

2022 年度（令和 4 年度）

修 士 論 文

ポスチャーウォーキングの機能性と審美性の解明

生涯スポーツ研究科 生涯スポーツ学専攻
学生番号 8419801 KIMIKO（ハリス規美子）

指導教員 山本敬三

要旨

【背景と目的】本研究の目的はポスチャーウォーキング（以下、PW）の機能性と審美性の解明である。ポスチャーウォーキングは「心と身体の姿勢が良くなるエレガントなエクササイズウォーキング」であると言われている²⁾。西暦2000年にKIMIKO(著者・ハリス規美子)により提唱され、現在までに多くの指導実績がある。本研究では、このPWのエクササイズ効果（機能性）とエレガントさ（審美性）について分析することを目的とした。

【方法】目的達成のために、2つの研究を行った。まず、研究IではPWの機能性として、エクササイズ効果を検証した。実験では、光学式3次元動作分析装置と床反力計を用いてPWと一般歩行動作を動作分析し、両者の比較からPWのバイオメカニクスの特徴を抽出した。主に下肢の動作に着目し、関節角度や関節モーメントの波形分析を行った。

次に、研究IIでは審美性の検証を行った。PW指導者（ポスチャースタイリスト）を含む複数名の歩行動作を撮影し、アンケート調査から美しい歩容の特徴を明らかにした。動作分析では、マーカーレスモーションキャプチャを利用し、多様な動作データを取得した。アンケート調査では、調査対象者に矢状面と前額面からの歩行動作を観察させ、美しさを4段階で評価させた。美しいと認識された歩容特徴とPWの歩容特徴を比較して、審美性の検証を行った。

【結果と考察】研究IからはPWの特徴として、荷重応答期における膝関節の屈曲角度と伸展モーメントが有意に小さいこと、および立脚中期から後期で膝関節屈曲モーメントと股関節外転モーメントが有意に大きいこと、および両脚支持相の時間割合が大きいことが挙げられた。これらの結果から、PWのエクササイズ効果として、膝関節の屈曲筋群（例：ハムストリングス）や股関節の外転筋群（例：中殿筋）の活動が増えることが示唆された。これらの特徴がPWによるヒップアップ効果の要因と考えられた。

研究IIからは、審美性の高かった歩行の特徴として、頭部が後方にある、肘、手首、足関節の振り幅が前後に大きく、後方への振り幅が大きい、そして内側にあることがわかった。これらの点はPWと一致しており、PWは審美性が高いと確認できた。一般歩行と比べてPWの審美性が優位に高かった点は、頭と肩が後方にある。ストライド長が長い、歩隔が狭い、歩行周期が遅い、両足支持期が長い、前額面からの美しさ評価である。スピード、矢状面からの美しさ評価においては差が見られなかった。

最後に、本研究で得られた知見と指導現場での言葉がけとの関連性について考察を加えた。

キーワード：三次元動作分析、主成分分析、エクササイズ効果、美しさ、歩容

目次

I. 序論	1
I-1. 研究の背景	
I-2. 目的	
I-3. 研究の意義	
II. PW の機能性の解明（研究 I）	5
II-1. 目的	
II-2. 方法	
II-3. 結果	
II-4. 考察	
II-5. まとめ	
III. PW の審美性の解明（研究 II）	19
III-1. 目的	
III-2. 方法	
III-3. 結果	
III-4. 考察	
III-5. まとめ	
IV. 総合考察	49
IV-1. PW の機能性と審美性について	
IV-2. PW 指導現場の言葉がけと研究成果の関連性について	
V. まとめ	56
謝辞	57
～「歩行美学」の提唱～あとがきに代えて	58
引用文献	60

I. 序論

I-1. 研究の背景

ポスチャーウォーキング(以下, PW; Posture Walking)は KIMIKO (著者) が提唱したウォーキングスタイルである.PW は出産による肥満や猫背等の体型改善を目的として, 普段の歩き方(以下,W) を基とし改良を重ね独自のウォーキングメソッドとして構築された経緯がある¹⁾. ポスチャーウォーキング協会のウェブサイトによると,PW は, 「心と身体の姿勢が良くなるエレガントなエクササイズウォーキング」であり, その歩き方の特徴として, 下記のように述べられている²⁾.

