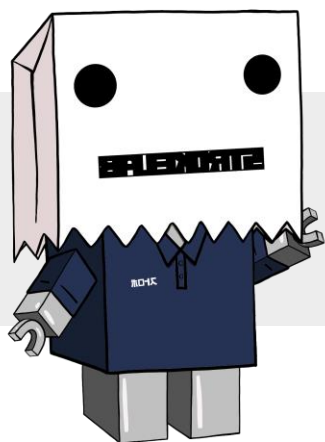




歩行 (Locomotor activity)

【本日の大テーマ】

推進力 = 床反力 × 高い、重心

本日の到達目標！

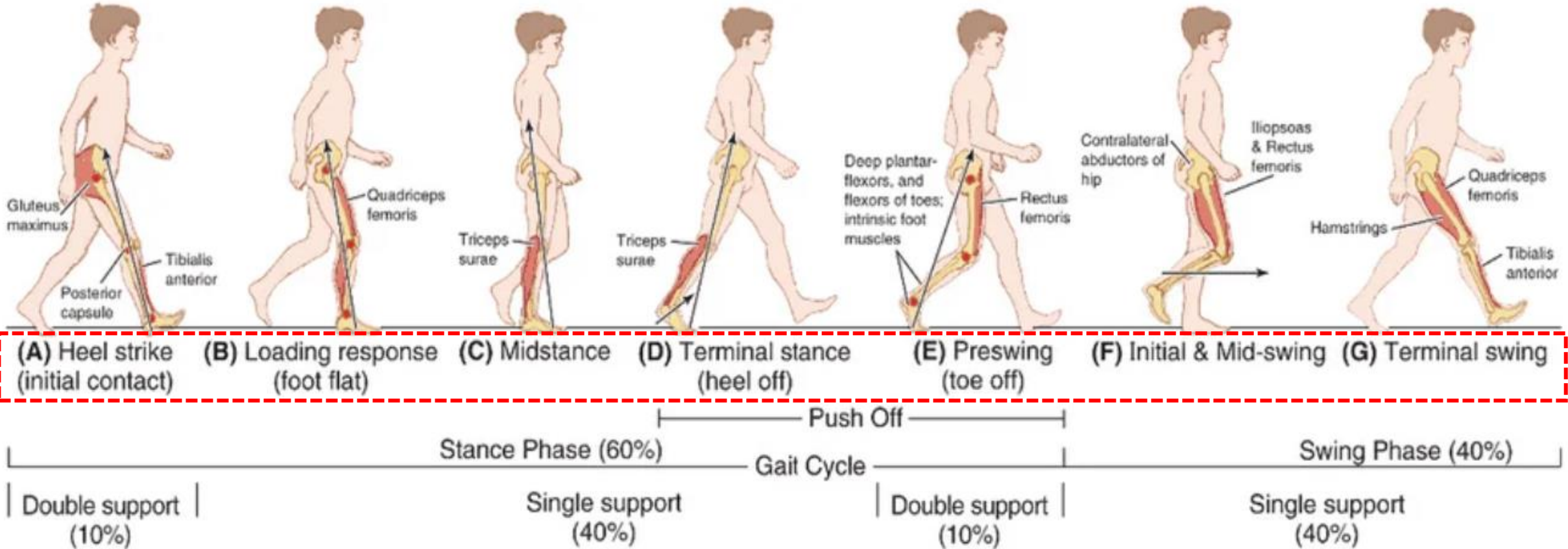
- ✓ 歩行に必要な「推進力」について説明できる！
- ✓ 脳卒中患者の歩行に対するリハビリのイメージを構築する！

講義を受けることで
明日の臨床が楽しくなる！



歩行周期を再確認！

Walter Pirker et al 2016 : Gait disorders in adults and the elderly: A clinical guide



歩行の推進力を生み出すためには？

Sarah A. Kettlety et al 2025 : Within-session propulsion asymmetry changes have a limited effect on gait asymmetry post-stroke

