

歩行

Back Ward 上肢と歩行の関係性

山梨リハビリテーション病院
理学療法士 小林秋太

歩行と移動

歩行（ほこう）とは、歩くことであり^[1]、足（脚）による移動のうち比較的低速のものを言い、厳密にはどの瞬間も少なくともひとつの足が地面についたまま移動する動作を言う。走行と対比される。

移動（いどう）とは、ある場所から他の場所へと位置を変えること^{[1][2][3]}。移り動くこと^[2]。移り動かすこと^[2]。動いて位置が変わること^{[4][3]}。動かして位置を変えること^[4]。

Locomotion（移動）

重力（引力）に対して身体を支え（**stability**）、ある場所から他へ身体を移す（**Mobility**）こと。

この活動のため、ヒトを含む地球上の動物は**左右対称の身体**を持つ

ヒトでは歩行であるが、ねがえり、起き上がり、立ち上がり、上肢のリーチや把握、手指での操作などの基本的活動にも身体の移動が必要

私たちのLocomotion は

- 小さな足の上に大きな身体を乗せ長時間立位を保持でき
- ゆっくり、速く、あるいは駆け足でも歩くことができる
- 歩幅を自由に換えられ、障害物を越えたりもできる
- また前や、後ろ、横、それにまっすぐばかりでなく大小のカーブもこなせる

私たちのLocomotion は

- 建物の床上ばかりでなく、バスや電車の中など動く床面上でも立っていただける
- でこぼこ道や砂の上、坂道、階段、雪道などいろんな状況の路面を大した苦も無く歩くことができる
- 手にいろんな物を持ちながら、時には大きな、重い荷物を抱えながら歩くことができる
- これらの課題を行う時、転倒のリスクがない



私達の治療課題もこれらのLocomotion に向かっていくことが大事

これらのために私たちは

- 立位姿勢を保つこと、両下肢を交互に動かすこと、身体を前進させるエネルギーを作り出すことなどを意識せず、自動的にやっている
- これは遺伝情報としての姿勢制御と運動制御を基盤にして、発達の中で多種、多様な感覚運動経験の積み重ねから成り立っている
- 中でも足部は柔軟性に富んでおり、その構造、皮膚や筋それに感覚系に特徴を持つ

正常な歩行とは

- 平均をとった際にみられる特徴 (Perry 1992)
(男女合わせて420人の健常者の滑らかな平地歩行における自由歩行を検査)
- 与えられた環境や条件に適合した結果、人々はそれぞれ異なるように歩く (Mulder 2001)
- 歩行は両足の活動のみによって決まるのではなく、周りの状況と自分の目的に対する身体全体の表現である (Neumann 2005)

効率的な運動とは

- 目標が達成されること
- 最小のエネルギー消費であること
- 最短の運動時間であること

(Schmidt and Wrisberg 2002)

片麻痺患者の歩行の問題

—左右の非対称姿勢と非効率な動き—

- 体幹の非対称と頭頸部の過剰固定
- 非麻痺側肩甲帯の代償固定
- 非麻痺側の過活動（体幹側屈、上下肢の過活動）
- 麻痺側の感覚・運動機能の弱化
- 麻痺側肩甲帯の下垂と連合反応
- 骨盤のswayあるいは後退
- 膝折れあるいはロッキング
- 足部の内返しあるいは背屈不足と蹴れない足部

歩くためには左右同じ足（2 Same Legs）が必要

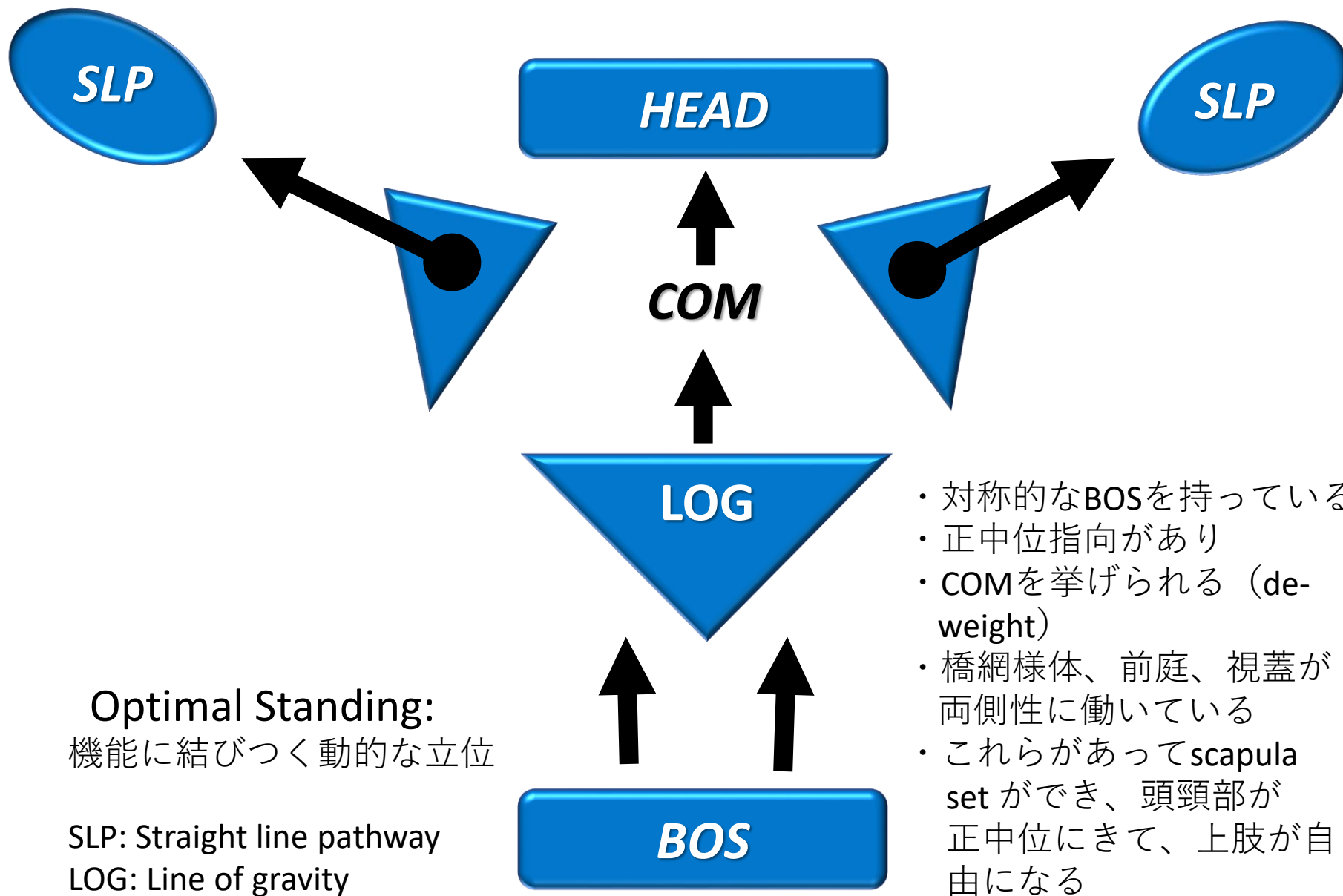
太鼓のバチが違う長さだと
リズムがとれず、うまく
叩けないと思います



同様に箸も長さや重さが
違ったらうまく使えません

歩行における患者さんの両下肢、両上肢

- 歩行も左右の下肢が長さ、重さが違ったらCPGを駆動させることが難しく、小脳もその調整に戸惑い、前頭連合野の出番になります
- 上肢についても利き手はありますが、基本的な機能では左右同じである必要があります
- 私たちは患者さんの歩行を実現するために、まず2 Same legs を造る、つまりoptimal standingの治療が必要です





Contents lists available at [SciVerse ScienceDirect](#)

Gait & Posture

journal homepage: www.elsevier.com/locate/gaitpost



Review

The how and why of arm swing during human walking

Pieter Meyns^{a,1}, Sjoerd M. Bruijn^{a,b,1}, Jacques Duysens^{a,c,*}

^a Department of Kinesiology, Faculty of Kinesiology and Rehabilitation Sciences, KU Leuven, Heverlee, Belgium

^b Department of Orthopedics, First Affiliated Hospital of Fujian Medical University, Fuzhou, PR China

^c Department of Research, Development and Education, Sint Maartenskliniek, Nijmegen, The Netherlands

ARTICLE INFO

Article history:

Received 12 August 2012

Received in revised form 26 November 2012

Accepted 5 February 2013

Keywords:

Gait

Arms

Human

Interlimb coordination

Arm swing

ABSTRACT

Humans walk bipedally, and thus, it is unclear why they swing their arms. In this paper, we will review the mechanisms and functions of arm swinging in human gait.

First, we discuss the potential advantages of having swinging arms. Second, we go into the detail on the debate whether arm swing is arising actively or passively, where we will conclude that while a large part of arm swinging is mechanically passive, there is an active contribution of muscles (i.e. an activity that is not merely caused by stretch reflexes). Third, we describe the possible function of the active muscular contribution to arm swinging in normal gait, and discuss the possibility that a Central Pattern Generator (CPG) generates this activity. Fourth, we discuss examples from pathological cases, in which arm swinging is affected. Moreover, using the ideas presented, we suggest ways in which arm swing may be used as a therapeutic aid.

We conclude that (1) arm swing should be seen as an integral part of human bipedal gait, arising mostly from passive movements, which are stabilized by active muscle control, which mostly originates from locomotor circuits in the central nervous system (2) arm swinging during normal bipedal gait most likely serves to reduce energy expenditure and (3) arm swinging may be of therapeutic value.

© 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.

1 : Arm swing: why?

歩行中手を振ることのメリット

2 : Arm swing: how?

歩行中どのように手を振っている？

歩行中手を振ることは、ActiveかPassiveか？

3 : Neural control of arm swing

CPG・脊髄固有ニューロン⇒四肢の協調

4 : Arm swing and pathology

上肢の振りと病態

5 : *Arm swing and gait rehabilitation*

臨床への応用

1 : Arm swing: why?

歩行中手を振ることのメリット

Arm swing to optimize stability

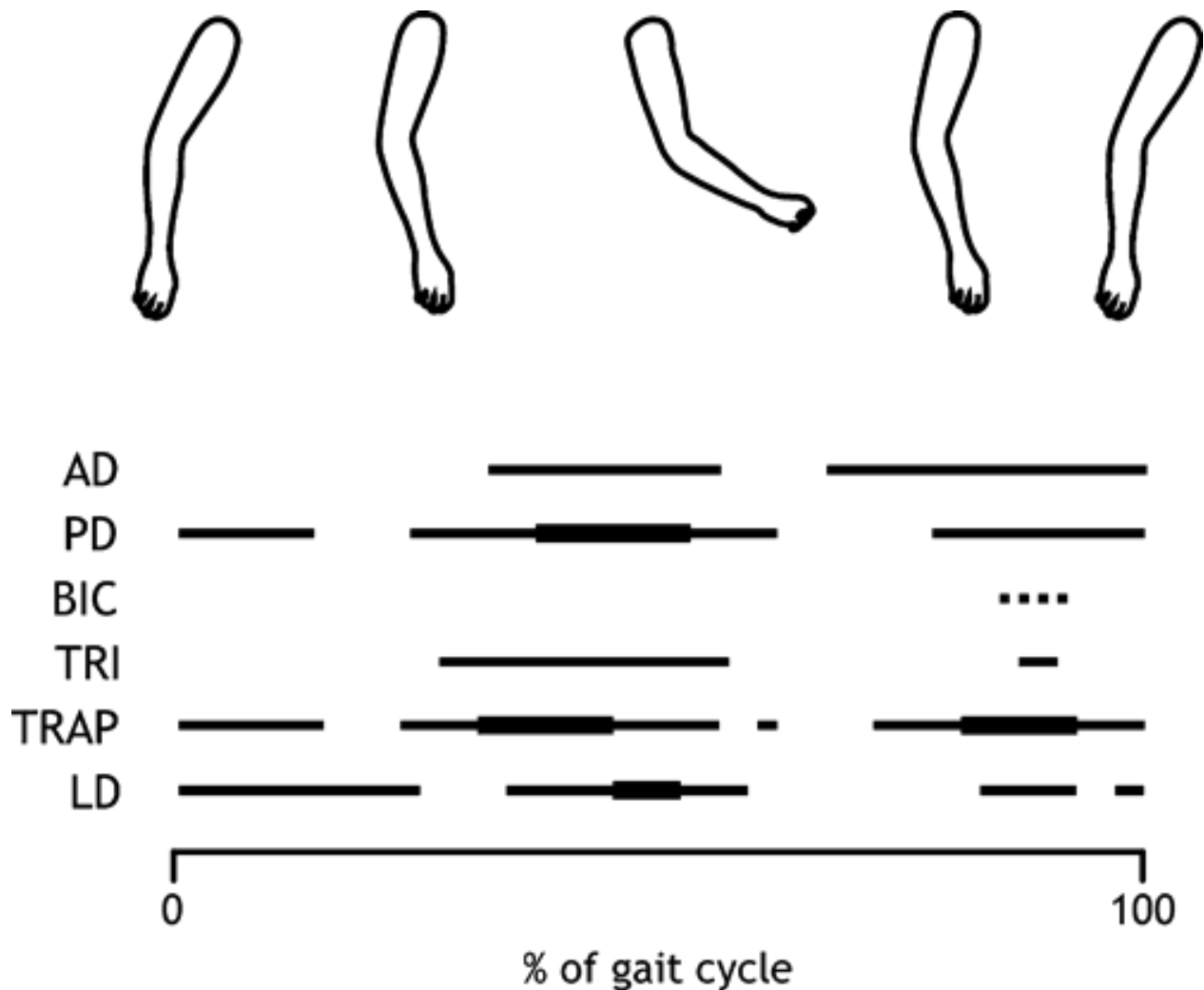
Arm swing to minimize energy consumption

- 上肢の振りは歩行中のエネルギーの軽減を得る。
- 重心の垂直方向の角度の軽減。床反力の軽減。
下肢の負担の軽減。
- 8%の酸素消費の軽減。

2 : Arm swing: how?

