

# 歩 行 (Walking or Gating)

-体幹・肩甲骨・上肢操作から考える-

# 本日の内容

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



## Passenger

骨盤～上半身を含んだ部位

歩行改善のために  
Passengerの理解を深める！

# 概要：脳卒中後の歩行障害とは？

Sihao Liu et al : Correlation analysis of balance function with plantar pressure distribution and gait parameters in patients with cerebral infarction in the basal ganglia region

- ✓ **脳卒中患者の約70%に歩行機能障害**がみられ、これは日常生活に大きな制限をもたらします。歩行能力の回復は、脳卒中患者とその家族にとって主要な要求の一つであり、リハビリテーションの中でも最も重要かつ一般的な目標とされています (Mehrholz et al., 2018)。
- ✓ バランス機能障害は、脳卒中患者の歩行に影響を及ぼす主な要因の一つです (Rahimzadeh Khiabani et al. 2017)。感覚能力、運動能力、情報処理能力の低下、筋肉の痙縮、筋力の低下、そして過剰なエネルギー消費により、脳卒中患者は平衡機能障害を経験し、転倒のリスクが高まります。
- ✓ さらに、脳卒中患者の65%は転倒の経験があり、これが筋肉組織の損傷や足首の捻挫などを引き起こし、回復過程に悪影響を及ぼしていると報告されています (Lee and Lee, 2019)。これらの問題は、脳卒中患者のリハビリテーションとケアにおいて、特に注意を払うべき重要な点です。



# 概要：脳卒中後の歩行障害とは？

Ryo ONUMA et al : MEASUREMENTS OF THE CENTRE OF PRESSURE OF INDIVIDUAL LEGS REVEAL NEW CHARACTERISTICS OF REDUCED ANTICIPATORY POSTURAL ADJUSTMENTS DURING GAIT INITIATION IN PATIENTS WITH POST-STROKE HEMIPLEGIA

- ✓ 歩行開始時のバランス制御は、健常者でも脳卒中患者でも、安定した歩行を開始するために非常に重要です。特に脳卒中後の片麻痺患者の場合、感覚障害や運動障害がバランス制御を困難にし、歩行開始において特有の課題を引き起こします。
- ✓ 痙縮は、バランスや歩行に影響を与えるだけでなく、歩行開始に必要なヒラメ筋の抑制にもつながり、歩行開始をさらに困難にします。基本的な問題としては、動作の非対称性や歩行開始時の立脚側への不安定な体重移動が挙げられます。不安定な歩行開始は、予期的姿勢調整（APA）の不活性によると考えられています。
- ✓ APAは随意運動前の姿勢の変化であり、歩行開始時の姿勢調整に寄与します。歩行開始のAPAには、運動開始前の前脛骨筋の活性化とヒラメ筋の抑制、および圧力中心（COP）の後方移動が含まれます。APAは、両脚の平均COPが両足裏の中心から踏み出し下肢の後方、そして立脚下肢の後方に移動するのに必要な時間を考慮している可能性があります。

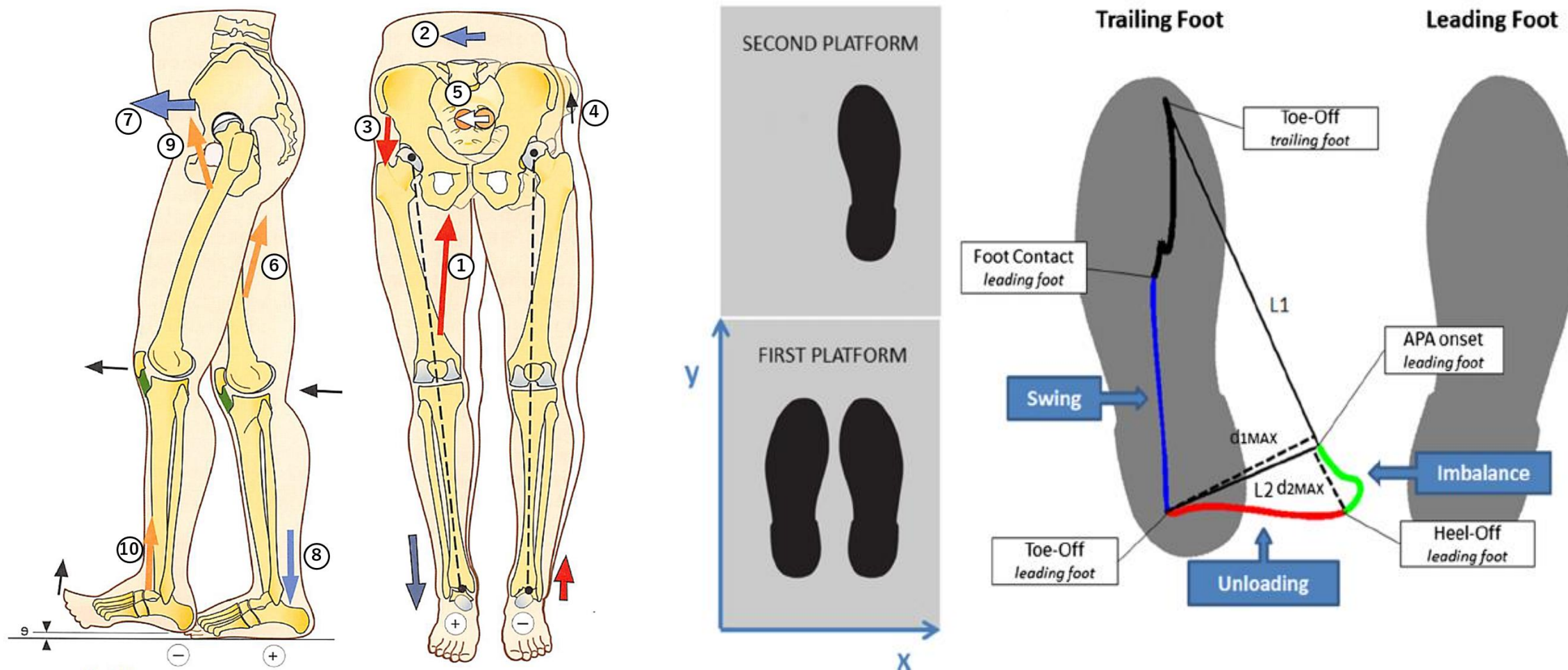




# 歩行の一步目を考える (First Step)

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

- ✓ 歩行の初期段階において、最初の一步 (First Step) は特に重要です。 この段階での前方への推進は、単に慣性によるものではなく、ある程度の筋出力が必要となります。
- ✓ First Stepで必要とされる神経系の駆動と筋骨格系の活動は、歩行全体に要求される構成要素と密接に関連しています。 歩行は、単なる足の動きだけでなく、全身の協調された動きを必要とする複雑な活動です。
- ✓ First Stepでの筋骨格系と神経系の働きを理解することは、歩行のメカニズム全体を理解する上で重要です。



# APAとCOPの関係性

Ryo ONUMA et al : MEASUREMENTS OF THE CENTRE OF PRESSURE OF INDIVIDUAL LEGS REVEAL NEW CHARACTERISTICS OF REDUCED ANTICIPATORY POSTURAL ADJUSTMENTS DURING GAIT INITIATION IN PATIENTS WITH POST-STROKE HEMIPLEGIA

- ✓ この研究では、**脳卒中後の片麻痺患者における予期的姿勢調整（APA）の機能低下**に関する新たな知見が明らかにされました。特に、片麻痺患者の場合、**圧力中心（COP）のピーク潜時が延長し、ピーク大きさが非対称的に低下**することが示されています。これは、脳卒中患者の個々のCOPが運動障害、バランス指数、および歩行能力と関連していることを意味します。
- ✓ 脳卒中患者において、**麻痺下肢のCOP変位が原因でピーク潜時が増加し、ピーク振幅が減少する**という現象も観察されました。これは、**麻痺下肢の運動開始が遅れ、推進力が不十分であることを意味**します。その結果、脳卒中患者は歩行開始時に重心を立脚側に調整するのが困難になり、これが歩行やバランスの問題を引き起こす可能性があります。

MEASUREMENTS OF THE CENTRE OF PRESSURE OF INDIVIDUAL LEGS REVEAL NEW CHARACTERISTICS OF REDUCED ANTICIPATORY POSTURAL ADJUSTMENTS DURING GAIT INITIATION IN PATIENTS WITH POST-STROKE HEMIPLEGIA

Ryo ONUMA, PT, MS,<sup>1,2</sup> Tadashi MASUDA, PhD,<sup>3</sup> Fumihiko HOSHI, PT, PhD,<sup>4</sup> Tadimitsu MATSUDA, PT, PhD,<sup>5</sup> Tomoko SAKAI, MD, PhD,<sup>2</sup> Atsushi OKAWA, MD, PhD,<sup>2</sup> and Tetsuya JINNO, MD, PhD<sup>2,6</sup>

▶ [Author information](#) ▶ [Article notes](#) ▶ [Copyright and License information](#) [PMC Disclaimer](#)

Abstract

[Go to:](#) ▶

Objectives

To determine whether individual measurements of the centre of pressure for the stance and stepping legs can reveal new characteristics of reduced anticipatory postural adjustments during gait initiation in post-stroke hemiplegic patients.