- ・身体の後ろ側の筋肉を主に使い前進する
- ・正しい姿勢を維持するには, 上半身だけでなく下半身の安定が重要である.
- ・腕は脚とバランスをとり, 後ろに伸ばすように振る.

PW に関する先行研究を調査すると, エクササイズ効果について検証したものが確認された.まず,杉山ら(2016)では筋電計を用いて, PW と一般歩行の筋活動量を比較している.特に大腿二頭筋については,スイング期後半から前足接地直後までと,両脚支持期から後ろ足離地の両相に顕著な放電が観察され,どちらの時期の放電も一般歩行より大きい傾向があると報告している³⁾.また, PW の運動強度を調べた研究報告では,歩行中の心拍計測と呼気ガス分析によって,心拍数,酸素摂取量ともに一般歩行よりもPWの方が優位に高くなり運動強度が大きくなると結論づけておりPWが体づくり運動の保健体育教材として有用なツールになり得ると考察している⁴⁾.祝原ら(2016)では,足圧分析から立脚期のPWの特性を検討し,PWは一般歩行に比べて,初期接地時の足圧合計の最大値が有意に減少すると報告している.この結果から,PWでは初期接地時の衝撃を低減させ,膝や腰への障害リスクを高めない可能性があると考えられている¹⁾.

一般歩行に関しては,医師や理学療法士などの医療従事者が正常歩行と異常歩行を識別し,適切な診断や動作評価を行うための科学的知見やデータに関する多くの書籍が出版されている⁵⁻¹⁰⁾.しかし,新たなウォーキングメソッドであるPWに関しては,その模範となるバイオメカニクス(運動学・運動力学)的データが十分とは言えない状況である.祝原ら(2016)に述べられている通り,現在までに,PWを紹介する書籍は多数出版されているが²⁾,その運動メカニクスやエクササイズ効果について,科学的エビデンスに基づいた情報は不足していると言わざるを得ない.

他方,PWがエレガントなウォーキングであることについて,検証を行った研究報告は見当たらなかった.美しい歩容とは何か,について検証した先行研究を確認したところ,斎藤ら(2020)は,美しいと認識されるバレエダンサーの歩行を含めて,美しいと認識される歩容

パターンの運動学的特徴として、下記の3点を抽出している。①骨盤の前傾角度が大きい、②体幹の伸展角度が大きい、③立脚期に膝の屈曲角度が小さい¹¹⁾。また、新井（2020）による若年女性における歩行の美しさの印象を決定する要因を調べた研究では、歩幅を広くすることで美しく見えるが、腕振りによる躍動性や速度の違いも評価に影響している可能性があるとしている¹²⁾。

バイオメカニクス分野における歩行分析では、一歩行周期を相分けして分析されることが多い。ここで歩行周期の相分けについて解説しておく。本研究では、ランチョロスアミーゴ方式を使用した⁵⁾。この方式では、歩行周期は次の8相に分けられる。図 I-1-1 に示す。歩幅 (step length)、歩隔(step width)、ストライド長(stride length)の定義を図 I-1-2 に示す。

第1相：歩行周期の終わり始まりは初期接地（イニシャルコンタクト,IC; Initial Contact）.前足が地面に接触する瞬間である：歩行周期の0%

第2相：荷重応答期（ローディングレスポンス,LR; Loading Response）.初期接地に始まり、反対側の足が地面から離れる瞬間まで：歩行周期の0～12% 1回目の両脚支持期に当たる。

第3相：立脚中期（ミッドスタンス,MSt; Mid Stance）反対側の脚が地面から離れた瞬間から観察肢の踵が床から離れた瞬間まで（体重心は前足部の直上にある）：歩行周期の12～31%

第4相：立脚終期（ターミナルスタンス,TSt; Terminal Stance）.観察肢の踵が床から離れた瞬間から反体側のICまで：歩行周期の31～50%

第5相：前遊脚期（プレスイング,PSw; Pre-Swing）.反対側のICから観察肢のつま先が床から離れた瞬間まで：歩行周期の50～62% 2回目の両脚支持期に当たる

第6相：遊脚初期（イニシャルスイング,ISw; Initial Swing）.観察肢のつま先が床から離れた瞬間から両側の下腿が矢状面で交差した瞬間まで：歩行周期の62～75%

第7相：遊脚中期（ミッドスイング,MSw; Mid Swing）.両側の下腿が矢状面で交差した瞬間から遊脚肢（観察肢）の方が床に対して直角になった瞬間まで：歩行周期の75～87%

