

歩行ナイトセミナー④

立A却其月にみるべき

バイオメカニクス1

～床反力と筋活動の関係性～

Gait  
Seminar

脳外臨床研究会

歩行セミナー講師

理学療法士 中上博之

# 歩行セミナーで学ぶ **5** つのステップ



1

歩行機能を考える上で  
必要な脳や脊髄による  
神経システムを理解する

## 【学習項目】

- ・ 網様体脊髄路
- ・ 皮質脊髄路
- ・ 反射機構
- ・ CPG

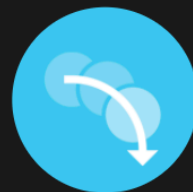


2

TUGや10m歩行などを  
要素分解して歩行分析の  
ポイントを理解する

## 【学習項目】

- ・ 評価バッテリー
- ・ 方向転換
- ・ 歩行スピード



3

歩行障害を考える際に  
重要なバイオメカニクス  
視点を理解する

## 【学習項目】

- ・ 重心評価
- ・ 床反力
- ・ 関節モーメント



4

各歩行周期における  
メカニズムと問題点を  
整理し、分析力を高める

## 【学習項目】

- ・ 各歩行周期
- ・ 関節運動
- ・ 筋活動



5

歩行に関する知識を技術に  
変換し、治療に必要なハン  
ドリングスキルを磨く

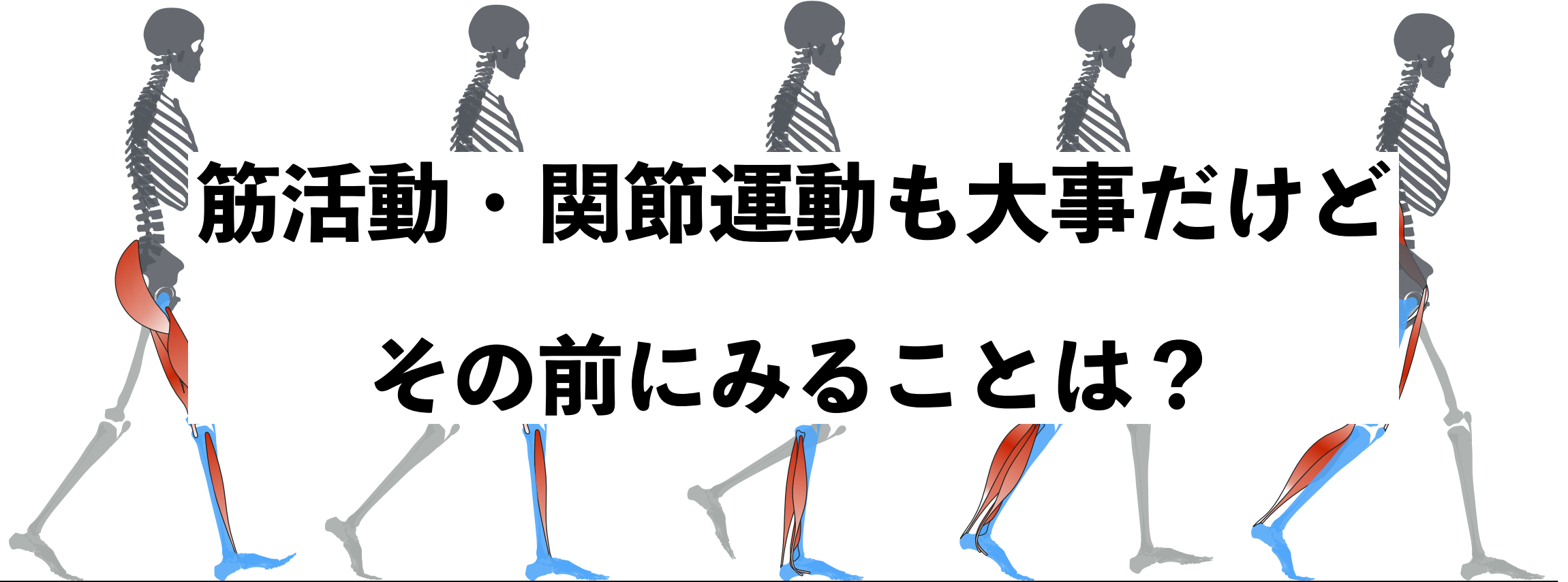
## 【学習項目】

- ・ 関節・筋アプローチ
- ・ How to touch
- ・ 誘導方法
- ・ 感覚入力

# 立脚期の評価 構成要素

筋活動・関節運動も大事だけど

その前にみることは？



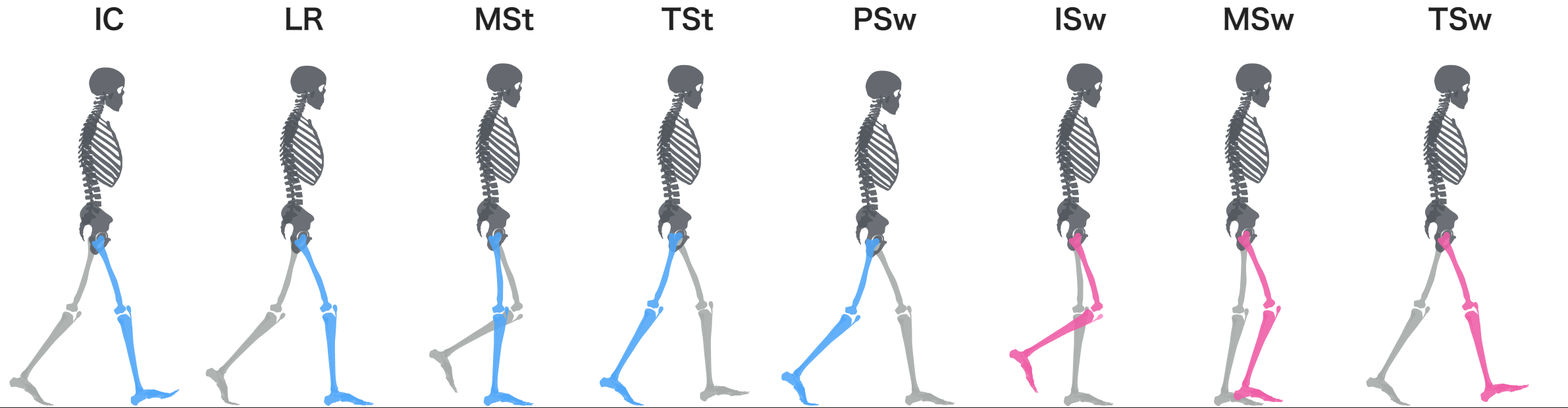
Initial Contact  
初期接地

Loading Response  
荷重応答期

Mid Stance  
立脚中期

Terminal Stance  
立脚終期

Pre-Swing  
前遊脚期



立脚期

遊脚期



0%      12%      31%      50%      62%      75%      87%      100%

歩行周期  
役割

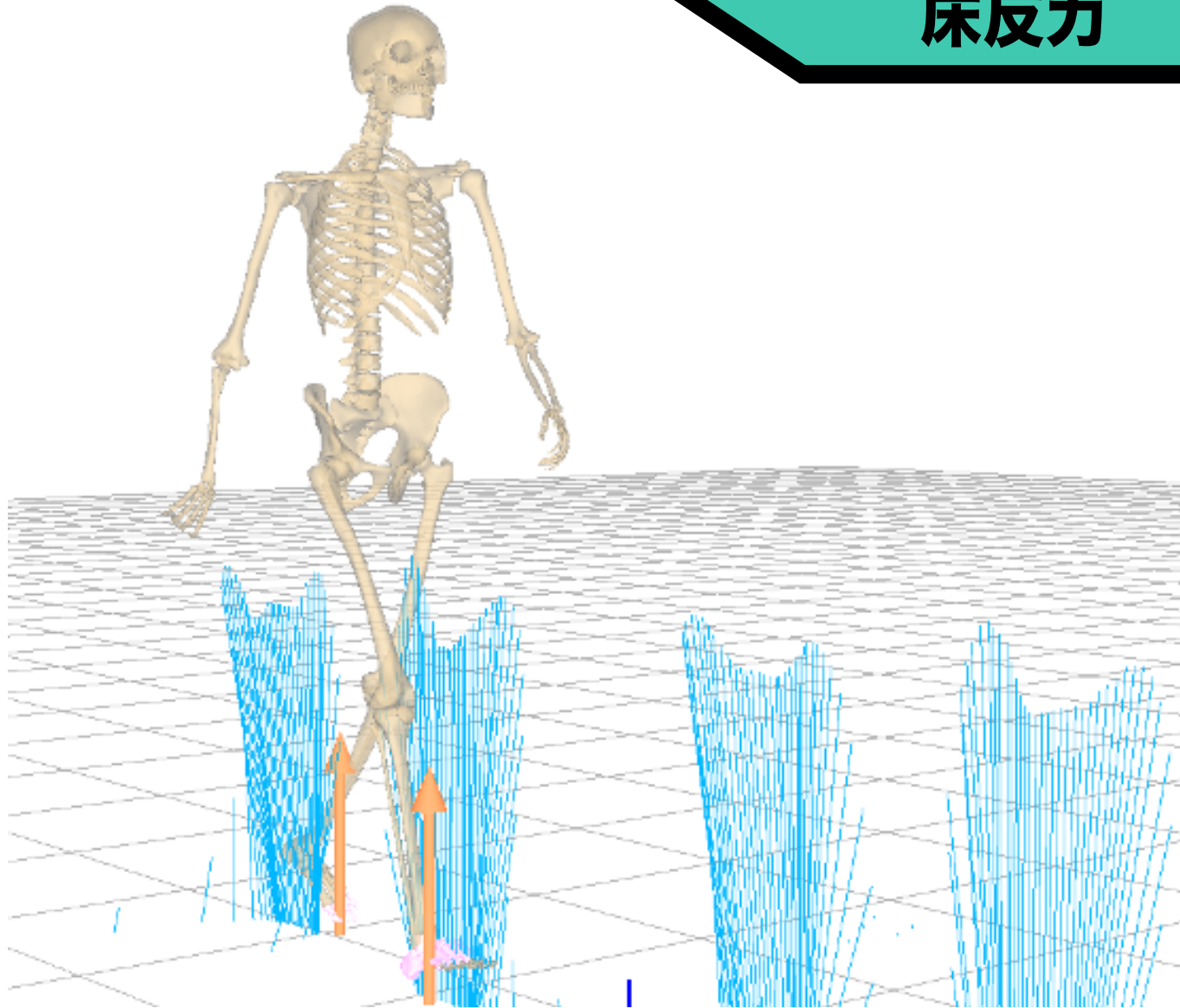
- 衝撃吸収
- 重心の持ち上げ
- 重心の保持
- 重心の減速
- 前方推進力
- 下肢の持ち上げ
- 方向性
- 衝撃吸収の準備

足  
膝  
股  
体

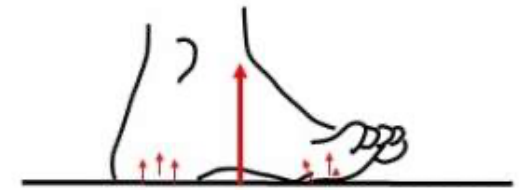
- 重心
- 床反力
- 支持基底面
- モーメント

# バイオメカニクス

# 歩行の評価 床反力



床反力作用点(COP)は  
反力の分布によって  
位置が決まる



青：床反力

矢印：COP

歩行の評価  
床反力

**Ground Reaction Force**

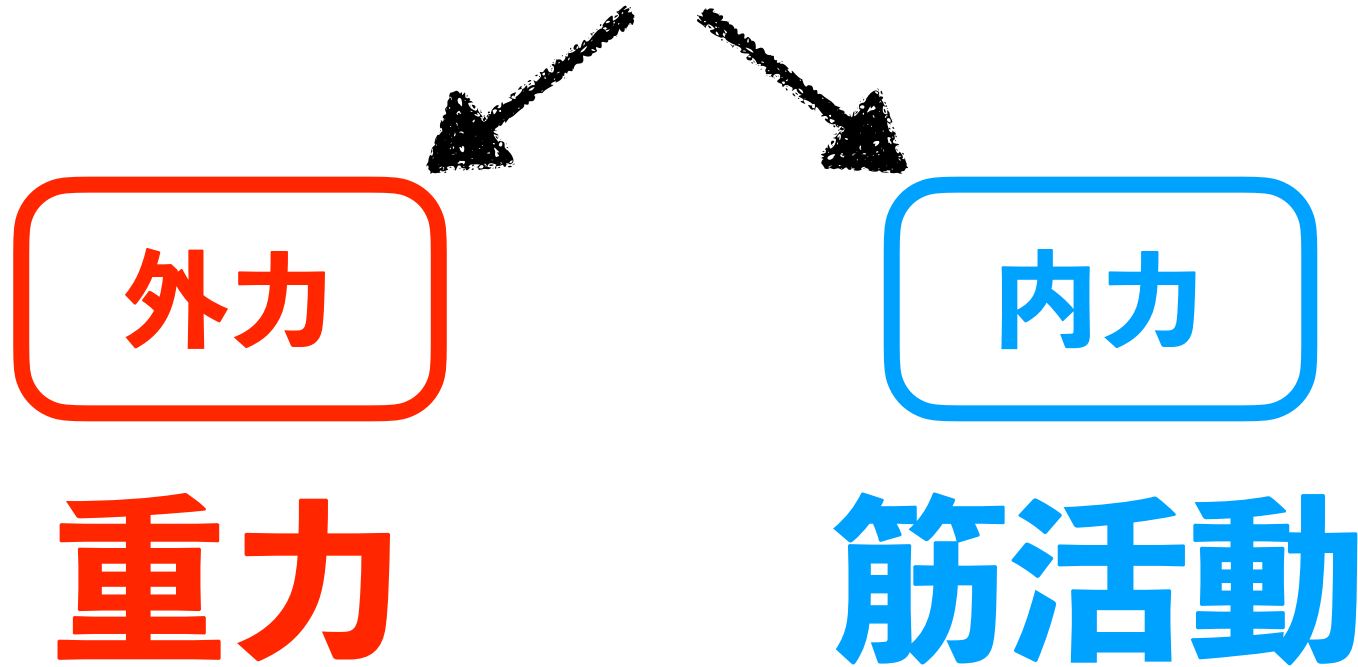
床（支持面） 反する 力

⊥

床を**押す**力

歩行の評価  
床反力

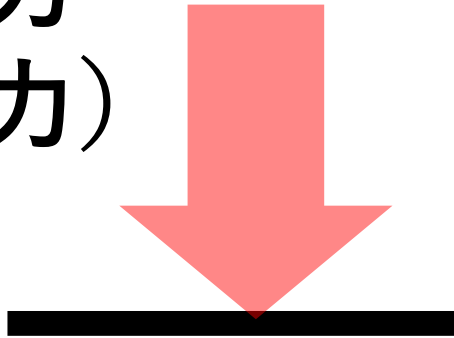
床を**押す**力



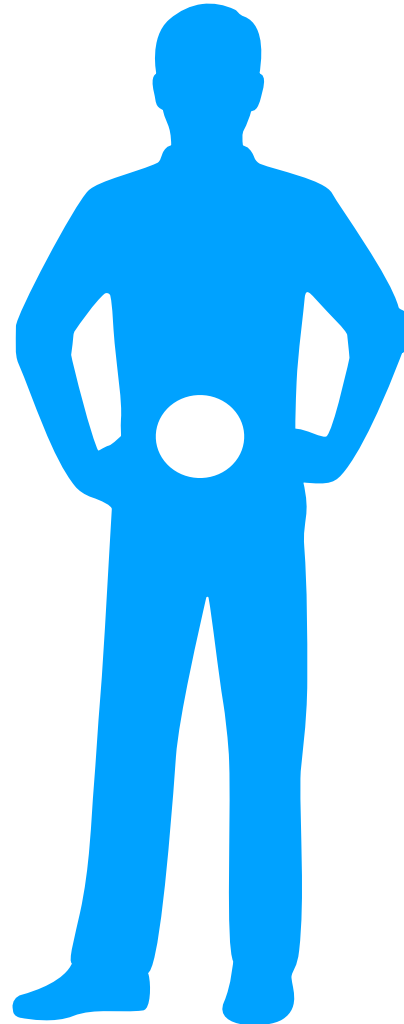
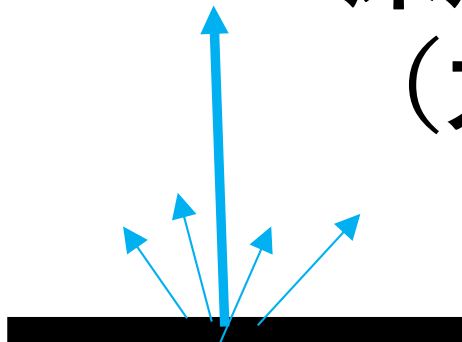
# 歩行の評価

## 重力との関係

重力  
(外力)

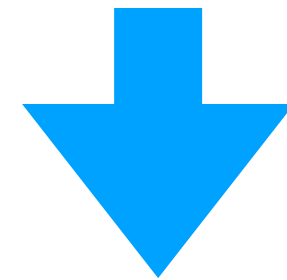


床反力  
(力)



**重力 : 10**

**床反力 : 10**



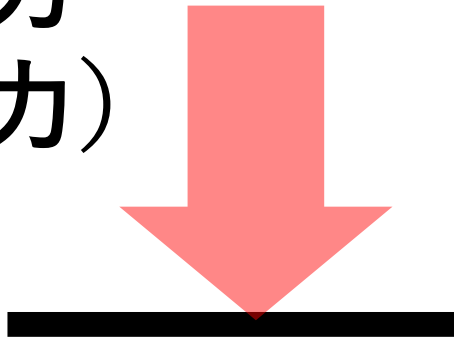
**静止**



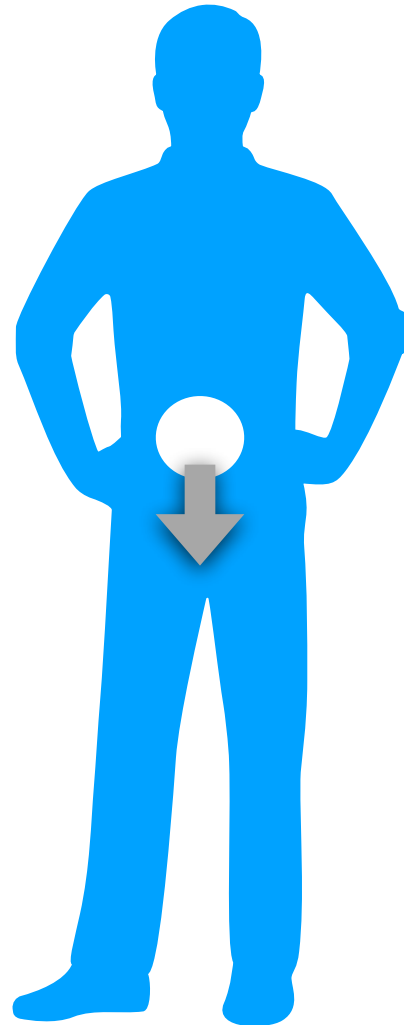
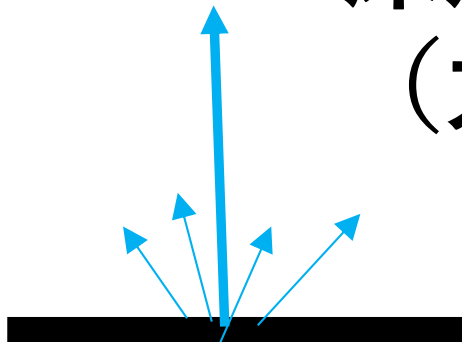
# 歩行の評価

## 重力との関係

重力  
(外力)

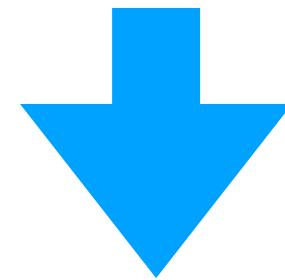


床反力  
(力)



**重力：10**

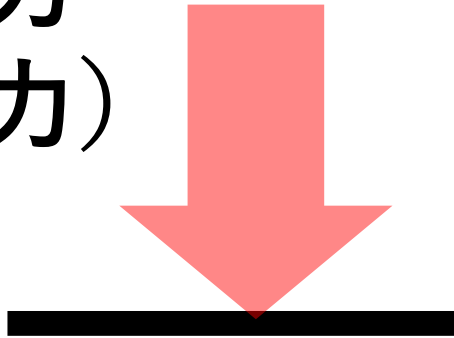
**床反力：5**



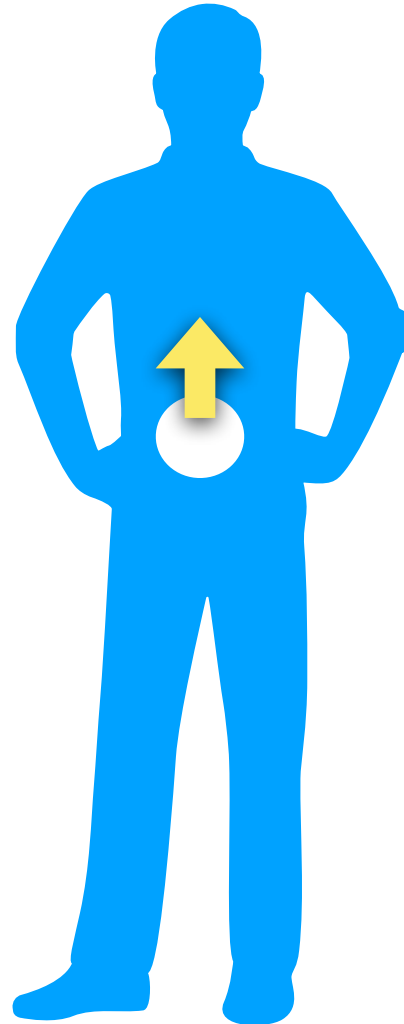
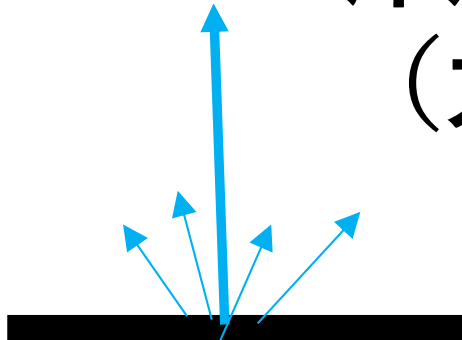
**しゃがむ**

# 歩行の評価 重力との関係

重力  
(外力)

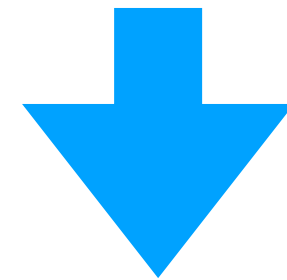


床反力  
(力)