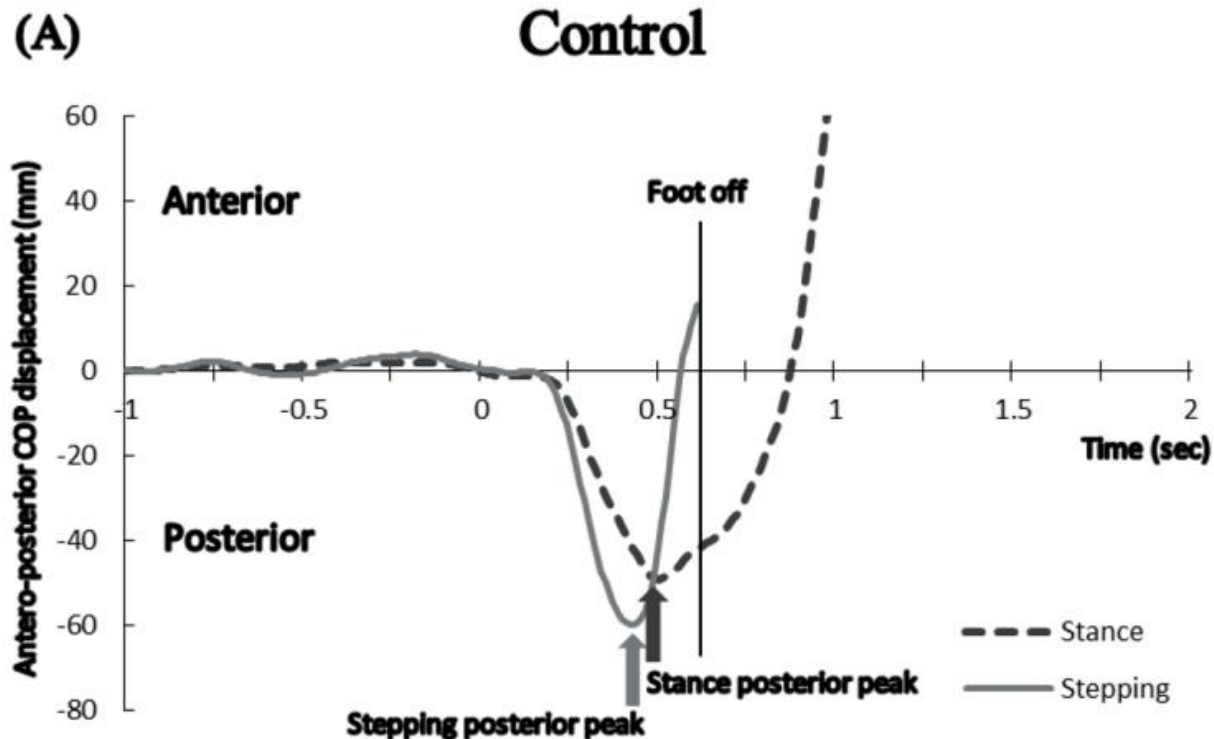
潜時：刺激の始めから応答の始めまでの時間間隔のこと

# APAとCOPの関係性

Ryo ONUMA et al : MEASUREMENTS OF THE CENTRE OF PRESSURE OF INDIVIDUAL LEGS REVEAL NEW CHARACTERISTICS OF REDUCED ANTICIPATORY POSTURAL ADJUSTMENTS DURING GAIT INITIATION IN PATIENTS WITH POST-STROKE HEMIPLEGIA

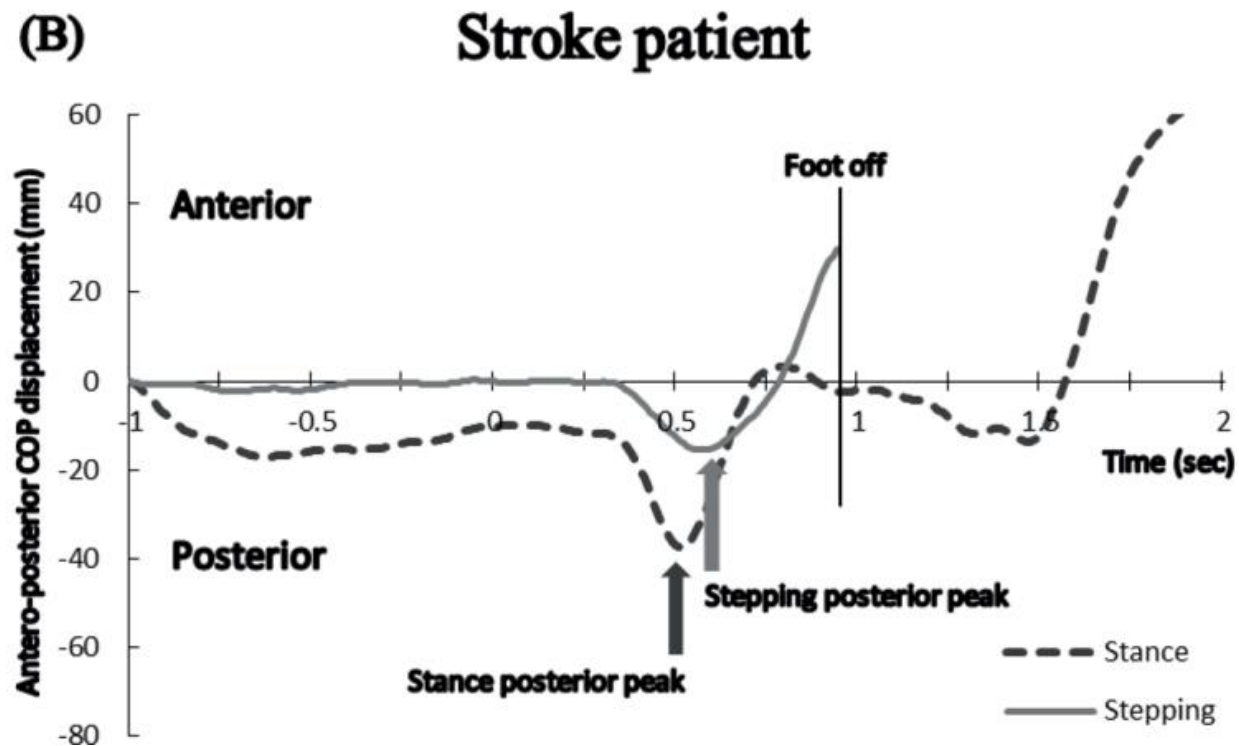
健常者

Control



脳卒中患者

Stroke patient



# パッセンジャーの役割①

## ✓ 頭頸部

### 視覚的定位：

頭部は目を含み、環境を見て理解するための主要な器官です。歩行中には、目を通じて視覚情報を得ることができ、障害物を避けたり、歩く道を確認したり、平衡を保つための重要な手がかりを提供します。

### 平衡の維持：

頸部には内耳が位置しており、三半規管と前庭系が含まれています。これらは体の動きと頭の位置を感知し、バランスと身体的位置を維持するのに役立ちます。

## ✓ 体幹

### バランスと安定性：

体幹は、歩行時の身体の重心を支え、上下左右への動きに対してバランスを取ります。体幹の筋肉は、動的な安定性を提供し、不安定な地面を歩く際や急な方向転換をする際にも身体を支えます。