歩行中どのように手を振っている？

歩行中手を振ることは、Active？ Passive？



3 : Neural control of arm swing アームスイングにおける神経活動 CPG・脊髄固有ニューロンの関係性

- 様々な運動活動（水泳、ウォーキング）に腕や脚の間に相関がある。
- 下肢のケイデンスのサイクルを早くしたら、上肢のケイデンスのサイクルも変わった。
- しかし反対に、上肢のケイデンスを早くしても、下肢のケイデンスには関係しないという研究もあり。
- 上肢の努力は、脚の最大筋活性化を増加しなかった。

⇒四足移動の調整は、斜めの関係で、
歩くときも同様な支配的關係が期待できる。

- 上肢の運動は一般的に通常の歩行で立脚相に対応した移動フェイズでヒラメ筋の筋活動を増加した研究もあった（SCI：不全脊髄損傷患者から）。
- しかし、**上肢の最大収縮を使用した場合このような促通は SCI で見られなかった。**
- 下肢から脊髄固有ニューロンは脳幹と密接につながり、**上肢の自然な振り**は、脳幹・皮質への貢献がある可能性。

4 : Arm swing and pathology

Impairment of arm movements

Arm swing amplitude Arm posturing

上肢の振りと病態

患者さん（CP CVA PD SCI）における
上肢と下肢のパターン、姿勢

- 上肢を十分に振ること困難性
 - ⇒ 弱化、痙性、固縮、無動、稼働
- 腕の位置
 - ⇒ バランスとしての固定 外乱への適応反応
- 上肢の振りと下肢との協調性
 - ⇒ 腕－脚振り幅比

5 : *Arm swing and gait rehabilitation* 治療的要素

SCI 片麻痺 PDについて

- 下半身機能の働き
⇒重力負荷と慣性の効率的利用
- 上肢の自然な筋活動
- リズムの活用
- 筋活動のパターン変化
(四肢間の協調 体幹の筋活動の変化)

今回の文献のまとめ

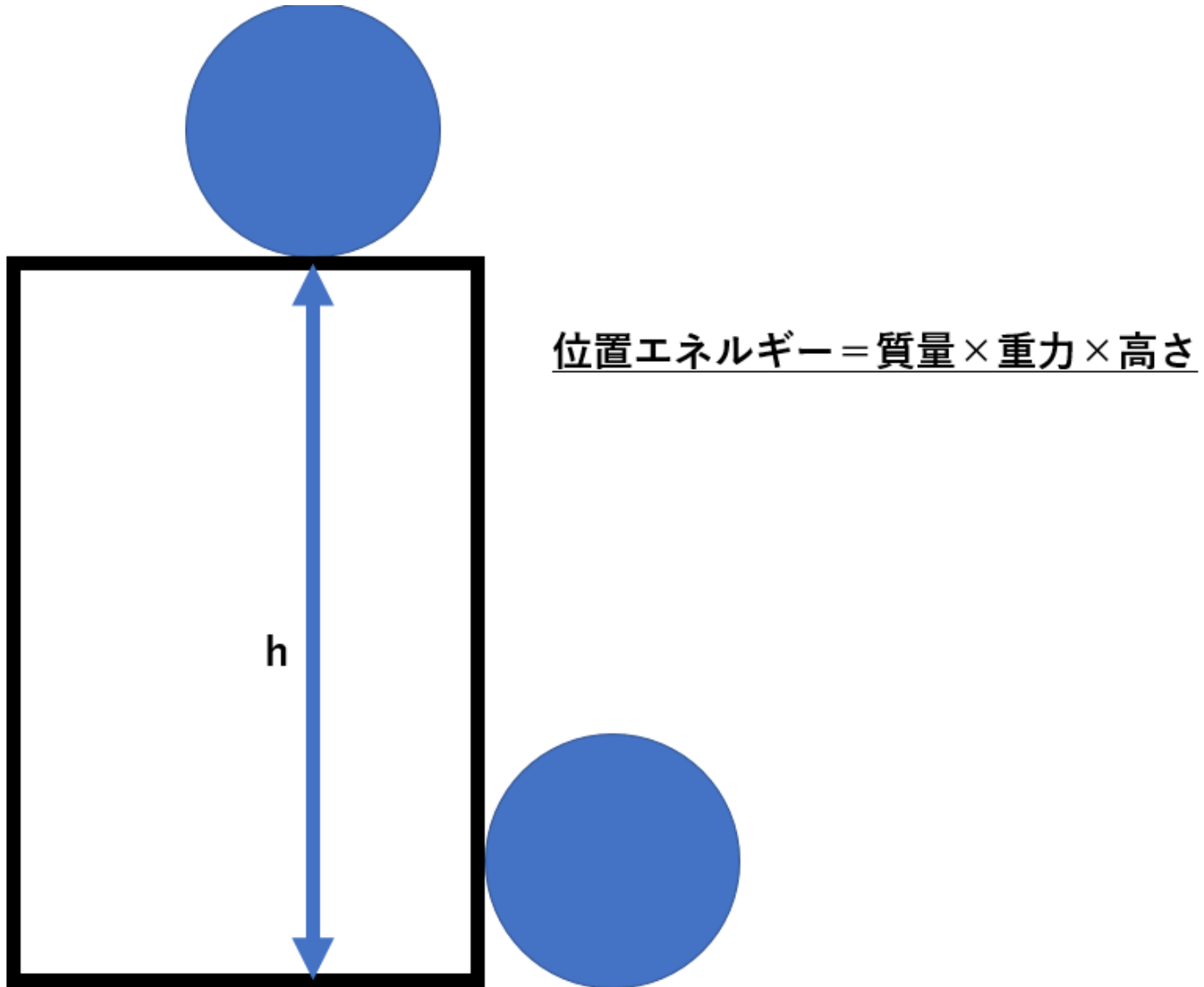
歩行中の上肢の筋肉の作用

- 歩行中上肢の筋肉作用の大部分は上肢帯、慣性、重力によって駆動されている。手をふることは、ほとんど受動的な要素だが、歩行の安定や効率性のために関わるのはリアクティブな中枢神経系のコントロールがある。
- ただ、筋活動としては微量。多すぎると下肢へ貢献できない可能性。
- CPG・脊髄固有ニューロンを介して四肢・体幹は協調関係にあり、移動に関する回路も関連している。

腕を振る必要性に関して

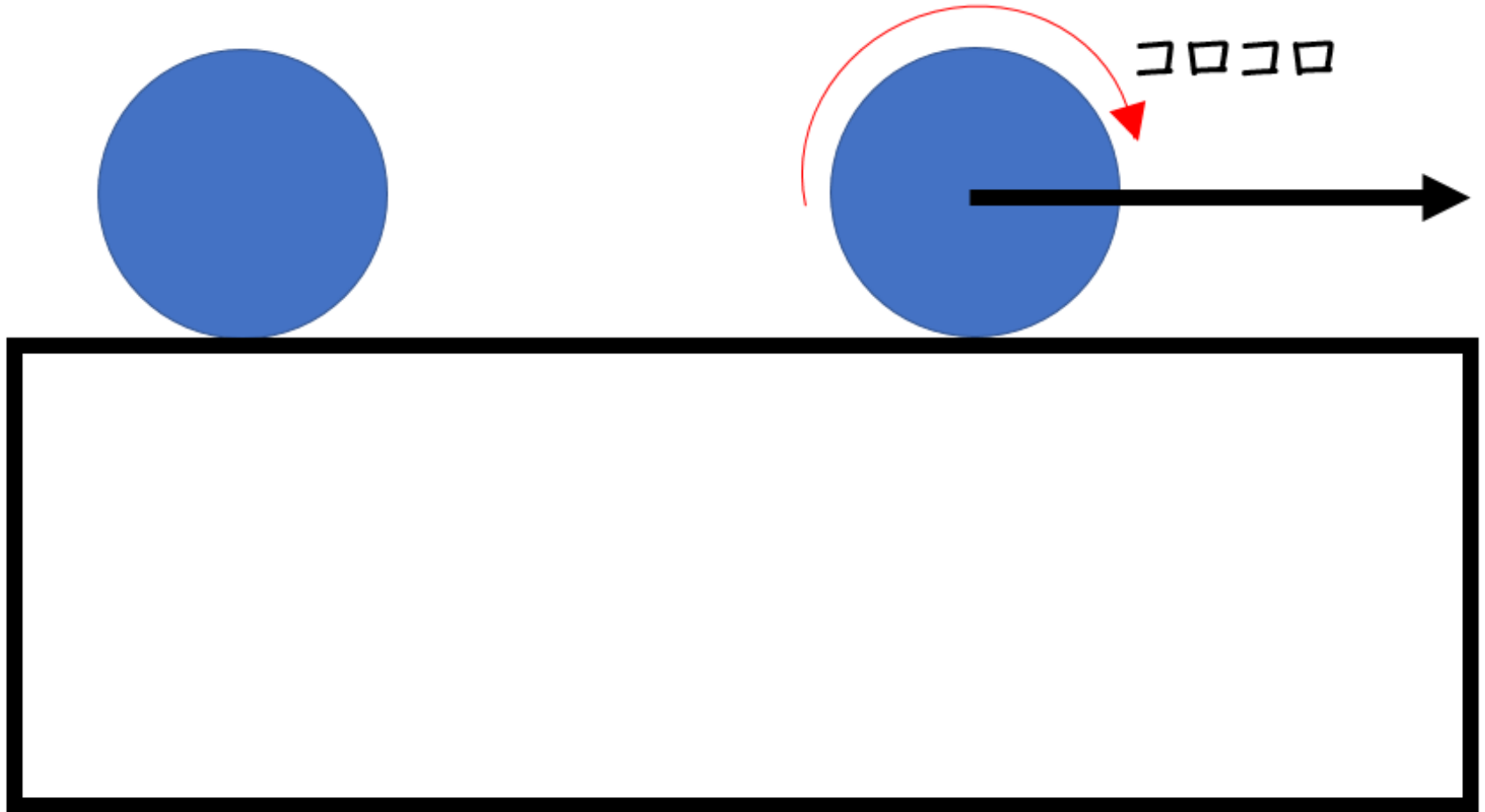
- 8パーセントのエネルギー効率が良くなる。
- 上肢の活動は下肢の活動に影響を与えているエビデンスがある。
- 上肢の活動が歩行に重要であることを、今後も評価していく重要性有り。