重力 : 10

床反力 : 15



うく

# 歩行の評価

## 重力との関係

荷重を加える = 重力を足す

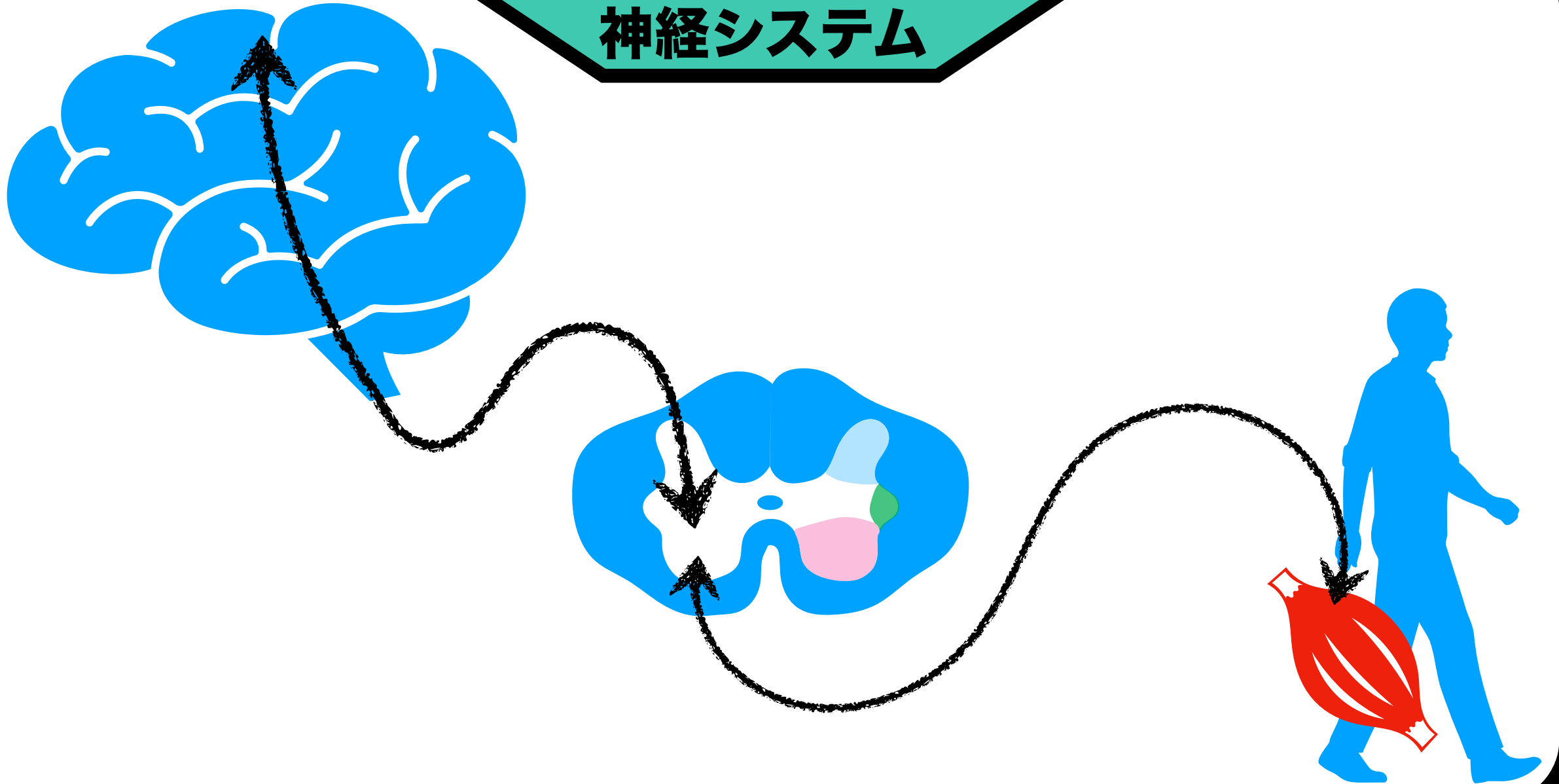
静止肢位が保持できる

床反力が変化する

踏ん張るために必要な張力が変化

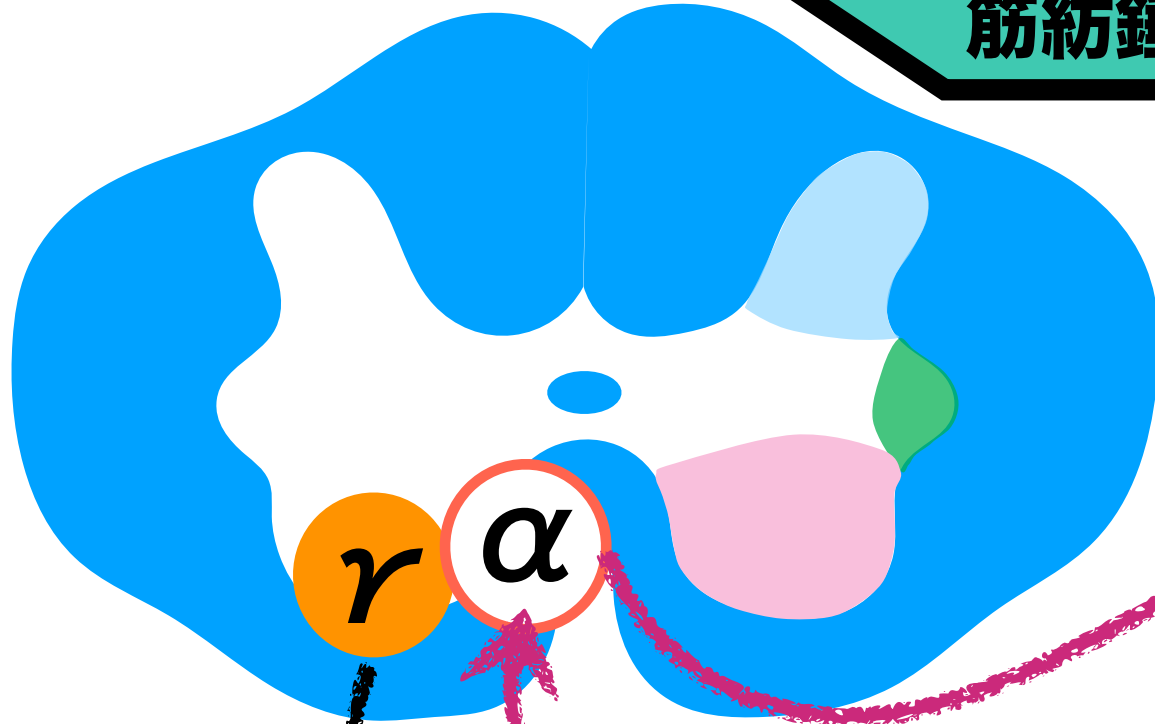
張力変化 = 筋緊張の変化

# 歩行機能 神経システム



# 筋緊張メカニズム

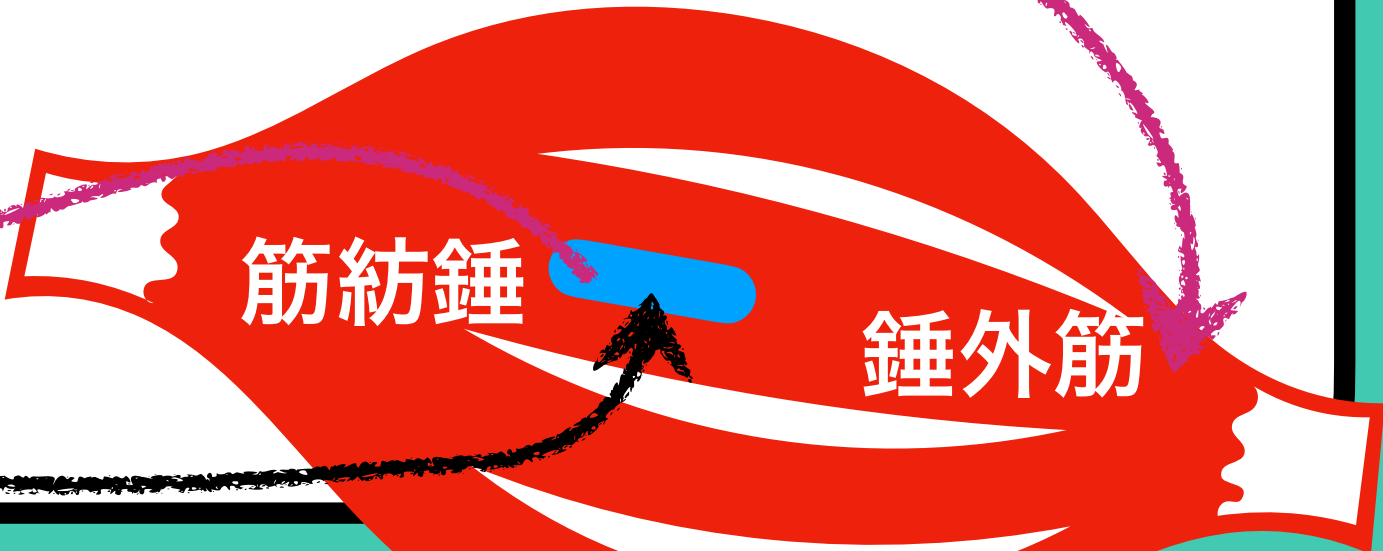
## 筋紡錘の作用



**I a · II 線維**  
筋の変化（長さ・速さ）に  
対して  $\alpha$  運動ニューロン  
に情報を送る

筋紡錘の感度  
を調整

I a / II

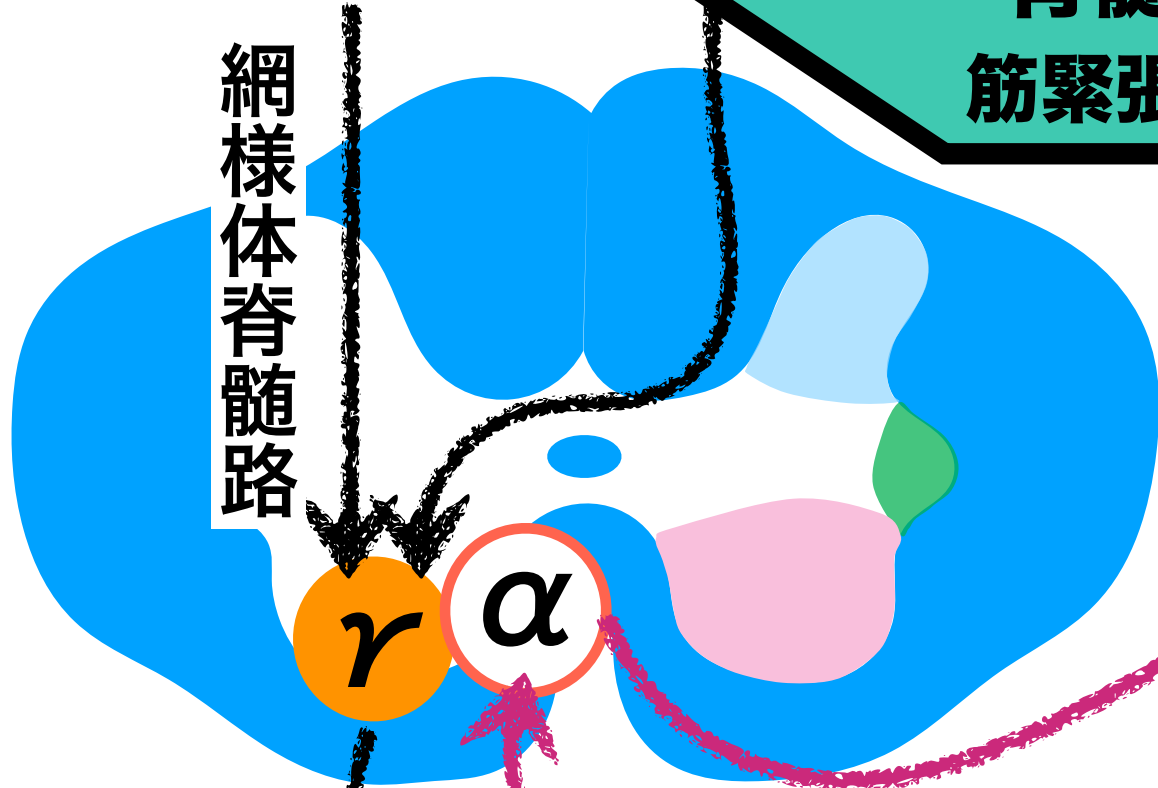


筋紡錘

錘外筋

# 脊髄機能 筋緊張制御系

網様体脊髄路

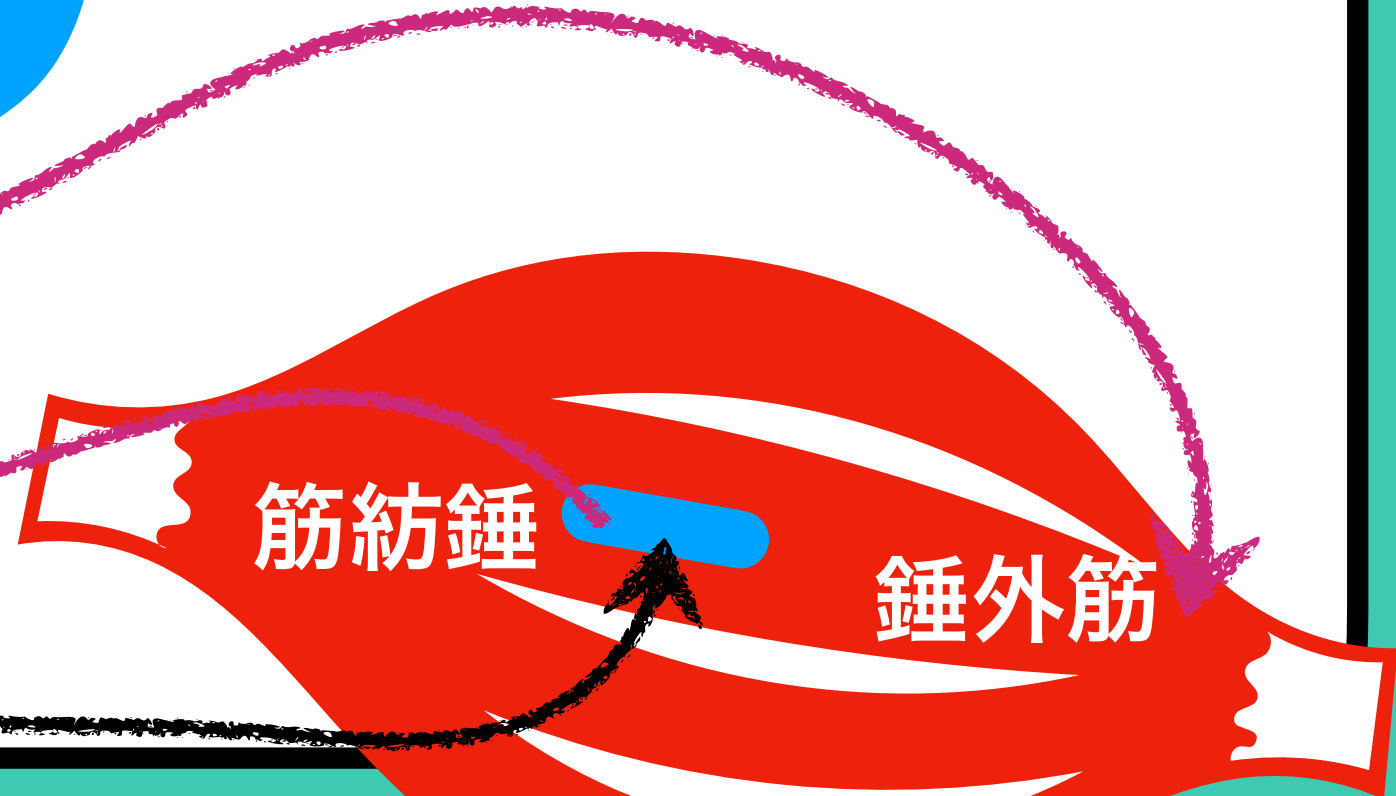


- 網様体脊髄路は  $\gamma$  運動ニューロンを支配
- $\gamma$  運動Nは筋紡錘の感度を調整する
- 伸張反射のメカニズムで筋緊張を制御

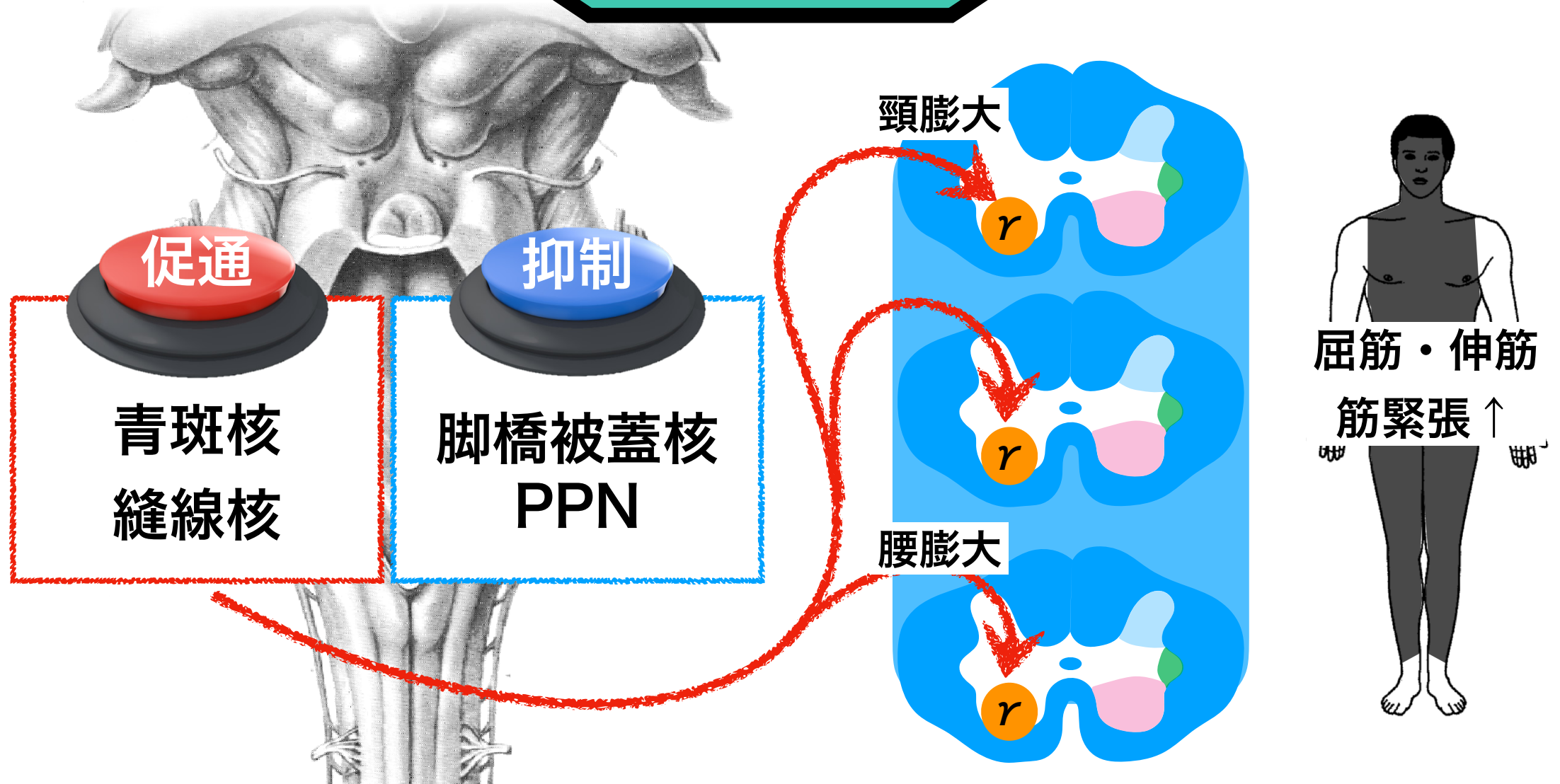
I a/II

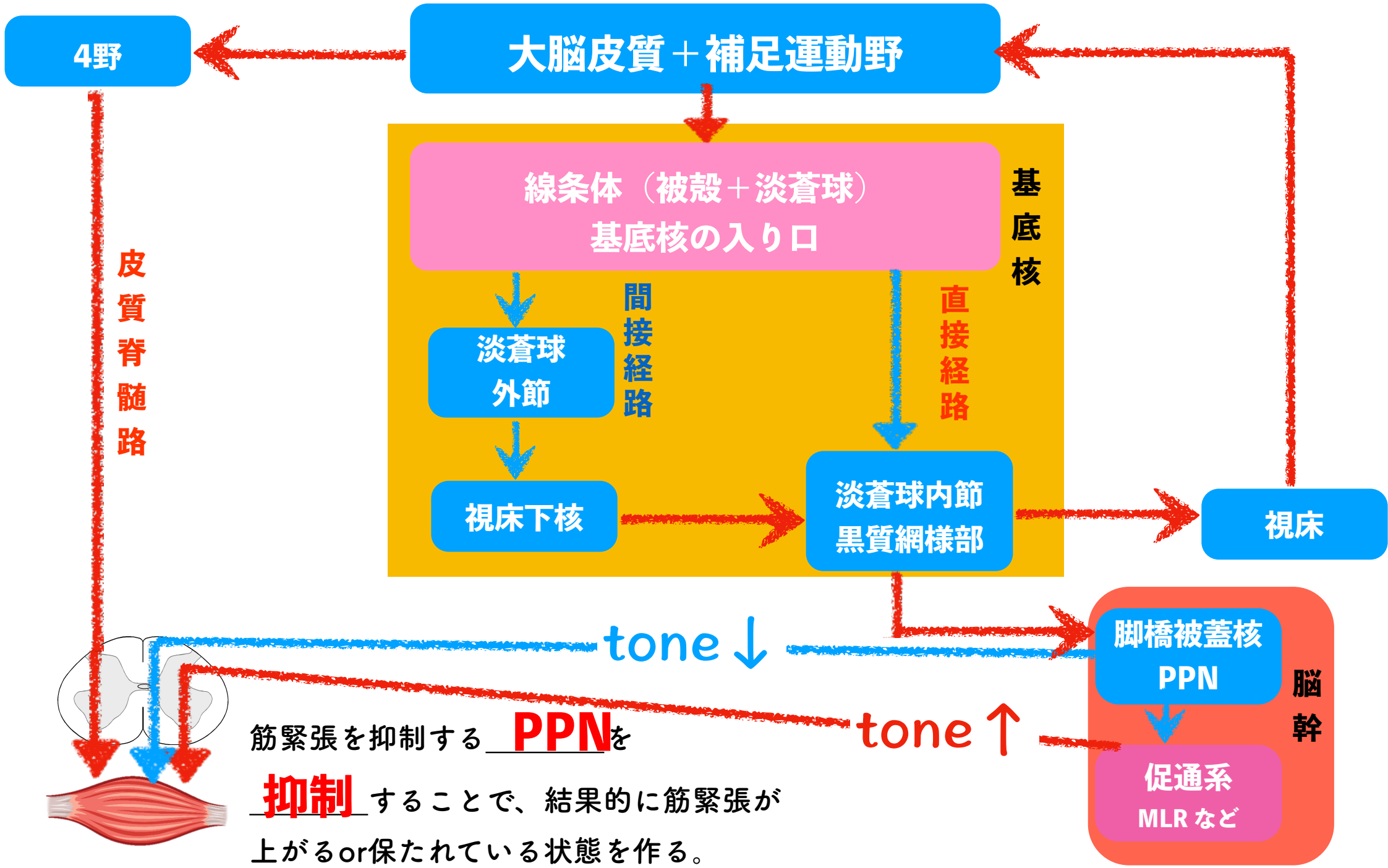
筋紡錘

錘外筋



# 腦幹機能 筋緊張制御系





4野

大脳皮質 + 補足運動野

線条体 (被殻 + 淡蒼球)  
基底核の入り口

基底核

淡蒼球  
外節

間接経路

直接経路

視床下核

淡蒼球内節  
黒質網様部

視床

tone ↓

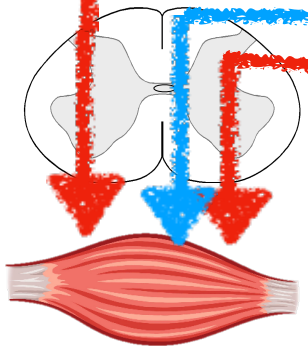
tone ↑

脚橋被蓋核  
PPN

脳幹

促通系  
MLR など