### 力の伝達：

体幹は下肢と上肢の間で力を伝達する中心点となります。強い体幹は、歩行時の効率的な力の伝達と運動の連動性を高めます。



## パッセンジャーの役割②

### ✓ 肩甲帯

#### 腕の運動範囲：

肩甲帯は腕を振る動きに柔軟性と広い範囲を提供します。肩甲骨の動きは腕の振りをスムーズにし、腕の振り幅を増やすことができます。

#### 力の吸収と分散：

歩行時の衝撃は肩甲帯を通じて上肢に分散され、下肢への負担を軽減します。また、不意の衝撃や不均一な地面からの力を吸収する際にも重要です。

### ✓ 上肢

#### 動きの対称性：

歩行時、上肢は通常、下肢の動きに対称的に動きます。この対称的な動きは、前進する運動エネルギーの維持に役立ちます。

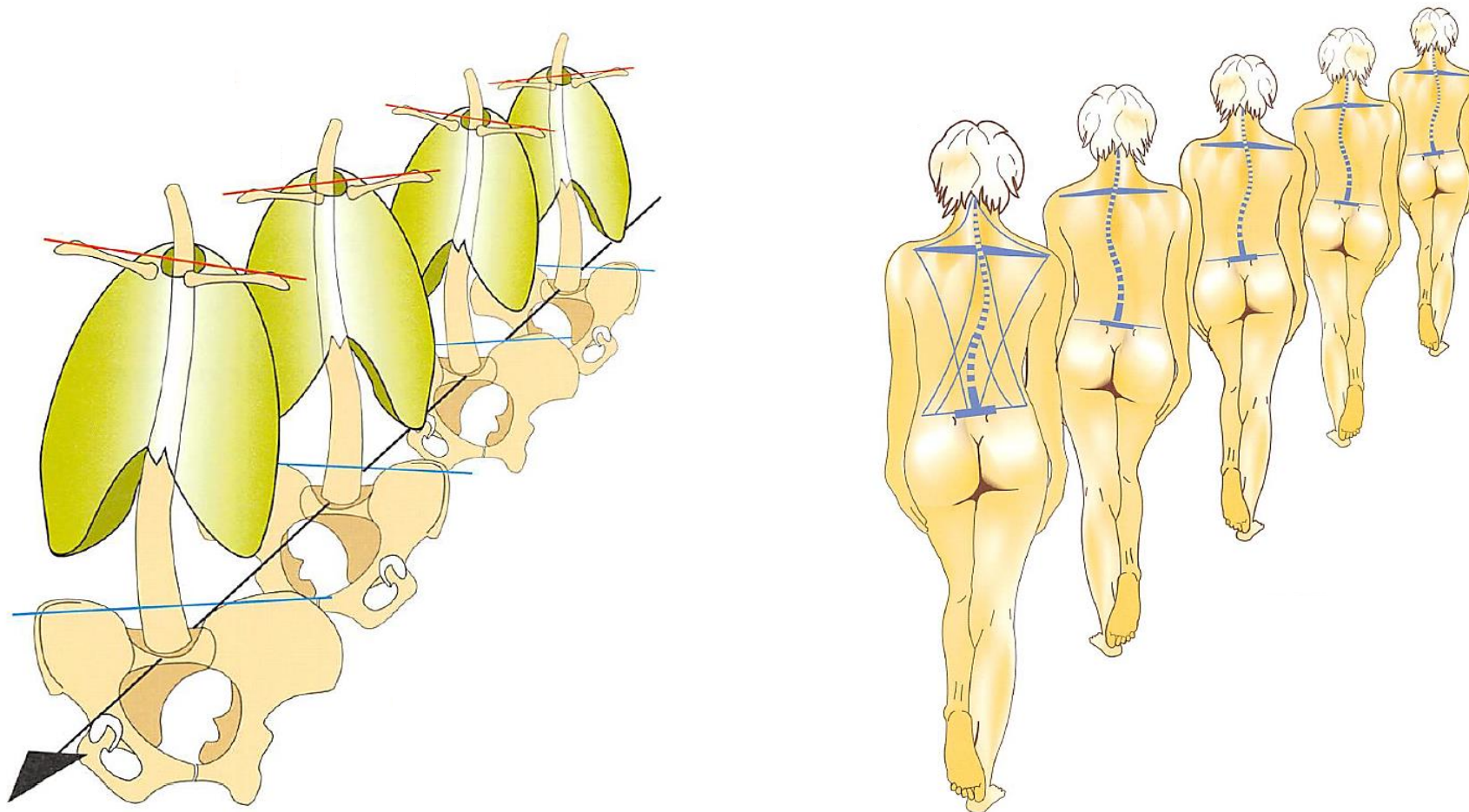
#### 運動量のキャンセル：

腕を振ることで、反対側の脚の動きが作る回転運動量をキャンセルし、上体のねじれを最小限に抑えます。

# ①体幹の役割：Passenger

Adalbert-I Kapandji et al : Anatomie fonctionnelle 1 : Membres supérieurs. Physiologie de l'appareil locomoteur. Maloine. 2005

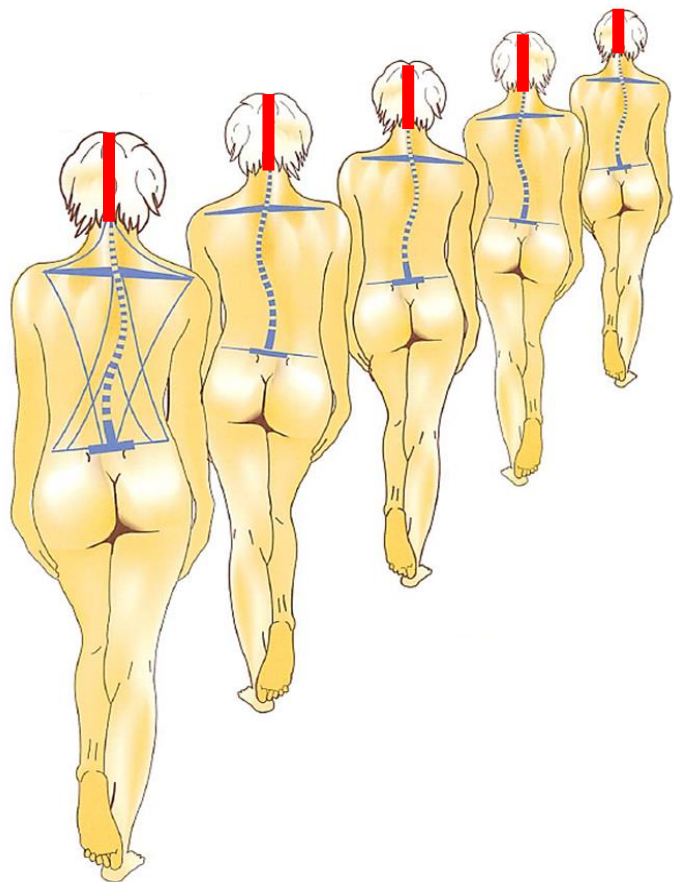
- ✓ **歩行時の上部体幹と下部体幹の動きは、相反する方向に回旋しながら動き、周期的なパターンを形成**します。具体的には、**両腸骨稜と両鎖骨ラインが交差しながら動くこと**で、歩行の効率とバランスを維持しています。
- ✓ また、骨盤と肩甲骨ラインの傾斜も相反する関係にあり、これらの動きは**身体質量中心（COM）のコントロール**に寄与しています。これらの動きは**頭頸部における視野の安定化にも寄与**しており、**歩行中に頭が安定していることは、視覚情報の処理に不可欠**で、周囲の環境を正確に認識するために必要です。