第8相：遊脚終期（ターミナルスイング,TSw; Terminal Swing）.観察肢の下腿が床に対して直角になった瞬間から観察肢の足が床に触れた瞬間（IC）まで；歩行周期の87～100%

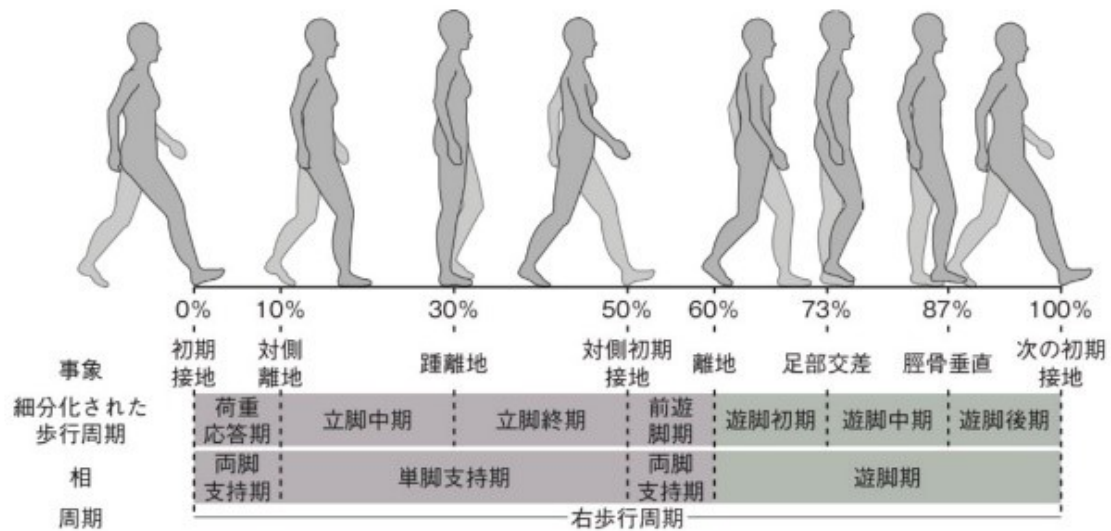


図 I-1-1 歩行の相分け

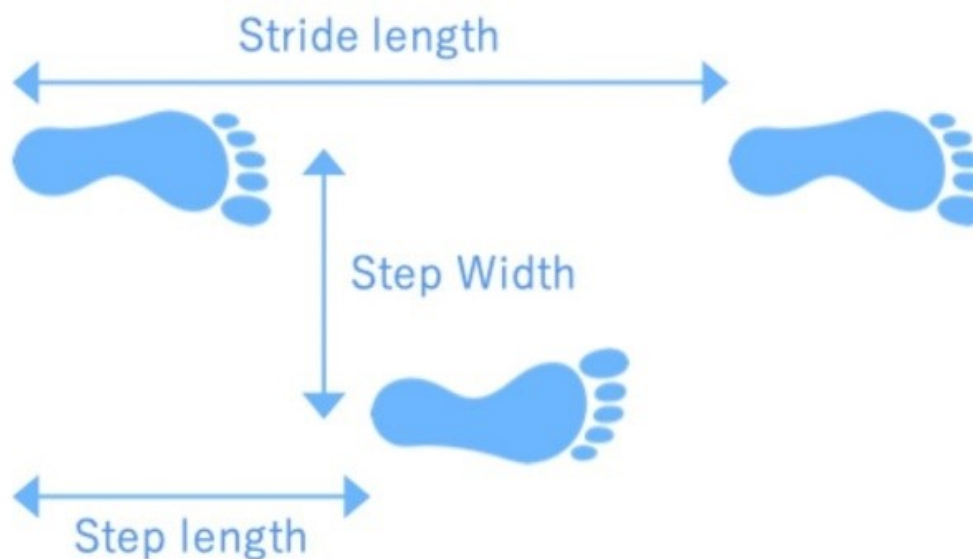


図 I-1-2 ストライド長 (Stride length) : 踵接地から次に同じ側の踵が設置するまでの長さ, 歩隔 (Stride Width) : 両足の隔たりの距離, 歩幅 (Step length) : 踵接地から反対側の踵接地までの距離

I-2. 目的

本研究では,動作分析から,PW がエクササイズ効果 (機能性) と歩容の美しさ (審美性) を兼ね備えたウォーキングメソッドであるかについて検証することを目的とした.そこで,

以下の2つの研究を実施し,それぞれから得られる知見を統合的に考察することとする.