歩行の推進力は、下腿三頭筋の収縮による足関節の底屈運動と、股関節・体幹の協調的な働きによって生まれる。

地面をしっかりと蹴り出し、その反力を前進エネルギーとして利用するのがポイント。

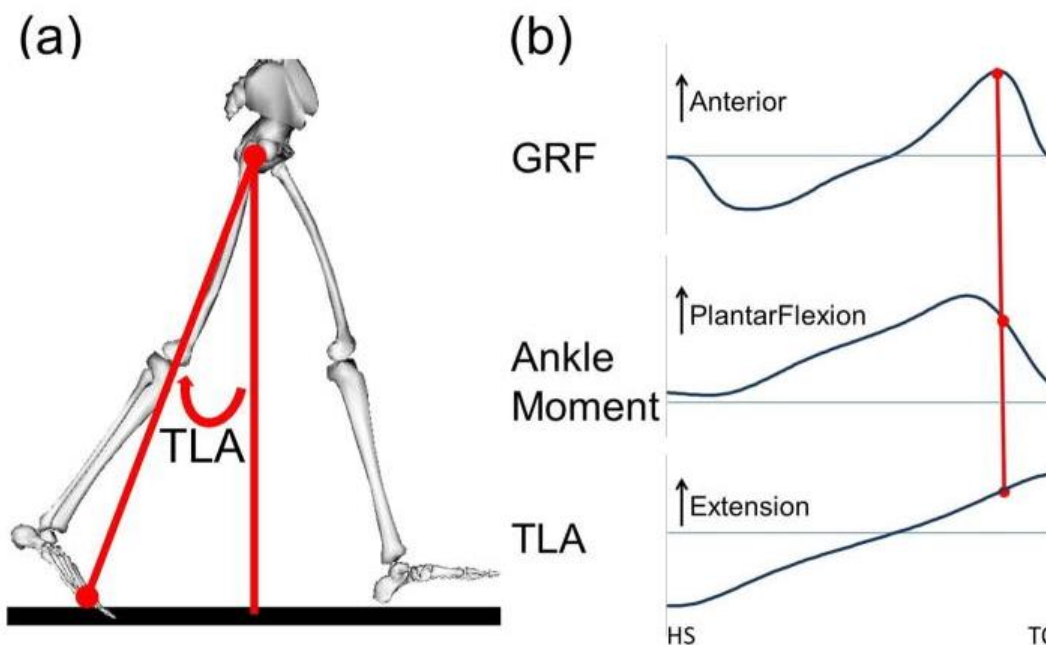


Trailing Limb Angle (TLA) とは？

Michael D Lewek et al 2020 : Trailing Limb Angle is a Surrogate for Propulsive Limb Forces During Walking Post-Stroke

TLAは、立脚終期（terminal stance）における股関節大転子、外果、第5中足骨頭を基準点とし、下肢が後方へどれだけ伸展しているかを角度で示す指標です。

特にリハビリや歩行練習の目標として、「TLAを大きくする」＝「股関節・足関節をしっかり伸ばして身体を前に進める」ことが歩行の推進力改善につながります。



The relative contribution of ankle moment and trailing limb angle to propulsive force during gait

ロッカーファンクションとは？

Sumiko Yamamoto et al 2022 : Ankle-foot orthosis with an oil damper versus nonarticulated ankle-foot orthosis in the gait of patients with subacute stroke: a randomized controlled trial

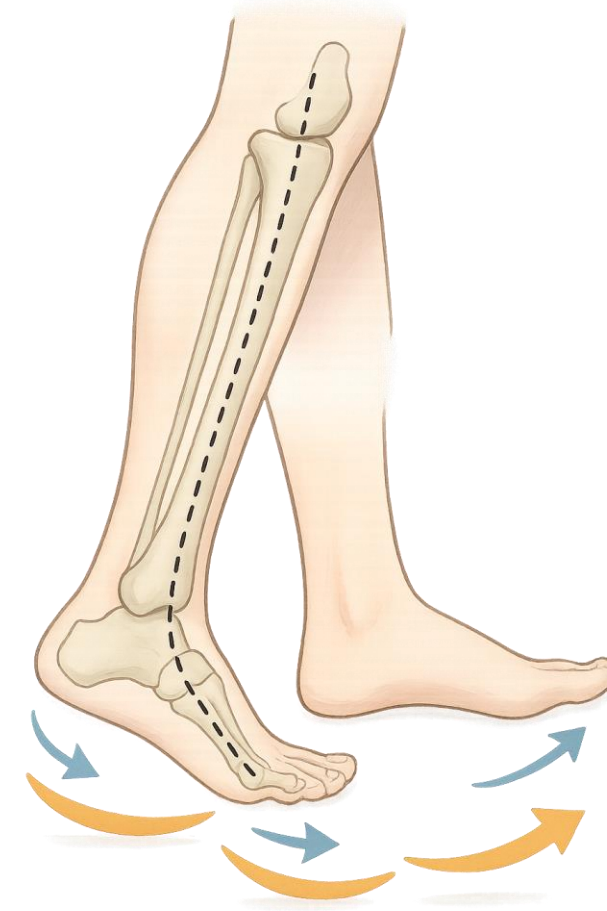
歩行時、足部と下肢の「てこの働き（ロッカー）」を使って、COMの前方推進とエネルギー効率を最大化するしくみです。歩行周期で「3つ」のロッカーが協調して働きます。

各ロッカー期に、COPは後方（踵）から前方（つま先）へ滑らかに移動。その間、COMがCOPを追い越して前方に位置し続けることで、重力＋筋力＋床反力を効率よく推進力へ変換。