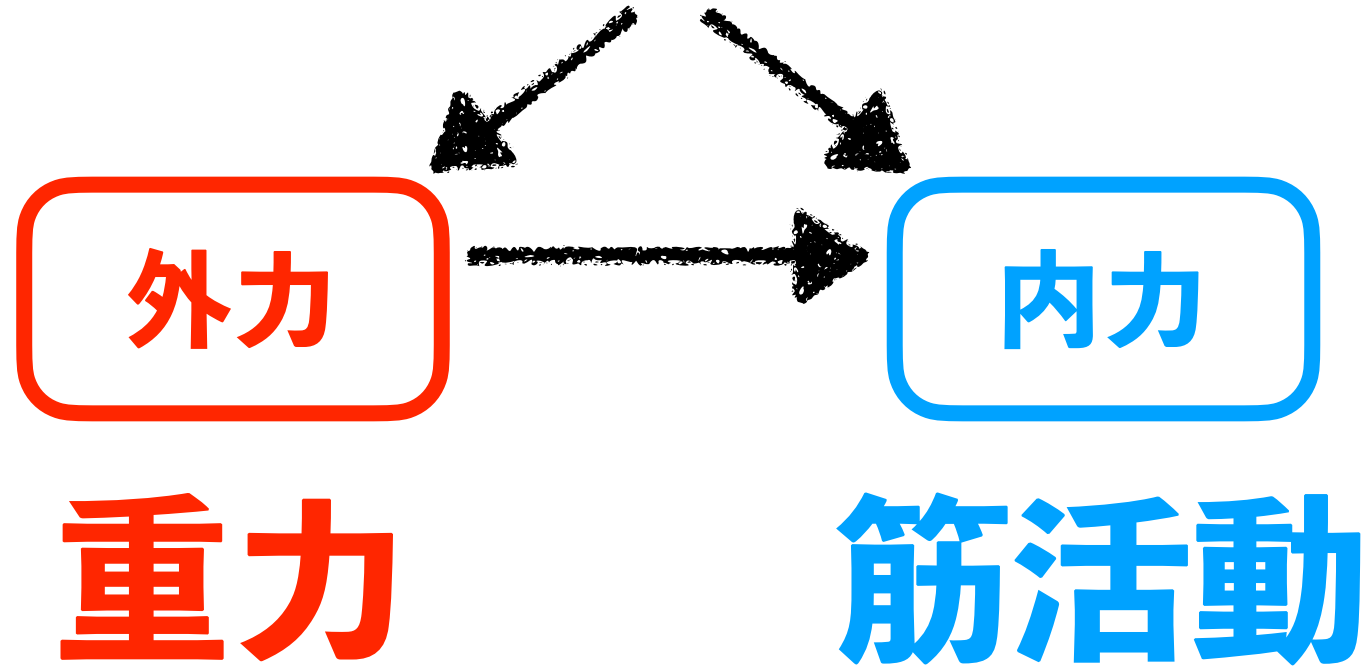
筋緊張を抑制する **PPN**を  
**抑制**することで、結果的に筋緊張が  
上がるor保たれている状態を作る。





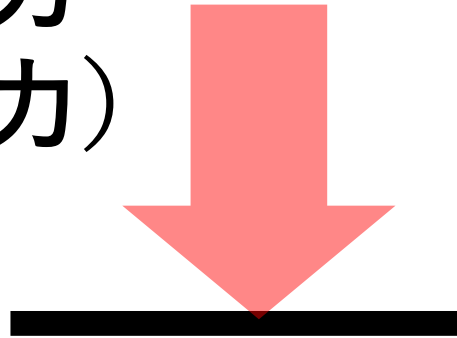
歩行の評価  
床反力

床を**押す**力

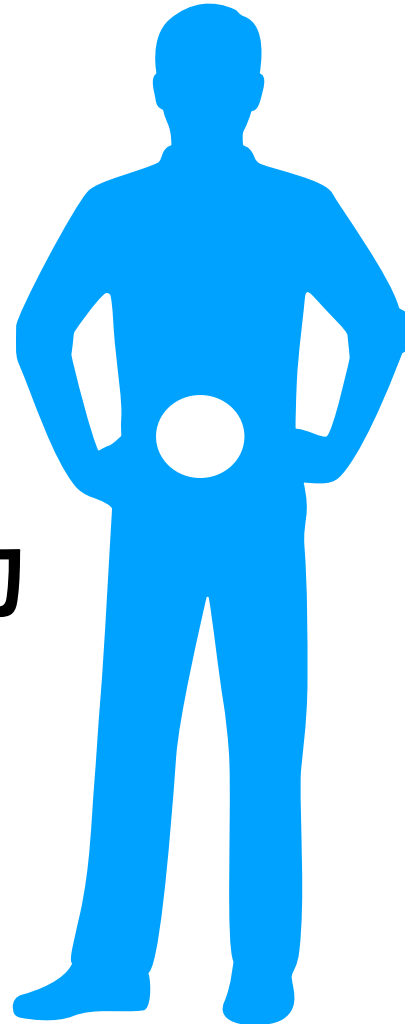
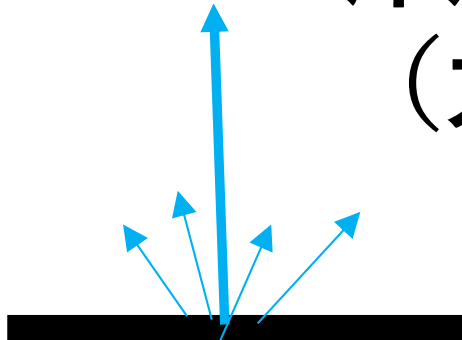


# 歩行の評価 重力との関係

重力  
(外力)



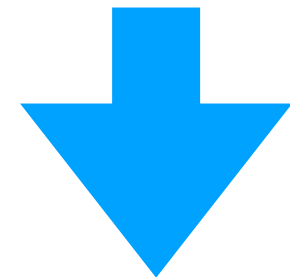
床反力  
(力)



**重力 : 10**

**(Lt)床反力 : 5**

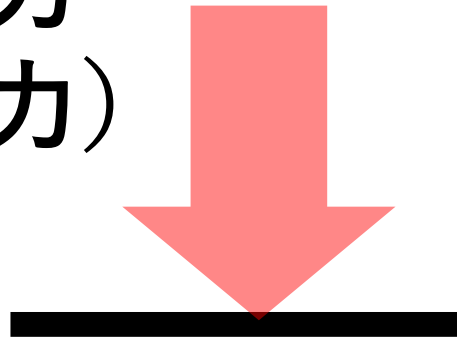
**(Rt)床反力 : 5**



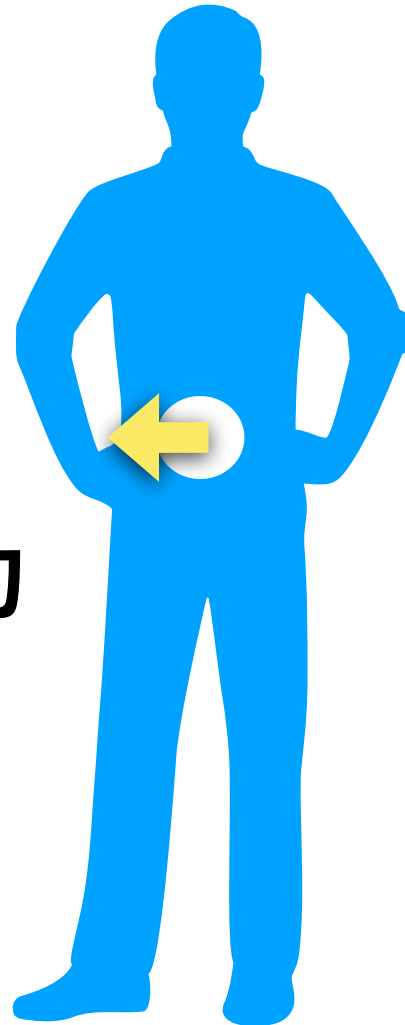
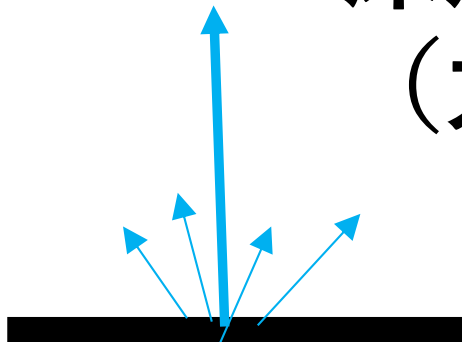
**静止**

# 歩行の評価 重力との関係

重力  
(外力)



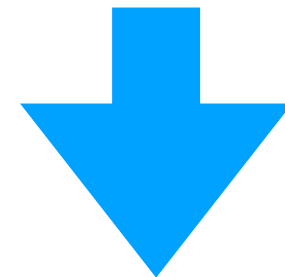
床反力  
(力)



**重力 : 10**

**(Lt)床反力 : 7**

**(Rt)床反力 : 3**

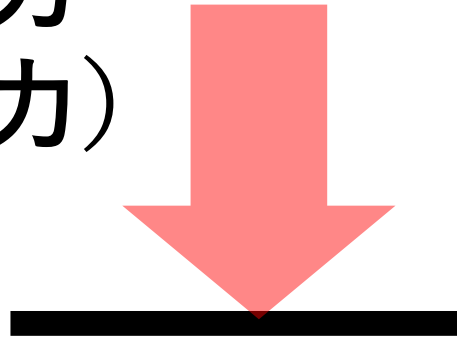


**右shift**

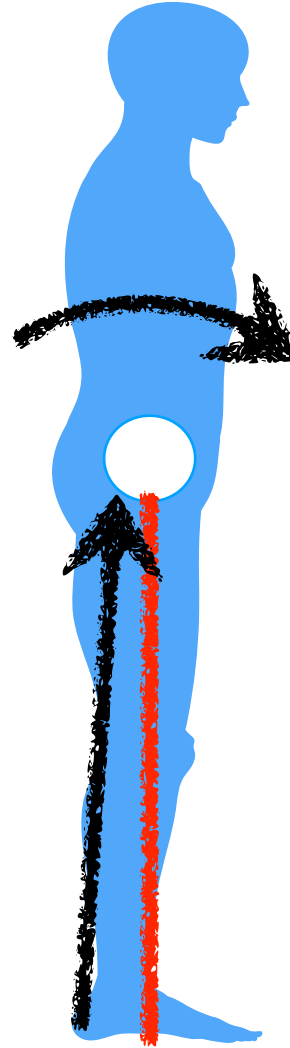
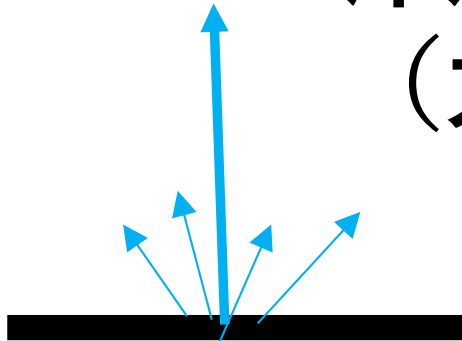
# 歩行の評価

## 重力との関係

重力  
(外力)

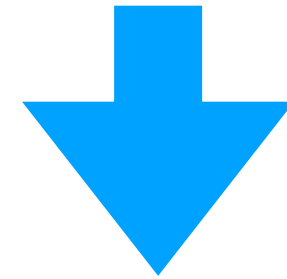


床反力  
(力)