【研究 I】

機能性(エクササイズ効果,特にヒップアップ効果について)の検証を行う.ここでは,3次元動作分析から PW と一般歩行を比較し,そのバイオメカニクスの特徴を抽出する.また動作データ(姿勢や関節モーメント等)から PW 中の筋活動量を推定し,エクササイズ効果(活動筋や活動のタイミング)について検証する.

【研究 II】

審美性の検証を行う. PW を含む多様な歩行の動作データを基に,アンケート調査から美しい歩容の特徴を抽出する.得られた特徴と PW の動作特徴を比較し, PW の審美性について考察する.

上記2つの研究成果を踏まえ,総合考察では,得られた知見をもとに, PW の指導現場で用いられる言葉がけと本研究で得られた知見との関連性について考察し,本研究成果の実践的な役割について,ディスカッションする.

1-3. 研究の意義

歩行の機能性や審美性の特徴が整理されれば,今後美しい歩き方を目指す人々の具体的な指標となりうる.また姿勢や歩き方の教育材料として学校での体育教育の一環にも正式に取り入れられる可能性が出てくる.今までの歩行には医療従事者や医学療法士の示す通常歩行と異常歩行の2カテゴリーしかなかったが,通常歩行の中にエクササイズ効果もある美しい歩き方というカテゴリーができれば,その利用価値は大きいものと予想される.

II. PW の機能性の解明 (研究 I)

II-1. 目的

動作分析から PW と一般歩行を比較し,そのバイオメカニクスの特徴を抽出する.PW 中の筋活動量を推定し,エクササイズ効果(どこの筋が,いつ活動するのか)について検証することとした

II-2. 方法

II-2-1 対象と計測方法

被験者対象者は, PW の指導者資格を有する女性 4 名 (height: 164.9±6.2cm, weight: 53.4±4.3kg, age: 47.0±9.0 years, 以 PW 群)と一般女性 10 名 (height:160.4±5.0cm, weight: 54.1±6.0kg, age: 49.6±9.1 years, 以下 walk 群)とした. 光学式三次元動作分析装置と床反力計を用いて, 各参加者の 5 回の歩行動作を計測した.

PW の動作計測では, 光学式三次元動作分析装置 MAC 3D System(Motion Analysis Corp., Santa Rosa, CA)を用いた.実験では, 赤外線カメラ 12 台を用い,サンプリング周波数 200Hz で計測した. 計測のための赤外線反射マーカ(直径 12.7mm)を 被験者の身体各部 52 箇所に貼付した. 身体を 14 セグメント(頭部, 体幹部, 上腕部, 前腕, 手部, 骨盤部, 大腿部, 下腿部, 足部)に分割し, 各セグメントにマーカを 3 点以上貼付した.これらマーカ位置座標を用いたセグメント座標系の構築については,信号処理の項目で詳述する.動作中の床反力の計測には, 4 台の床反力計(BP6001200, AMTI, USA)を用い, 左右足それぞれに作用する床反力を計測した.計測開始直前に校正を行い,サンプリング周波数 1000Hz で計測した. 動作計測では, 被験者に約 10m の歩行路を歩行させた.歩行路の中間に床反力計が設置されており, 床反力計を左右足で踏み分けて歩行するよう指示した. 被験者には, 複数回の動作を課し, 検者の指示通りに適切に歩行できた 5 試技を分析対象とした. walk 群の動作データでは, (独)産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センターで計測された歩行データベースから PW の被験者の身長や体重, 年齢の近い 10 名を抽出した.この歩行データベースの計測では,光学式三次元動作分析装置 Vicon システム(Vicon 社製)と床反力計 (BP400600-1000PT 2 枚及び BP400600-2000PT 4 台, AMTI, USA) を用いた¹³⁾. サンプリング周波数は, 動作計測では 200Hz, 床反力計は 1000Hz とした. 被験者には適宜計測着を着せ, 初めに基準姿勢(直立姿勢)を計測した. その後, 裸足にて歩行計測を行った.PW の計測と同様に,身体各セグメントに 3 点以上のマーカを貼付した.その後, 裸足にて歩行計測を行った.被験者には床反力計の設置しているエリアを中心に約 10m を歩かせた.数回の練習試行の後, 計測試行数は右足から床反力計に入る場合を 5 試行, 左足から床反力計に入

る場合を 5 試行の計 10 試行分を計測し,その中で右足から床反力計に入る場合のデータを 5 試行分データベースに登録した.光学式三次元動作分析装置を図 II-2-1 に示す.計測用マーカの貼り付け箇所を図 II-2-2 に示す.