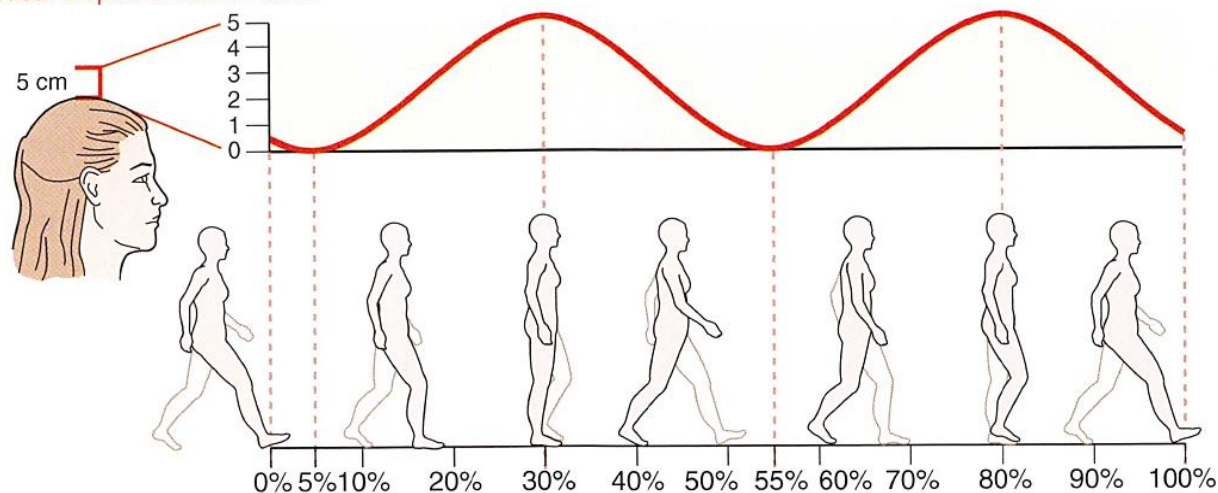
## ②頭頸部の役割：passenger

Verne Thompson Inman et al : Human Walking, Edwin Mellen Pr. 1989

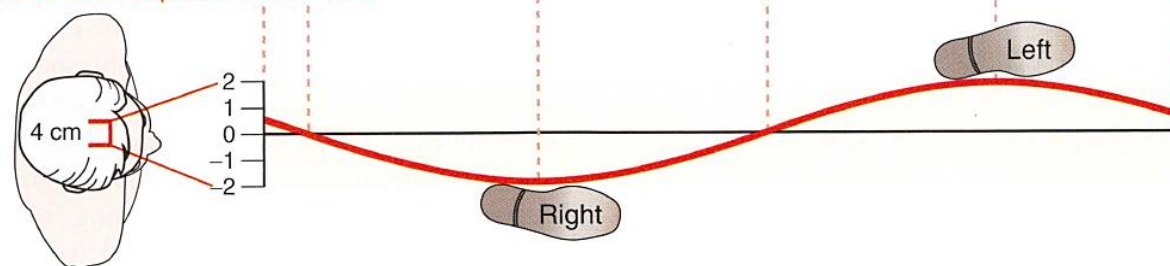
- ✓ 歩行中の骨盤と肩甲帯は、傾斜角度と回旋方向で相反しながら動作しますが、このような動きの中で、**頭頸部は安定した視覚情報を確保し維持するために、空間内で一定の位置を保つスキルが求められます。** 頭部を適切に位置させることで、視覚情報が安定し、周囲の環境を正確に捉えることが可能になります。
- ✓ 安定した視覚情報の取得は、**歩行時のバランス、方向感覚、そして環境との相互作用において極めて重要です。** 視覚情報の欠如や不安定さは、歩行のパフォーマンスに大きな影響を及ぼし、歩行スピードの低下や方向感覚の喪失、さらには転倒リスクの増加につながる可能性があります。



Vertical displacement of CoM



Side-to-side displacement of CoM

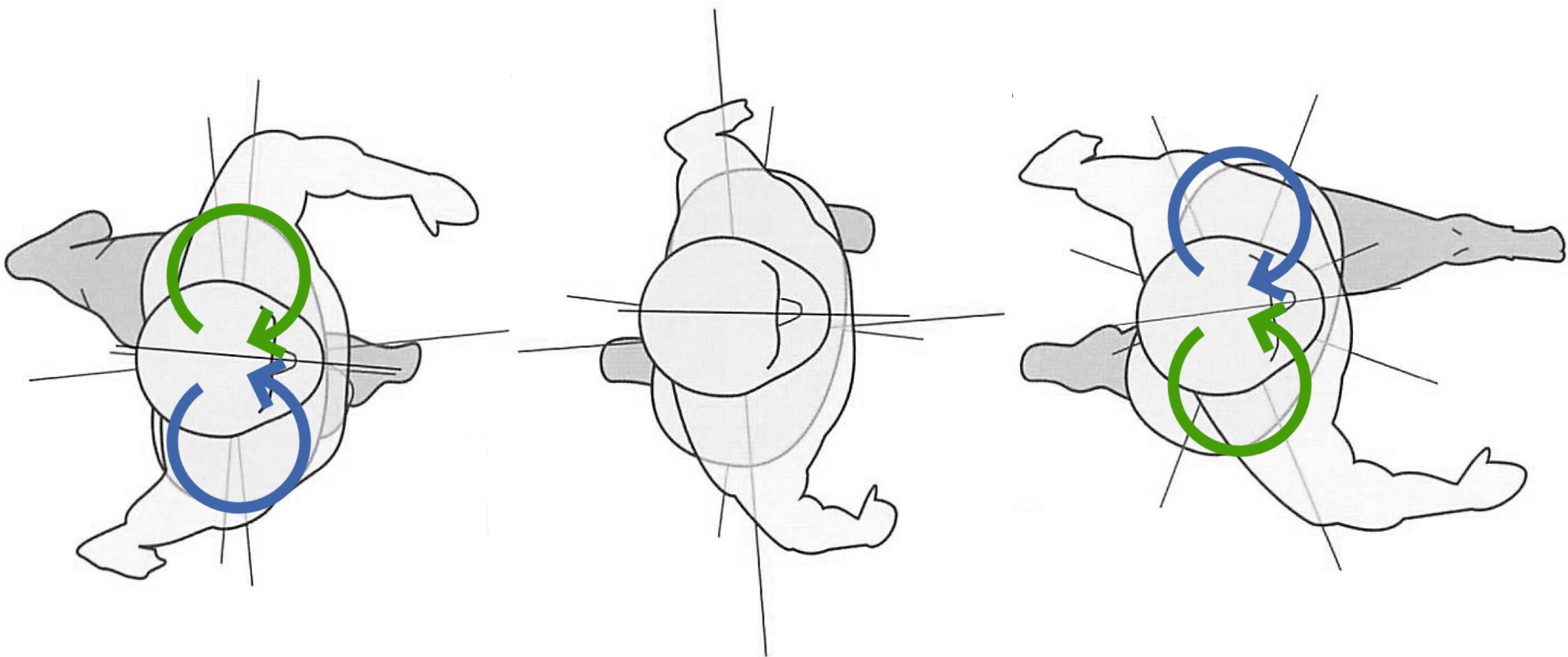




### ③ 上肢の役割 : Passenger

Adalbert-I Kapandji et al : Anatomie fonctionnelle 1 : Membres supérieurs. Physiologie de l'appareil locomoteur. Maloine. 2005

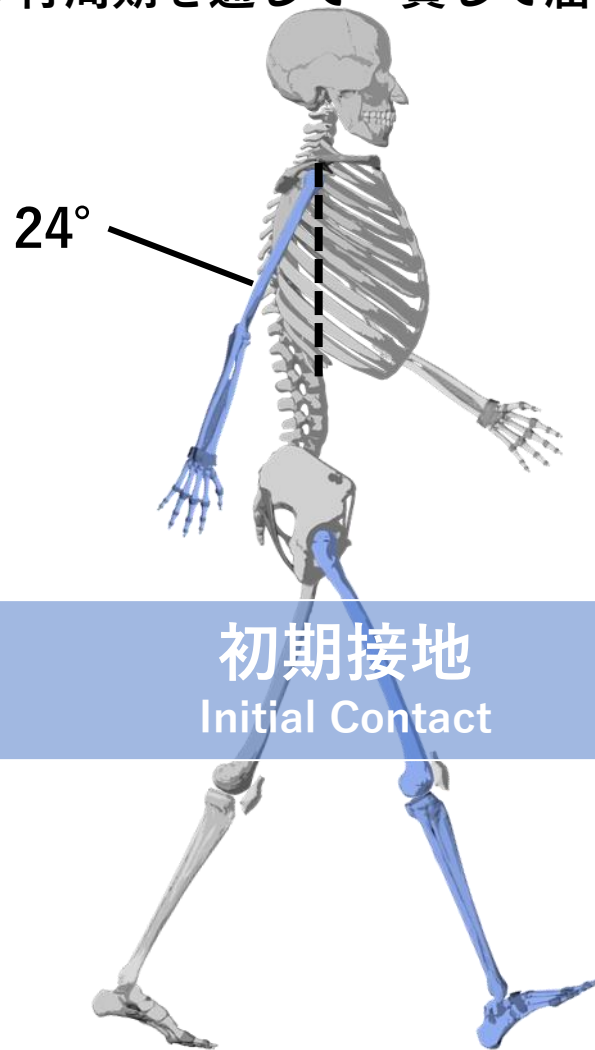
- ✓ 歩行中、上肢は体の同じ側が回る方向に沿って振られることで、前方への推進力を補助しています。
- ✓ さらに、歩行の際に生じる回転力を打ち消し、身体が効率よく直線に沿って進むのを助けると同時に、バランスを保つ役割も果たしています。



# 上肢における歩行周期

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

- ✓ 個人差があるものの、肩関節は平均して中等度の歩行速度（92m/min）で約32°の運動範囲を持っています。歩行の初期接地時（IC時）に肩は最大伸展位置にあり、立脚後期（Tst時）には最大屈曲位置に達します。また、歩行スピードが速くなると、肩関節の運動範囲も広がります。
- ✓ 肘関節は歩行周期を通じて一貫して屈曲傾向にあり、特に立脚後期（Tst時）に最大の屈曲角度を示します。