重力：前

床反力：後



前方回転

# 歩行の評価

## 重力との関係

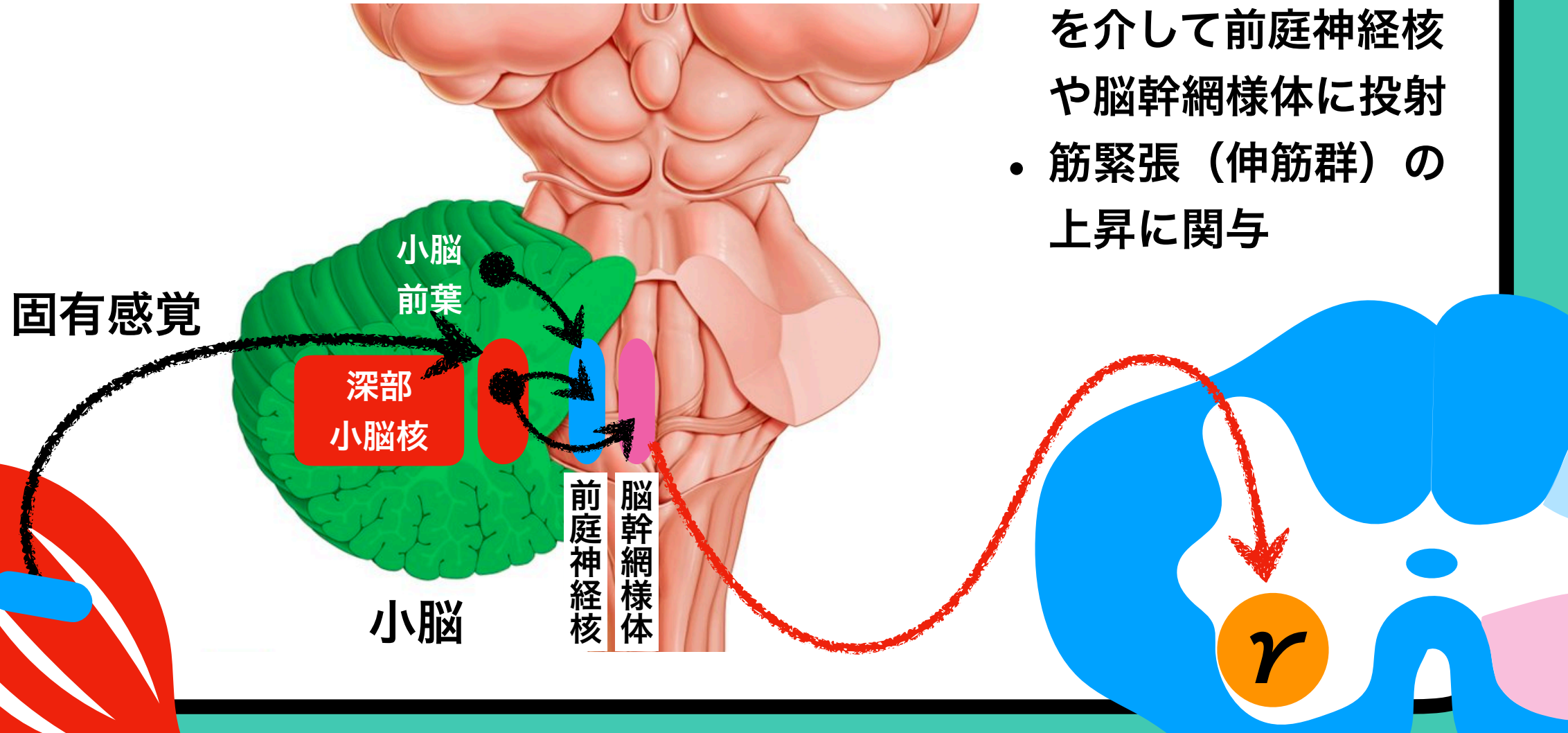


床反力を加える = 下肢・足底で床を押す  
筋活動が生じ、関節運動が生じる  
床反力（強さ・位置）が変化する  
重心の移動が起こる



# 小脳一脳幹機能 筋緊張制御系

- 固有感覚情報が小脳を介して前庭神経核や脳幹網様体に投射
- 筋緊張（伸筋群）の上昇に関与



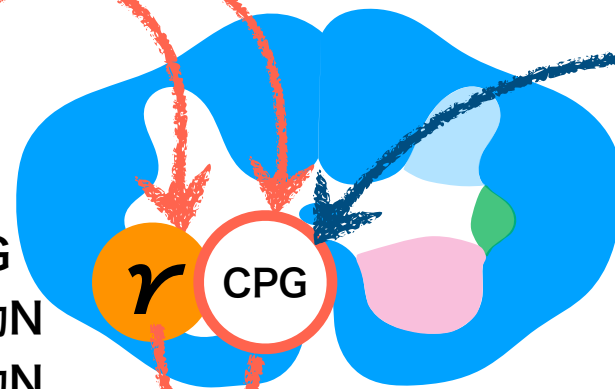
# 歩行機能 神経システム

## 入力系

【大脳皮質】  
補足運動野  
運動前野  
運動野  
感覚野  
頭頂葉



CPG  
 $\gamma$ 運動N  
 $\alpha$ 運動N



## 出力系



# 歩行の評価

床反力

外力

内力

重力

筋活動

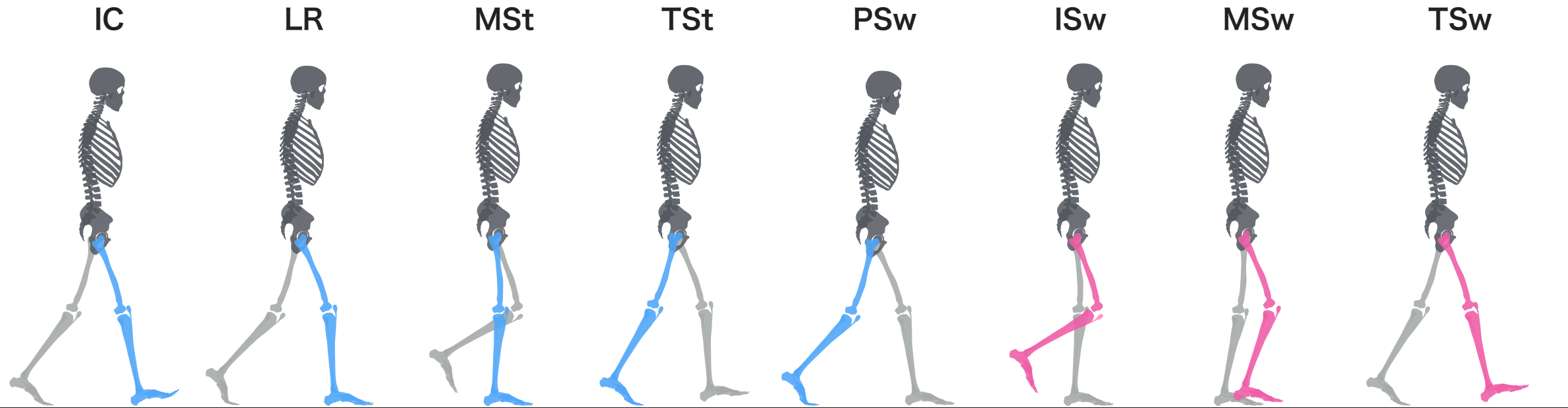
重心移動



歩行の評価  
床反力

# Ground Reaction Force

1) 重力（外力）・筋活動（内力）との  
関係性で**重心移動**に關与する



立脚期

遊脚期



0%

12%

31%

50%

62%

75%

87%

100%

衝撃吸収

重心の持ち上げ

重心の保持

重心の減速

前方推進力

下肢の持ち上げ

方向性

衝撃吸収の準備

歩行周期

役割

- 足
- 膝
- 股
- 体

重心

床反力

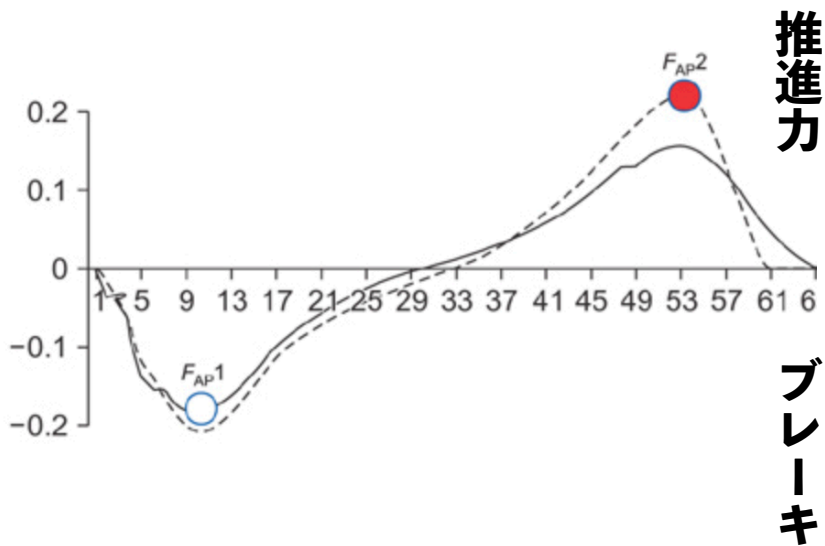
支持基底面

モーメント

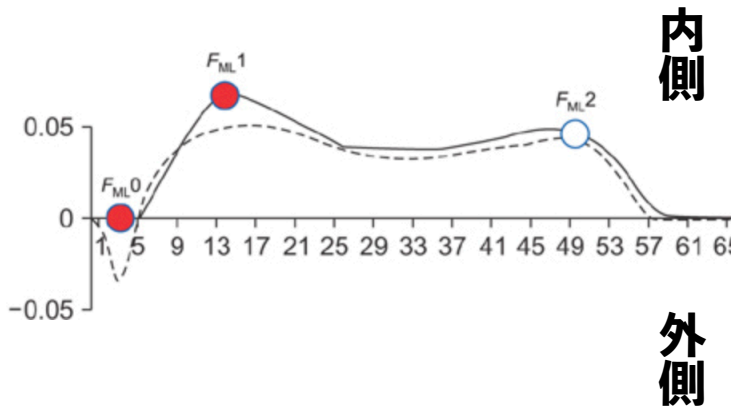
バイオメカニクス

# 歩行の評価 床反力

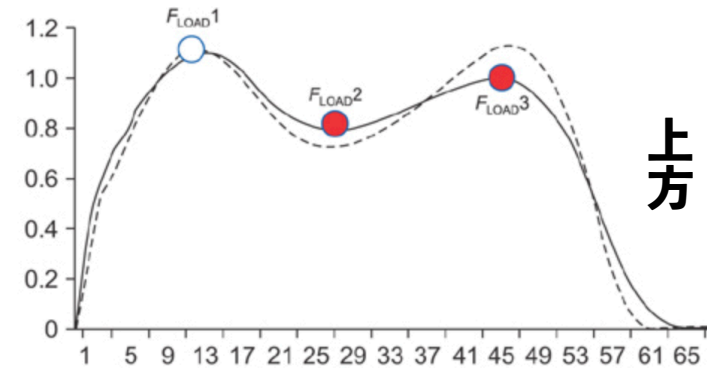
前後



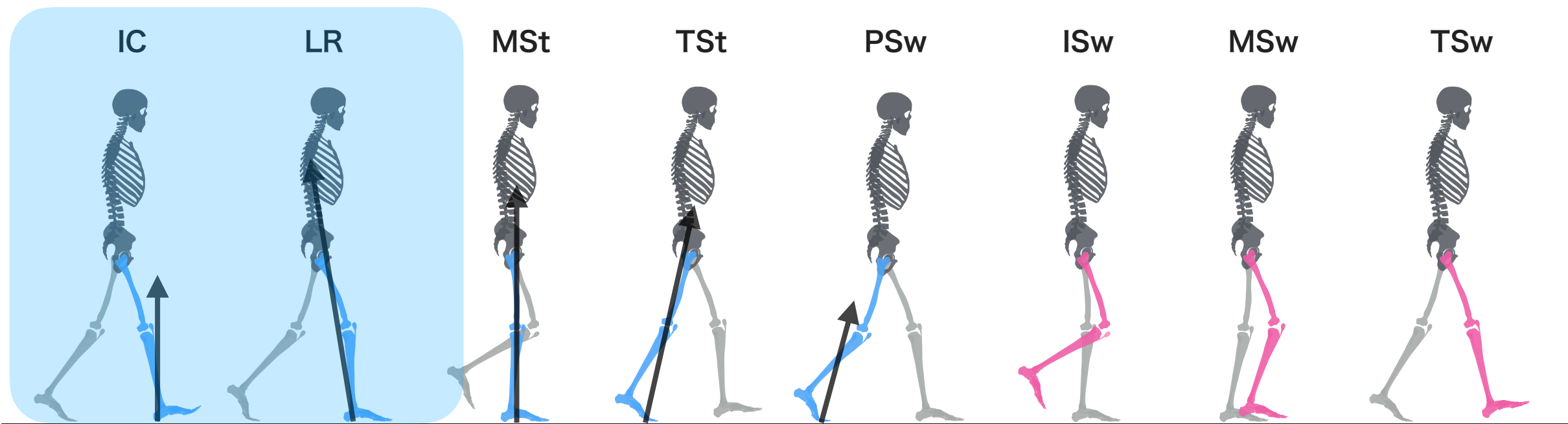
左右



垂直



— Flatfoot group  
 - - - Control group  
 ●  $p < 0.05$

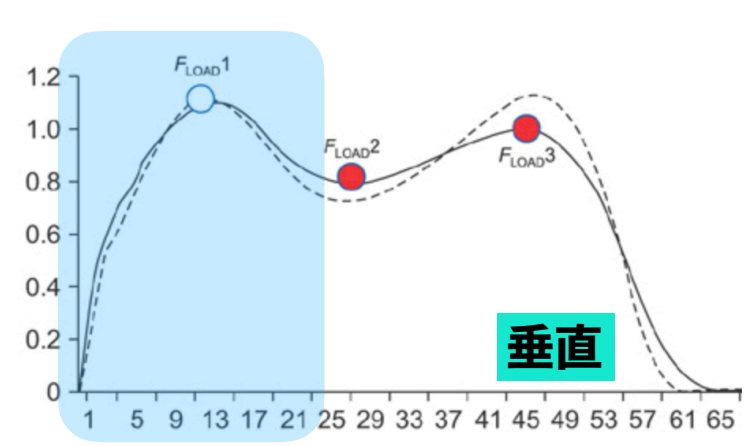
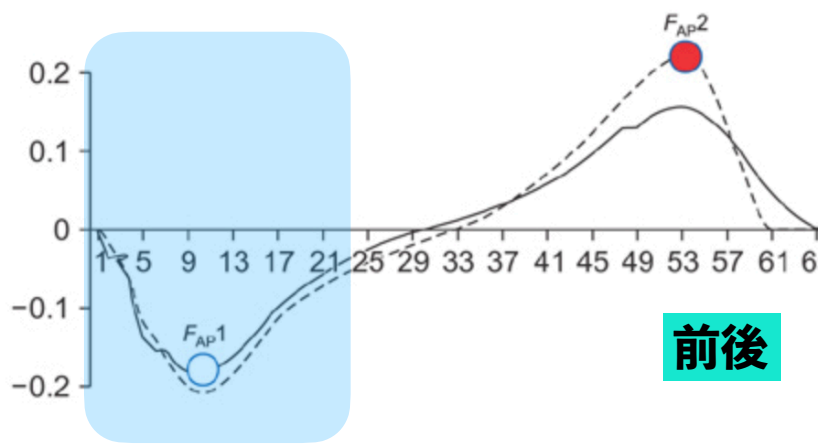
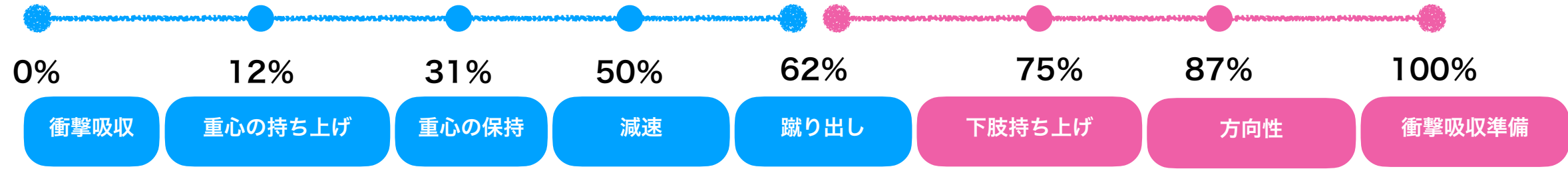


立脚期

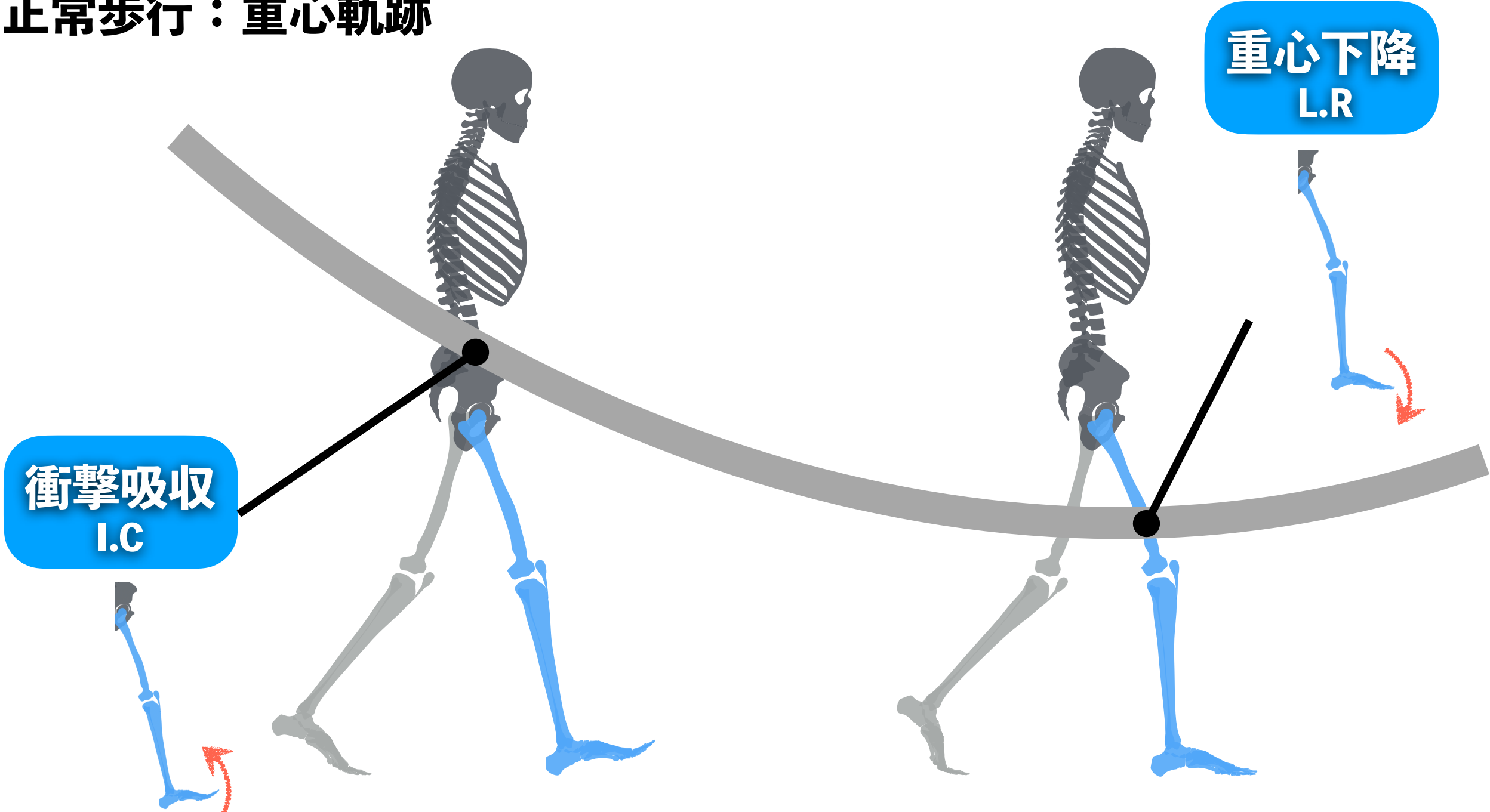
遊脚期

歩行周期

役割



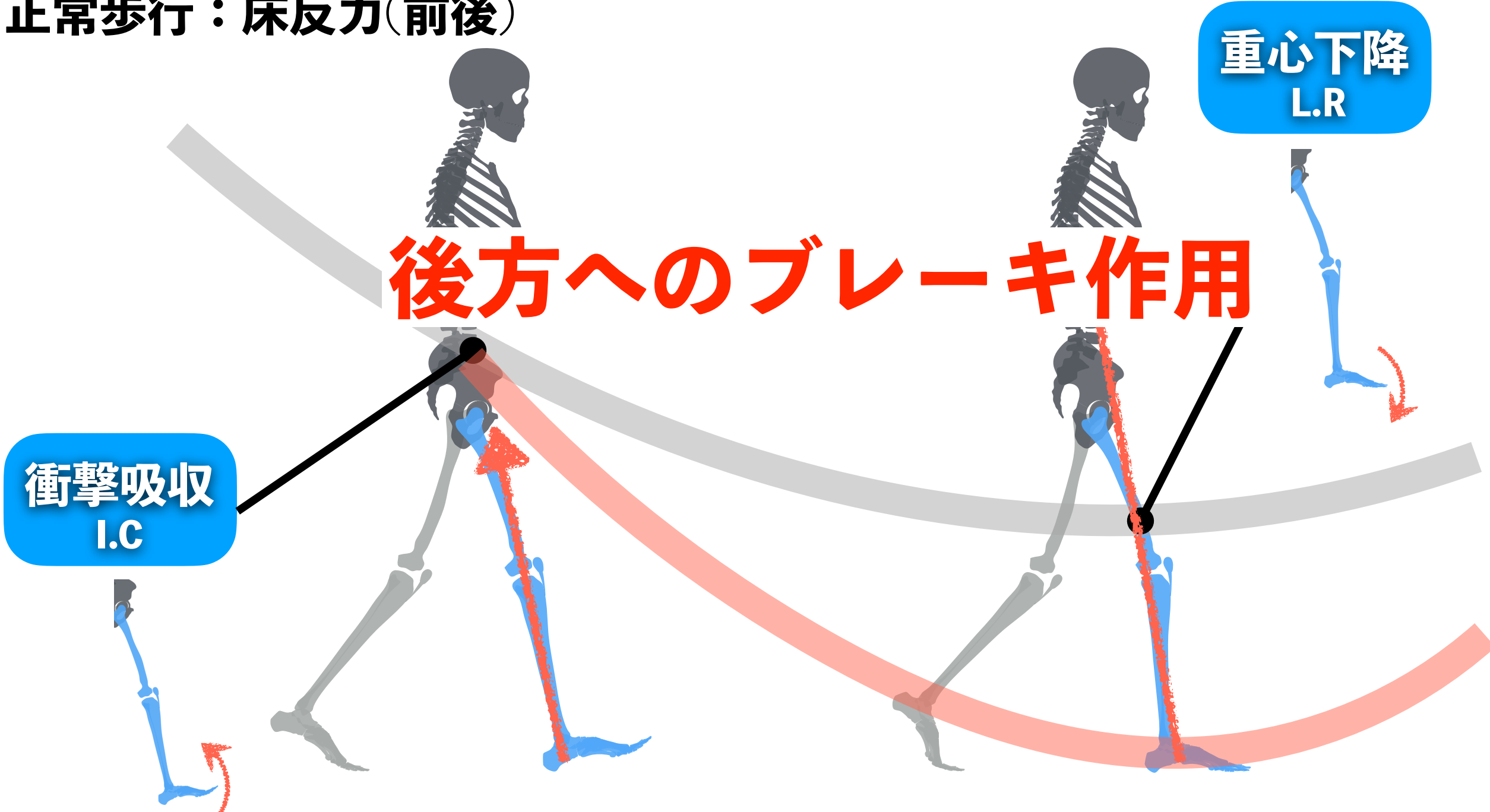
# 正常步行：重心軌跡



衝擊吸收  
I.C

重心下降  
L.R

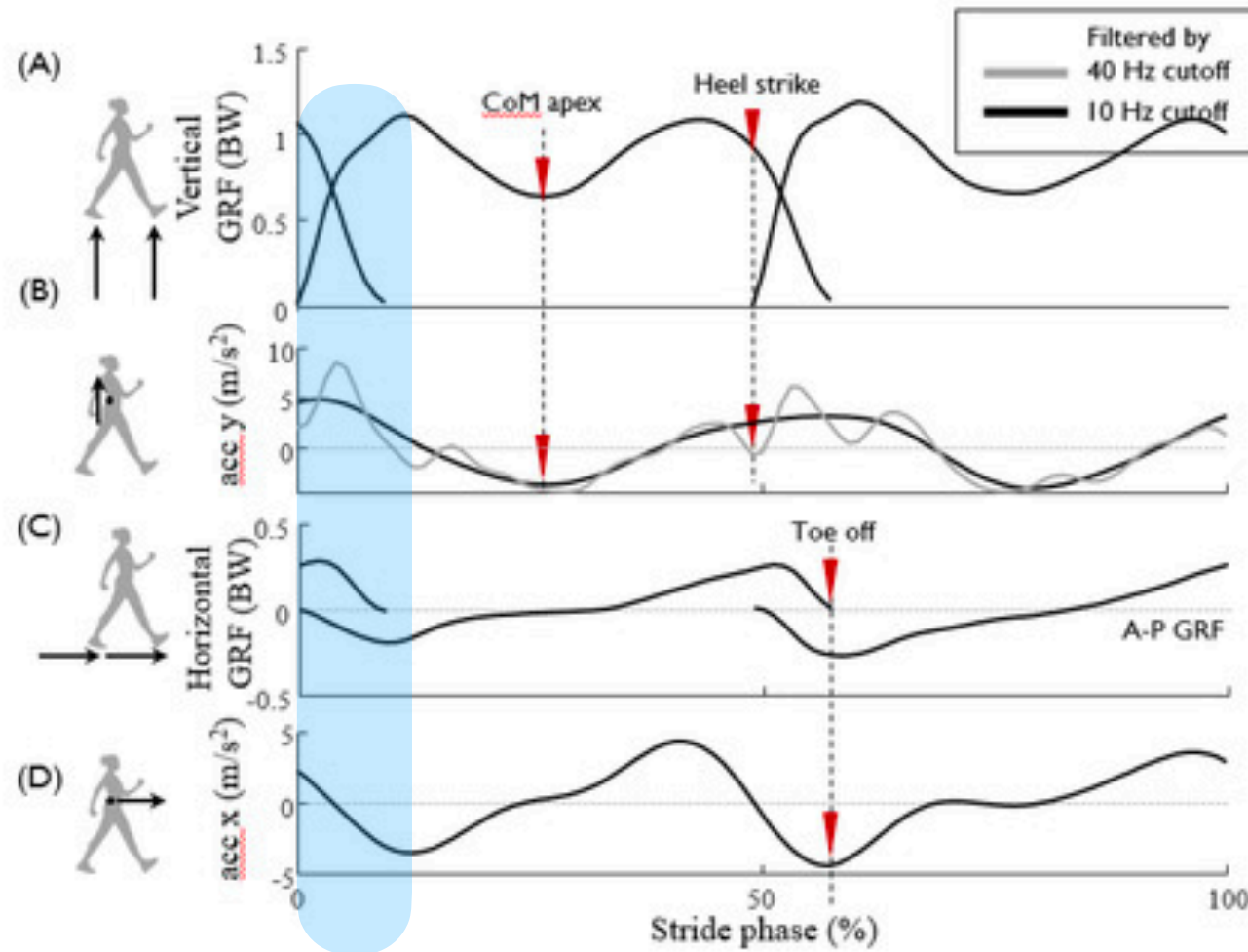
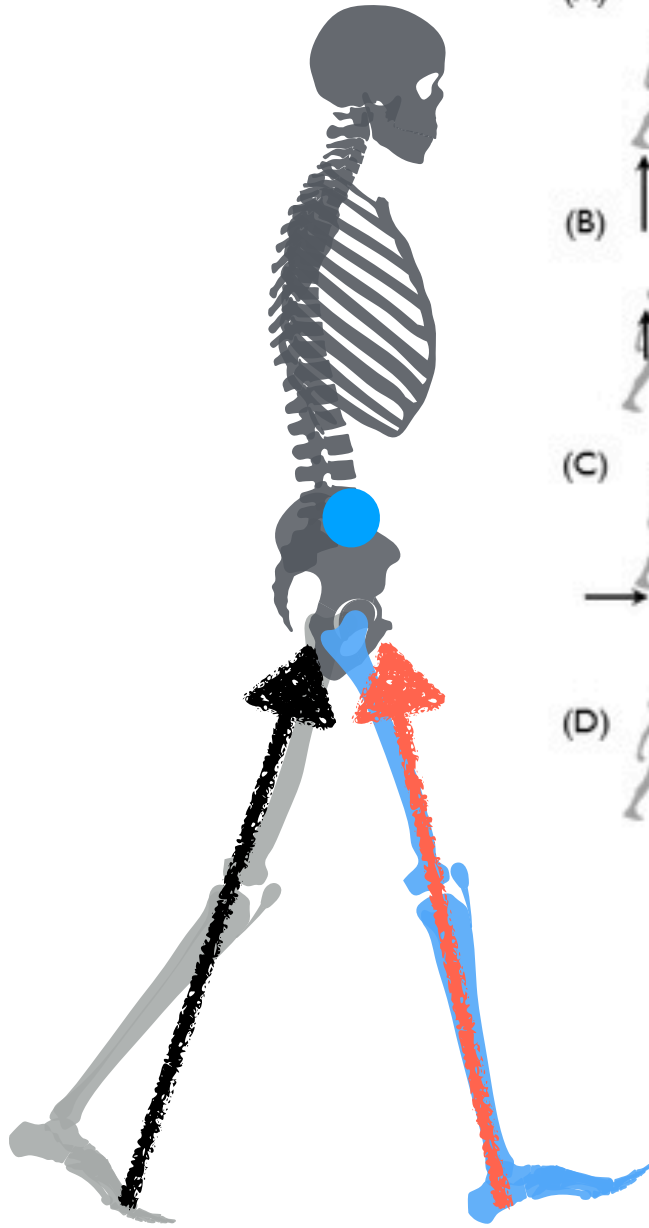
# 正常歩行：床反力(前後)



重心下降  
L.R

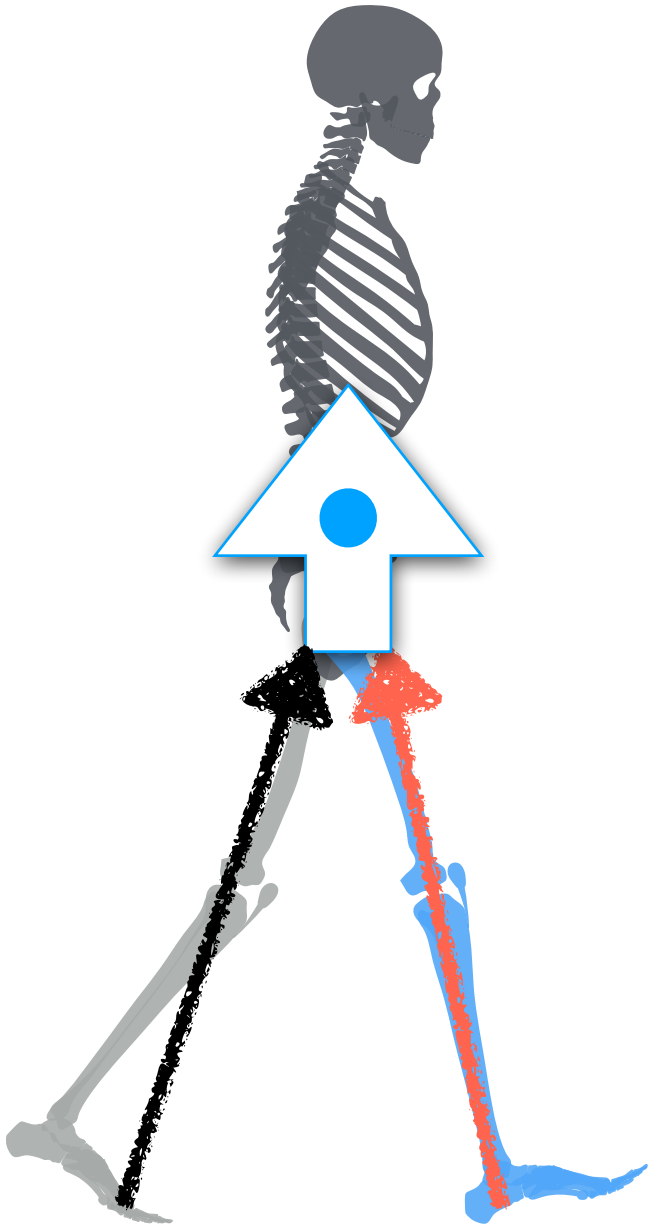
後方へのブレーキ作用

衝撃吸収  
I.C



Hyerim Lim, et al : Prediction of Lower Limb Kinetics and Kinematics during Walking by a Single IMU on the Lower Back Using Machine Learning, Sensors 20(1): 130 (2020).