歩行のバイオメカニクス：位置エネルギー



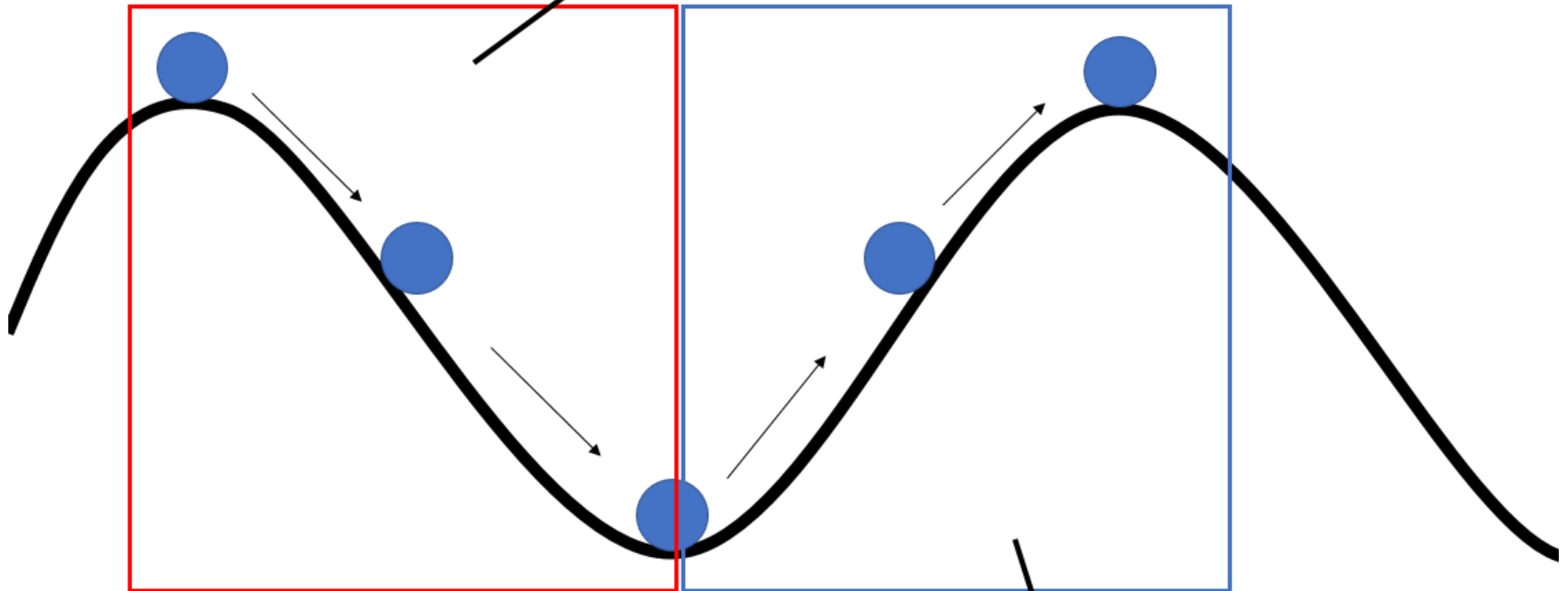
運動エネルギー

$$\text{運動エネルギー} = \frac{1}{2} \times \text{質量} \times \text{速さ}^2$$



エネルギー交換

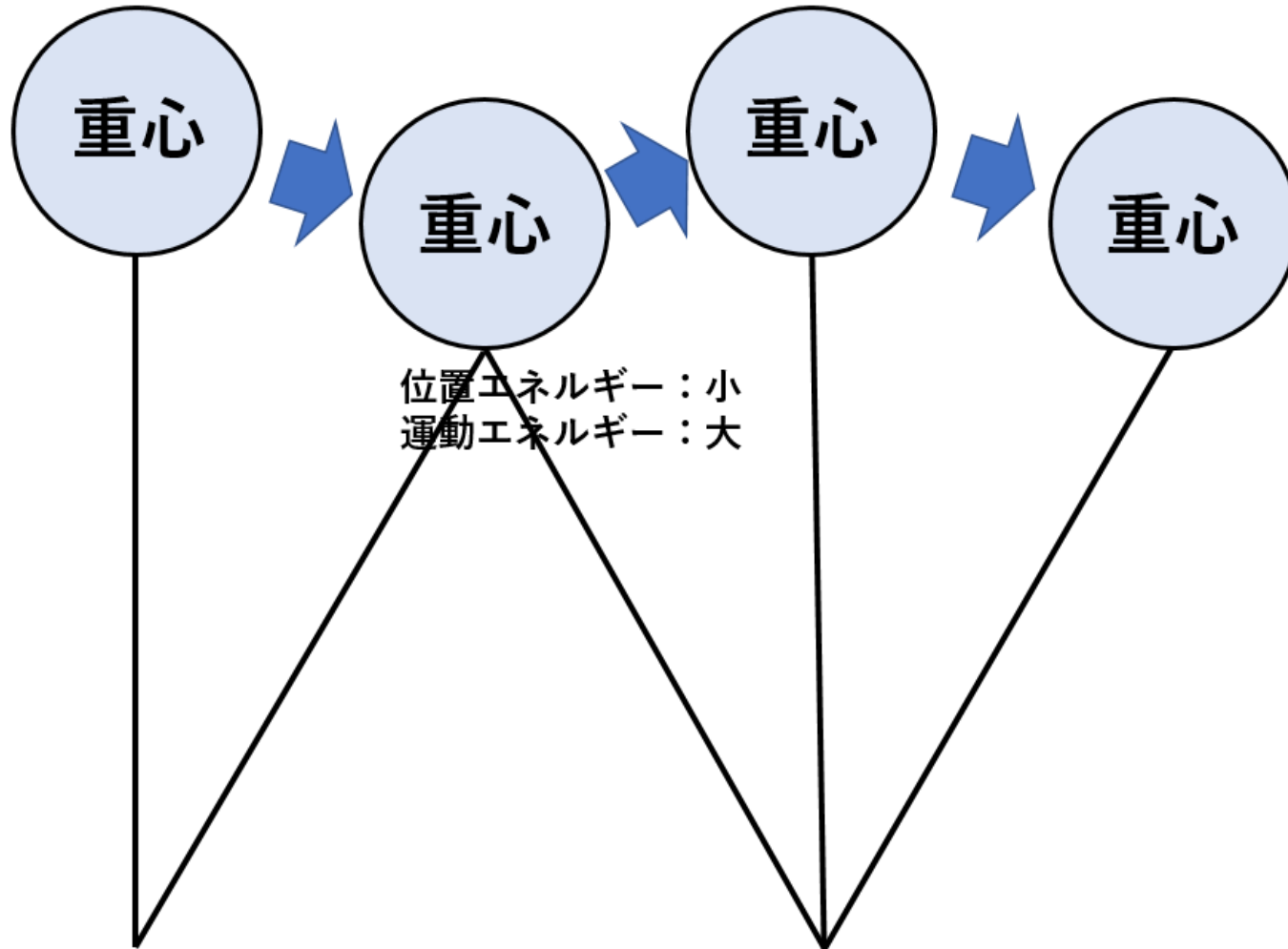
【位置エネルギー→運動エネルギー】
位置エネルギーによって物体を加速させる



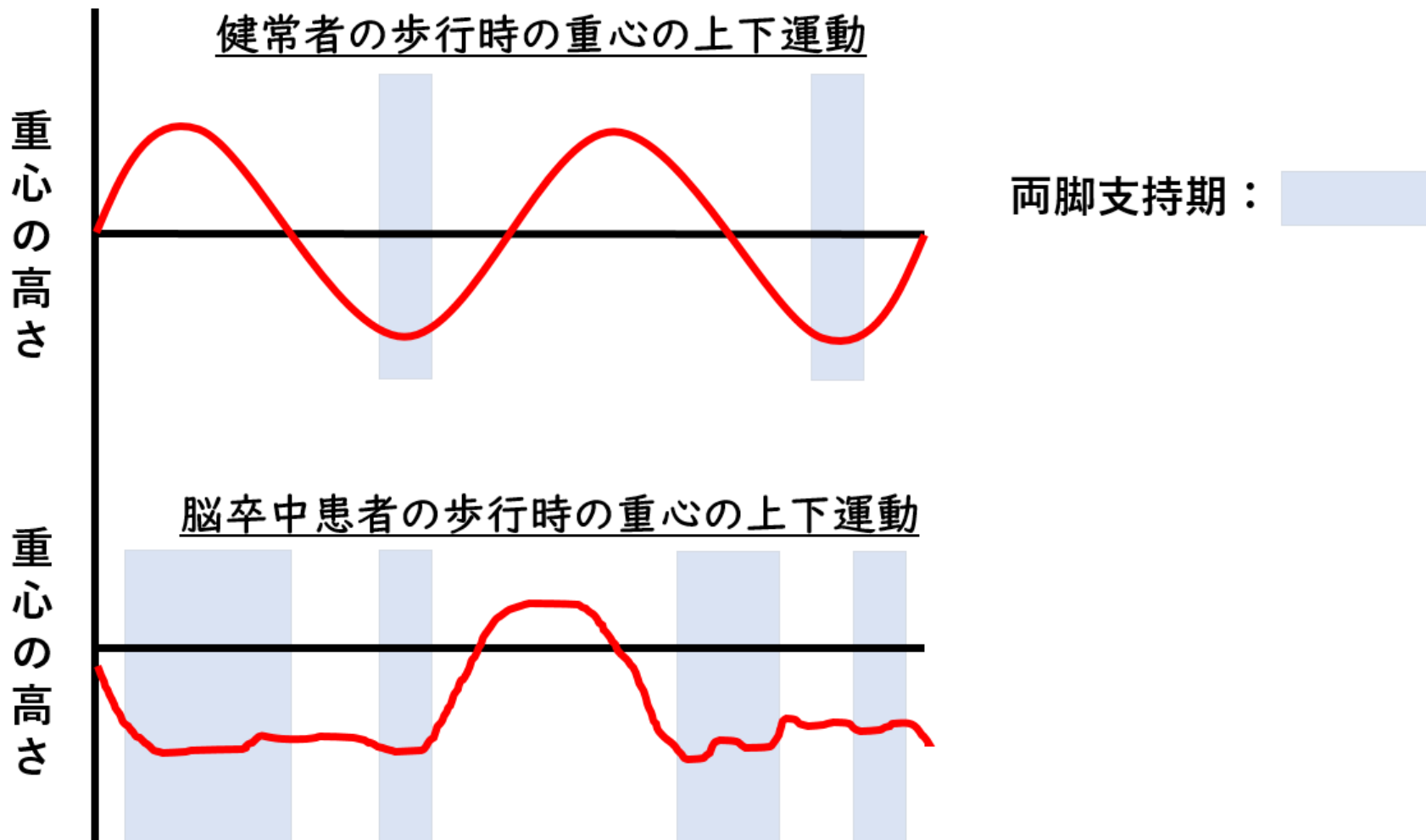
【運動エネルギー→位置エネルギー】
加速によって得た運動エネルギーによって持ち上げる