初期接地  
Initial Contact

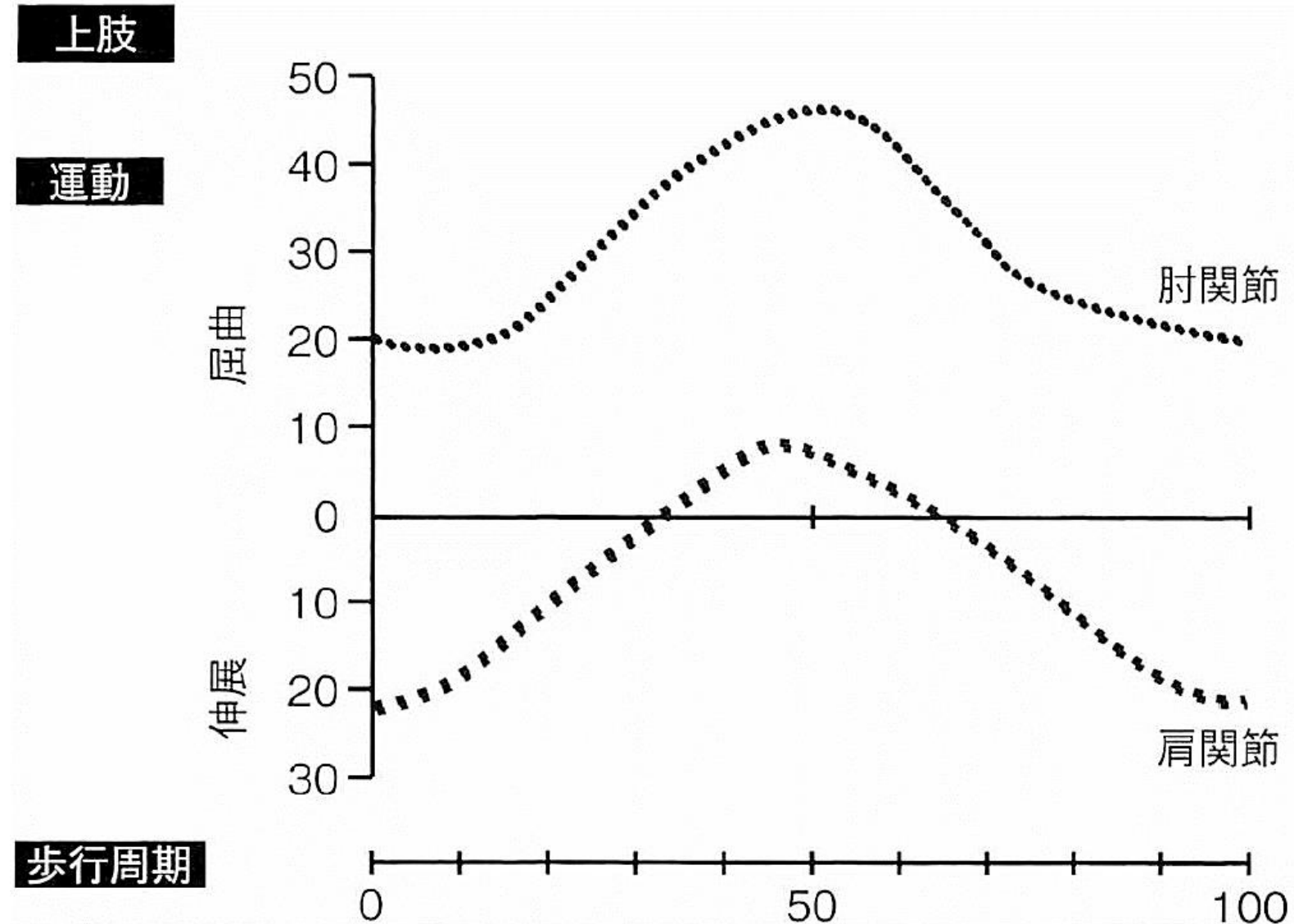


立脚後期  
Terminal Stance



# 歩行における上肢の経時的可動域

Kuhtz-Buschbeck JP et al : Activity of upper limb muscles during human walking. J Electromyogr Kinesiol. 2012 Apr;22(2):199-206



# 歩行を成功させるための条件

HorakFB : Postural orientation and equilibrium : what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? Age Ageing 35 Suppl 2 : ii7-ii11, 2006

- ✓ 歩行トレーニングは、脳卒中患者のリハビリテーションに欠かせない要素のため、まずは正常な歩行について学ぶ必要があります。
- ✓ さらに、**安全に地域を歩くためには、歩行者信号の認識、歩道の出入り、安全な横断歩道の理解、自動ドアの使用、障害物の回避、周囲の環境の把握**など、必要なスキルを包括的に考慮することが重要です

- 下肢による体幹の支持
- 意図した方向への身体の推進力
- 基本的な運動リズムの生成
- 移動するための身体の動的なバランス制御
- 変化する環境条件や目標に合わせて運動を適応させる柔軟性



# 安定性とオリエンテーションとは？

HorakFB : Postural orientation and equilibrium : what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? Age Ageing 35 Suppl 2 : ii7-ii11, 2006

- ✓ 姿勢制御の構成要素は「姿勢の安定性」と「オリエンテーション」です。
- ✓ 姿勢の安定性とは、内部や外部からの力に対して身体質量重心（COM）を安定させるための感覚運動戦略の調和を指します。これは、身体が外部の変化や内部の動きに適応し、バランスを維持する能力を表しています
- ✓ 姿勢のオリエンテーションは、これは、体が周囲の環境重力、支持基底、視覚環境、内部表象などを基にして、身体のアライメントと筋緊張を動的に制御することを意味します。や自身の物理的状态に応じて、適切な姿勢を取るための調整能力を指しています。

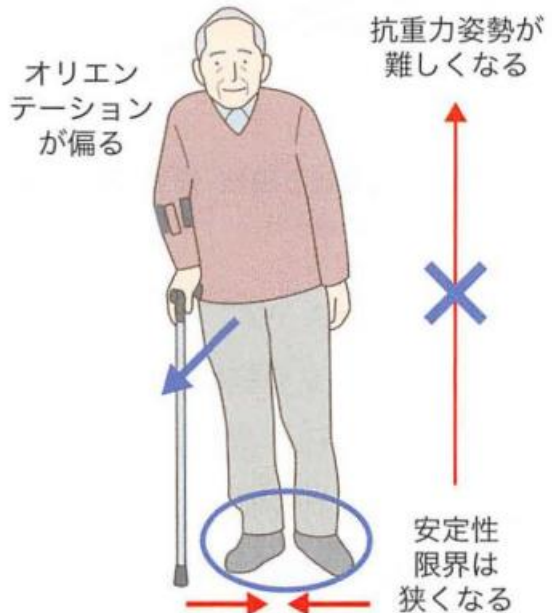


図2 片麻痺患者の安定性とオリエンテーション



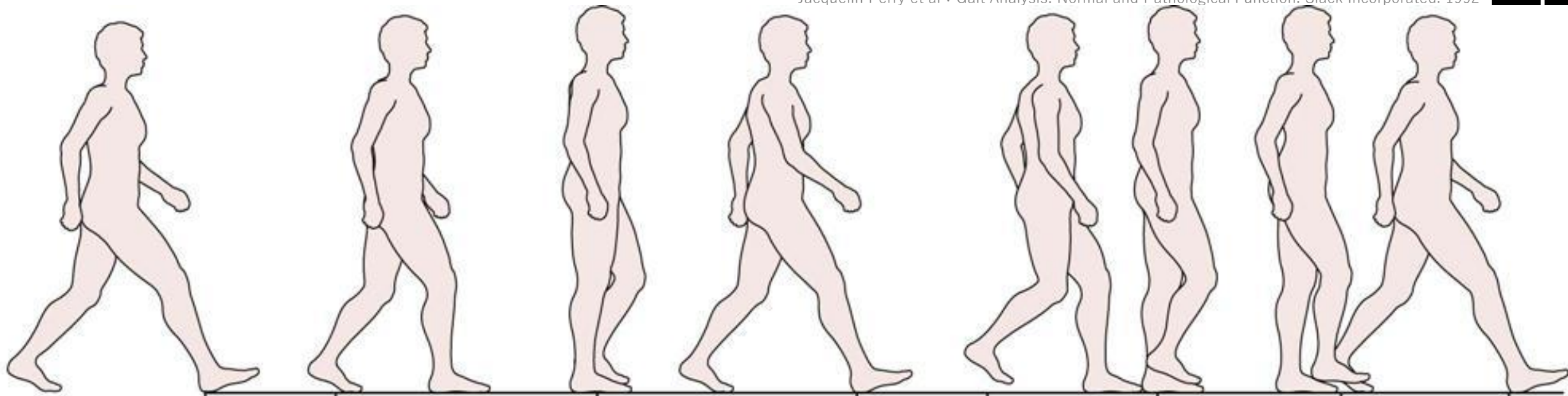
図3 バランスの代償戦略

[金子唯史：脳卒中の動作分析. p229, 医学書院, 2018 より]



