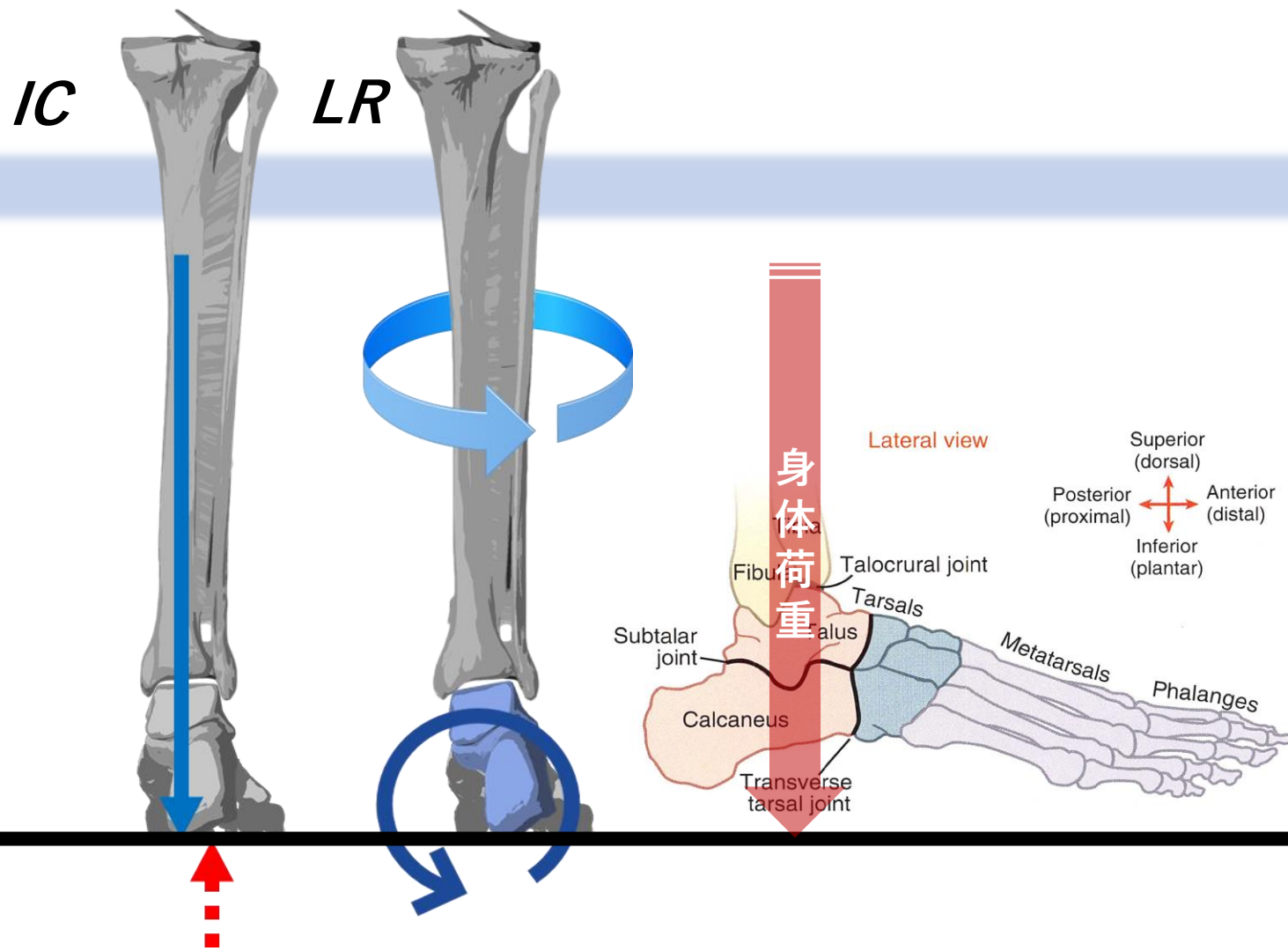
- ✓ 脚前進は、前遊脚期(Pre Swing)と遊脚初期(Initial Swing)と遊脚中期(Mid Swing)と遊脚終期(Terminal Swing)で構成される
- ✓ 歩行周期の50%を占め、推進力生成・クリアランス確保・安定性が要求される相である