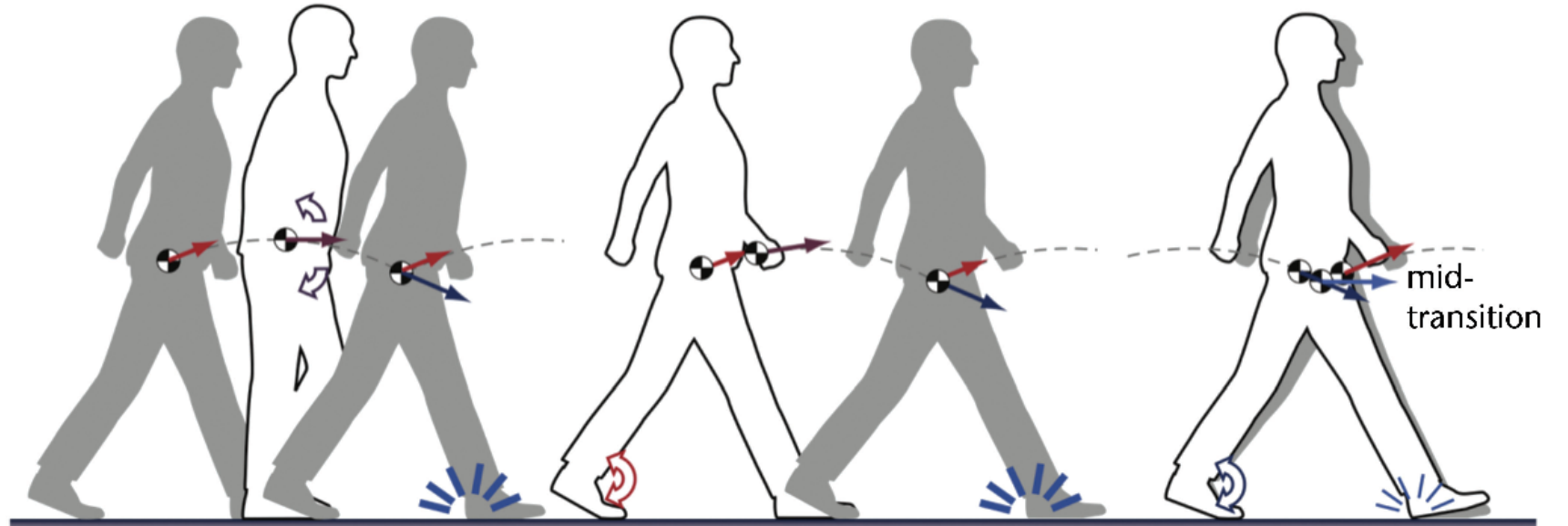
- (A)GRF(垂直)：上方成分
- (C)GRF(水平)：後方成分
- (B)acc y(加速度)：上方へ



A Single-limb-support stance work

B Late push-off

C Pre-emptive push-off



A.D.Kuo et al:Dynamic Principles of Gait and Their Clinical Implications. Physical Therapy(2010) :157-174

**後足部の前方推力 + 前足部のブレーキ**

**= 上方への重心持ち上げ力**



# 後方ブレーキ作用の低下

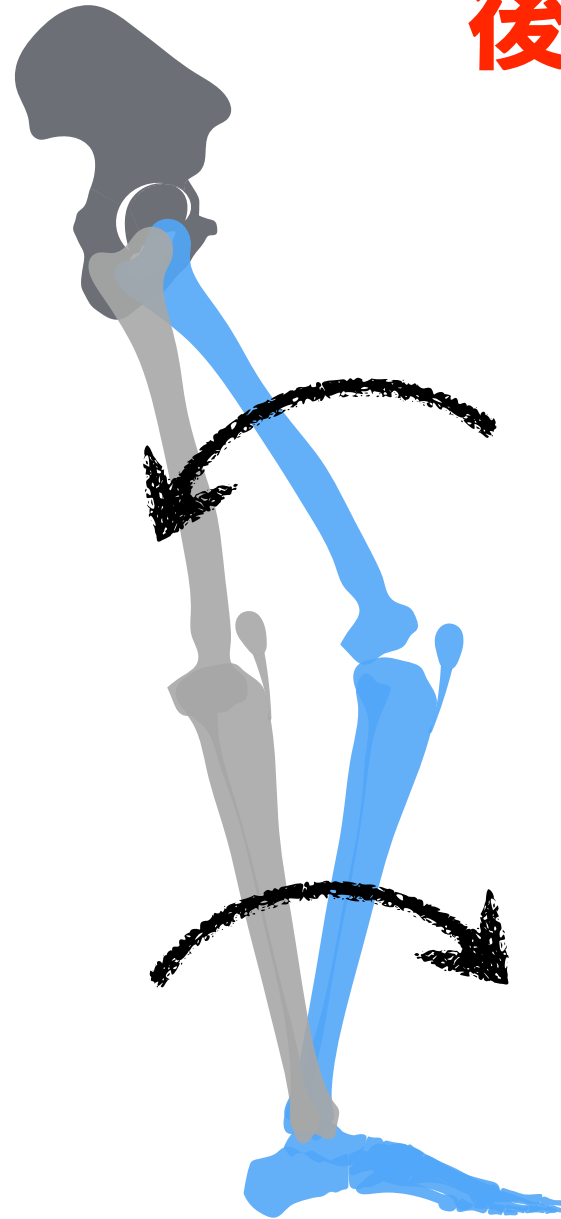
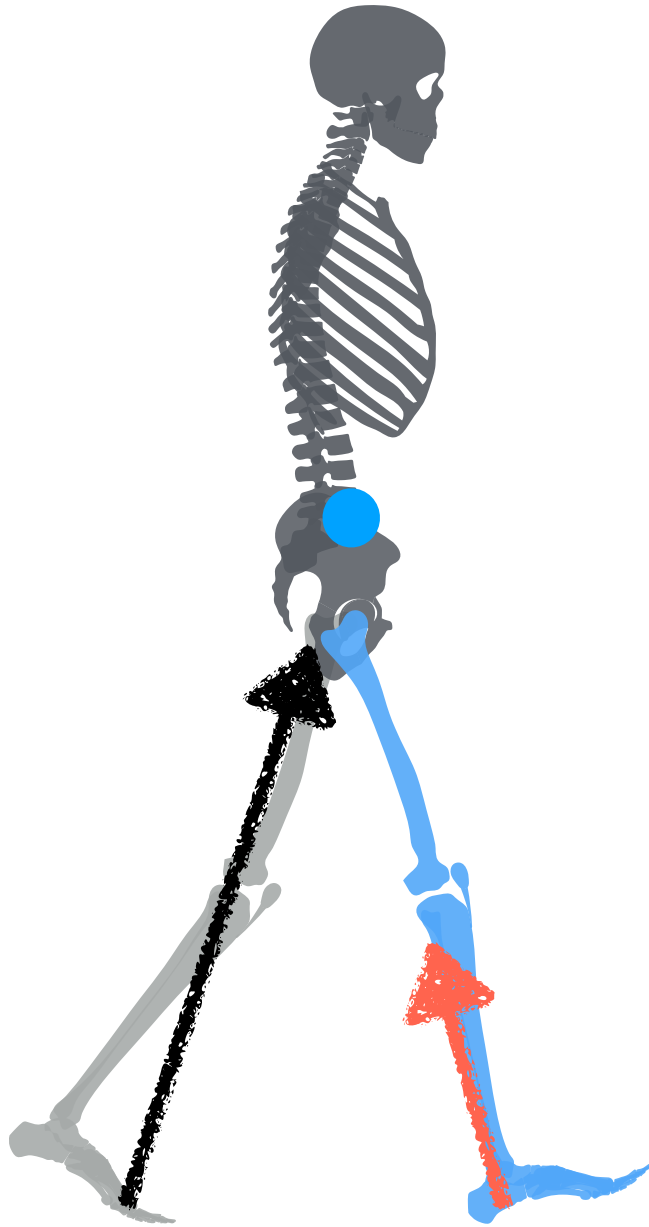
下肢運動麻痺

(足部剛性↓)

下肢接地に伴い

下腿が過度に前傾

膝折れ



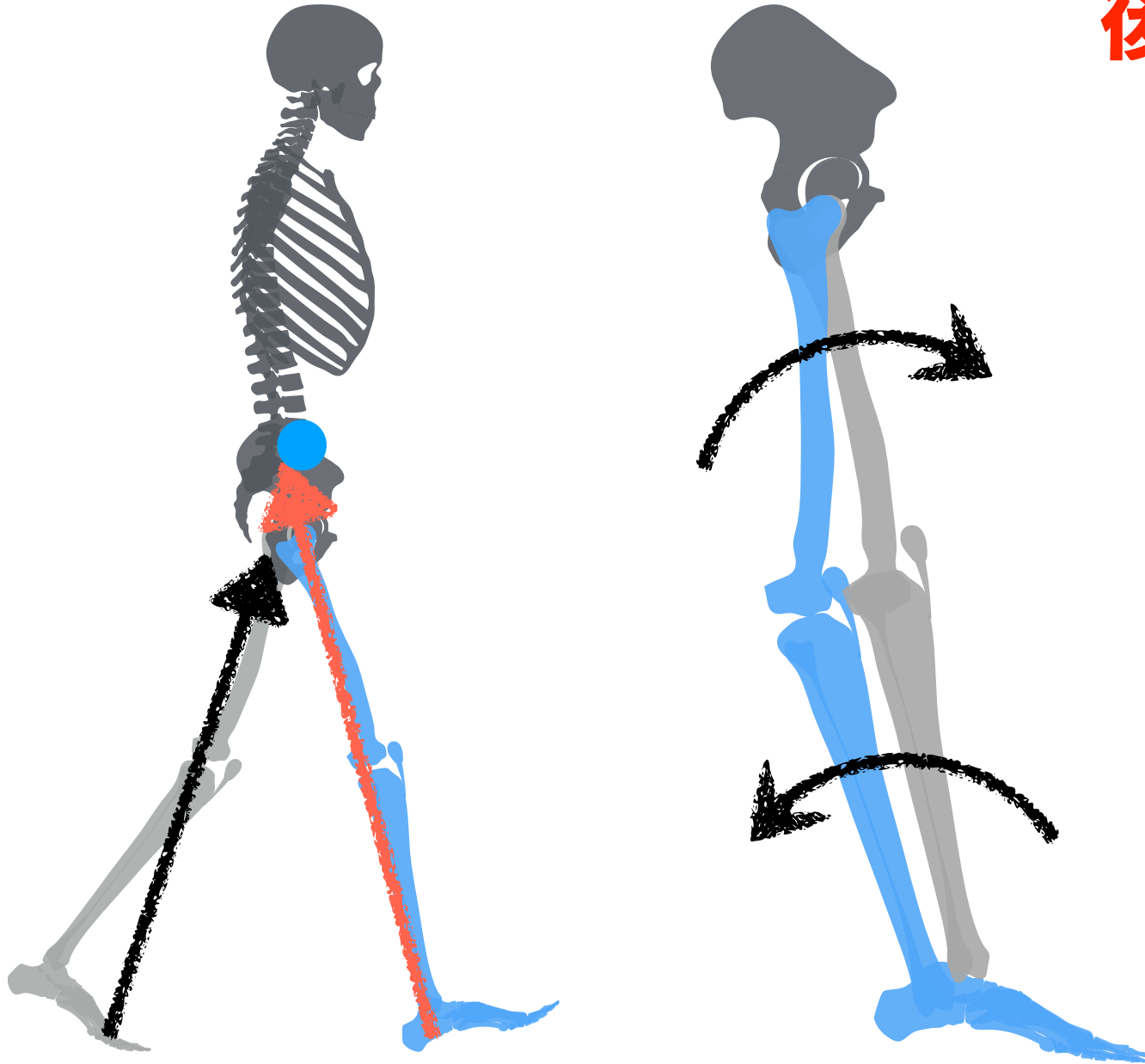
# 後方ブレーキ作用の増加

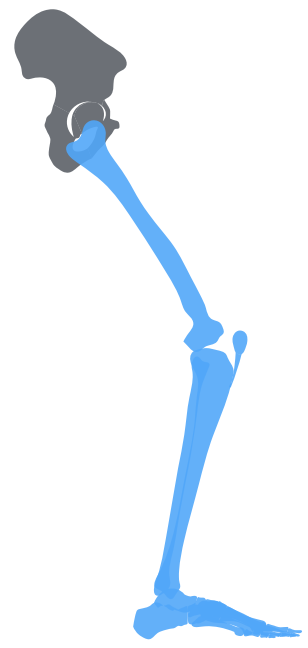
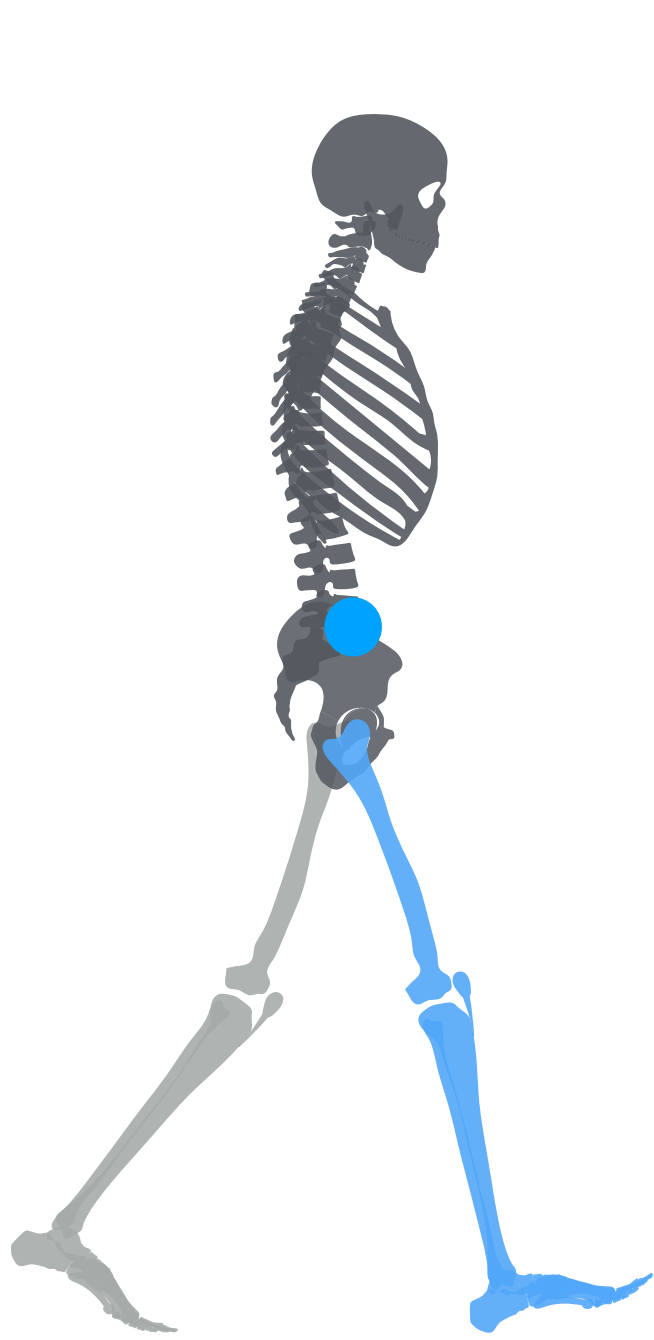
下肢痙性麻痺

(足部剛性↑)