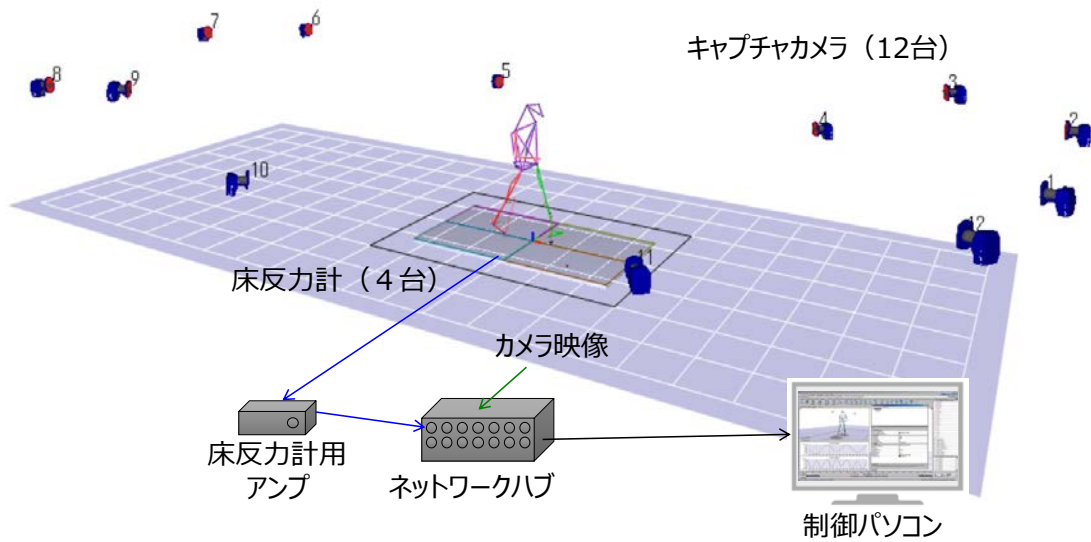


図 II-2-1 光学式三次元動作分析装置(motion analysis. Inc., 200Hz)床反力計(AMTI, 1000Hz)