# 歩行を課題でとらえる

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



0%      10%      30%      50%      60%      73%      87%      100%

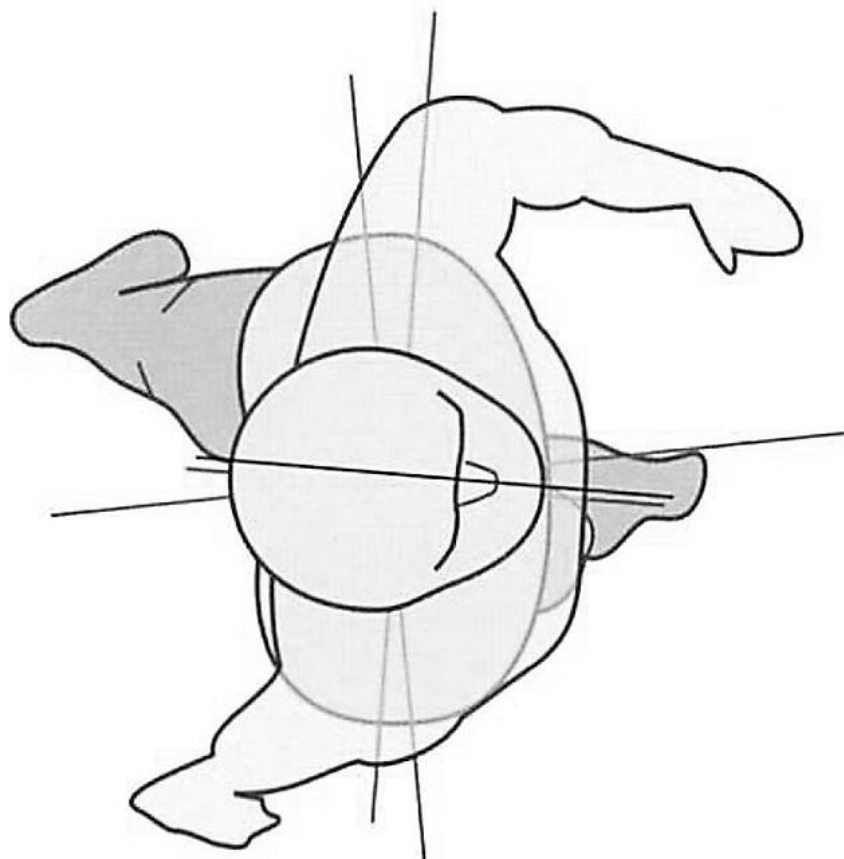
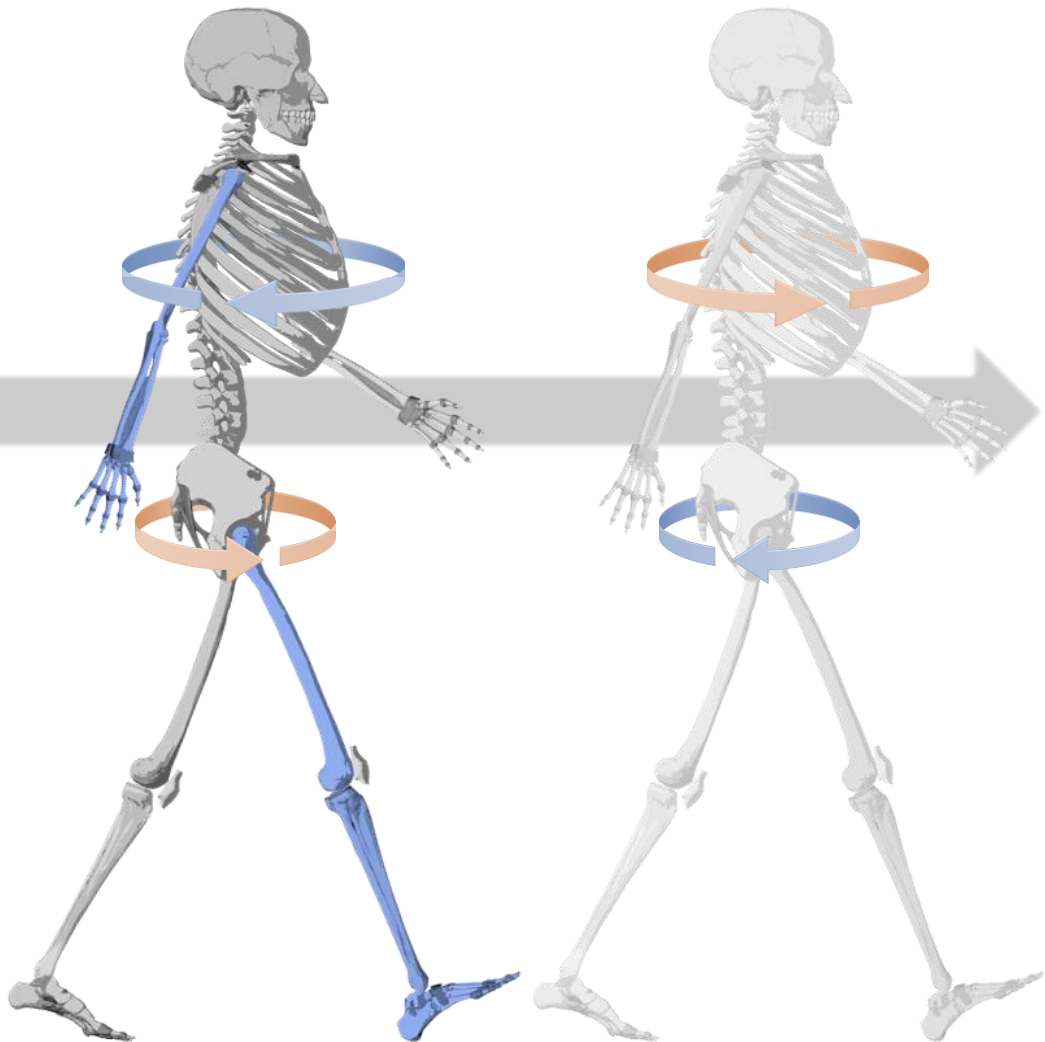
Initial contact      Load response      Heel off      Opposite initial contact      Toe off      Feet adjacent      Tibia vertical      Next initial contact

EVENTS								
PERIODS	Loading response	Mid stance		Terminal stance	Pre swing	Initial swing	Mid swing	Terminal swing
TASKS	Weight acceptance	Single-limb support			Limb advancement			
PHASES	Stance phase				Swing phase			
CYCLE	Right gait cycle							

# ①荷重応答：Weight Acceptance

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

- ✓ 歩行時のLocomotorでは、**初期接地から荷重応答 (IC~LR) の12%の期間**にあたり、この時点で**骨盤は前方への回旋**を示します。前方への回旋のピークに達した後、骨盤は後方への回旋へ移行します。
- ✓ 同側のPassengerは、後方への回旋と伸展から前方への回旋と屈曲へ移行し始めます。