倒立振り子運動はなぜいいのか？

位置エネルギー：大
運動エネルギー：小



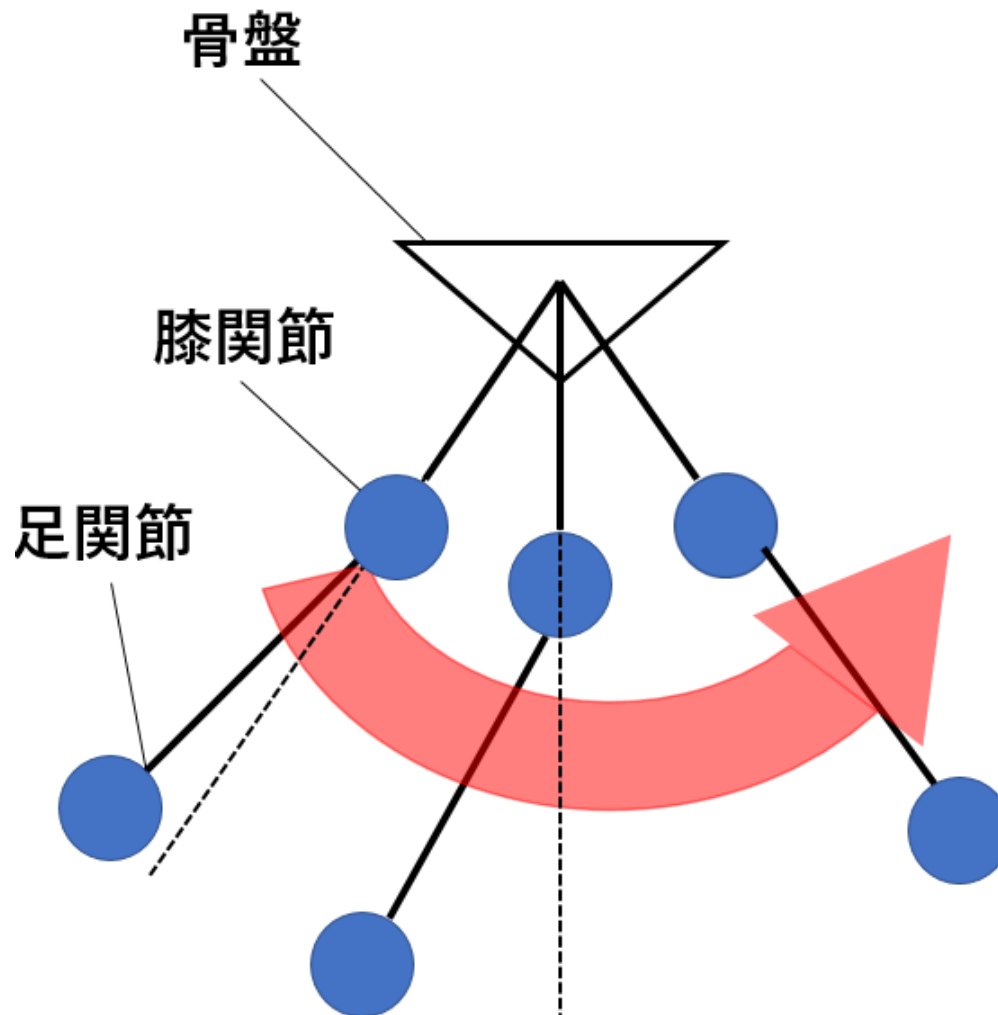
歩行時の重心の上下運動



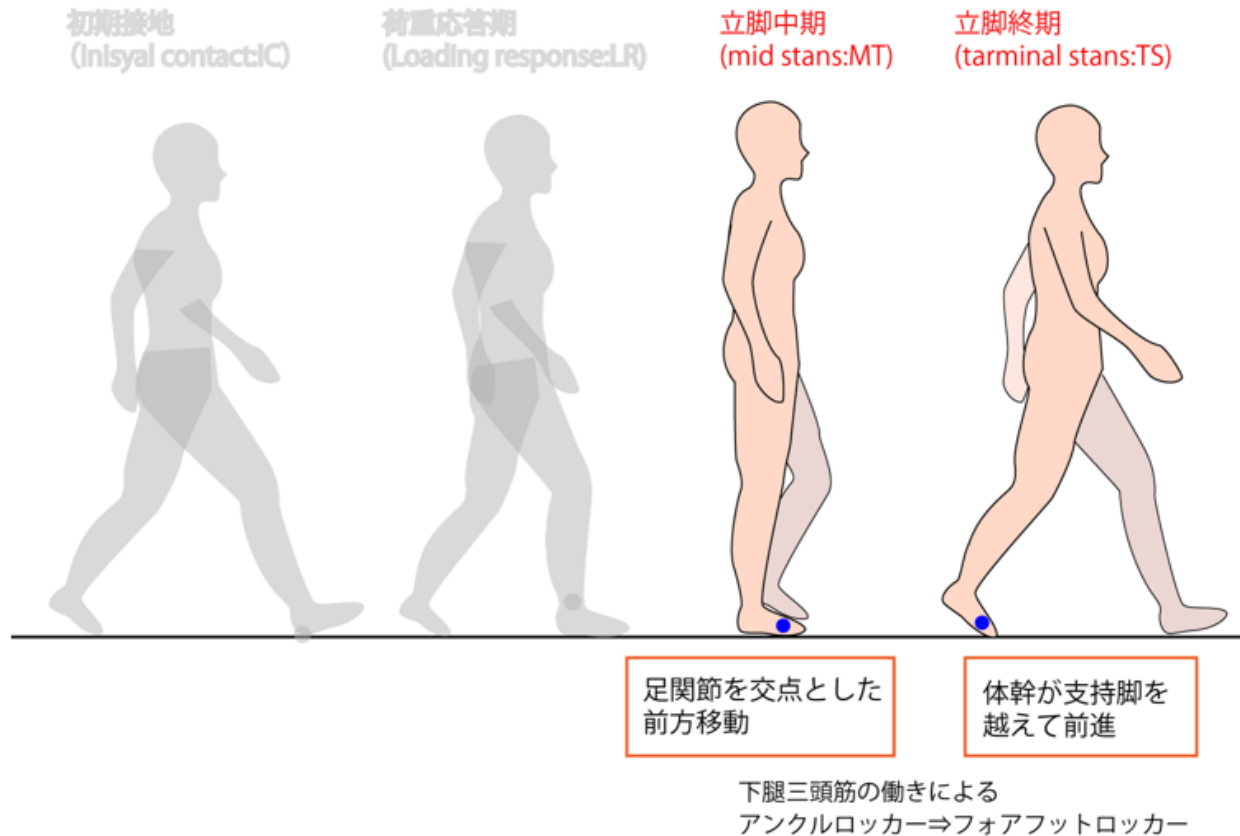
遊脚と慣性力



健康者における遊脚期とは



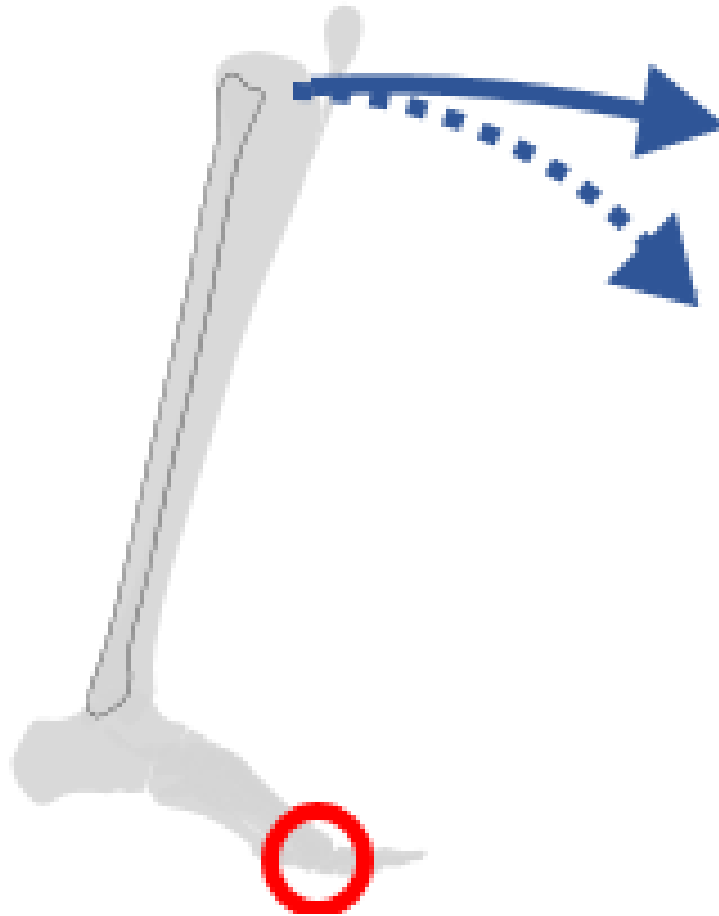
対側への重心誘導



3つのロッカー機能

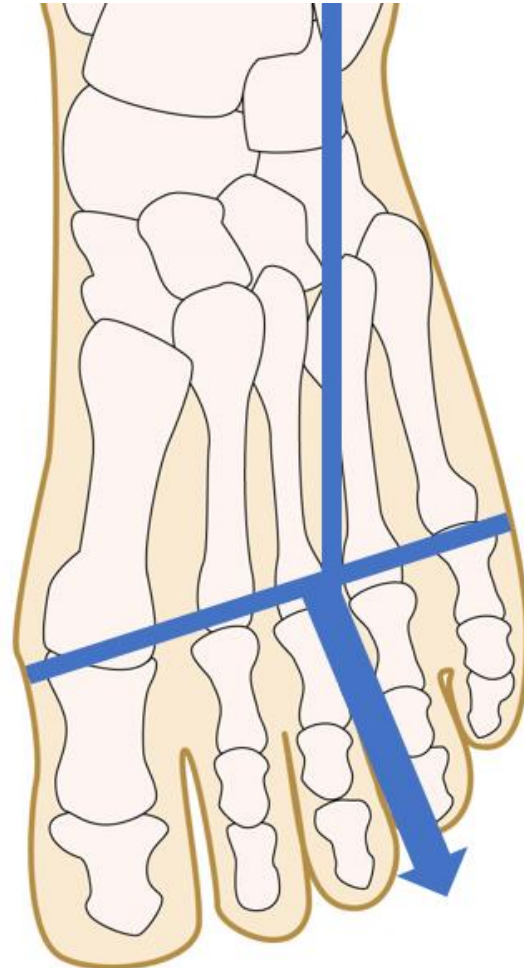
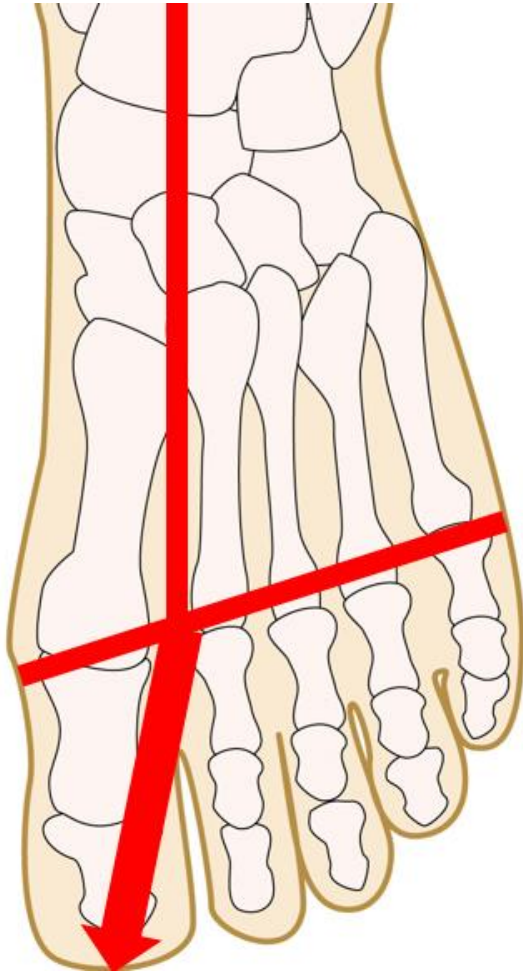