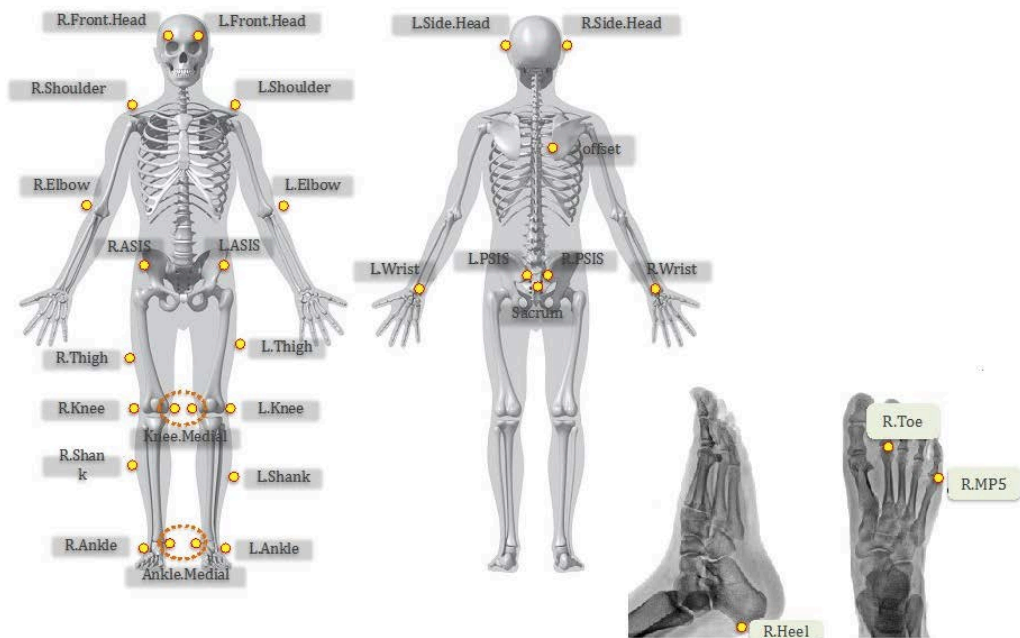


図 II-2-2 計測用のマーカの貼付位置

II-2-2. 信号処理

信号処理では、動作解析ソフトウェア Visual 3D (C-Motion Inc, USA) を用いた。被験者に貼付したマーカから身体を 13 セグメントに分割し、それぞれのセグメントに貼付したマーカからセグメント座標系を求めた。また、動作計測の直前に行ったカメラ校正で、実験室座標系を設定し、鉛直方向を Z_{lab} 軸（鉛直上向きを正とする）、進行方向を Y_{lab} 軸（進行方向を正とする）とした。 Y_{lab} ベクトル Z_{lab} ベクトルの外積から算出されたベクトルを X_{lab} 軸（左右方向、右方向を正とする）とした。セグメント座標系の構築右足部セグメントについては、足関節内果と外果を結ぶ線分の midpoint を足関節中心とし、右足部では内果から外果に向かうベクトルを X_{foot} 軸とした（左足部セグメントでは外果から内果に向かうベクトルを X_{foot} 軸とした）。 X_{foot} ベクトルと足関節中心から第 2 中足骨骨頭の遠位端に向かうベクトルの外積を Z_{foot} 軸と定義し、 Z_{foot} ベクトルと X_{foot} ベクトルの外積によって算出されたベクトルを Y_{foot} 軸と定義した。右下腿部セグメントについては、足関節中心から膝関節中心（膝関節内外側上顆に貼付したマーカを結ぶ線分の midpoint）に向かうベクトルを Z_{shank} 軸と定義した。次に、 Z_{shank} ベクトルと膝関節内側上顆から外側上顆に向かうベクトルの外積によって算出されたベクトルを Y_{shank} 軸、 Y_{shank} ベクトルと Z_{shank} ベクトルの外積によって算出されたベクトルを X_{shank} 軸と定義した。右大腿部セグメントについては、膝関節中心から股関節中心^{8,9)} に向かうベクトルを Z_{thigh} 軸と定義した。次に、 Z_{thigh} ベクトルと膝関節内側上顆から外側上顆に向かうベクトルの外積によって算出されたベクトルを Y_{thigh} 軸、 Y_{thigh} ベクトルと Z_{thigh} ベクトルの外積によって算出されたベクトルを X_{thigh} 軸と定義した。骨盤セグメントについては、左右 PSIS を結ぶ線分の midpoint から左右 ASIS を結ぶ midpoint へ向かうベクトルを Y_{pelvis} 軸とし、左 ASIS から右 ASIS に向かうベクトルを X_{pelvis} 軸と定義した。 X_{pelvis} ベクトルと Y_{pelvis} ベクトルの外積から算出されるベクトルを Z_{pelvis} 軸とした。すべての座標系は右手直行座標系で構築した¹⁴⁾。また、各セグメントには、身体部分慣性質量、重心位置および慣性モーメントの情報を付与した¹⁵⁾。各セグメントの質量と重心位置から身体の合成重心（以下、COG; Center of Gravity）を求めた。

三次元動作分析装置によって計測されたマーカ座標データと床反力データには、ローパスフィルタ（4 次の Butterworth 型フィルタ、cut-off 周波数 6Hz（マーカ座標データ）と 18Hz（床反力データ）、時間位相補正あり）を適用し、平滑化を行った¹⁵⁾。山本ら（2020）で報告された PW の動作特徴を基に、膝関節屈伸角度、膝関節屈伸モーメントと股関節内外転モーメントを算出し¹⁸⁾。関節角度の算出についてはオイラー角を用い、隣接するセグメント間で、近位セグメントの座標系に対する遠位セグメントの座標系の回転角度を求めた。関節角度算出時の回転順序は XYZ、つまり屈伸—内外転—内外旋の順とした。関節モーメントは、運動

学データと床反力データを用いて逆動力学解析から求めた.関節モーメントは,被験者の身体質量(kg)で除して正規化した.両群の歩行速度の算出のため,各被験者の一歩行周期における COG の平均進行方向速度を求めた.また,歩行の時間因子として,歩行周期(同側の足の初期接地から次の初期接地までの時間)と両脚支持相の時間を求めた.