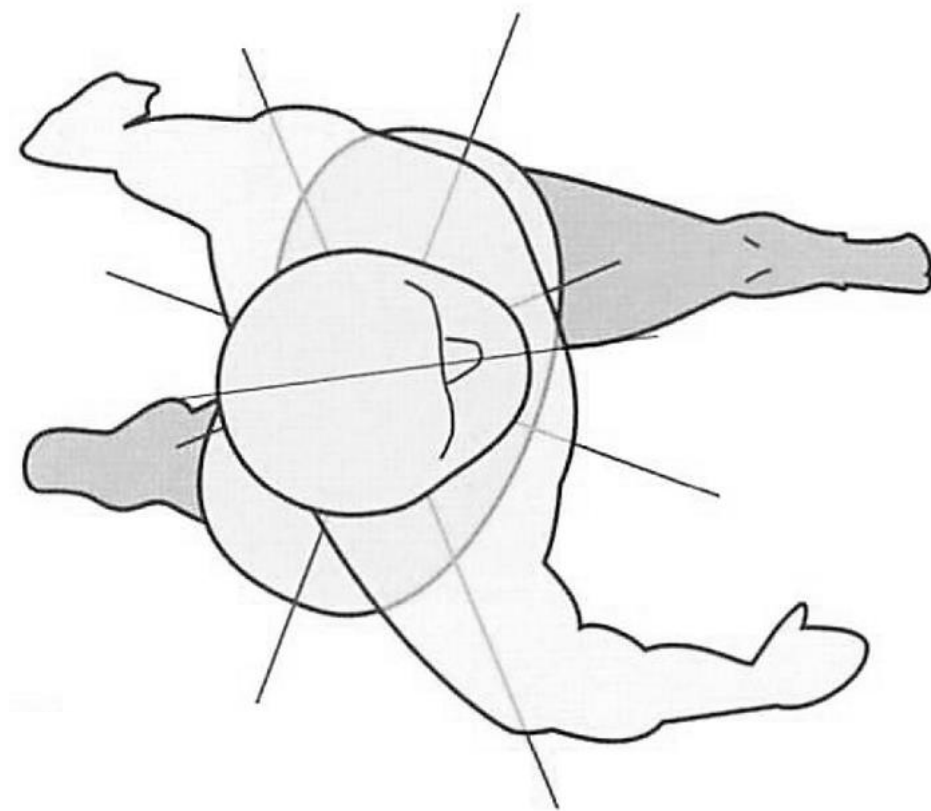
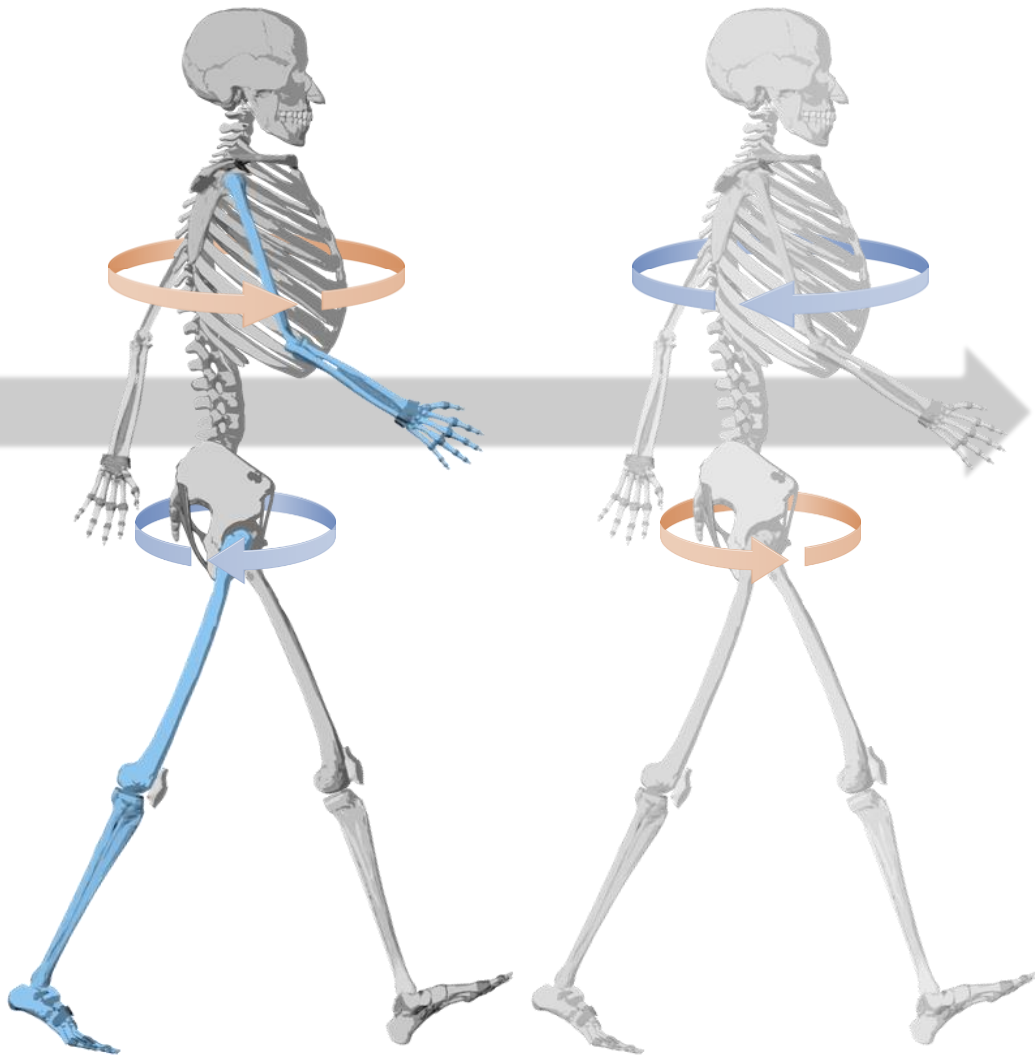




## ②単脚支持：Single Limb Support

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

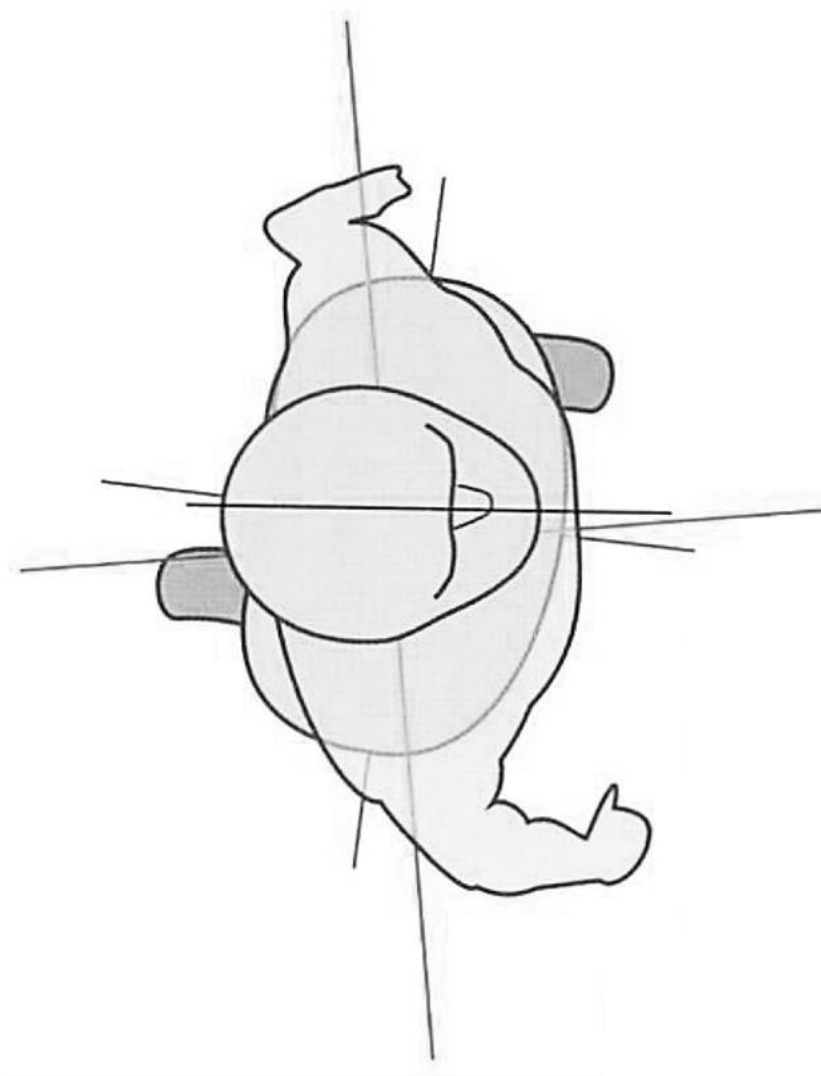
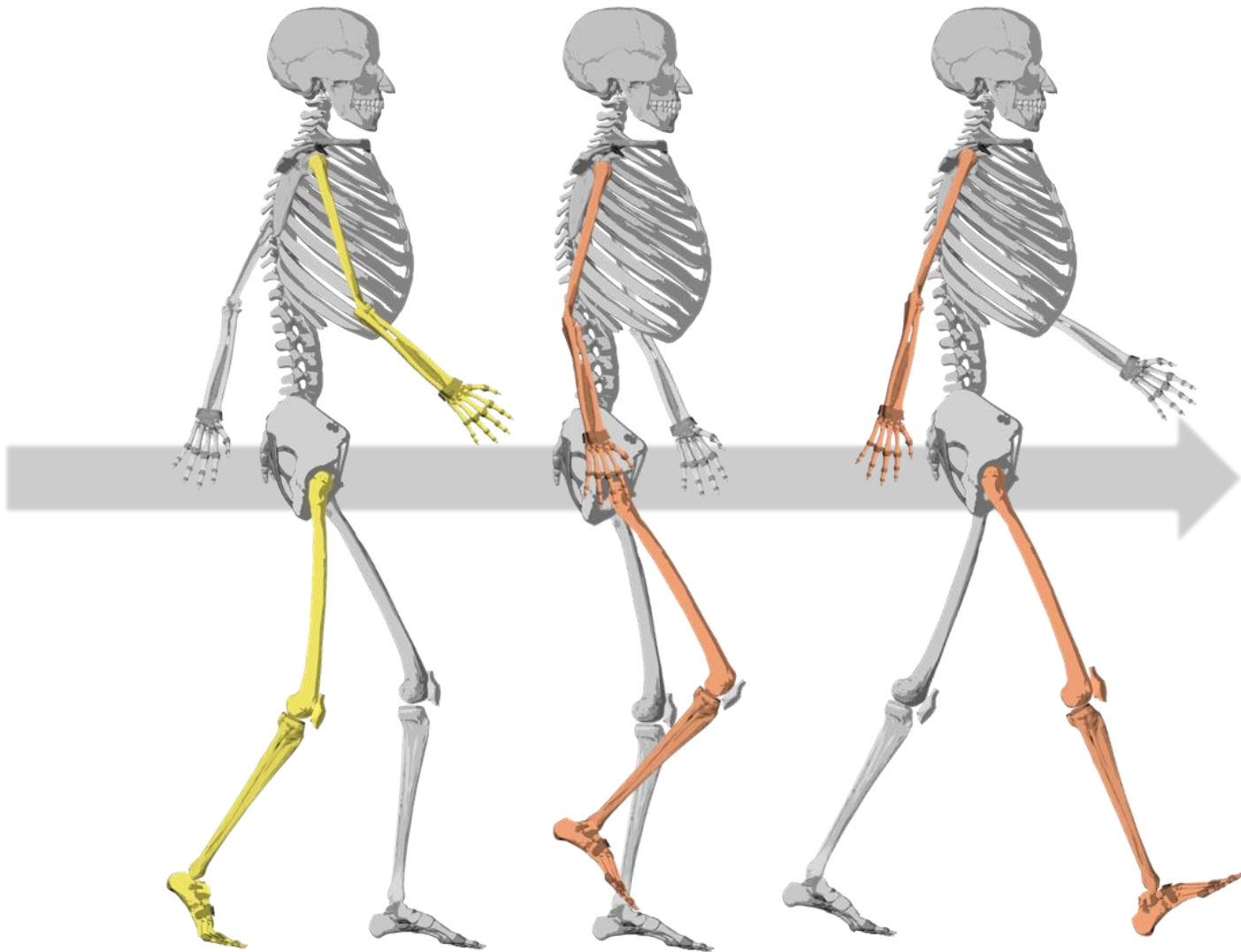
- ✓ 歩行の立脚中期から立脚後期 (Mst~Tst) 38%の期間では、骨盤は後方に回旋している状態です。この時期に骨盤は後方回旋のピークに達し、その後前方回旋へと移行します。同時に、同側のPassengerは、前方回旋と屈曲から後方回旋と伸展への移行が始まります。