**立脚終期は踵離地から始まり、
Ankle RockerからForefoot Rockerに
切り替わるタイミング**

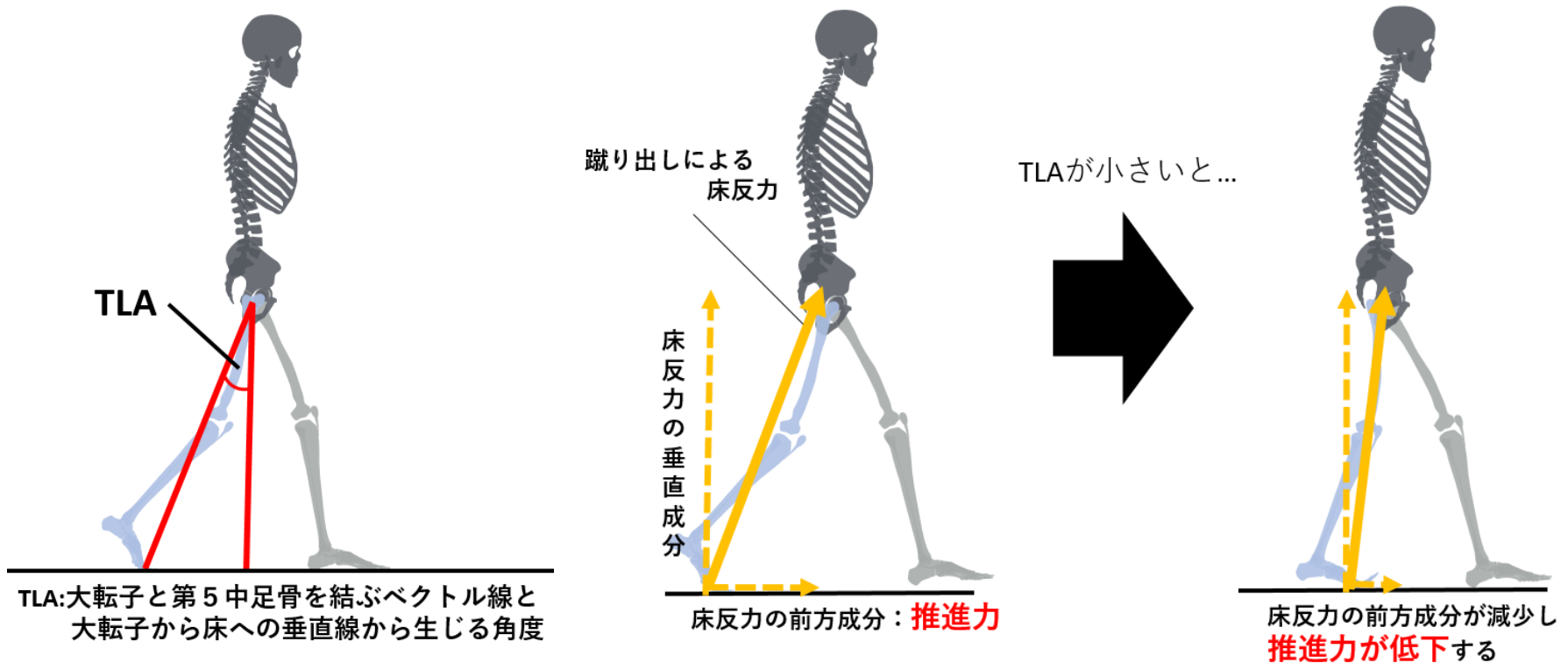


Forefoot Rocker

重心移動の方向のコントロール



TLAを作成し推進力を生み出す



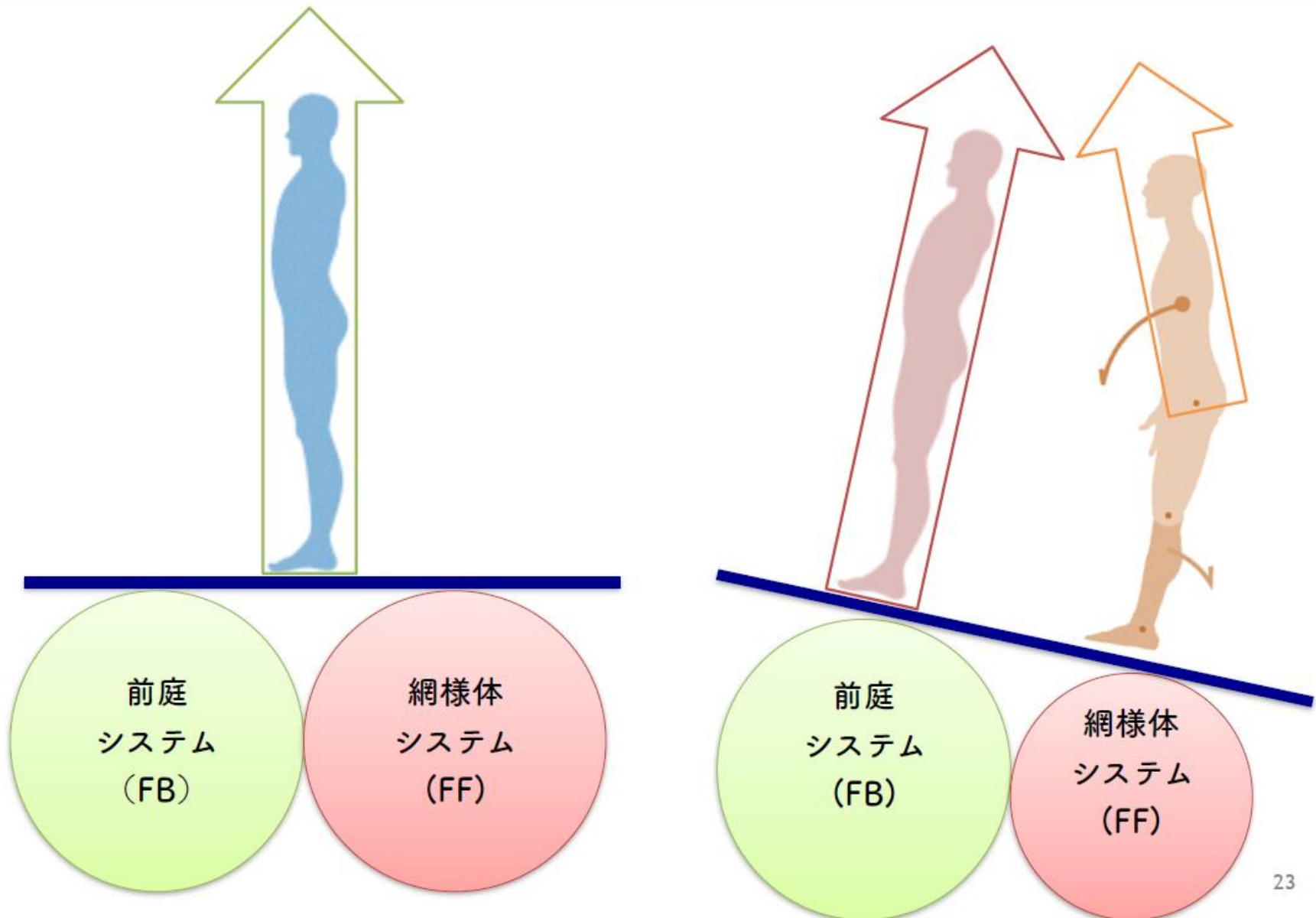
神経システムの協調

より高いCOM、およびより大きな足関節の可動域と活動は、年齢に関係なく、より安定した姿勢を提供する (Matthieu P. Boisgontier et al 2016)

個々のシステムの障害のみに焦点を当てるのではなく、関連している複数のシステム間の相互作用の障害による影響にも目を向けることは大切

(モーターコントロール 4版)