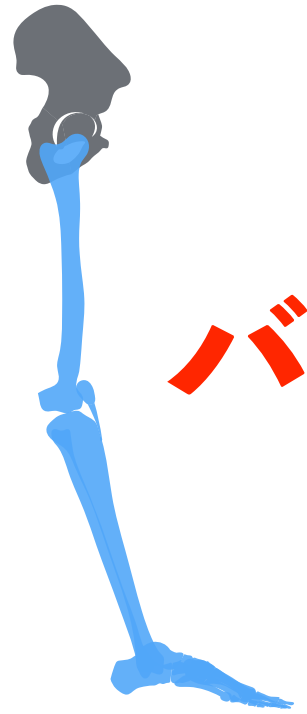
前足部接地に伴い  
下腿が過度に後傾

バックニー

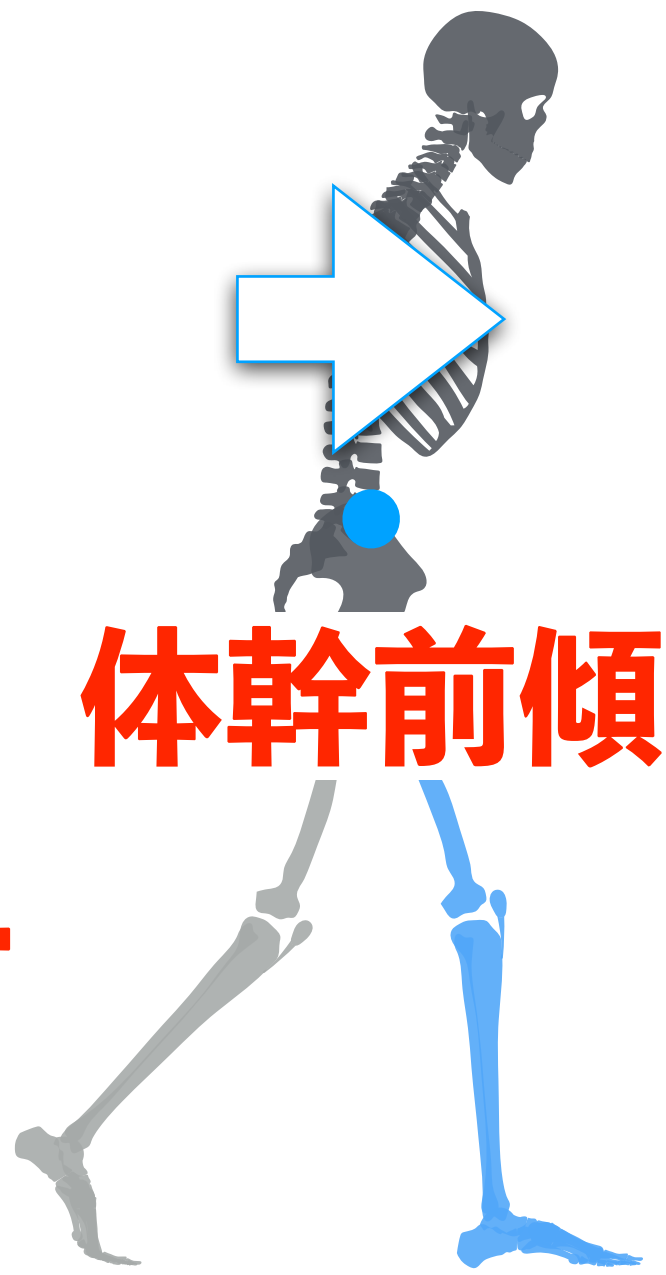




膝折れ

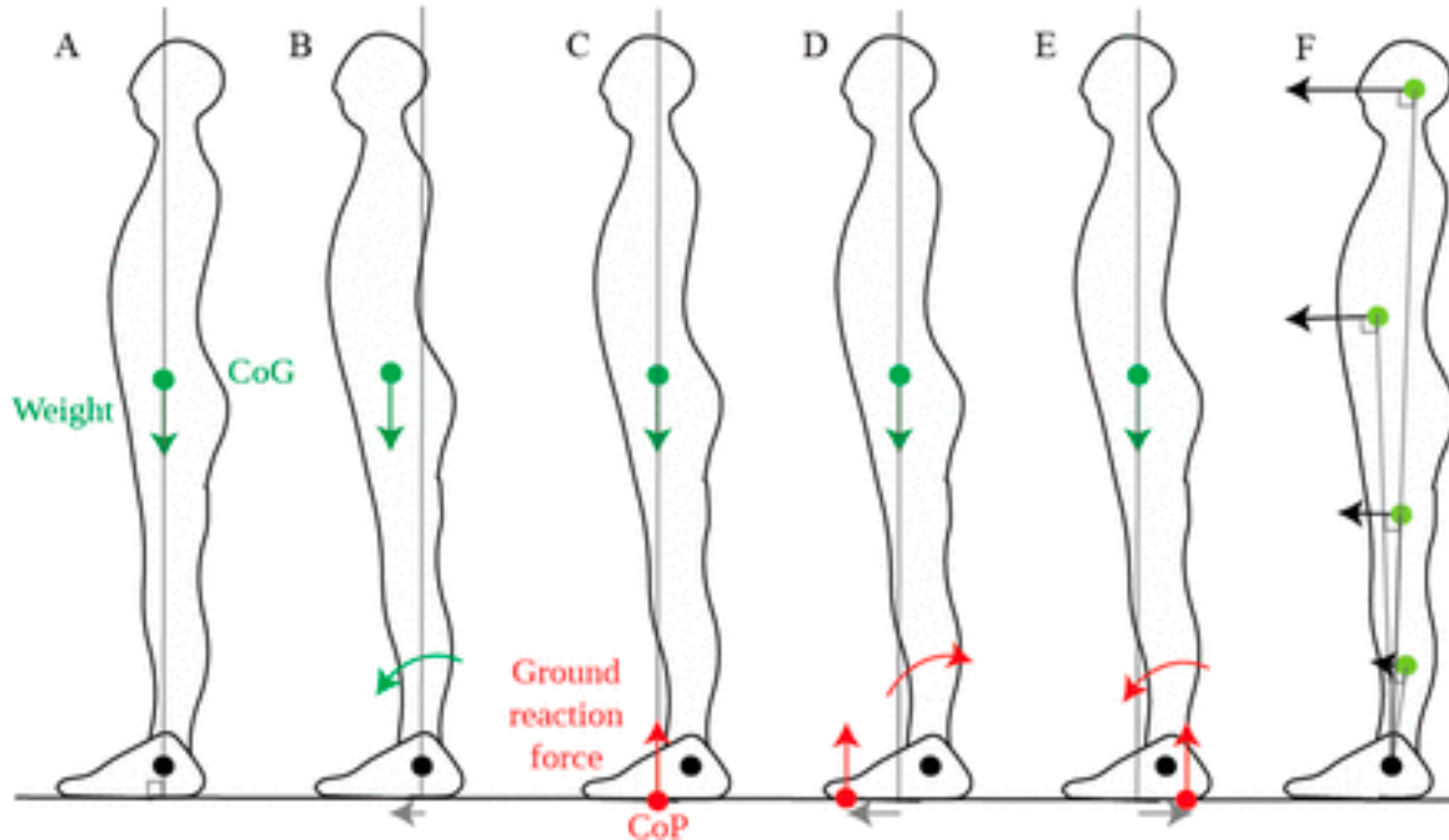


バックニー



体幹前傾

# COGとCOPの 関係



身体重心により  
下腿の動きあり

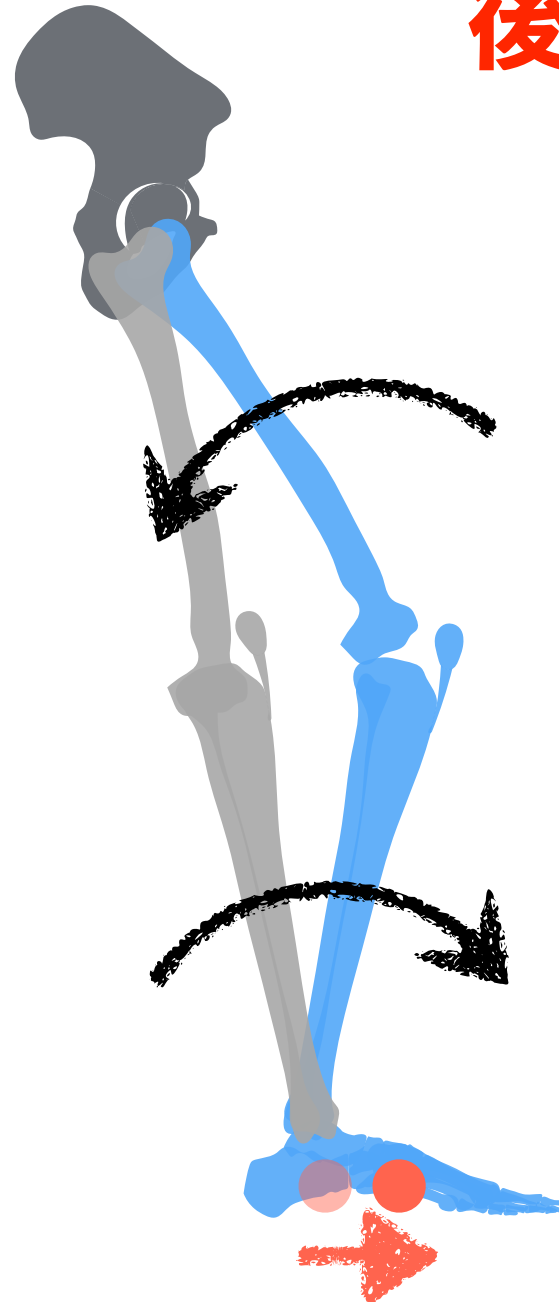
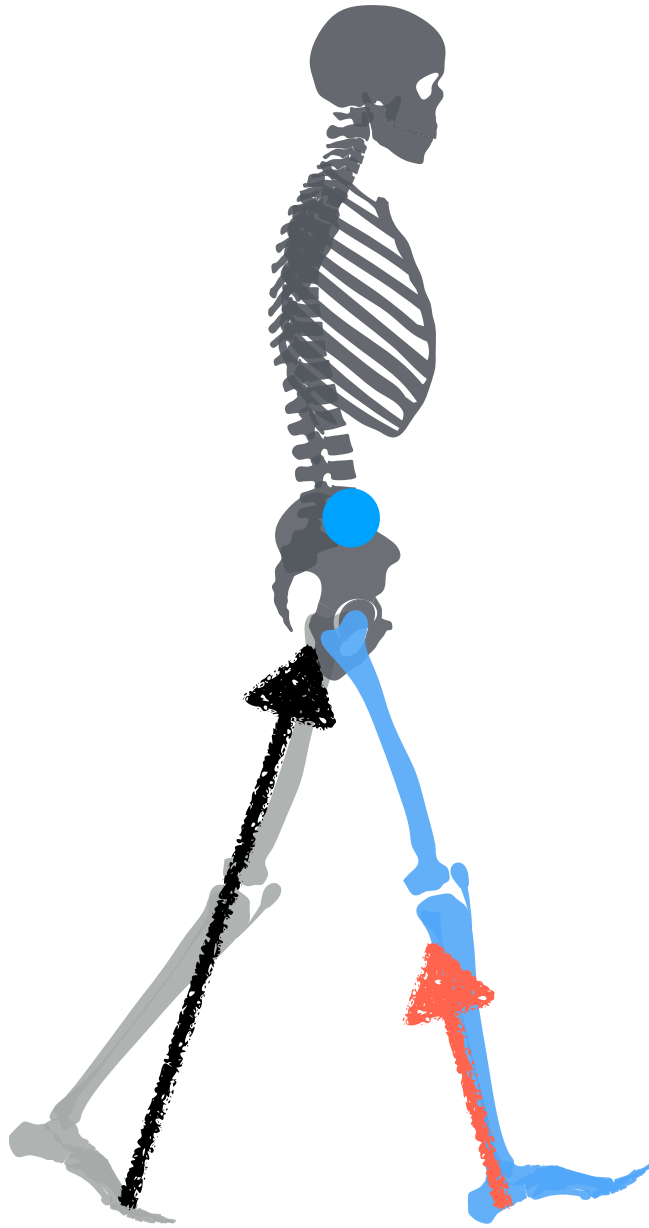
COPの位置により  
下腿の動きあり

# 後方ブレーキ作用の低下

下肢運動麻痺  
(足部剛性↓)

下肢接地に伴い  
下腿が過度に前傾

膝折れ

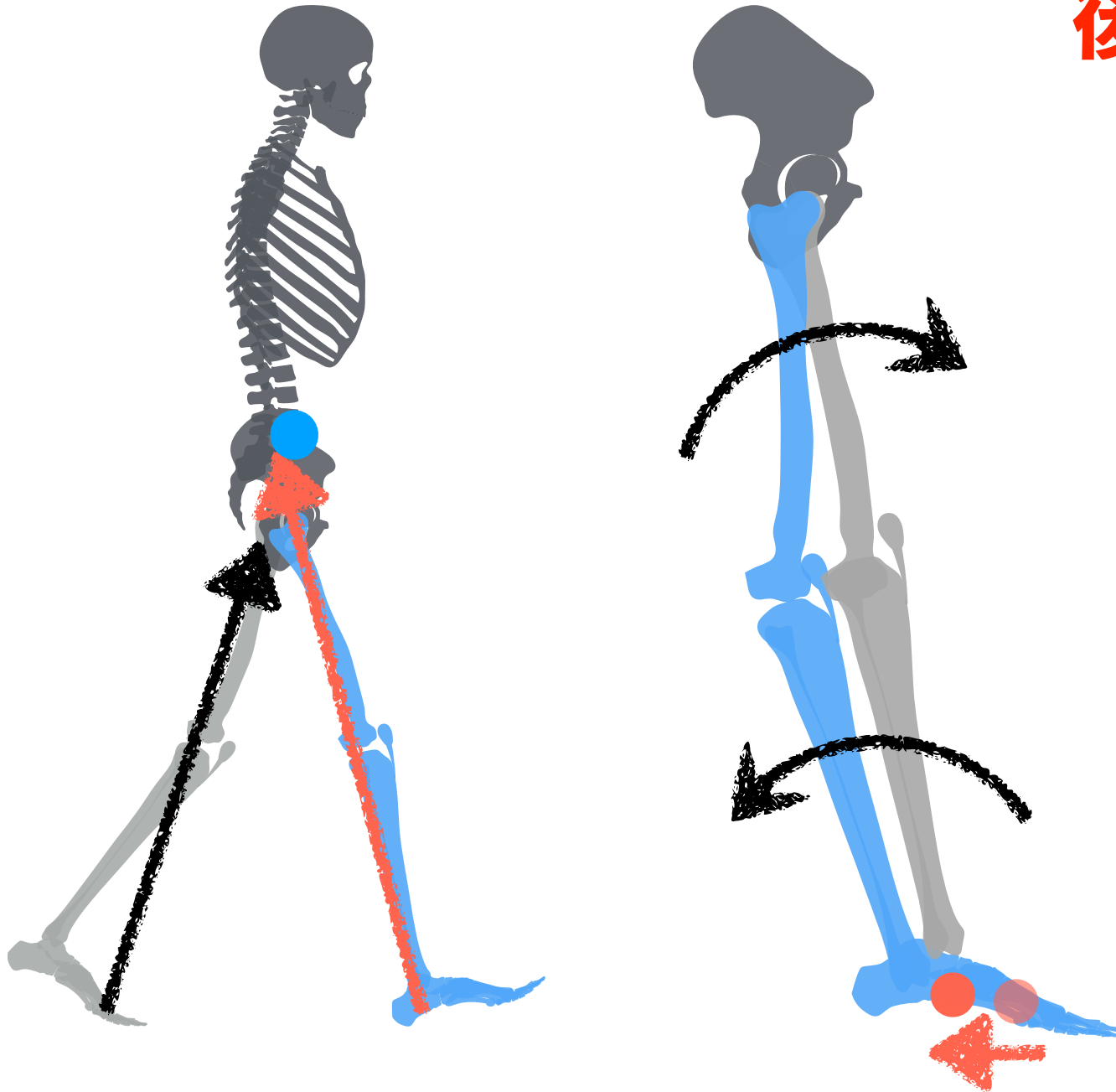


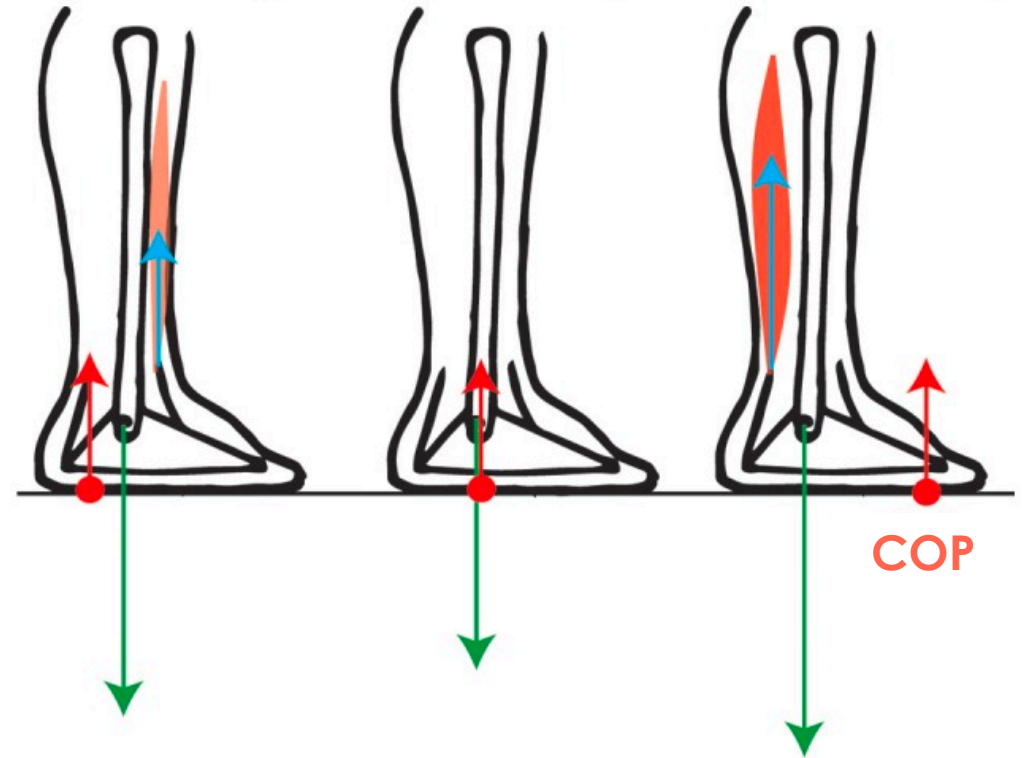
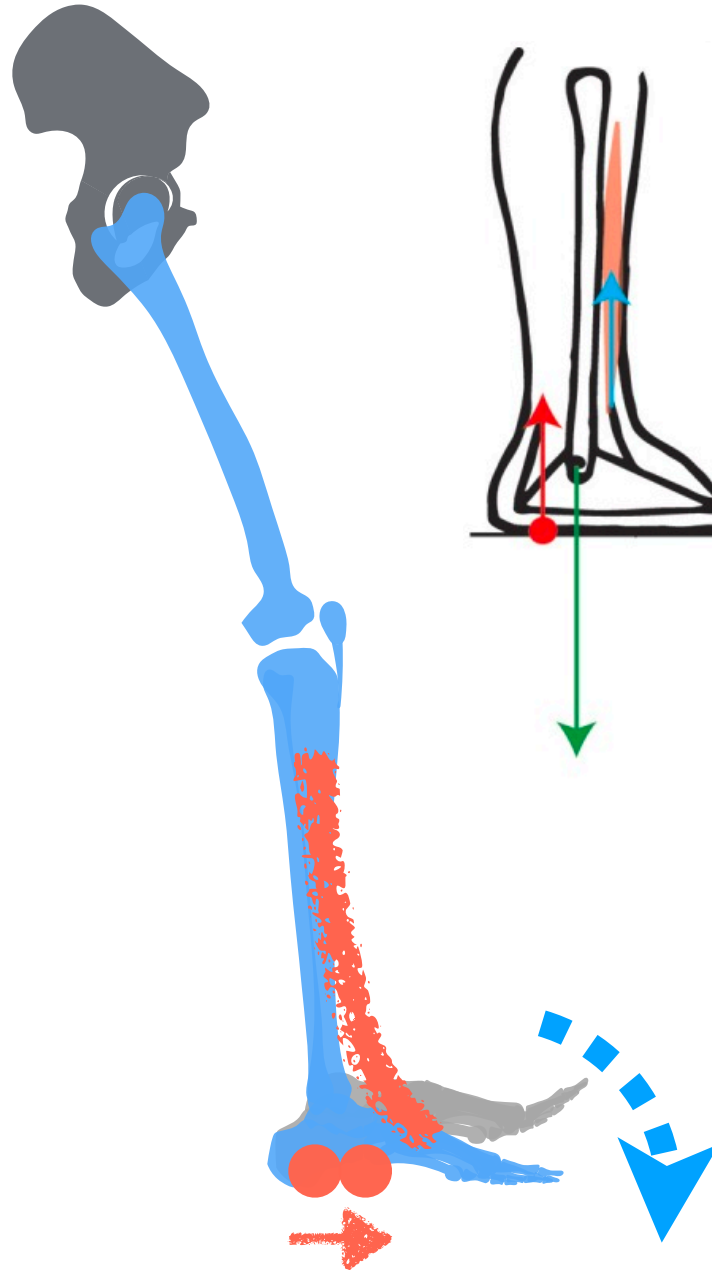
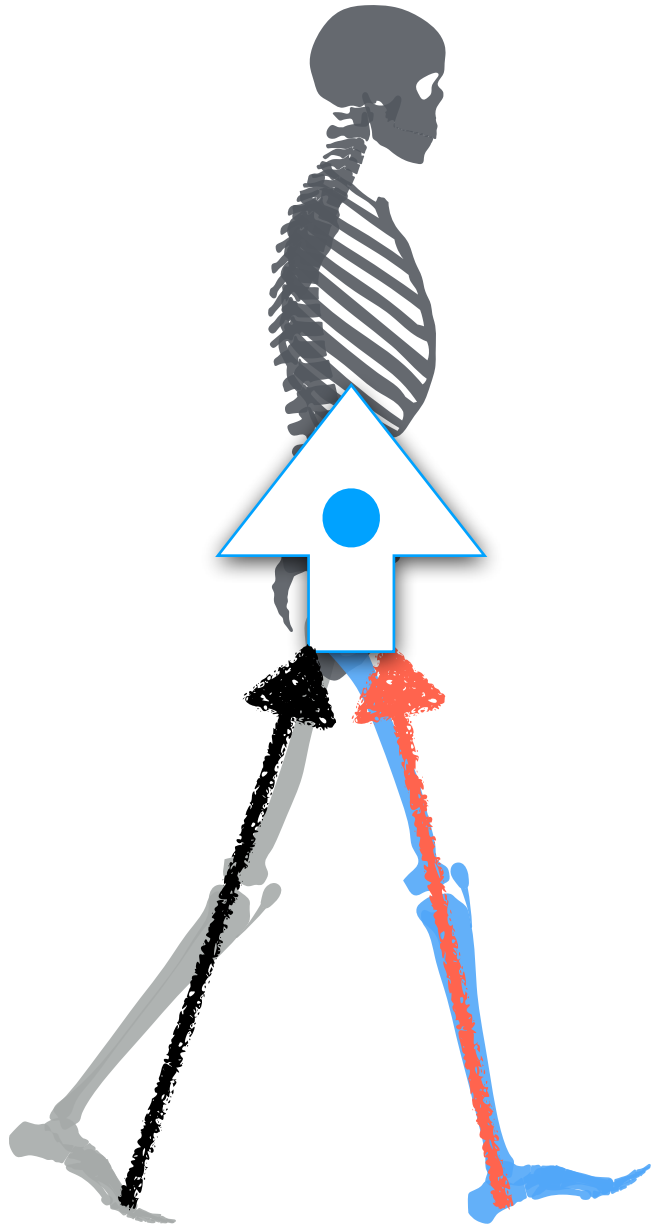
# 後方ブレーキ作用の増加

下肢痙性麻痺  
(足部剛性↑)

前足部接地に伴い  
下腿が過度に後傾

バックニー





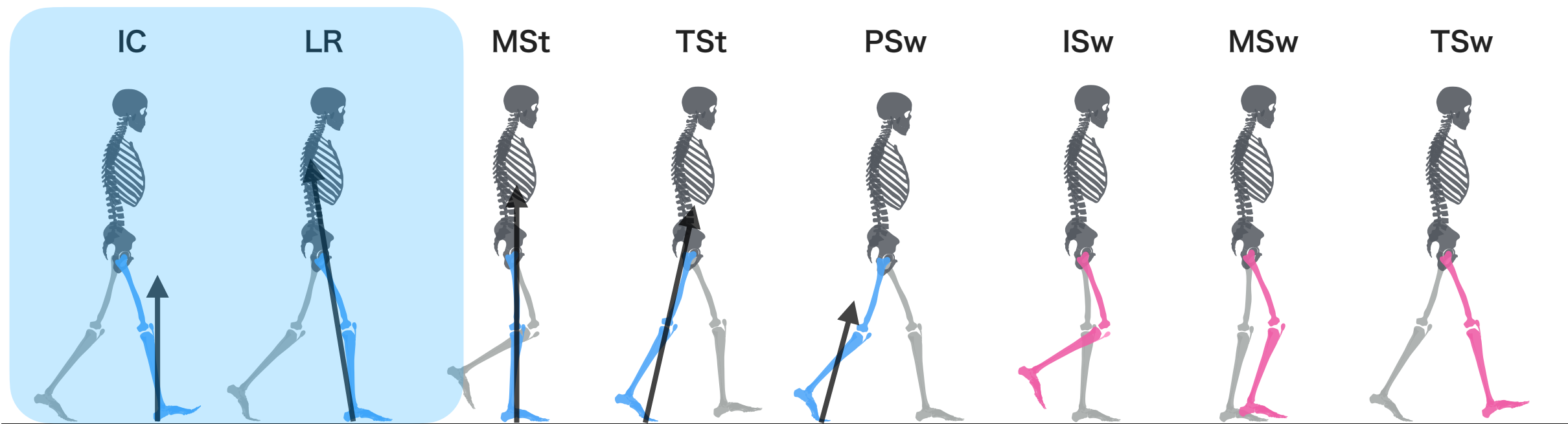
# 歩行介入 足趾治療

前脛骨筋を圧迫しな  
がら荷重は踵骨へ

踵骨を軸に転がり運動を、  
距骨の後方すべりを誘導





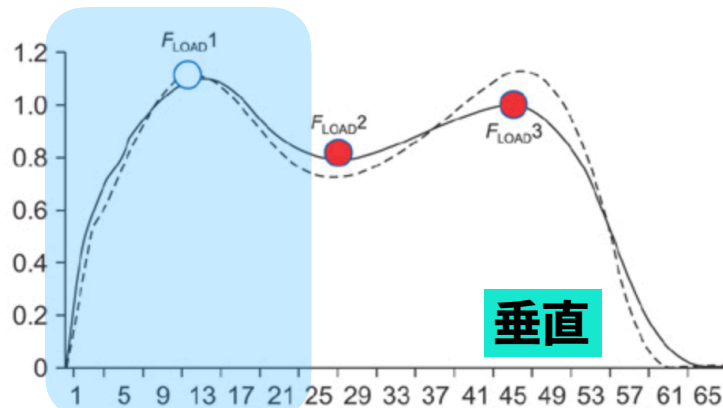
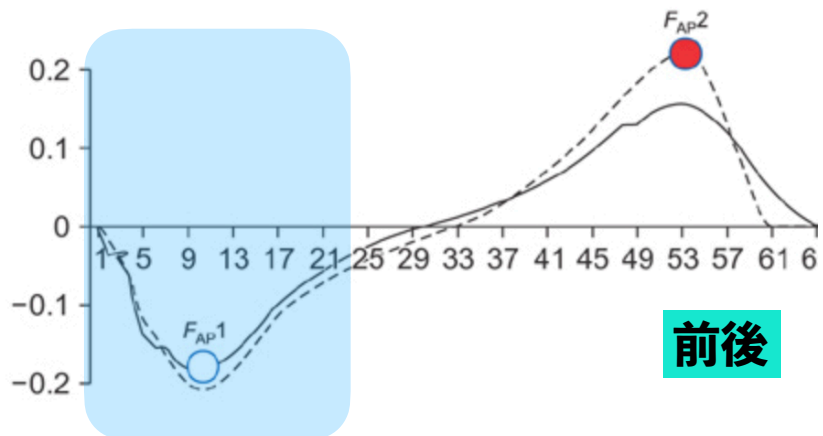
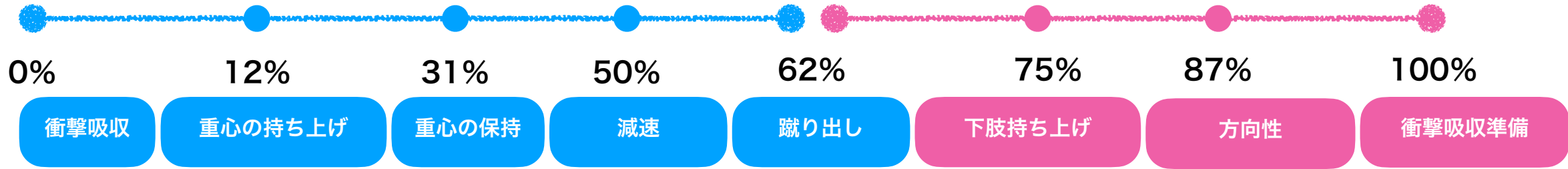