荷重受容において発生する連鎖

Liu MQ et al : Muscle contributions to support and progression over a range of walking speeds. J Biomech. 2008 Nov 14;41(15):3243-52

- ✓ IC時に踵骨が地面と接触した際、荷重線と踵骨BOSとのギャップにより距骨下関節(ST関節)は回内に誘導される
- ✓ 荷重により 回内(Pronation)したST関節に続いた荷重連鎖により、LR時に下腿は内旋方向へと誘導される

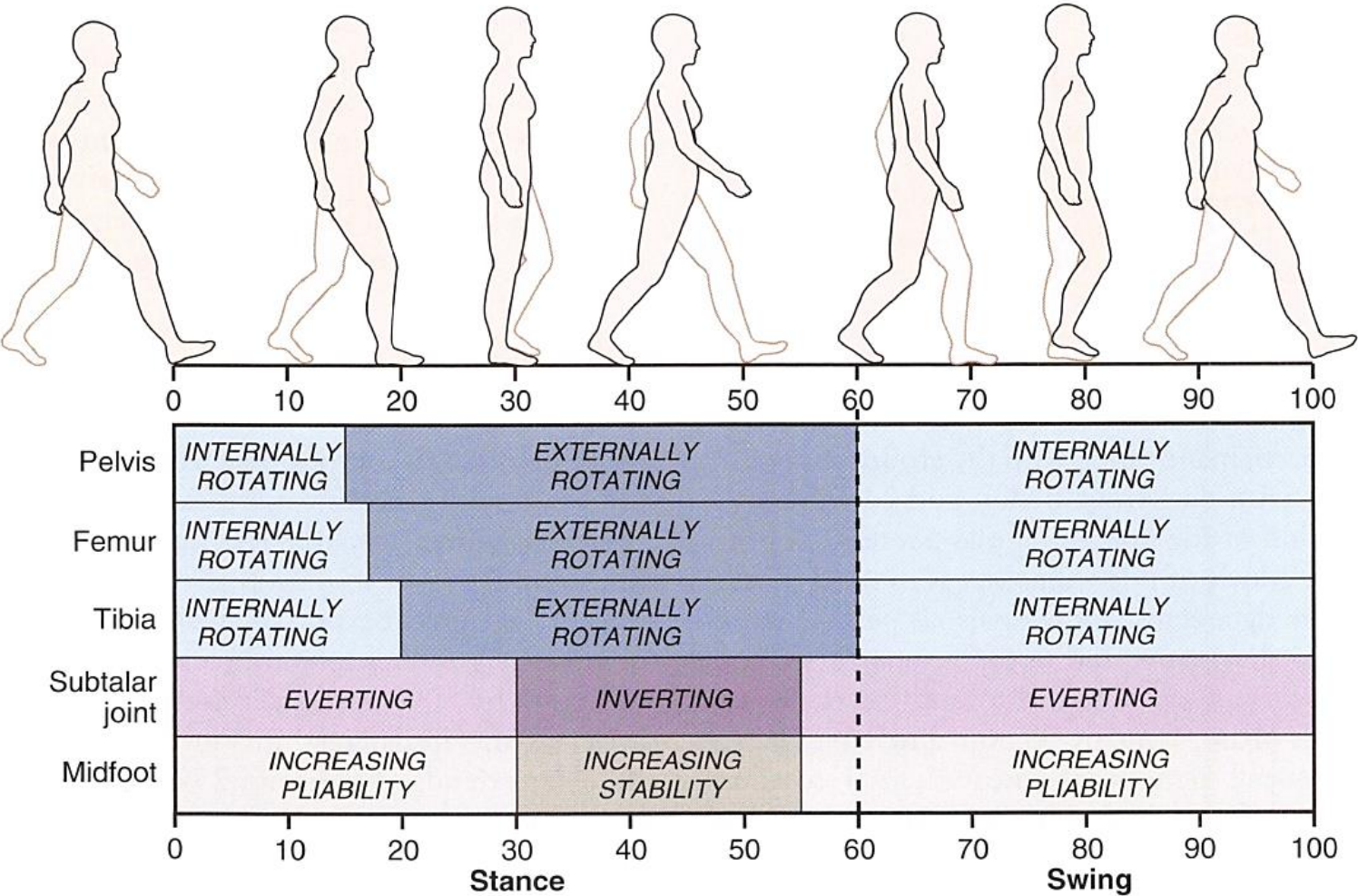


要求されるLocomotor間の関節間協調

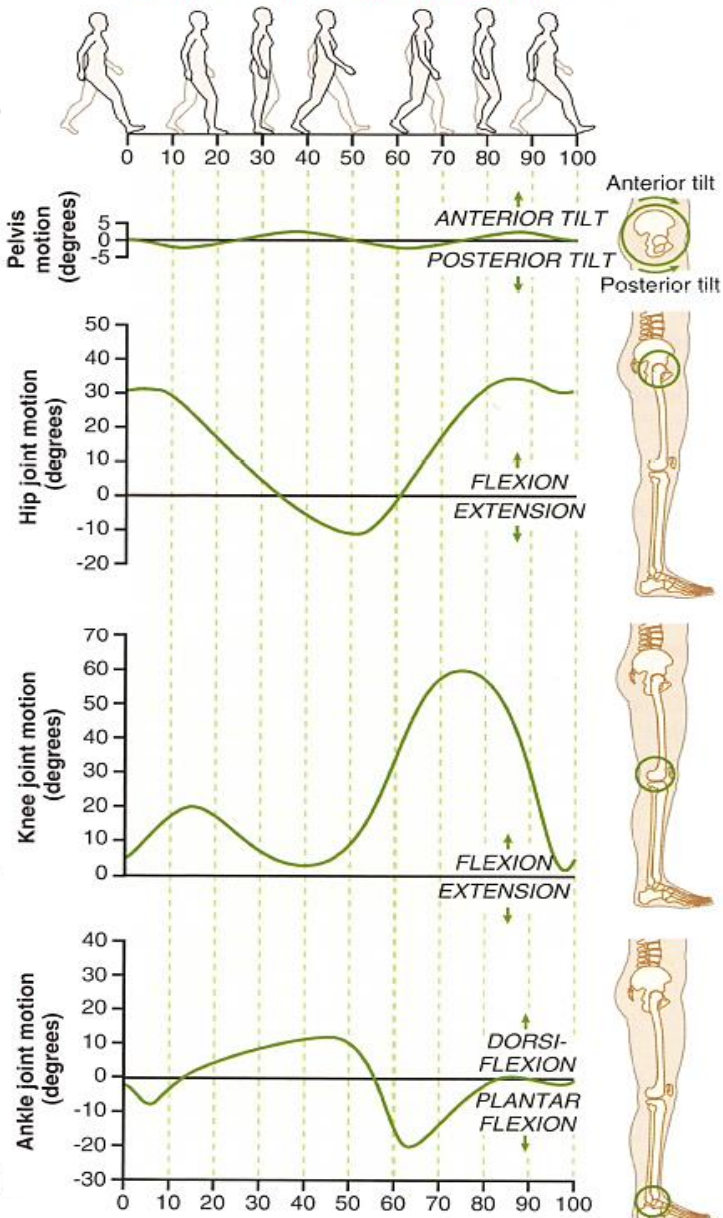
Lay AN et al : The effects of sloped surfaces on locomotion: an electromyographic analysis. J Biomech. 2007;40(6):1276-85

- ✓ 歩行中におけるLocomotor間の運動は、協調的な関節運動にて構成される
- ✓ 一つのセグメントが不良であれば、他関節にその連鎖が影響する可能性がある

Lower extremity kinematics (horizontal plane)



Lower extremity kinematics (sagittal plane)



Foot Core System

McKeon PO et al : The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. Br J Sports Med. 2015 Mar;49(5):290