前庭系と網様体系の協調



脳幹と運動皮質の歩行制御システム

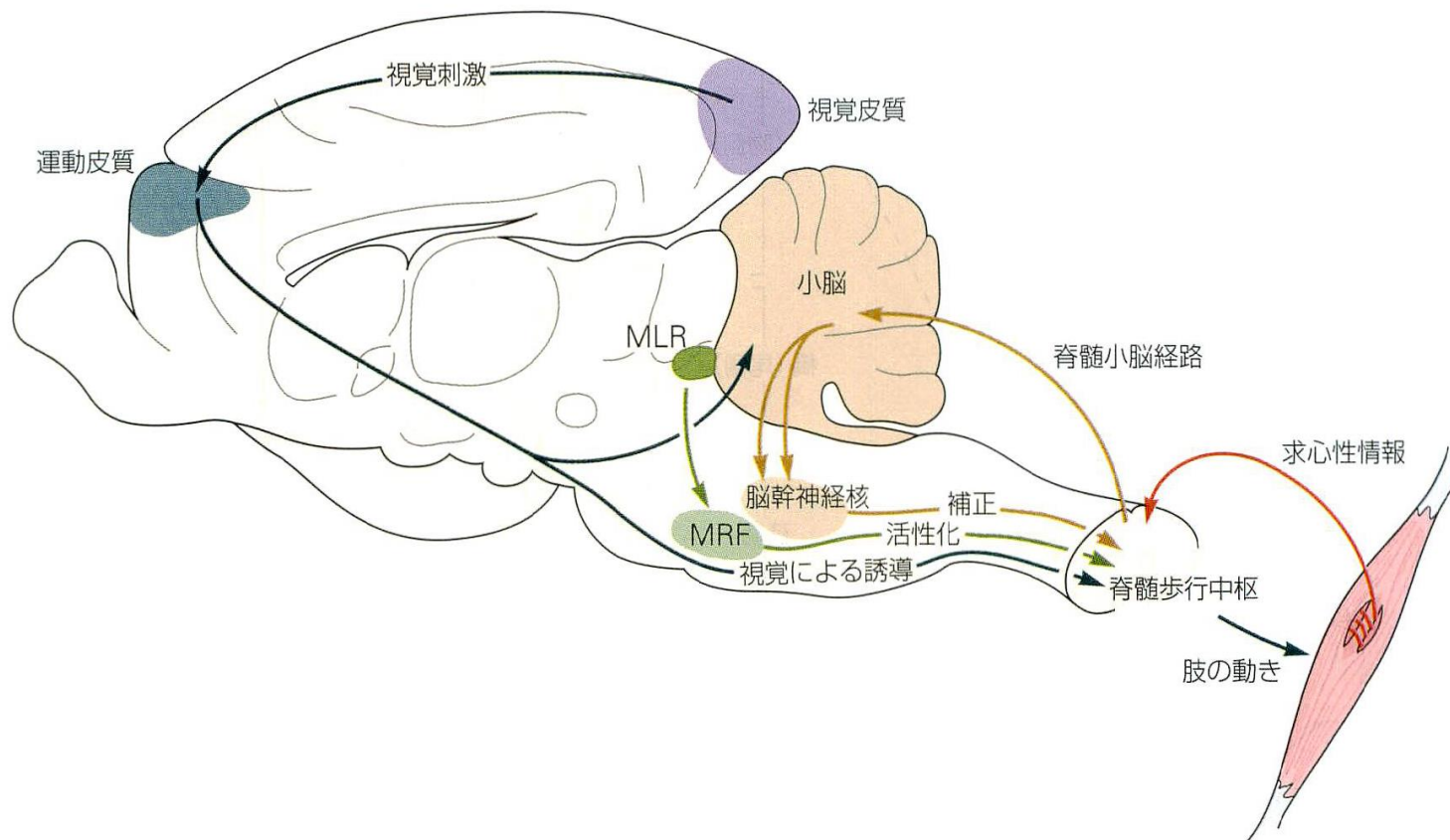


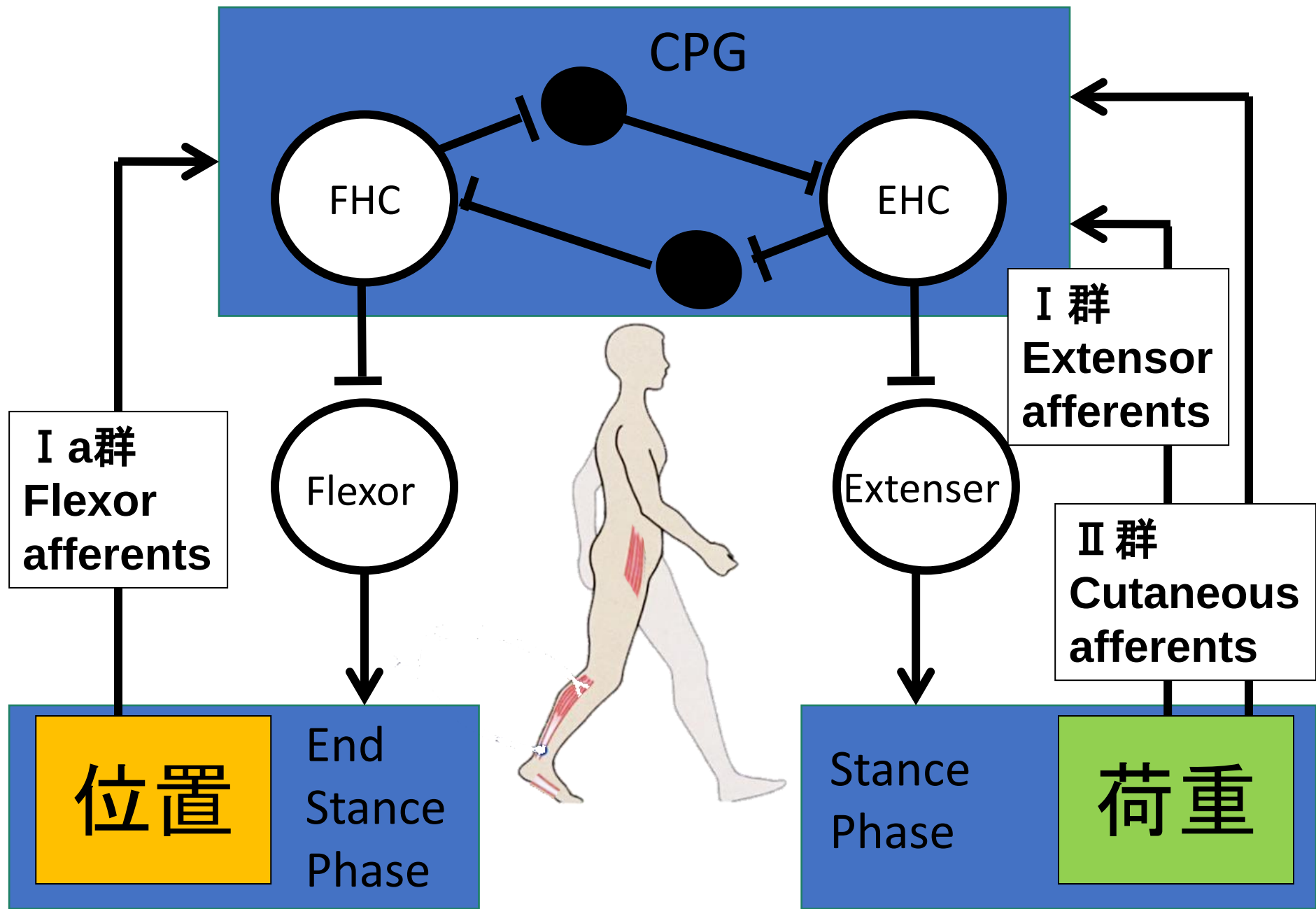
図 36-10 脳幹と運動皮質の歩行制御システム

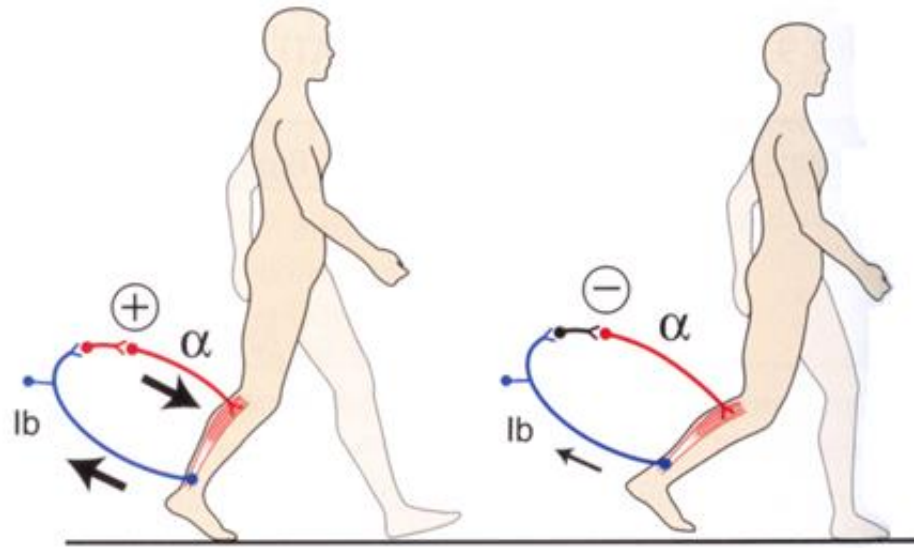
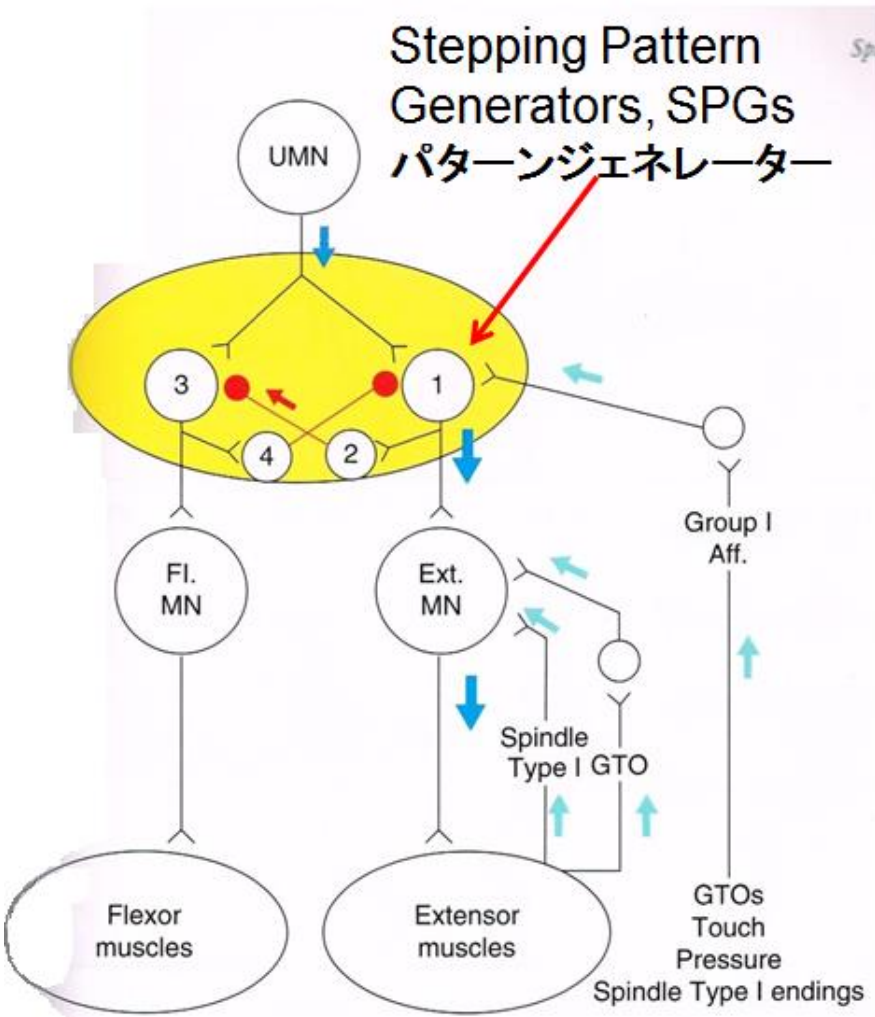
脊髄の歩行中枢は、中脳歩行誘発野 (MLR) から内側網様体 (MRF) を下行する信号によって活性化される。小脳は末梢感覚受容器と中枢パ

ターン発生器双方からの入力を受け、脳幹の神経核を通して歩行パターンを調節する。また運動皮質に伝えられる視覚情報も歩行運動を調節する。

CPGs(Central pattern generators)

- 歩行の基本的リズムを生成するとともに、歩行に参画する筋群の運動パターンを決定する（河島）
- 立脚期後半に股関節が伸展される際の筋紡錘からの求心性入力、遊脚期への位相転換を担う股関節屈筋群の活動を喚起する。(Grillner 1978)
- CPG活動は身体荷重量に影響を受ける(Dietz 2002, Harkema 1997)
- CPGを構成する介在ニューロン群は歩行運動中に生起する感覚情報が繰り返されることで再組織化する。(Leon 1998)

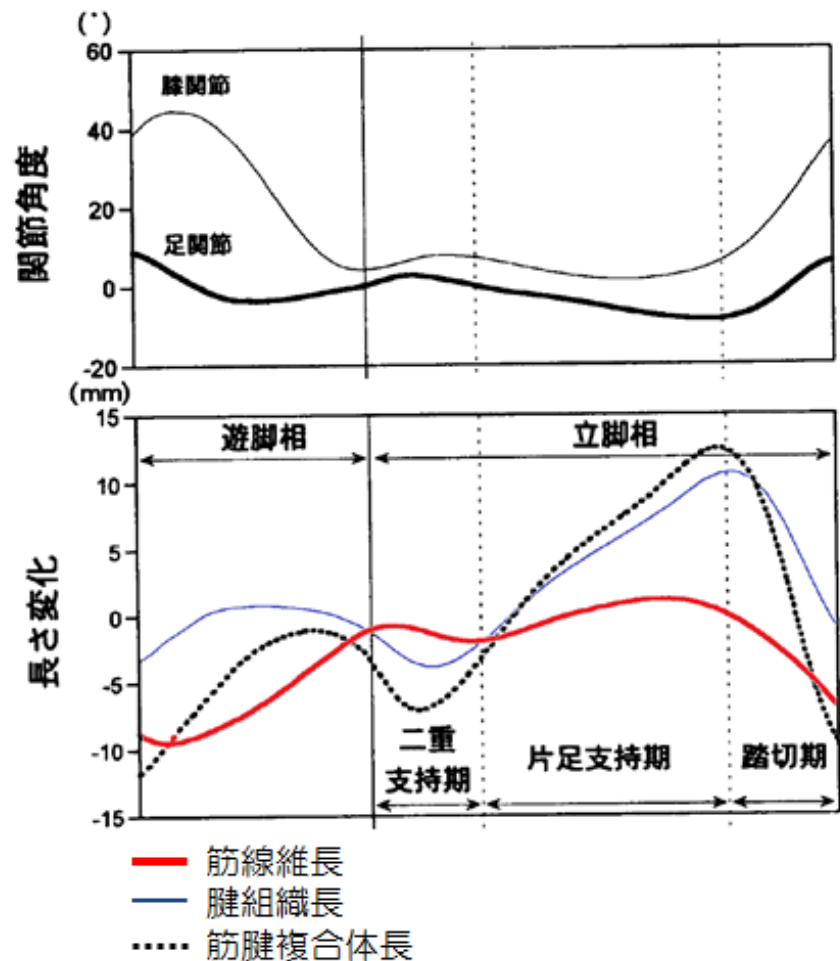




腱の伸張は介在ニューロンに接続する
I b求心性線維を活性する。歩行中、
立脚相でのGTOからの入力、下肢伸筋群への下位運動ニューロンを**促通**する(A)

遊脚相では同じ筋群を**抑制**する (B)