立脚期

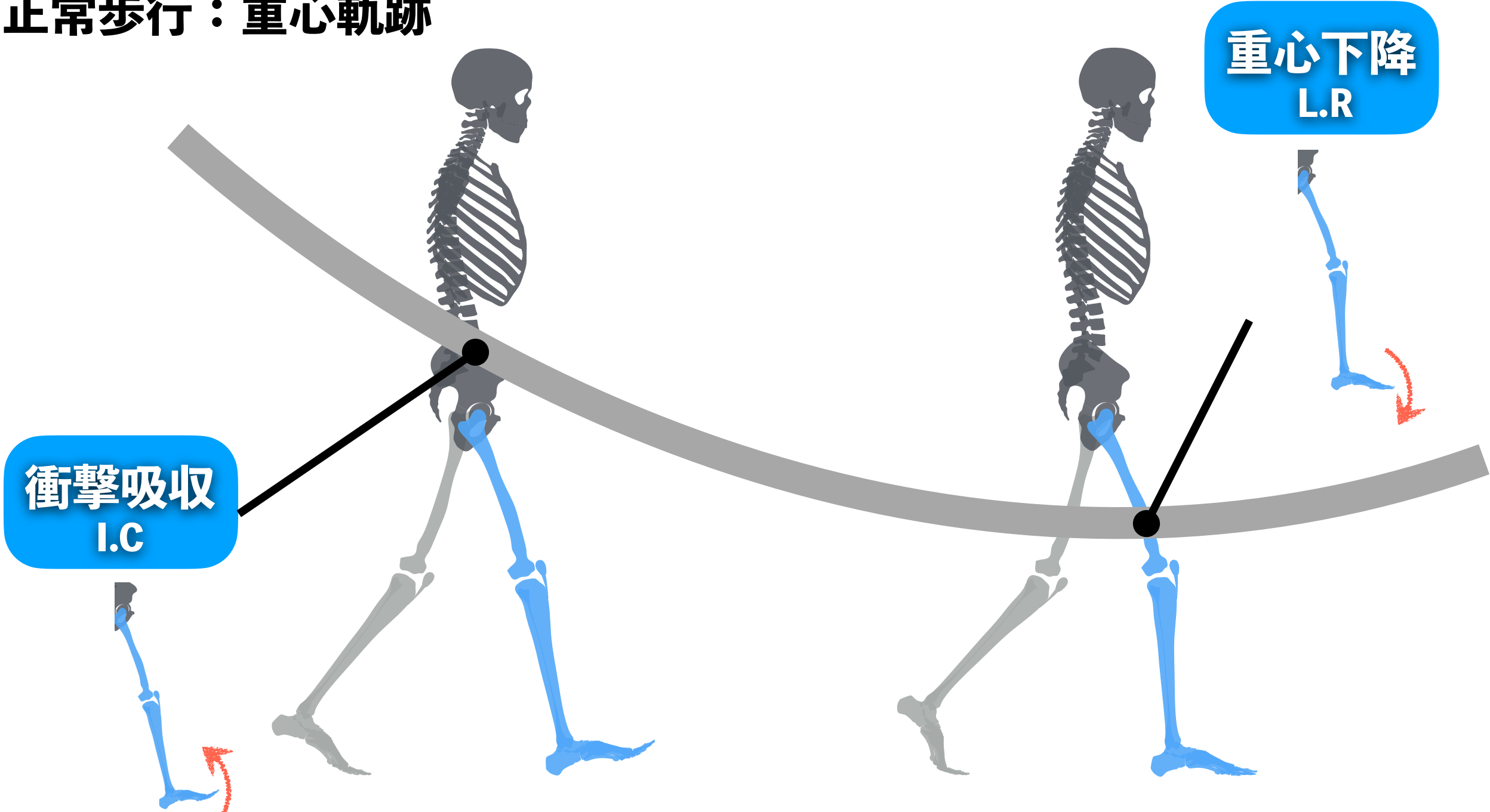
遊脚期

歩行周期

役割



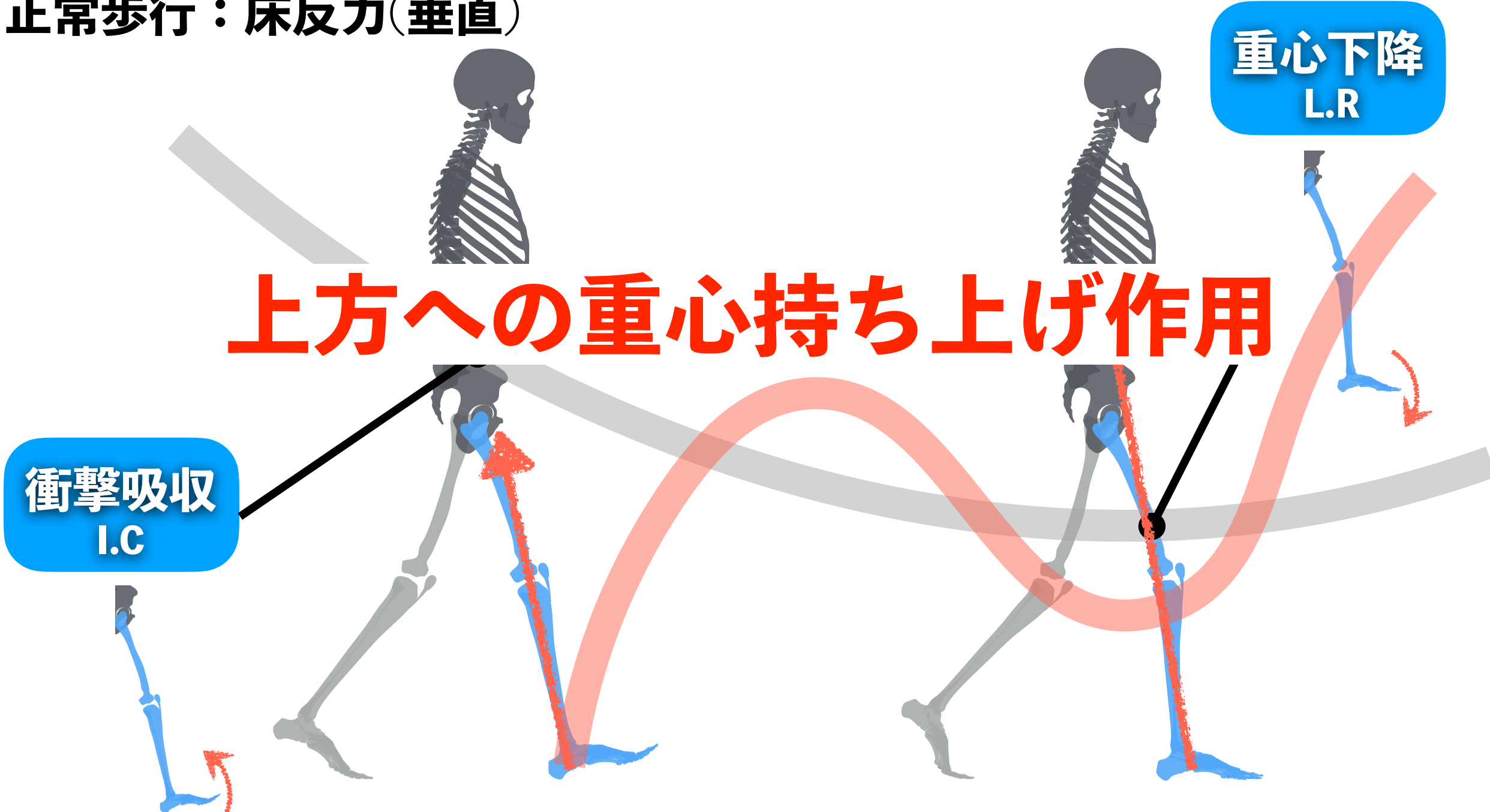
# 正常步行：重心軌跡



衝擊吸收  
I.C

重心下降  
L.R

# 正常歩行：床反力(垂直)

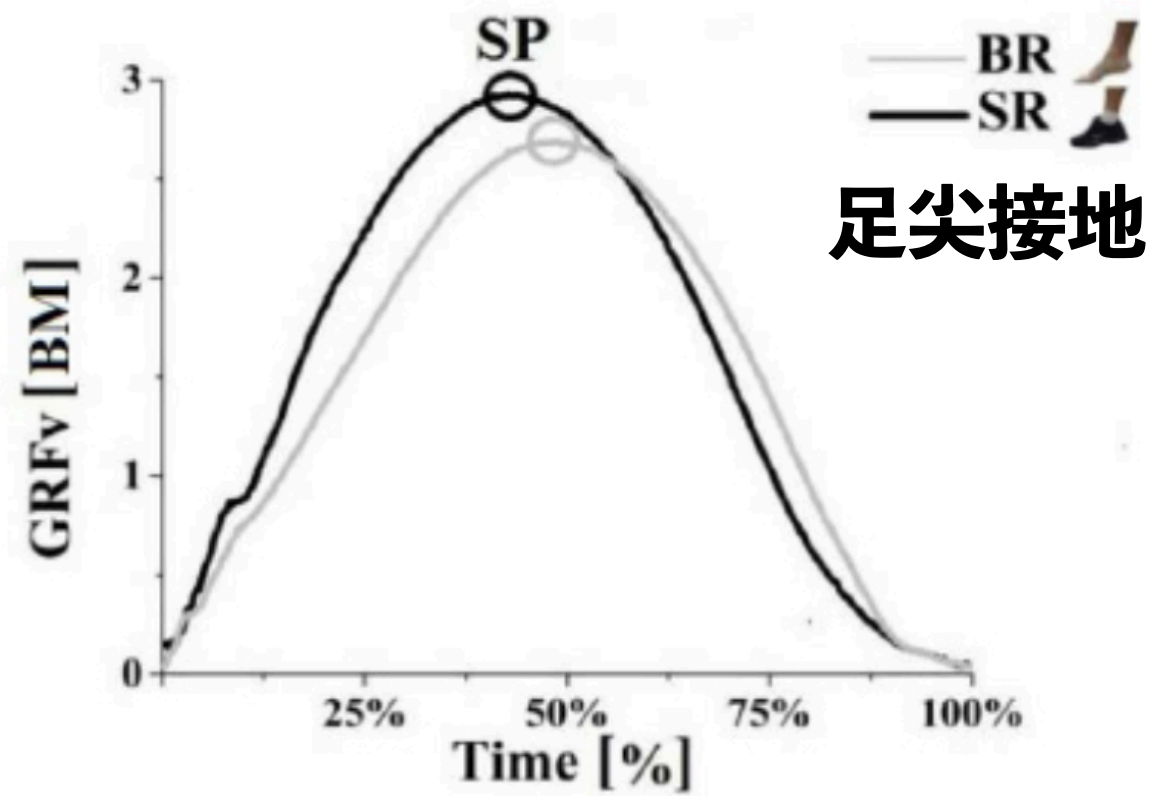
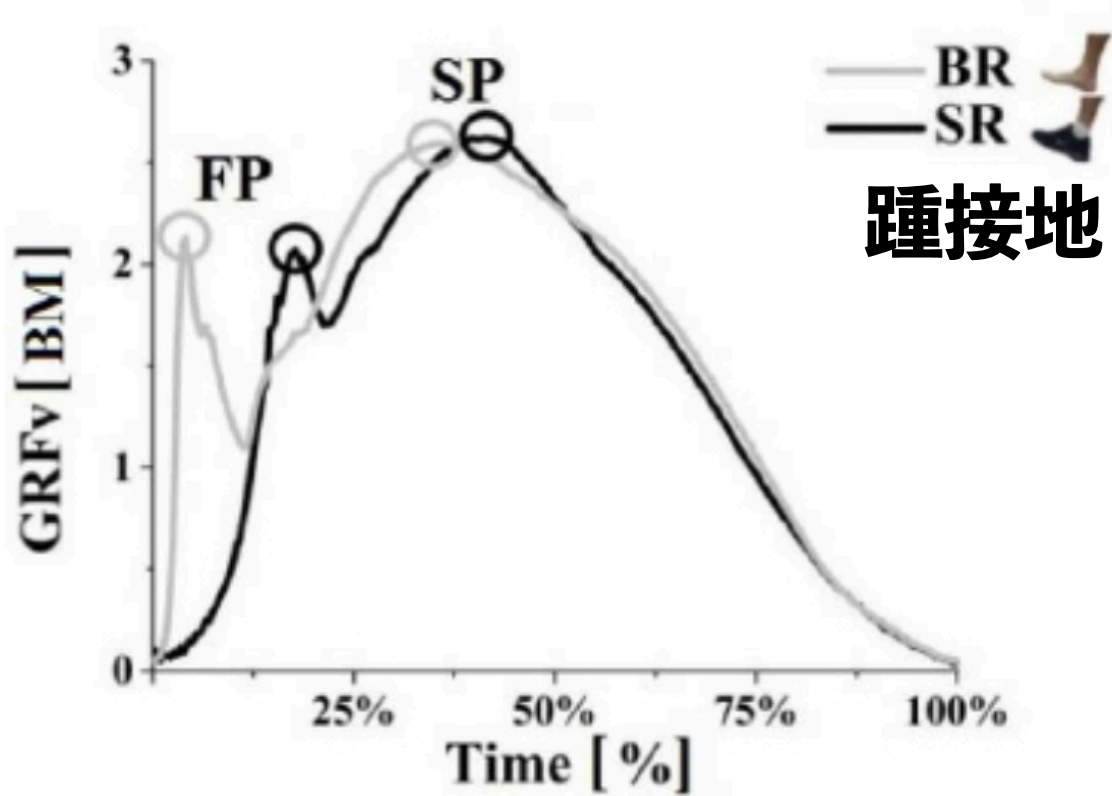


## 上方への重心持ち上げ作用

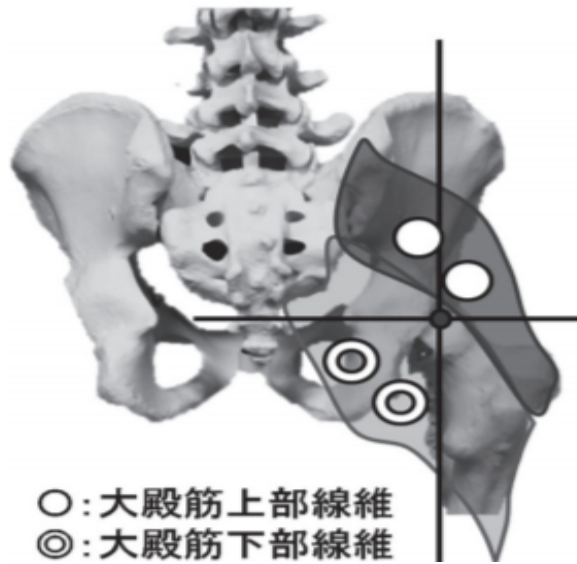
衝撃吸収  
I.C

重心下降  
L.R

# 踵接地VS足尖接地



# 踵接地VS足尖接地



○:大殿筋上部線維  
◎:大殿筋下部線維

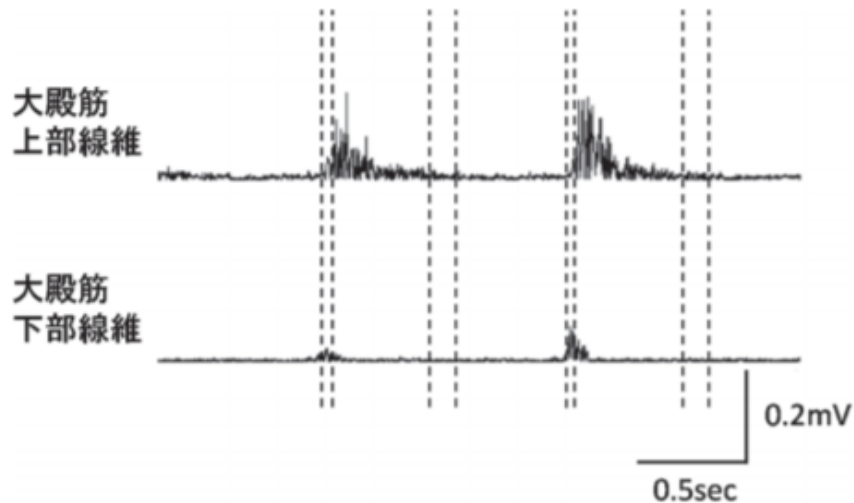
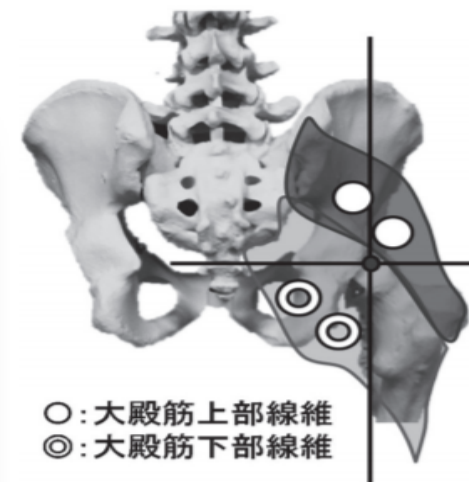
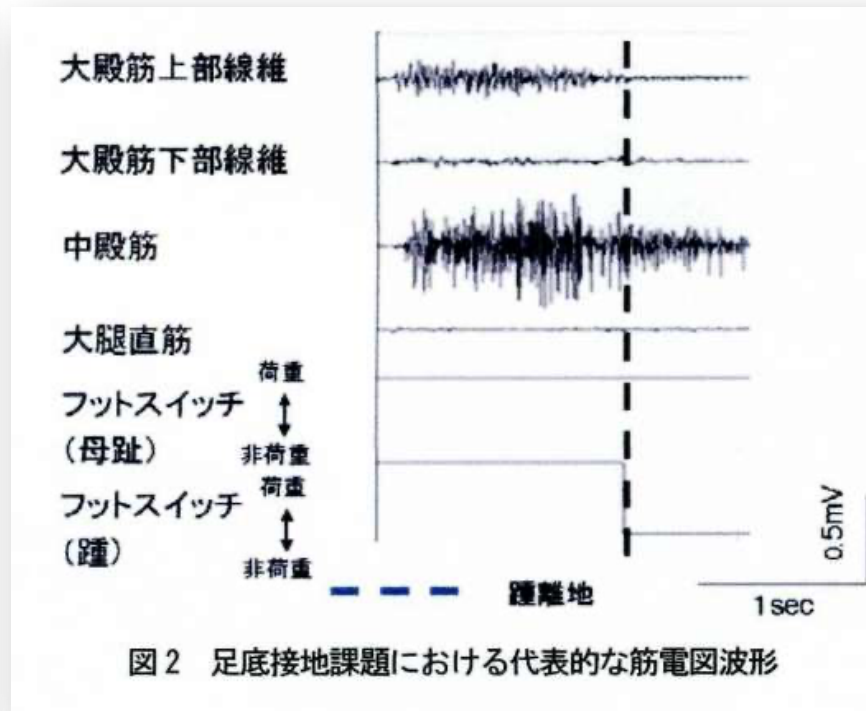
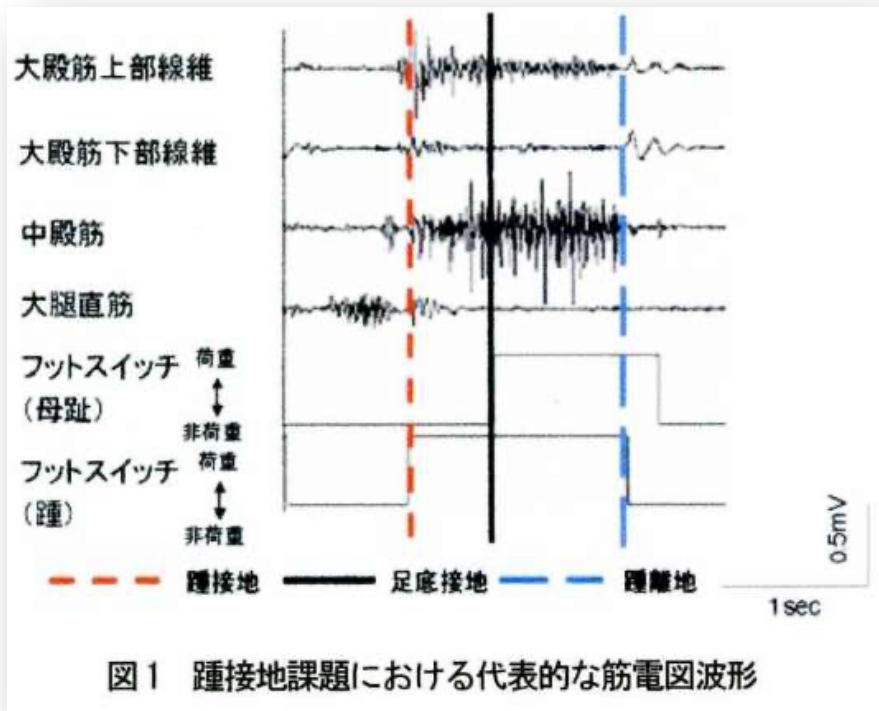