ロッカー機能が正常だと、

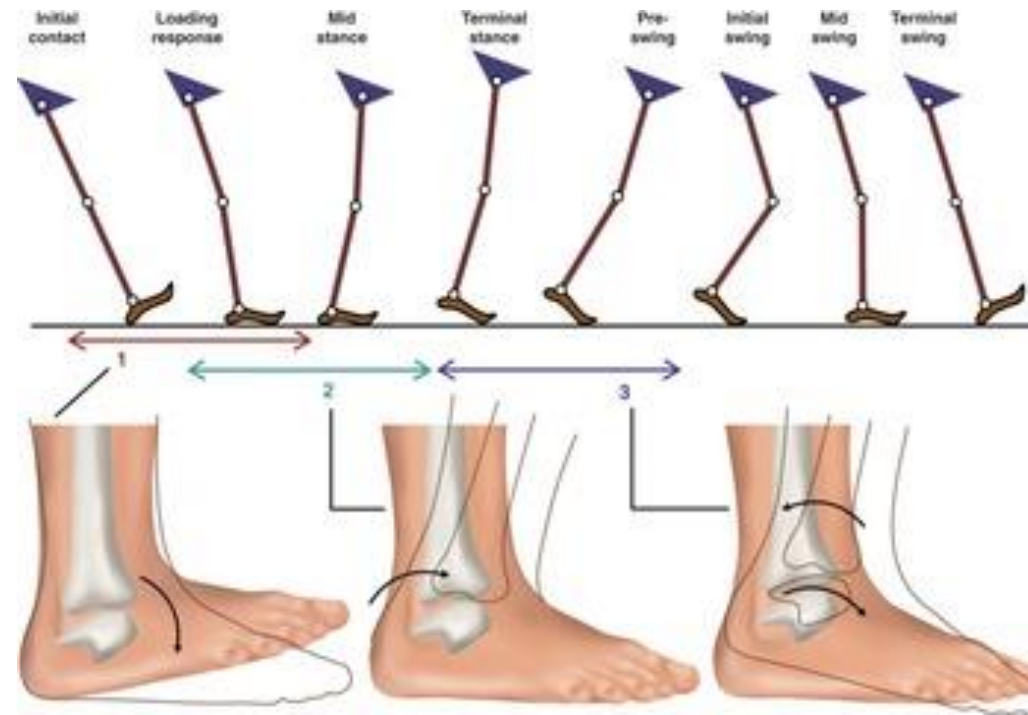
「エネルギー効率よく、自然に、楽に前へ進める」。

ロッカー機能が障害される（例：内反尖足）と、COPの前方移動やCOMの前方推進が阻害され、推進力が低下・代償動作が出現。



ロッカーファンクションの解説！

Sumiko Yamamoto et al 2022 : Ankle-foot orthosis with an oil damper versus nonarticulated ankle-foot orthosis in the gait of patients with subacute stroke: a randomized controlled trial