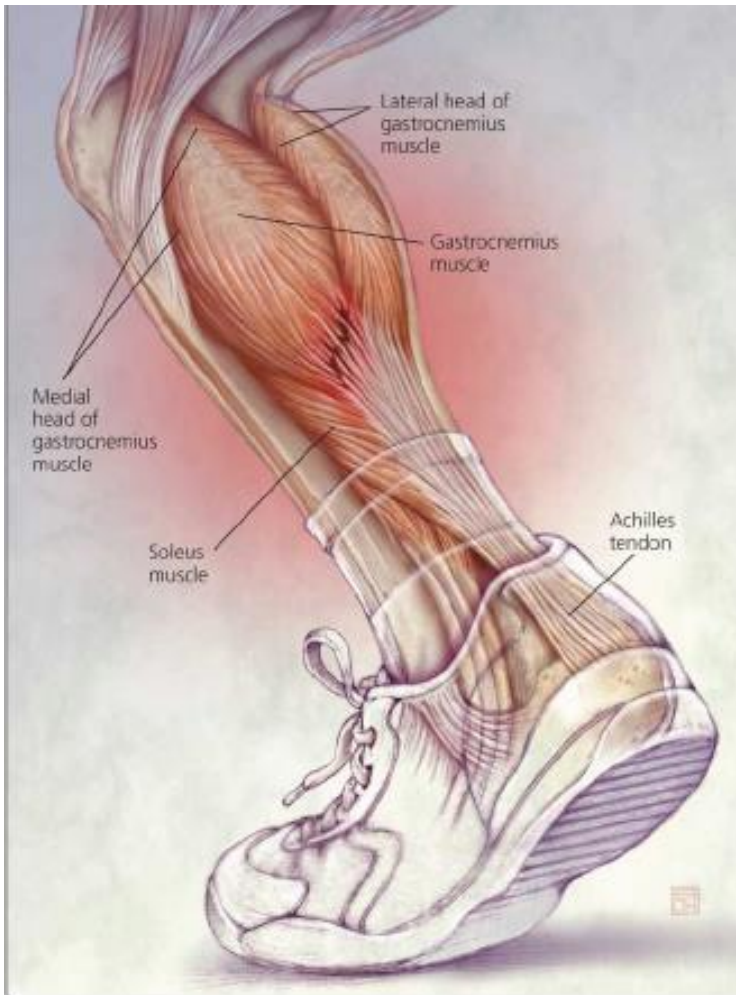
歩行中の筋・腱の動き



立脚中期から終期にかけて、筋腱複合体は伸張しているにも関わらず、腓腹筋の筋線維長は変化していない。

⇒筋線維は等尺性収縮をしており、筋腱複体の伸張は腱組織が引き伸ばされることによって生じている。

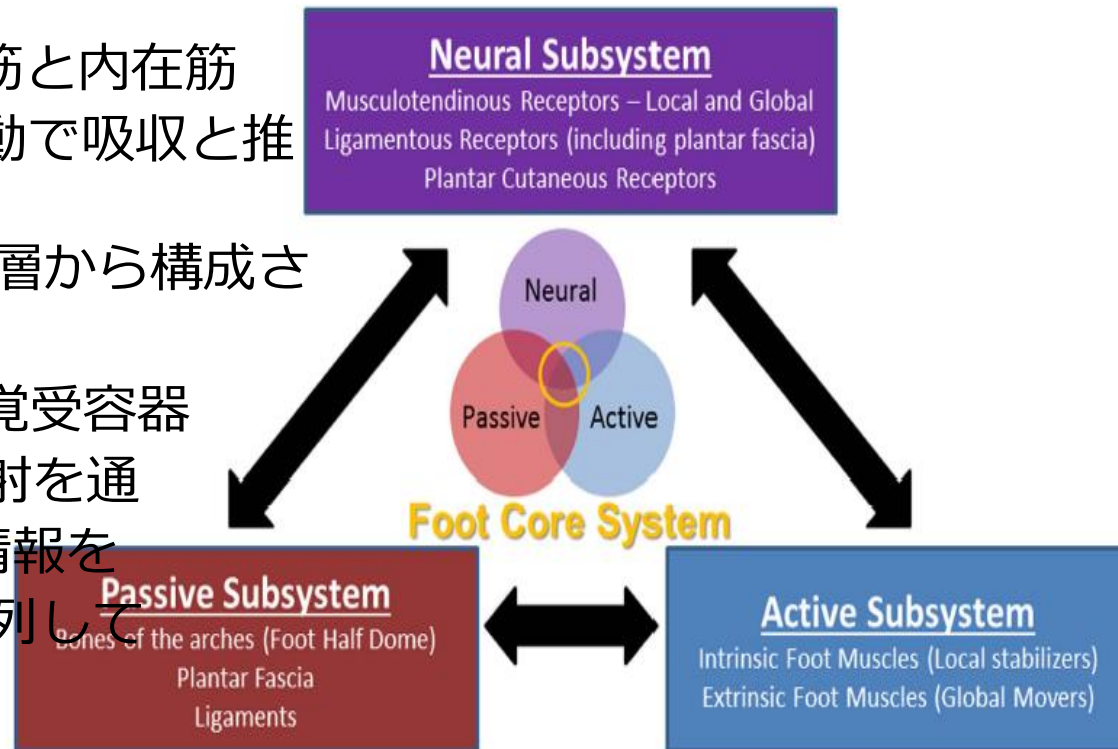
下腿三頭筋



- 内側腓腹筋の活動によってヒラメ筋が伸張される.
- 外側腓腹筋 : stability
内側腓腹筋 : mobility
(推進力を作る)
- 筋肉自体が大きく運動単位も多い
- 小趾外転筋を促通
- 腓腹筋が活動しないとヒラメ筋は活性化しない.

Foot core system

- ▶ Passive subsystem : 骨・靱帯・関節包
 - ▶ 4つのアーチを、足底腱膜と足底靱帯が支持
- ▶ Active subsystem : 外来筋と内在筋
 - ▶ Global Movers : 動的活動で吸収と推進の能力
- ▶ Local Stabilisers : 4つの層から構成される
- ▶ Neural subsystem : 感覚受容器
 - ▶ 足内在筋の伸長反射を通して、即時の感覚情報をするために有利に配列している



Tckeon et al; The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function, Br J Sports Med, 2014

ドームの起源は距骨

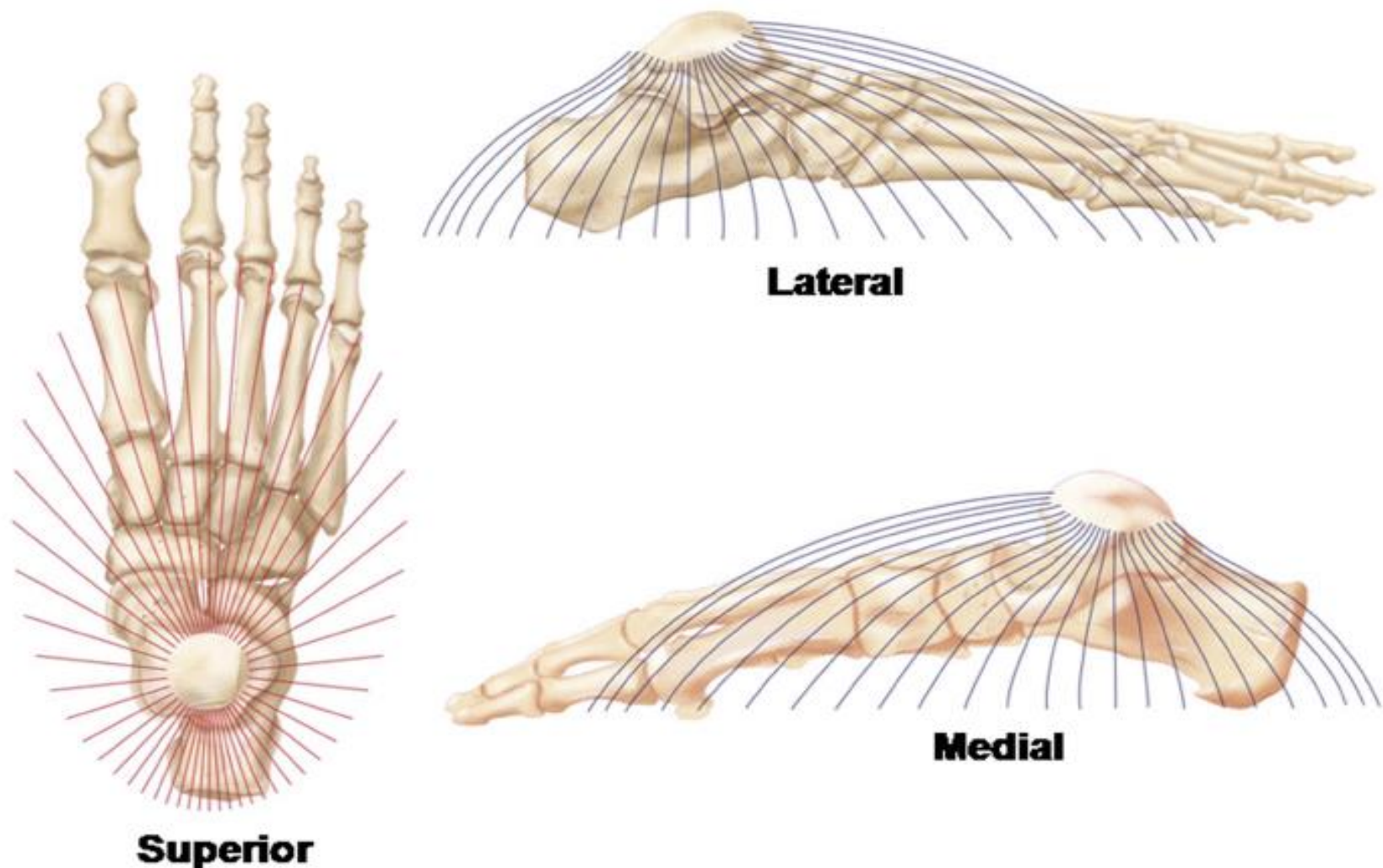


Figure 2 Functional half dome proposed by McKenzie. Note the origin of the dome is considered to be the dome of the talus.



足部内在筋の活動的なサブシステム

- 姿勢の安定と歩行を支援するために必要 Kelly et al. (2014)
- 小指外転筋、母指外転筋、短指屈筋および足底方形筋は、立位や歩行時に活動的であり、足部アーチの安定化をもたらす Fraser et al. (2016); Tosovic et al. (2012); Kelly et al. (2014)
- 足の微調整動作を提供する中足骨頭の役割は、立位と歩行のバランスを維持する上で最も重要であると説明されている Fraser et al. (2016)

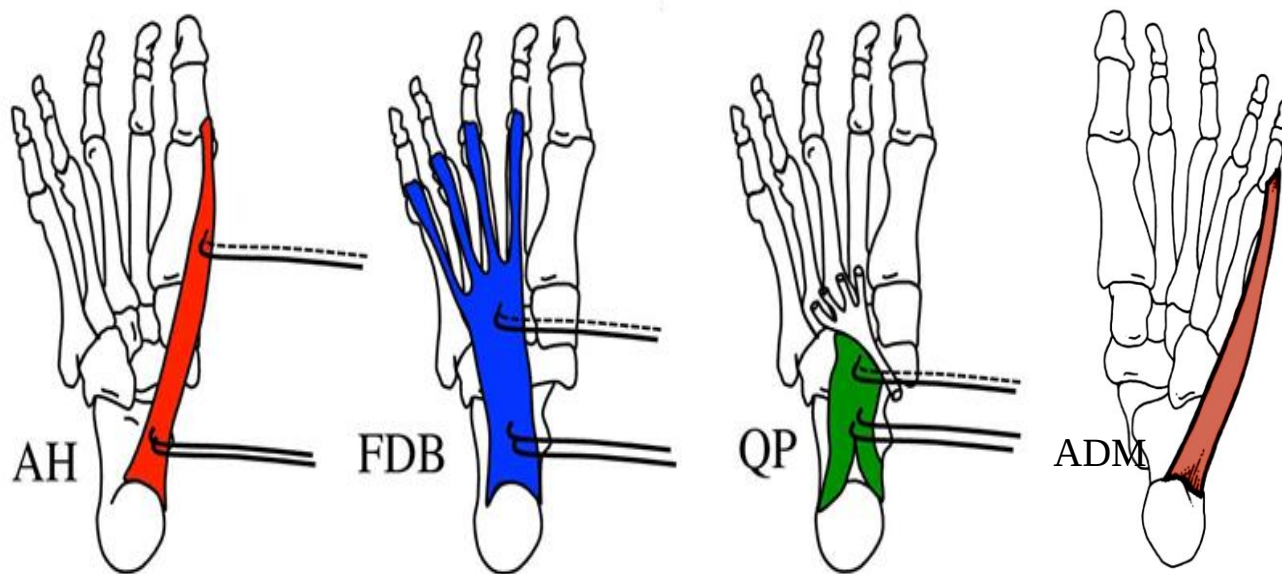


Fig: Kelly et al. (2014)

足の筋肉の層構造



- (1) 母趾外転筋、(2) 短趾屈筋、(3) 小指外転筋、(4) 足底方形筋（屈筋腱への挿入に注意）
(5) 虫様筋（長母指屈筋腱に由来することに注意）、(6) 短小指屈筋、(7) 母趾内転筋斜頭
(a) 横 (b) 頭、(8) 短母指屈筋、(9) 底側骨間筋、(10) 背側骨間筋、(11) 短趾伸筋

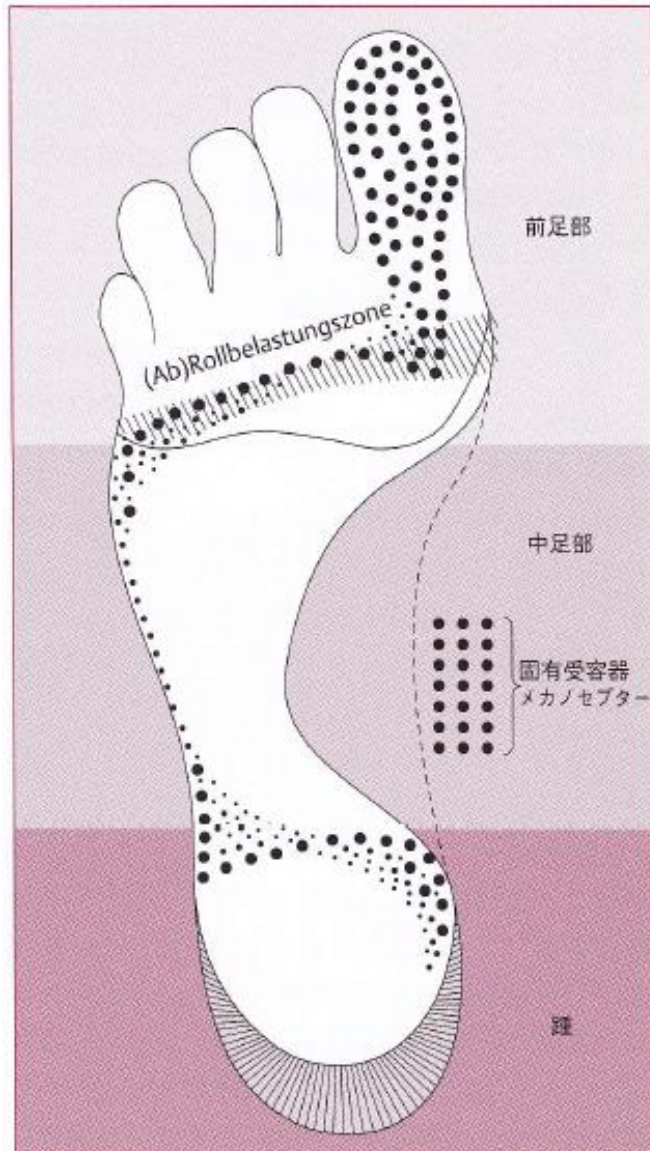
The foot core system: a new paradigm for understanding intrinsic foot muscle function