### ③脚推進：Swing Limb Advancement

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

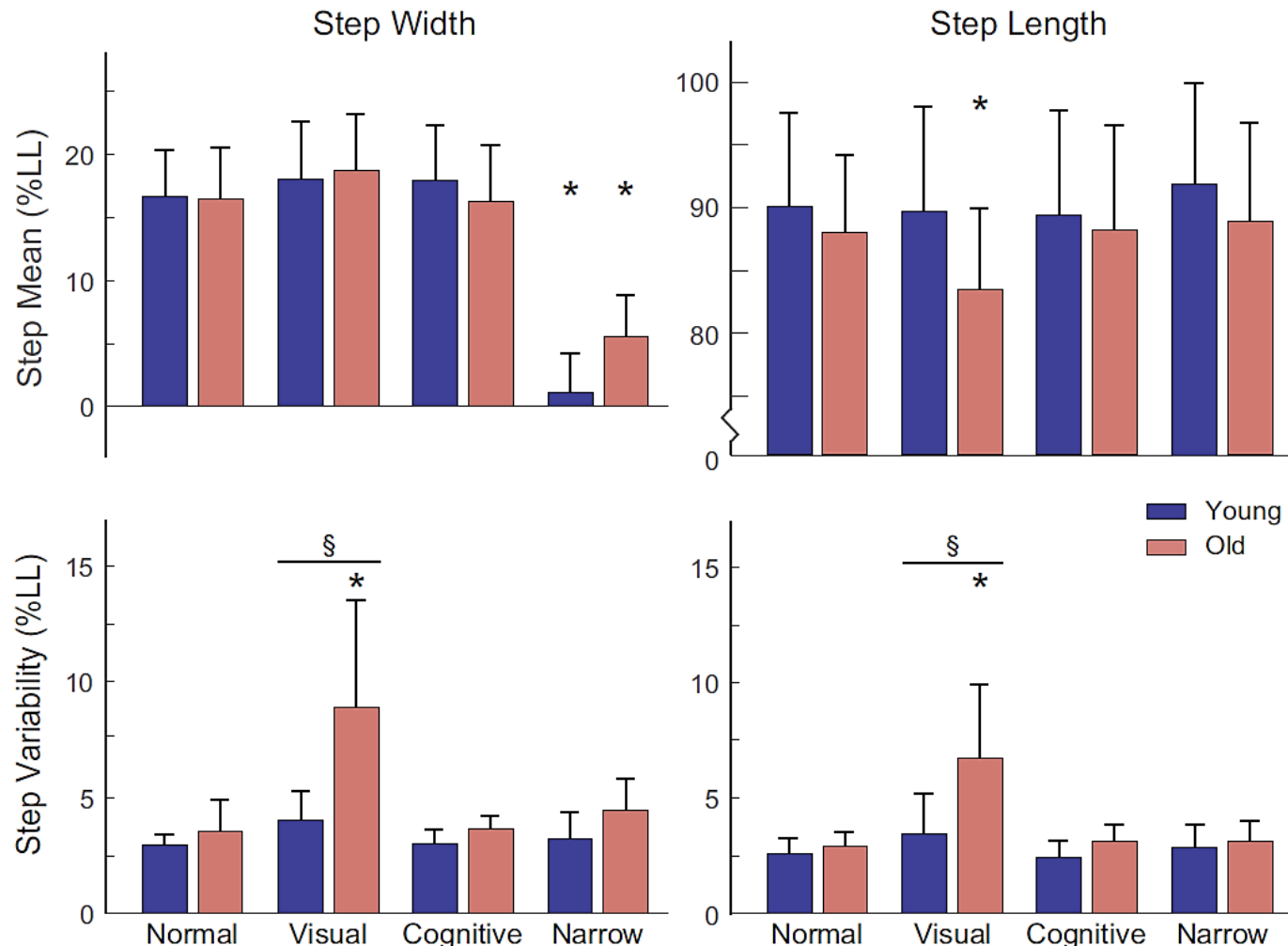
- ✓ 歩行中の遊脚初期から遊脚終期 (Psw~Tsw) 50%の期間では、立脚時と同じように、Passengerは前方から後方への回旋と、屈曲から伸展への移行をします。しかし、立脚時と異なり、この期間中の同側Locomotorは接地しておらず、支持基底面も持たないため、空間での定位能力が特に求められます。



# 視覚システムの重要性

Francis CA et al : Gait variability in healthy old adults is more affected by a visual perturbation than by a cognitive or narrow step placement demand. Gait Posture. 2015 Sep;42(3):380-5

✓ 若年者と高齢者を比較した研究によると、**視覚的な外乱（周囲の視覚情報の変化など）が歩行パターンに大きく影響する**ことが分かっています。この影響の原因としては、視覚情報への依存度や認知処理能力が関係していると考えられます。脳卒中患者の場合、これら二つの要素が影響する可能性が高いため、**視覚的外乱と視覚依存度のどちらがより大きな影響を及ぼしているかを個別に評価する必要があります。**

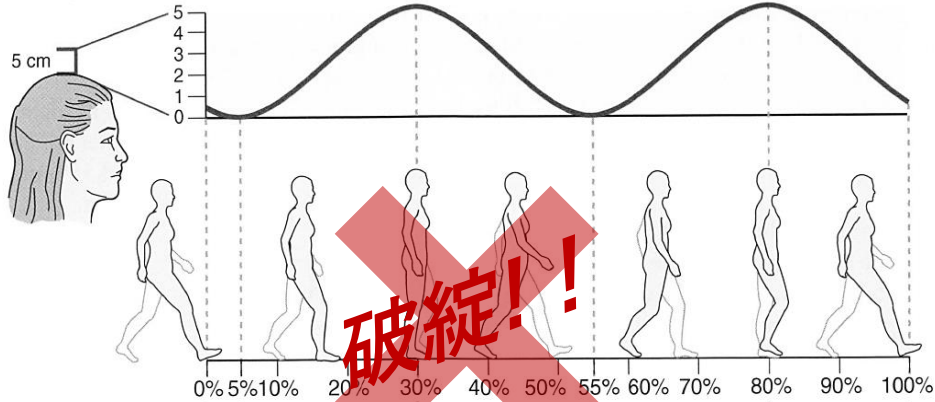


# COMコントロールと視覚の関係性

Franz JR et al : Advanced age brings a greater reliance on visual feedback to maintain balance during walking. Hum Mov Sci. 2015 Apr;40:381-92

✓ 身体質量中心 (COM) のコントロールが乱れると、それは頭頸部の空間的な位置決めにも影響を及ぼし、結果として視覚の不安定さを引き起こします。 この視覚の揺れは、歩行の安定性をさらに損なう可能性があります。特に足元などを見ることに頼る患者に対して、単に「前を向いて歩く」よう指示することは再考が必要です。

Vertical displacement of CoM



Side-to-side displacement of CoM