ヒールロッカー：

IC時、COP = 踵→COMがCOPを越え、前方への「転がる力」と「落下エネルギー」を推進力へ。

アングルロッカー：

足関節を支点にCOPが前方へ→脛骨前傾でCOMが更に前へ押し出される。

フォアフットロッカー：

つま先を支点に下腿三頭筋の底屈モーメントでCOPが最前方→COMはCOPより大きく前方、強いトーオフ推進力。

重心を高く保つ主なメリット①

◆ エネルギー効率が良い

重心が高いと、歩行中に生じる上下動の振幅（位置エネルギー）が大きくなり、「歩行周期内でのエネルギー交換効率上がる」結果、筋活動を最小限に抑えつつ、前進できる。

◆ 推進力（propulsive force）が得られる

高い重心を持つことで、前方へ“倒れ込む力”＝重力による推進力を最大限活用できるCOPよりも前にCOMを出すことで「落ちる力」を推進に変換しやすい。



重心を高く保つ主なメリット②

◆ 歩幅や速度が確保しやすい

重心が高く保てると、一歩あたりの前方への移動量が大きくなり、歩幅も広がり、歩行のリズムや速度も自然と上げやすい。

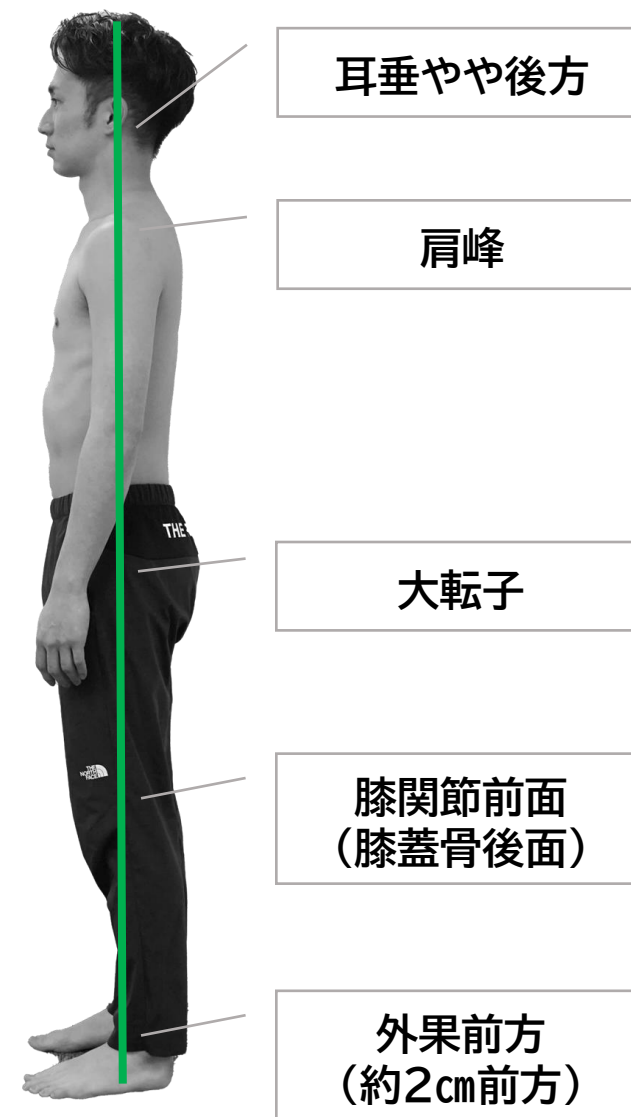
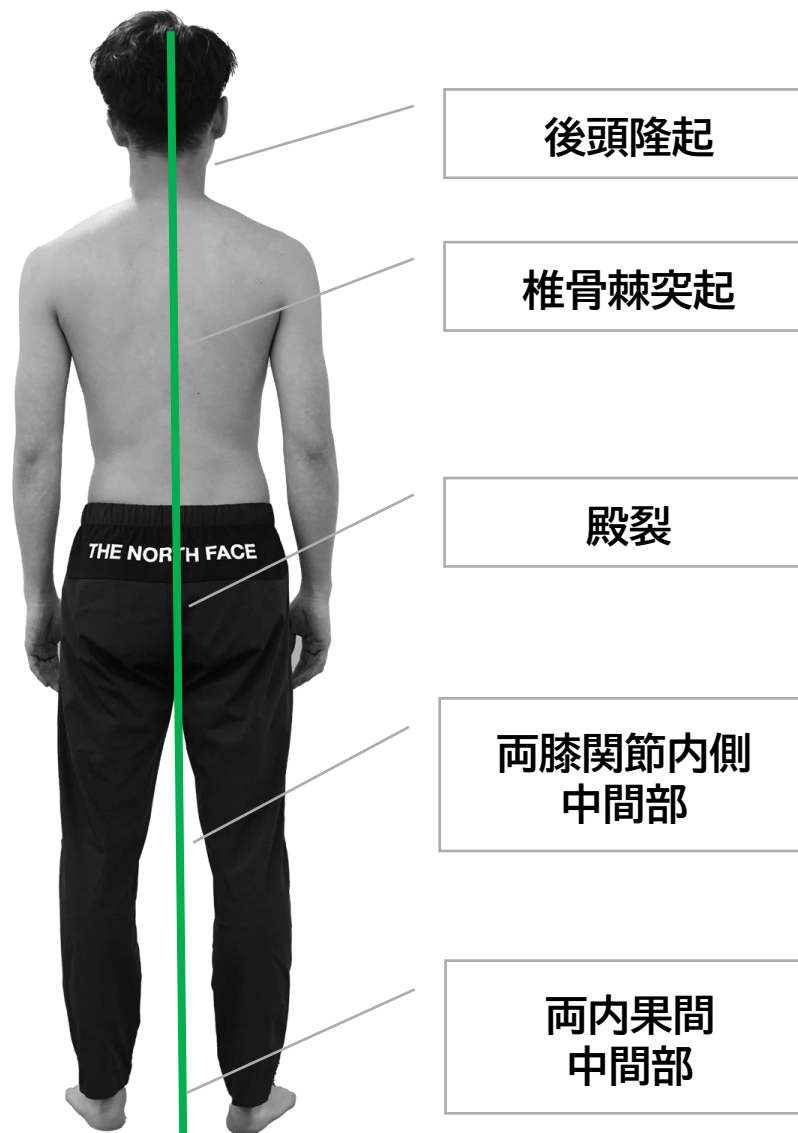
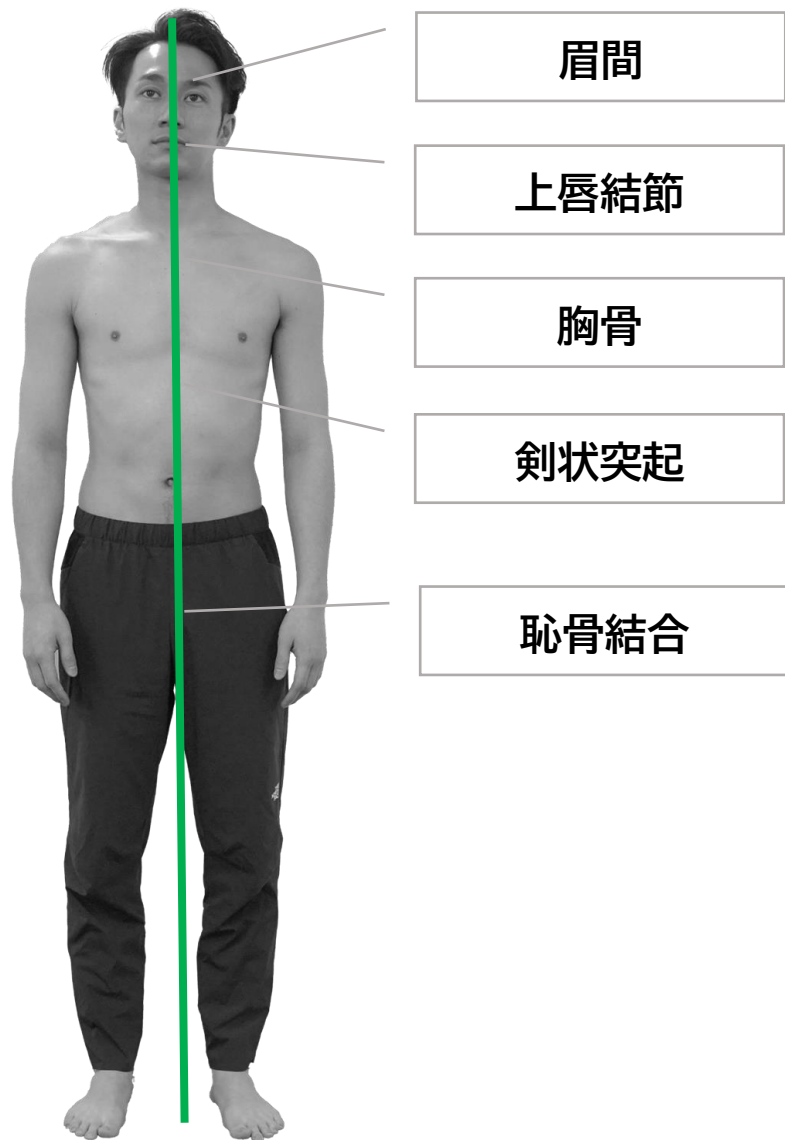
◆ 床反力（GRF）のベクトルが効率的になる