[Patrick O McKeon](#)¹, [Jay Hertel](#)², [Dennis Bramble](#)³, [Irene Davis](#)⁴

第一中足骨 回旋コントロールの重要性



足底のメカノレセプターの分布



- 圧と圧力分布に対する足底の感度は良好で、**趾の部分では300mgからの圧力に反応**
- **前足部と母趾に集中している皮膚受容器で行う**
- 足底の主たる**荷重支持領域（踵・外側中足部・前足部）**に分布している固有受容器は、直立姿勢ならびに身体動揺の制御、そして足底圧力の分配の制御に有用
(Bizzini2000)

CPGは四肢の協調された動きから生まれる

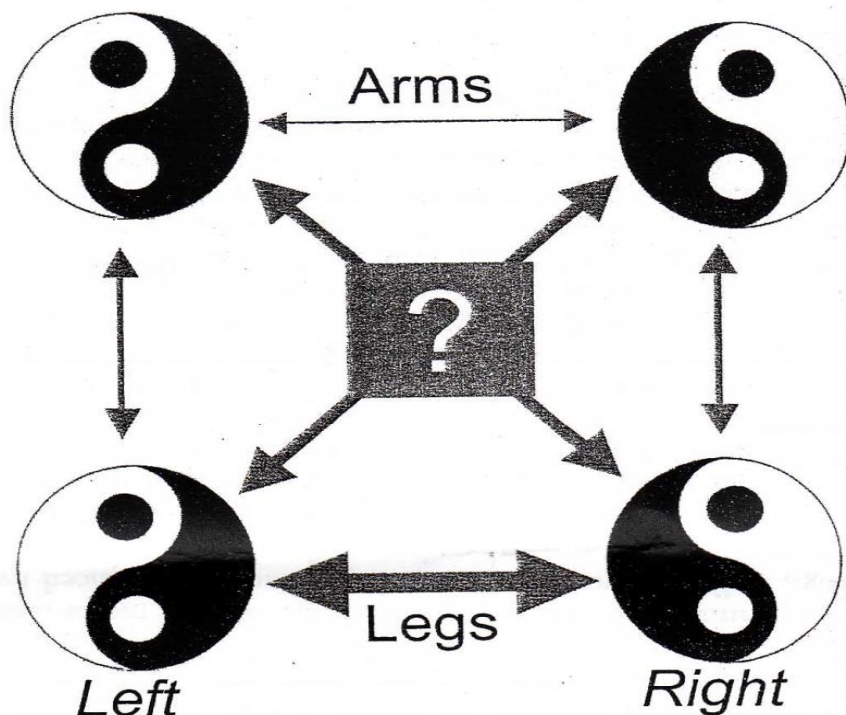
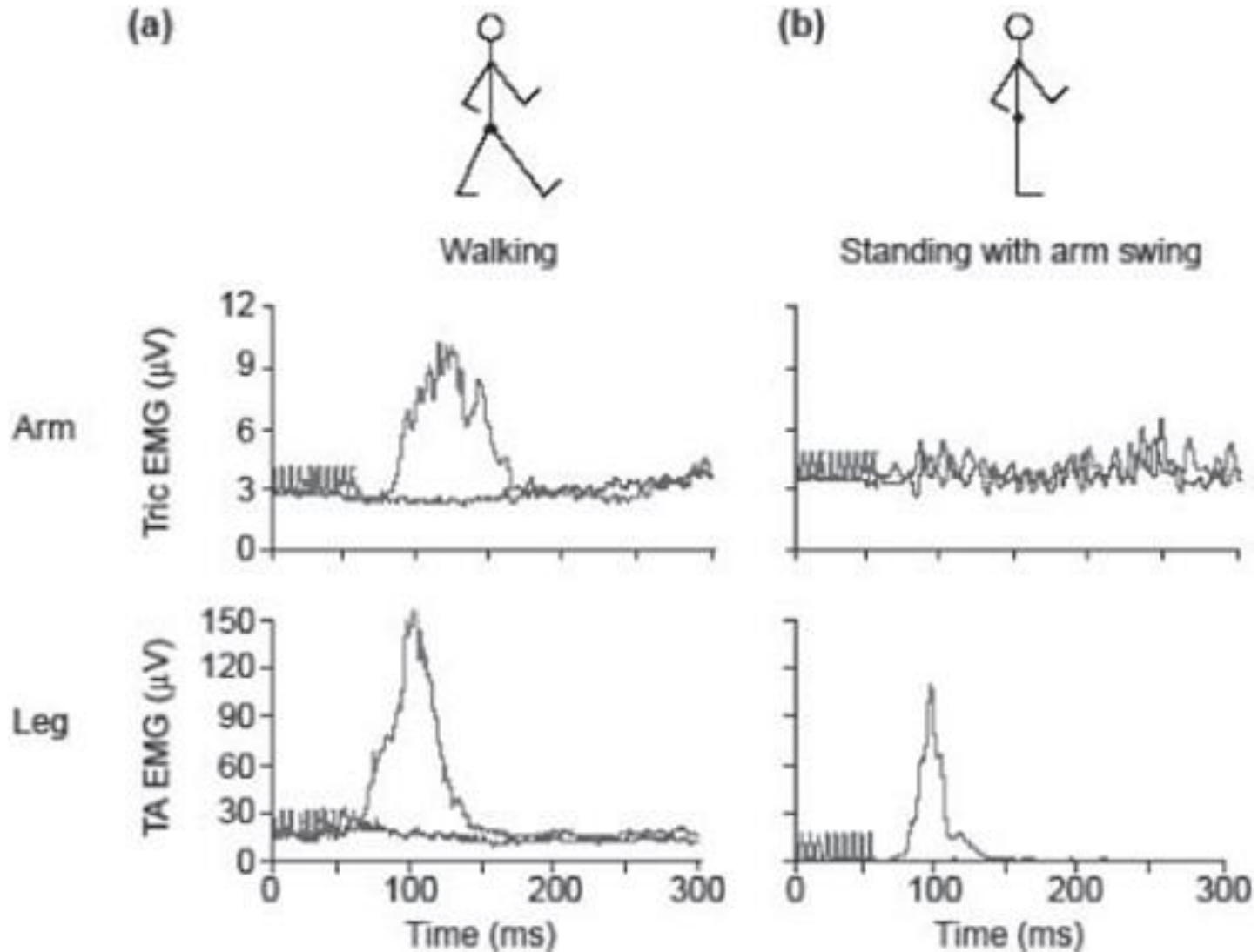


Figure 5. Rhythmic CPG controllers for all four limbs meant to represent regulation and coordination among and between the arms and legs during movement. Note that the question mark in the middle represents unknown but presumed propriospinal and supraspinal connections. Additionally, the relative strength of contralateral versus ipsilateral regulation of arm and leg CPGs is uncertain in humans.

- 上肢と下肢の運動の間、規則的にこれらの四肢を調整するリズミカルなCPGコントローラーがある
- 中央の疑問符は未知の領域を表すが、固有脊髓路と上位脊髓の連結を推定した点に注意が必要
- 上肢と下肢におけるCPGsの対側対同側の相対的な強さは、ヒトでは不確定

E. Paul Zehr: Neural Control of Rhythmic Human Movement: The Common Core Hypothesis;
Exercise and Sport Sciences Reviews, 2005

歩行運動における対肢間協調



「脊髄介在ニューロン」によって形成される 複雑な神経回路ネットワーク

- 運動ニューロンは脊髄に存在する全ニューロンの数%以下
- 他の大部分は、
脊髄の情報を脳に伝達する
「上行性ニューロン (ascending tract neuron)」
脊髄の異なる髄節間をつなぐ
「脊髄固有ニューロン(propriospinal neuron)」
髄節内のみで結合をつくる
「髄節内介在ニューロン(segmental interneuron)」
- ☞ 一般に脊髄介在ニューロン(spinal interneuron)と総称され
ニューロン群。

脊髄固有ニューロンの臨床応用

脊髄固有ニューロンの特徴

- ①C3-C4に脊髄固有ニューロンの細胞体が存在し、そこから吻側・尾側へ軸索を伸ばし、脊髄運動ニューロンや網様体外側核へ投射
 - ②主に近位筋・伸筋の脊髄 α 運動ニューロンの動員と言われているが、**遠位筋をも支配**しており、巧緻動作に関わることが明らか
 - ③**皮質脊髄路以外にも赤核脊髄路や網様体脊髄路、また視覚入力を運動系に伝える視蓋脊髄路などの下行路や、末梢からの感覚入力も受け取る**
- 👉脊髄固有ニューロンを運動システムに組み込むためには**空間的荷重**の活用を

- ・運動前の準備として筋アライメントを整えて固有感覚が入りやすい状況へ

- ・運動により生じる固有感覚が強調されるように他の感覚情報の入力を最小限にするといった介入戦略

上肢のボディースキーマと環境課題

- ・ 筋の長さ情報をきっかけに
 - ⇒ 本来の腕の長さ知覚
(ボディースキーマ改善)
 - ⇒ ペリパーソナルスペース
 - ⇒ パーソナルスペース

課題環境と自己の相互関係を構築

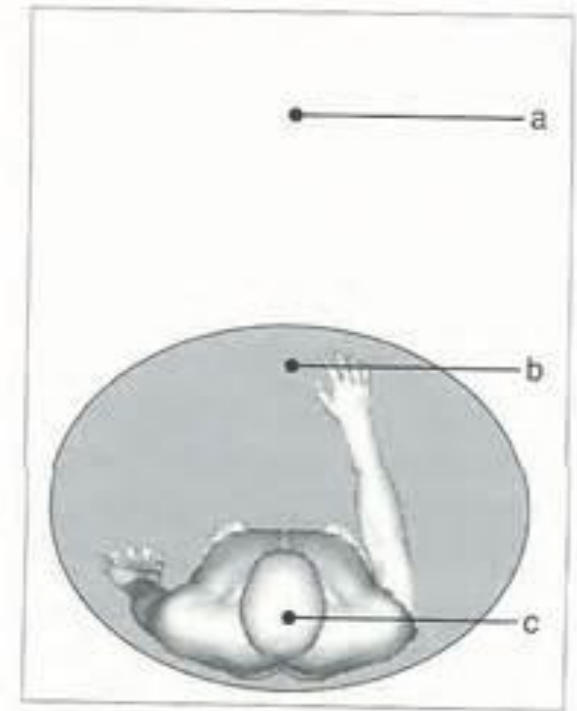


図4 空間の広がり分類
a: 遠位空間 (extrapersonal space). b: 近位空間 (peripersonal space). c: 身体空間 (personal space).

上肢のスキーマ低下が陥りやすい部位

肩甲上腕関節周辺

①肩甲骨と上腕骨間を開く（広背筋・円筋群と上腕三頭筋の隣接部位の伸縮性を確保）

②①を伴った、上腕骨頭と肩甲骨関節窩間の開きを得る

③上腕骨頭を関節窩へとコンプレッションを与える

上肢のスキーマ低下が陥りやすい部位

橈尺関節 橈側手根関節周辺

①上腕筋・腕橈骨筋・円回内筋の癒着部に動きを出す。

②近位橈尺関節において、尺骨上を橈骨頭が回転する感覚を得る。

（選択的な前腕回内運動を経験する 尺骨の安定化を図りつつ）

③遠位橈尺関節、橈側手根関節において、筋の粘弾性・柔軟性の改善に伴い、手関節のリアライメントを行う。（橈側手根屈筋・母指屈筋群・母指伸筋群など、橈側の筋 尺側の筋は安定化）

歩行へのアプローチで目指すもの

- より安心して
- より楽に（効率よく）
- より多様な場面に対応して
- 歩行が行為の背景となれるように（二重課題にも対応して）

※非麻痺側下肢を一步前に踏み出すことの重要性

※意識と無意識の関係性

※身体全体の反応として、上肢と移動の関係性を考慮

引用・参考文献

- 山梨インフォメーションコース A Functional Walking 配布資料
- 2019山梨ボバ研 片麻痺患者さんの歩行の再獲得 配布資料
- 2017 活動分析研究大会『上肢のボディースキーマを向上させる為には！？』～筋の長さの保障と、腕の長さの知覚の相互関係～
- [The how and why of arm swing during human walking](#) RTICLE *in* GAIT & POSTURE · MARCH 2013