- ✓ Foot Core Systemとは、変化する足部変化において安定性と運動性を効果的に使用可能にするシステムであり、3つのサブシステムの相互関係によって成り立っている
- ✓ Foot Core Systemは、①足部機能を高め、②ダイナミックな活動により能動化され、③姿勢保持に重要な活動を行い、④歩行周期において推進力を作り、⑤立位での基盤的役割を成している

1. パッシブサブシステム (Passive Subsystem)

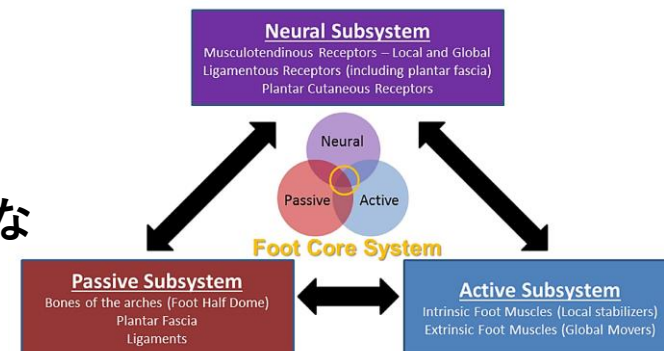
- ・足底腱膜 (Plantar Fascia): 足底腱膜は足のアーチを支え、歩行時の衝撃を吸収する役割を果たす。
- ・距骨下関節 (Subtalar Joint): 距骨下関節は足部の内反・外反を制御し、地面との接触時の安定性を提供する

2. アクティブサブシステム (Active Subsystem)

- ・腓骨筋群 (Peroneus Longus Muscle): 足の安定性とアーチのサポートに寄与する。
- ・後脛骨筋 (Tibialis Posterior Muscle): アーチを保つ役割を果たし、歩行時の推進力を作り出す。

3. ニューロサブシステム (Neural Subsystem)

- ・足底の機械受容器 (Mechanoreceptors in the Sole): 足底の感覚受容器は地面との接触情報を中枢神経系に伝え、姿勢制御や歩行の調整に役立つ。
- ・脊髄反射 (Spinal Reflex): 足部の動きを瞬時に調整するための反射経路で、急な不整地でのバランス維持に重要。



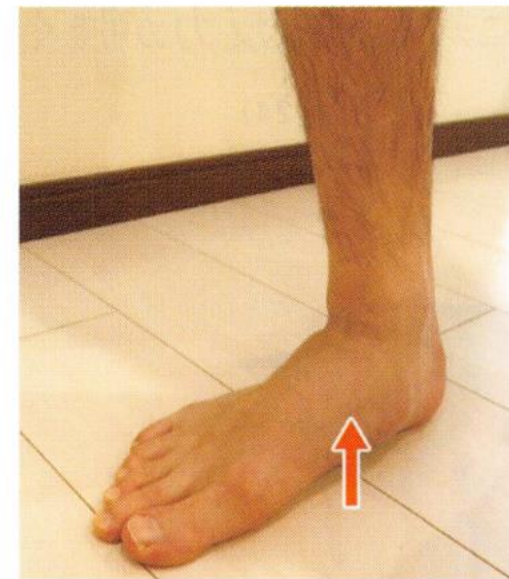
Foot Core Systemの評価は？

- ✓ 片脚立位テストにおいて内在筋群の評価は可能である。足趾が過剰に屈曲する場合は外在筋の代償が生じている。
- ✓ 脳卒中患者で自立歩行が可能であっても、外在筋群の代償を伴う場合は、在宅生活も踏まえた詳細な評価や治療が重要であり、装具、インソール、テーピングなどの検討が必要な場合もある。

ダイナミック
バランスでの
内在筋強化



外在筋代償



内在筋活動

開始の一步(=FirstStep)の中身

Bonora G et al : A new instrumented method for the evaluation of gait initiation and step climbing based on inertial sensors: a pilot application in Parkinson's disease. J Neuroeng Rehabil. 2015

- ✓ 歩行初期におけるFirst Stepは、Inertiaでの前方推進生成は困難であり、ある程度の筋出力が必要となる
- ✓ First Stepで要求される神経系駆動の背景となる筋骨格系の中身は、歩行に要求される構成要素と近似するため理解しておくことは重要