重心が高いほど、床反力がより効率よく身体を前進方向に押し出す。



立位における重心線

Jane Johnson : Postural Assessment (Hands-on Guides for Therapists) : Human Kinetics Pub. 2012



重心の位置をイメージする

重心は体全体の質量中心であり、成人では「立位でほぼ臍のやや前方・第2仙椎あたり」に位置します。歩行中も、重心は常に移動します。

- ◆ 骨盤の動き：骨盤の上下動は重心移動の指標。立脚終期で骨盤が上がっていれば、重心が高くなっている証拠です。
- ◆ 肩や頭部の動き：側面から観察して、肩や頭の高さが「上下動」していれば、重心の上下動が出ている。
- ◆ 歩幅・下肢伸展：立脚終期にしっかり下肢が後方へ伸びていると、重心が高くなりやすい。

歩行周期	重心の動き
初期接地	最も低い位置になる
立脚中期	徐々に上昇
立脚終期～蹴り出し	最も高くなる
遊脚期	再び下降



脳卒中患者は重心を高く保つことが難しい？

脳卒中患者では筋出力低下、痙縮、バランス障害、感覚障害などが重なり、重心を高く保つことができなくなります。

- ◆ 健常者は「歩行周期で重心が上下動」し、トーオフ（toe-off）前後で重心が最も高くなる。
- ◆ 脳卒中患者は、膝折れや早期膝屈曲、股関節伸展の不十分さにより重心がほぼ水平に推移しやすい。
- ◆ 立脚終期で下肢が十分に後方へ伸びない（TLAが小さい）



臨床で観察される「内反尖足」は？

Sheng Li 2023 : Stiff Knee Gait Disorders as Neuromechanical Consequences of Spastic Hemiplegia in Chronic Stroke