図4 歩行動作における筋活動パターン

**大殿筋上部**：立脚初期～中期にかけて股関節外転運動に作用し、股関節内転に伴う骨盤の遊脚側への下制に対して制動に関与する

**大殿筋下部**：立脚初期に股関節伸展に作用し、股関節屈曲の制動に関与する

# 踵接地VS足尖接地



ステップ動作における踵接地の有無が支持側大殿筋の筋活動に及ぼす影響より引用

**足尖接地では大殿筋下部線維の働きが減少**  
**大殿筋下部の役割→立脚期での股関節伸展**

# 踵接地VS足尖接地

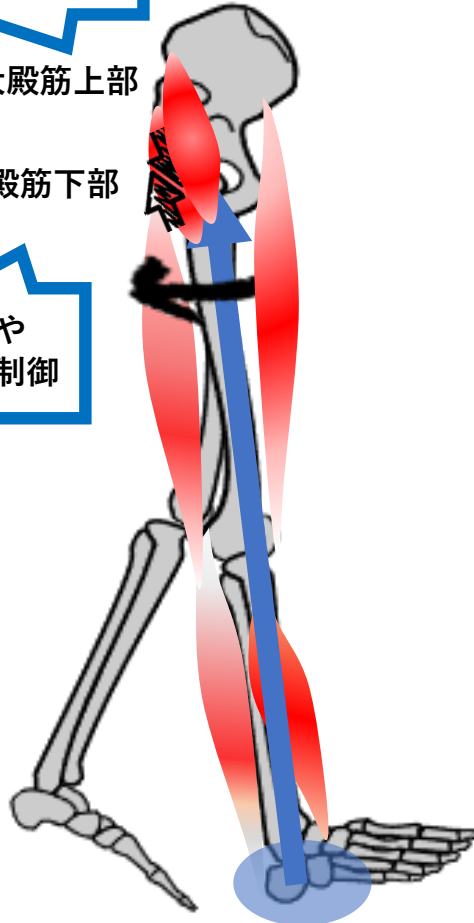
## 踵接地

大腿をより後方へ引き、  
股関節の支持を高める

大殿筋上部

大殿筋下部

骨盤の前傾や  
股関節屈曲を制御



## 足尖接地

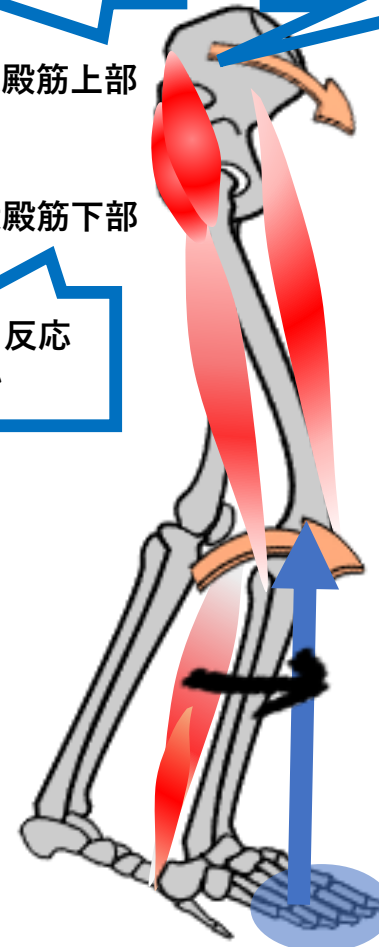
骨盤前傾や股関節屈曲に  
対する遠心作用増大

外転力により骨盤後退に  
作用する場合あり

大殿筋上部

大殿筋下部

荷重支持に反応  
しない



歩行の評価  
床反力

**Ground Reaction Force**

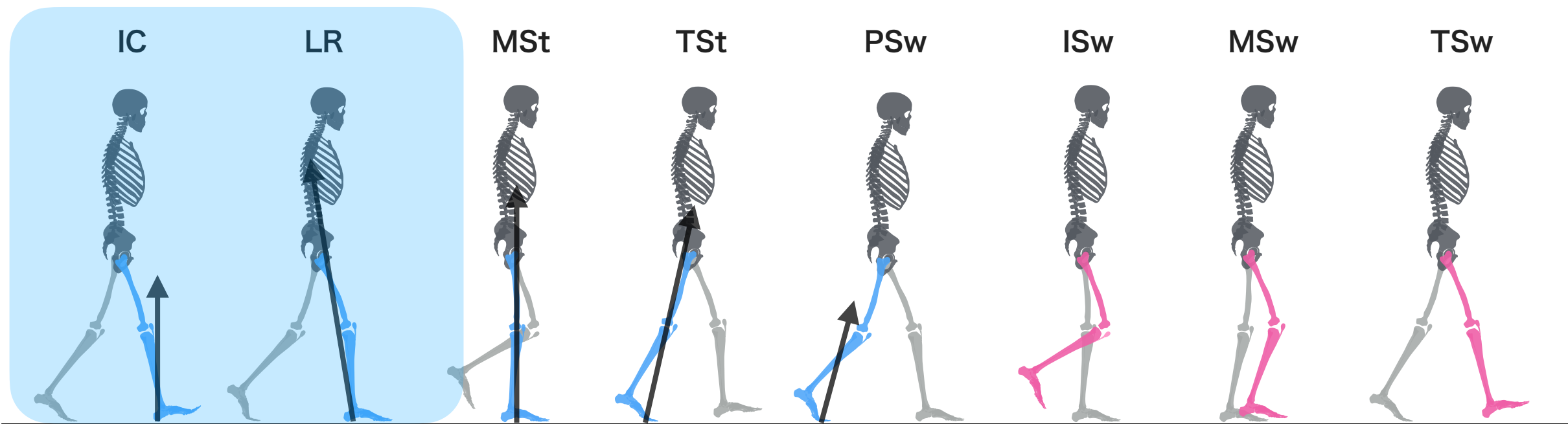
前後・垂直成分は接地位置  
(COPの位置) が重要



歩行の評価  
床反力

## Ground Reaction Force

- 1) 重力（外力）・筋活動（内力）との関係性で**重心移動**に関与する
- 2) 接地位置（COPの位置）により**前後垂直成分**が変化

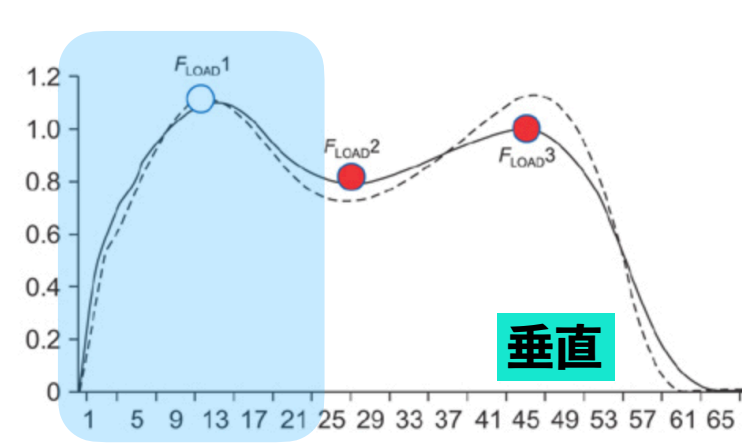
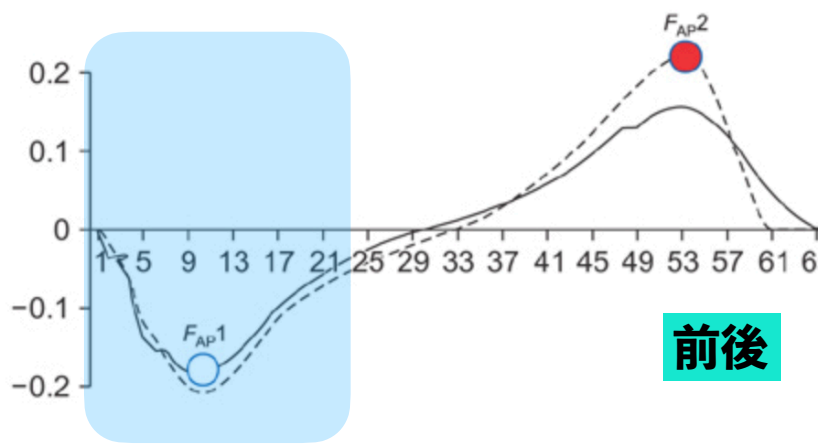
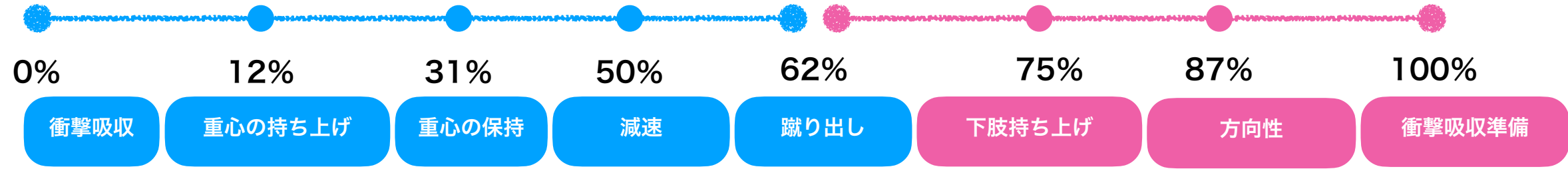


立脚期

遊脚期

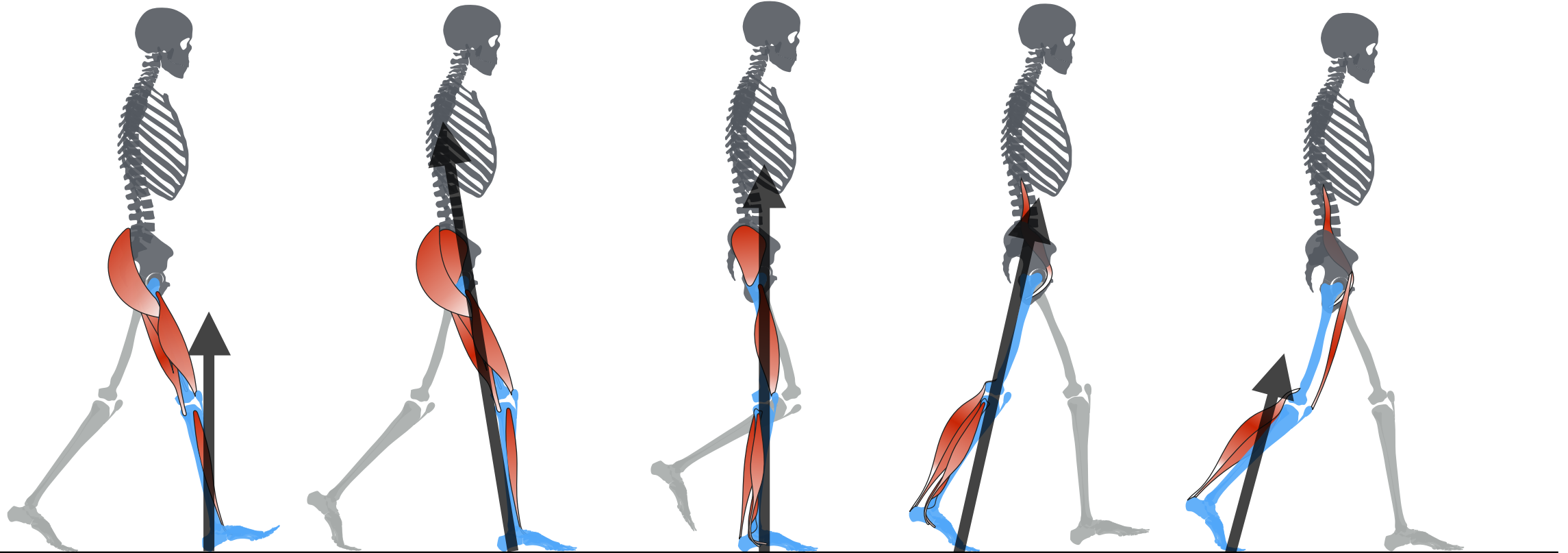
歩行周期

役割



# 立脚期の評価

## 構成要素



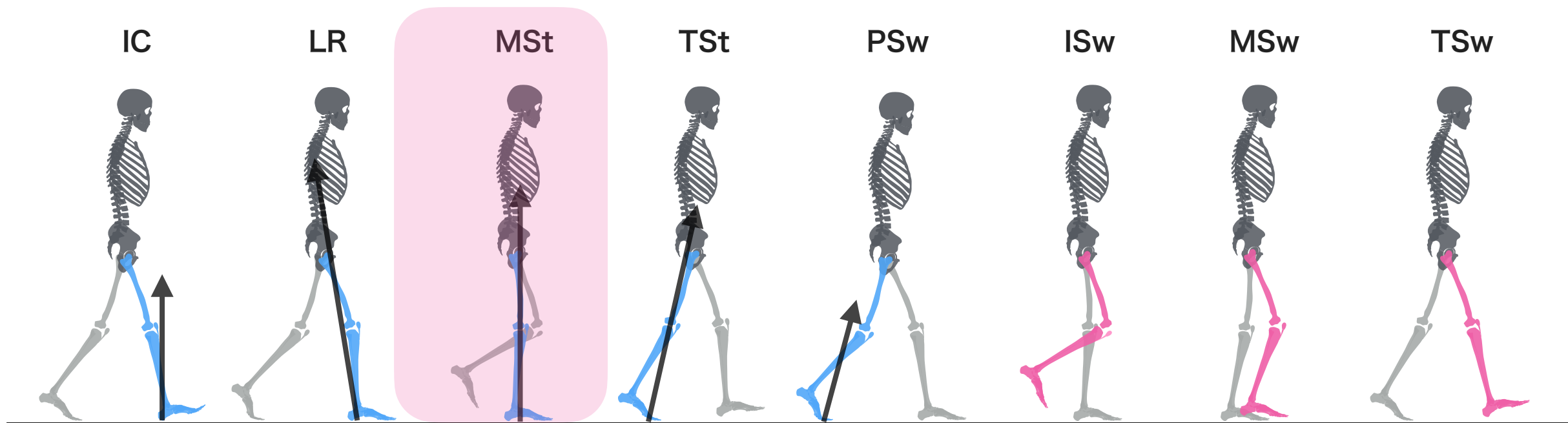
Initial Contact  
初期接地

Loading Response  
荷重応答期

Mid Stance  
立脚中期

Terminal Stance  
立脚終期

Pre-Swing  
前遊脚期

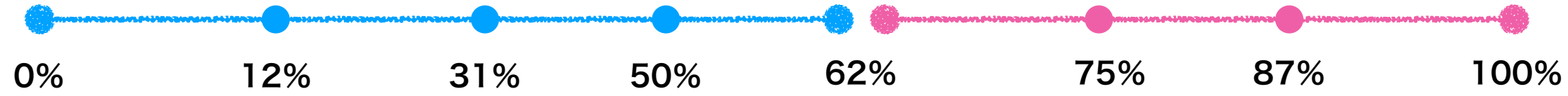


立脚期

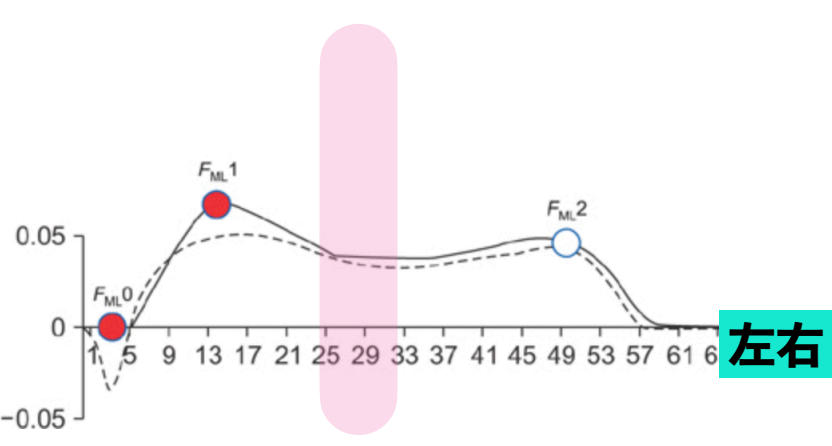
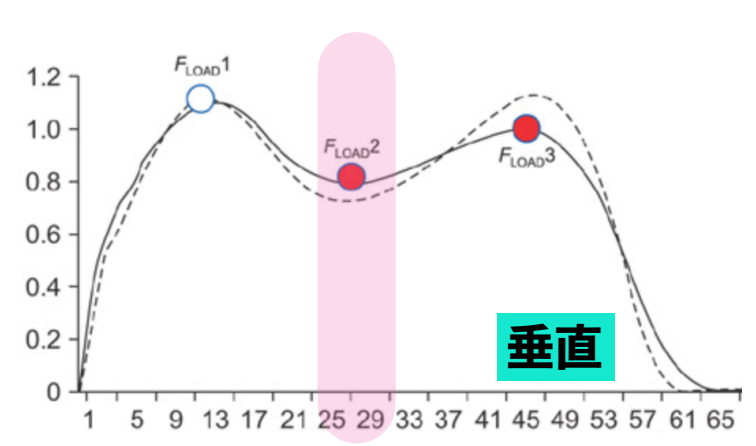
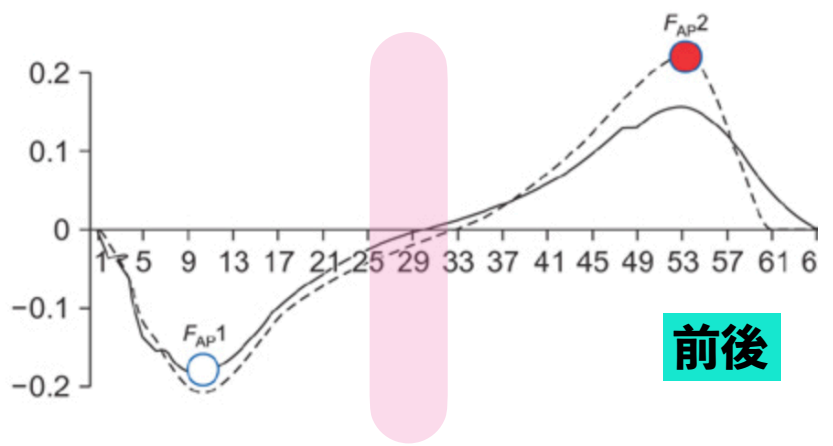
遊脚期

歩行周期

役割



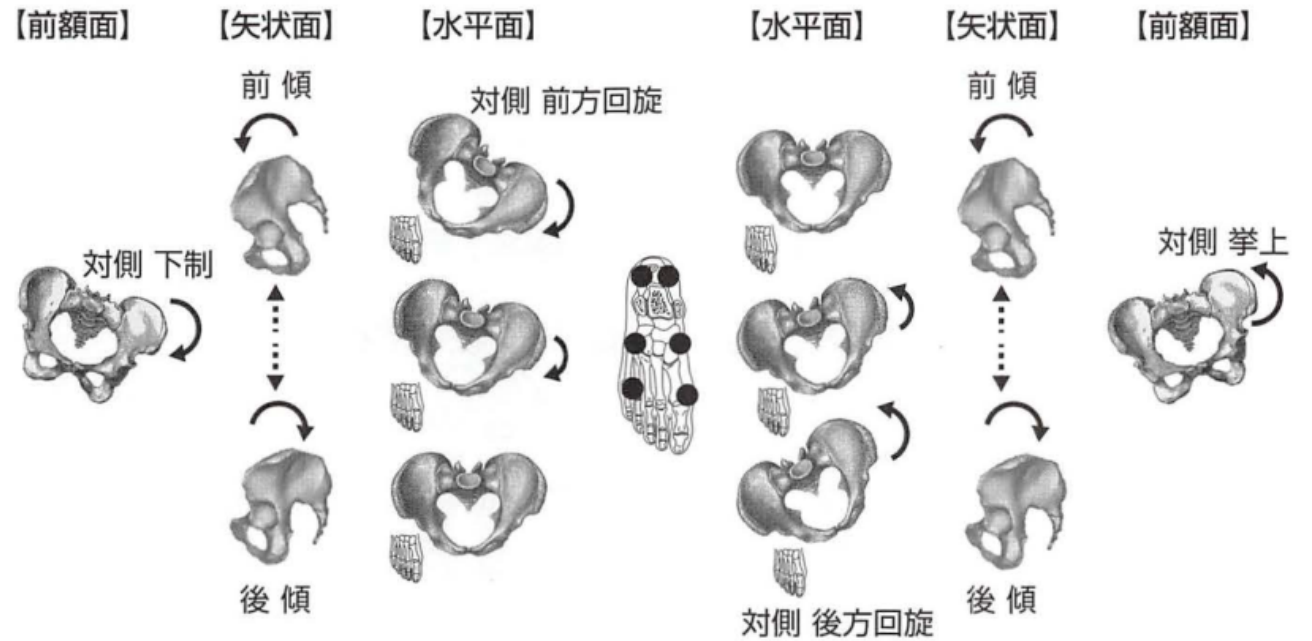
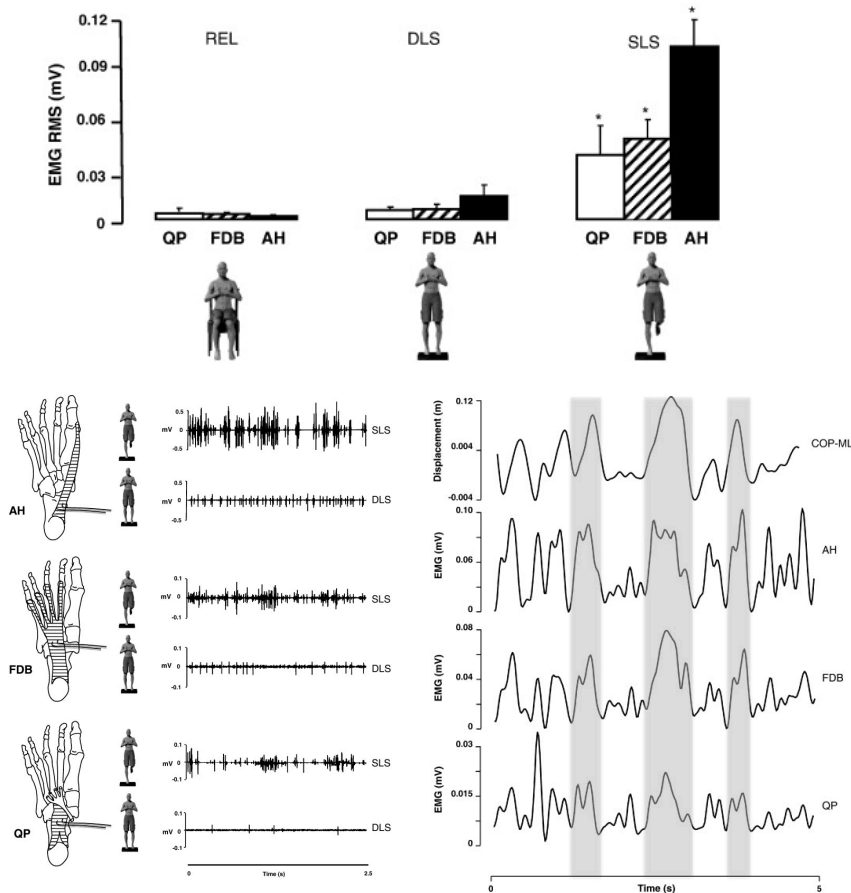
- 0% - 12%: 衝撃吸収
- 12% - 31%: 重心の持ち上げ
- 31% - 50%: 重心の保持
- 50% - 62%: 減速
- 62% - 75%: 蹴り出し
- 75% - 87%: 下肢持ち上げ
- 87% - 100%: 方向性
- 100%: 衝撃吸収準備



# 床反力制御に関する 治療戦略

## 片脚立位と 足底筋の関係性

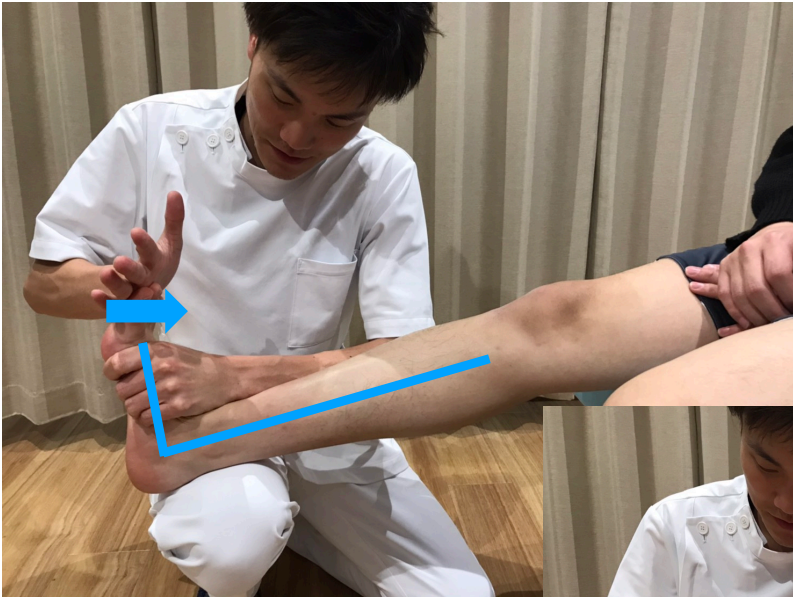
## 荷重位置と 骨盤コントロール



樋口貴広, 建内宏重: 姿勢と歩行~協調からひも解く~: 三輪書店 2015

L.A Kelly, et al: Recruitment of the plantar intrinsic foot muscles with increasing postural demand. Clin Biomech.27.2012:46-51

# 歩行介入 足趾治療



**足関節背屈位をキープしながら、  
中足骨を把持し  
足趾の屈曲・伸展運動の補助**



**母趾側荷重を促しながら、足底筋膜の収縮、  
踵骨の外反を伴いながらの踵上げ。**

# 歩行介入 足趾治療



中足骨の全体的な  
開排運動



足底方形筋・  
長母指屈筋への刺激

# 歩行セミナーで学ぶ **5** つのステップ



1

歩行機能を考える上で  
必要な脳や脊髄による  
神経システムを理解する

## 【学習項目】

- ・ 網様体脊髄路
- ・ 皮質脊髄路
- ・ 反射機構
- ・ CPG

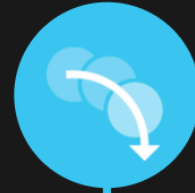


2

TUGや10m歩行などを  
要素分解して歩行分析の  
ポイントを理解する

## 【学習項目】

- ・ 評価バッテリー
- ・ 方向転換
- ・ 歩行スピード



3

歩行障害を考える際に  
重要なバイオメカニクス  
視点を理解する

## 【学習項目】

- ・ 重心評価
- ・ 床反力
- ・ 関節モーメント



4

各歩行周期における  
メカニズムと問題点を  
整理し、分析力を高める

## 【学習項目】

- ・ 各歩行周期
- ・ 関節運動
- ・ 筋活動



5

歩行に関する知識を技術に  
変換し、治療に必要なハン  
ドリングスキルを磨く

## 【学習項目】

- ・ 関節・筋アプローチ
- ・ How to touch
- ・ 誘導方法
- ・ 感覚入力



歩行ナイトセミナー⑤

# 立A却其月にみるべき バイオメカニクス2

～関節モーメントと筋の収縮様式の考え方～

3/10 水

20:00-21:30

動画  
つき

申込は  
こちら▶



歩行ナイトセミナー⑥

# I.C～L.Rにおける力学的 要素と臨床でみるポイント

～重心制御に必要な床反力を臨床応用するために～

3/23 火

20:00-22:00

動画  
つき

申込は  
こちら▶