内反尖足になることで足関節背屈ができず、
重心が前方へ移動しにくくなる。



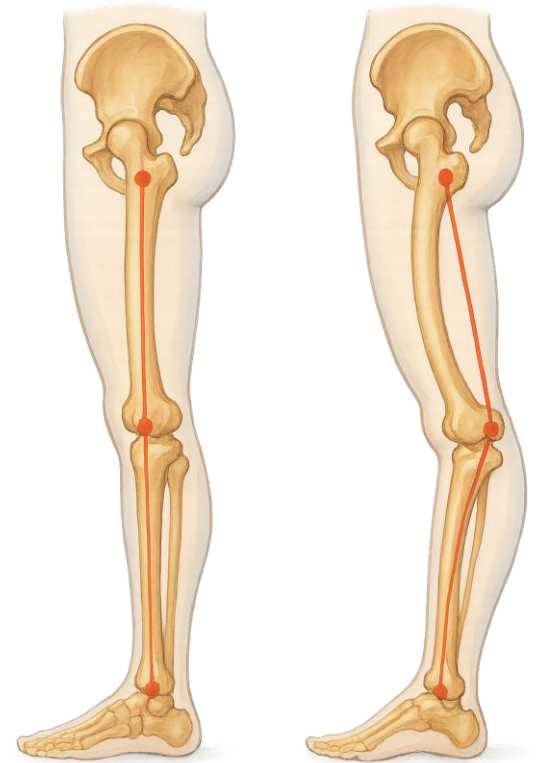
膝を後ろに反らせる（＝反張膝）ことで
代償的に体重を支えようとする。

反張膝の解説

大腿四頭筋の筋力低下／タイミング不全→ 立脚時に膝伸展モーメントをうまく制御できず、膝を「ロック」して安定を得ようとする。

ハムストリングスの筋力・協調低下→ 通常は膝過伸展に対し抑制的だが、働きが悪いと過伸展を許容してしまう。

下腿三頭筋（腓腹筋・ヒラメ筋）の痙縮または短縮→ 足関節が底屈位を取ると膝が後方へ押し出され、反張膝が助長される。



身体を支えるには、どの筋が重要か？



【1】下肢伸展筋群

大殿筋・ハムストリングス：股関節伸展による体幹・骨盤の支持

大腿四頭筋：膝伸展による膝関節の安定・伸展保持

下腿三頭筋：立脚後期での足関節の安定とトーオフ

【2】体幹筋群

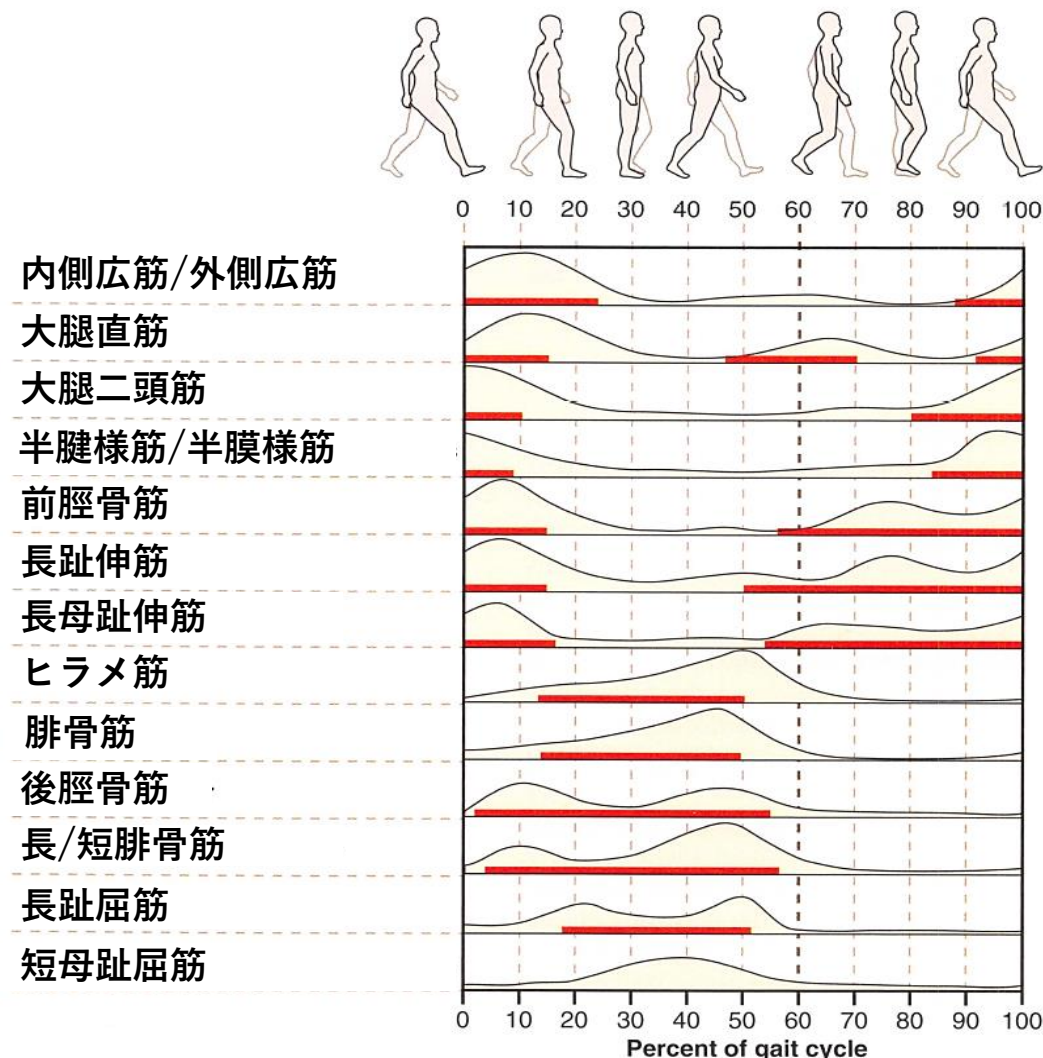
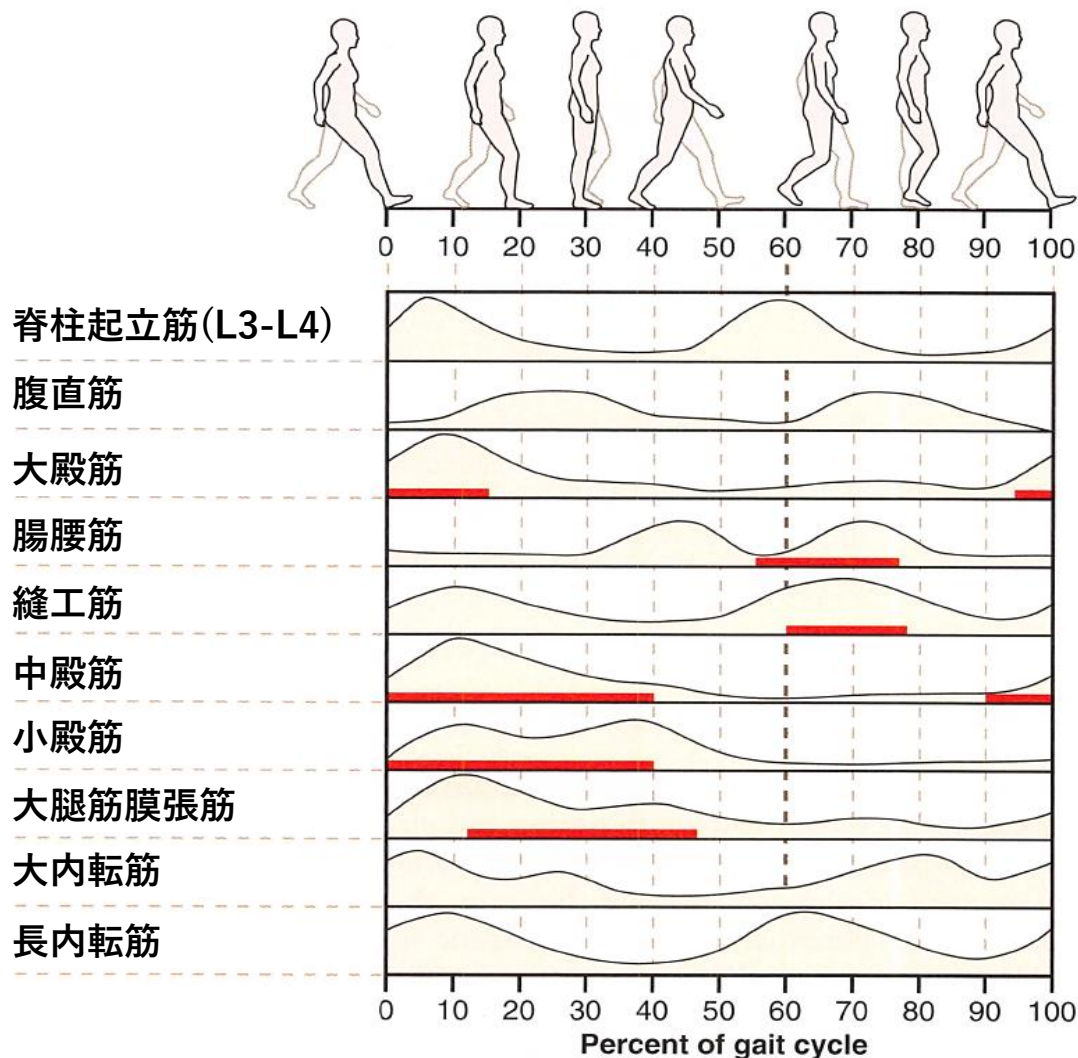
脊柱起立筋・腹筋群：体幹の安定、骨盤の前傾・回旋コントロール

中殿筋：骨盤の左右への落ち込み(トレンデレンブルグ兆候)の防止

要求される協調的筋活動

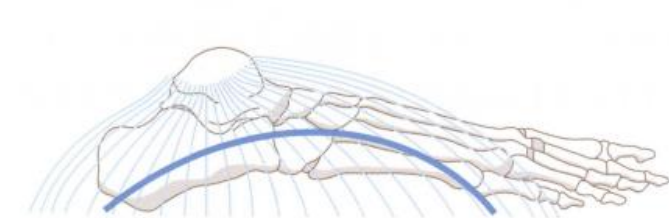
Cara M et al : EMG activity across gait and incline: The impact of muscular activity on human morphology. Am J Phys Anthropol. 2010 Dec; 143(4): 601-611

- ✓ 歩行中には、関節間の協調関係と同じように、筋活動もバランスよく協調することが求められます。
- ✓ 適切な筋力・柔軟性・関節の可動性が揃って初めて、機能的でエネルギー効率の良い歩行が実現できます。

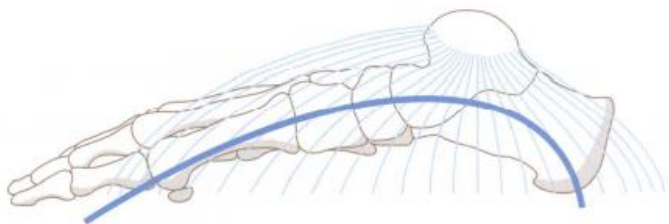


アーチ構造と足部内在筋

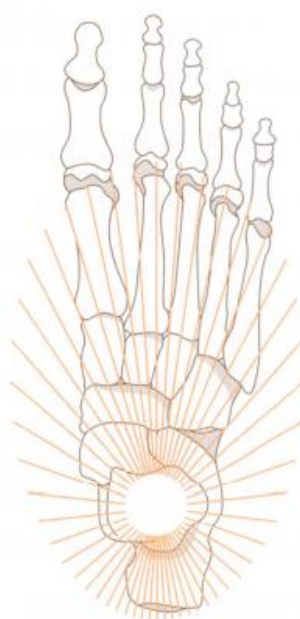
- ✓ 内側アーチは足部の構造において重要であり、歩行時の体重移送の負荷量を吸収、減弱する役目を担います。底側踵舟靱帯、足底腱膜、前後脛骨筋などの外在筋、内在筋が内側アーチのサポートに寄与します。



外側ドーム構造と外側アーチ



内側ドーム構造と内側アーチ



上方ドーム構造

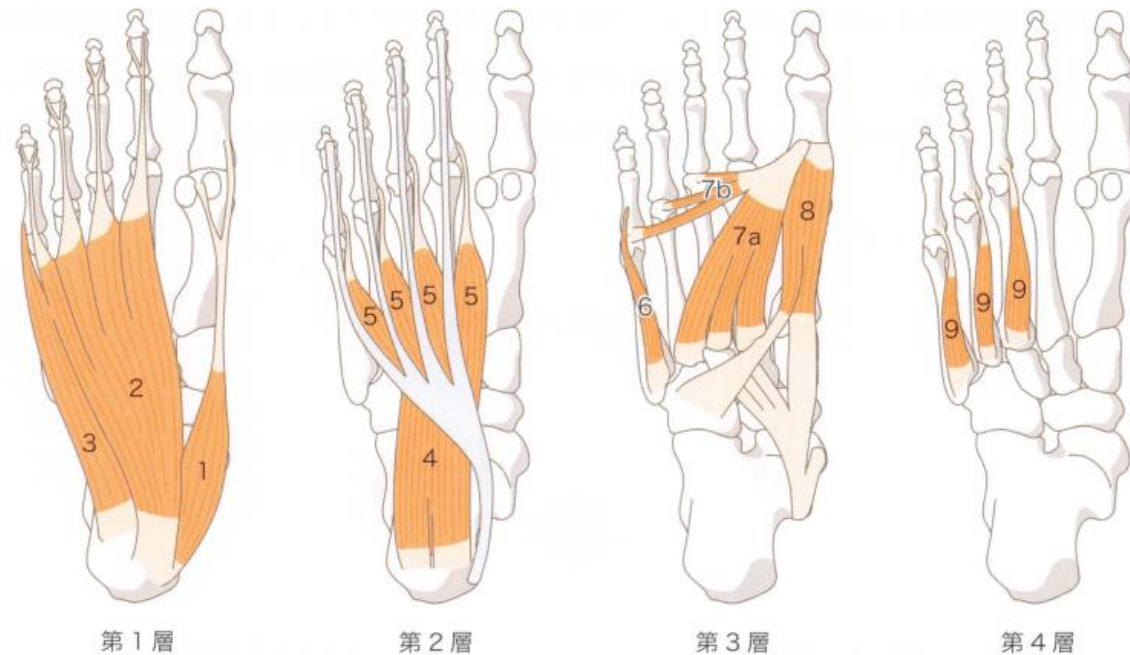


図 6-14 | アクティブサブシステムにおける足部内在筋の 4 層

第 1 層：(1) 短母趾外転筋, (2) 短趾屈筋, (3) 小趾外転筋, 第 2 層：(4) 足底方形筋, (5) 虫様筋, 第 3 層：(6) 短小趾屈筋, (7a) 母趾内転筋斜頭, (7b) 母趾内転筋横頭, (8) 短母趾屈筋, 第 4 層：(9) 底側骨間筋 (McKeon PO, et al: The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. Br J Sports Med 49: 290, 2014 より)

図 6-13 | パッシブサブシステムによる半ドーム構造

(McKeon PO, et al: The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function. Br J Sports Med 49: 290, 2014 より)

内反尖足の筋バランス異常

Nicolas de l'Escalopier et al 2022 : Evaluation methods to assess the efficacy of equinovarus foot surgery on the gait of post-stroke hemiplegic patients: A literature review

過活動・痙縮筋

腓腹筋・ヒラメ筋（下腿三頭筋）：足関節を底屈方向に強く引っ張る

後脛骨筋（tibialis posterior）：強い内反トルクを生み出す

長趾屈筋・長母趾屈筋：足趾を屈曲・内転し足部を剛体化

低活動・筋力低下筋

前脛骨筋（tibialis anterior）：足関節背屈・外反の主動筋

長趾伸筋群・長母趾伸筋群：足関節の背屈と外反、足趾を伸展

→ このアンバランスによって「内反」＋「尖足（底屈）」の複合変形が生じる



正常歩行と内反尖足との比較は？

Nicolas de l'Escalopier et al 2022 : Evaluation methods to assess the efficacy of equinovarus foot surgery on the gait of post-stroke hemiplegic patients: A literature review

正常歩行では

- ◆ IC時、踵が最初に接地（ヒールロッカーが始動）
- ◆ COPが踵→足底中央→つま先へ前方移動
- ◆ 足関節は背屈→底屈へと滑らかに変化し、下腿三頭筋がトーオフで最大の推進力を生む

内反尖足では

- ◆ 踵が接地せず、前足部（特に外側）での異常接地
- ◆ COPが足底外側・前方に偏在、ロッカー機能喪失
- ◆ 足関節の底屈位固定により、下腿の脛骨前傾が制限→推進力低下
- ◆ 遊脚期の足先クリアランスも悪化し、分回し歩行などの代償運動が出現