II-2-3. 統計的手法

本研究では, PCA をデータの次元削減のためのツールおよび, PW 群と walk 群の間の違いを決定する統計的検定の予備的なステップとして使用した.PCA による波形解析について, Deluzio et al. (2007) にその数学的な信号処理方法やデータの解釈方法について詳述されており¹⁹⁾,本研究ではその手法に則って分析を行った.算出された関節角度, 関節モーメントから,一歩行周期の時系列波形データを抽出し,時刻を 0 から 100% まで 1% 刻みで離散化して時間正規化した.各分析対象の時系列波形データ(膝関節屈伸角度, 膝関節屈伸モーメントおよび股関節内外転モーメント)の 1 試行は 101 のデータ点から構成されることになる.これを波形ベクトルと呼ぶ.次に,各分析対象データの波形ベクトルからそれぞれの行列を作成した.この行列は, 試行数 70 (被験者数 14 × 試行数 5) を行に投入し, 波形ベクトルを列に投入し, 70 行 × 101 列の行列となる.この行列から列方向の平均値を各要素から引いた行列を計算し, その共分散行列を計算した.さらに, これを固有値分解することで固有値と固有ベクトルを算出した.各試行の波形ベクトルを i 番目の固有ベクトルの方向に投影したものがその歩行の第 i 主成分得点(PC スコア)となる.また, 固有値は各主成分が各変数の波形の変動性に対する相対的寄与率を示している.PC スコアとそれに対応する固有ベクトルの積の総和に全試行の平均波形ベクトルを加算することで, 波形ベクトルを復元することができる (式 1) .

$$W = m + \sum_{i=1}^N (PC_i \times L_i) \quad \dots \text{式 1}$$

ここで, W は波形ベクトル, m は全試行の平均波形ベクトル, PC_i は第 i 主成分得点(PC スコア)および L_i は i 番目の固有ベクトルを表す. 主成分分析により,各被験者の各試行の歩行波形データは小さな 1 組の PC スコアに変換される.従って,波形の特徴(PC)の群間差に関する仮説 テストに標準的な統計的手法を適用できる.主成分の数の決定においては, 累積寄与率(cumulative variance explained)が 90% を超えるまでとした²⁰⁾. PCA によって算出される固有ベクトル(Eigenvector)の形状および PC スコアの高低に対応する個々の歩行波形データを検討し,主成分の運動学的および運動力学的な解釈を行った.各被験者の 5

試行について、膝関節の屈伸角度および屈伸モーメント、股関節の内外転モーメントの波形の PC スコアを求め、PC スコアの平均値と標準偏差を求めた。2 群間の差の検定では、ウェルチの t 検定を用いた。有意水準は 5%未満とした。

II-3. 結果

PW 群と walk 群の基本的な体格情報は表 II-3-1 に示す通り. PW 群と walk 群は, 年齢, 身長, 体重, BMI が同程度であった. PW 群と walk 群のそれぞれから, 典型的な歩行動作の連続写真を図 II-3-1 に示す.

平均歩行速度は PW 群で 0.98 ± 0.14 m/s, walk 群で 1.41 ± 0.14 m/s であり, PW 群の方が有意に遅かった ($p < 0.05$). また, 歩行周期は, PW 群, walk 群でそれぞれ 1.35 ± 0.17 s, 0.94 ± 0.03 s であり, PW 群の方が有意に大きかった ($p < 0.0001$). 一歩行周期における両脚支持相の時間は, PW 群と walk 群でそれぞれ 0.33 ± 0.07 s と 0.16 ± 0.02 s で, PW 群の方が有意に大きかった ($p < 0.0001$).

主成分モデリングは膝関節の屈伸角度, 屈伸モーメントおよび股関節の内外転モーメントの歩行の波形データを示す (表 II-3-2). PC (主成分) の数が少ないことから, 歩行波形に存在する変動性には単純な基礎構造があることが示唆された. これらの検定に対応する p 値, および各 PC の生体力学的解釈 (feature) を表 II-3-3 に示す. 両群の歩行の波形データと第 1 および第 2 主成分 (PC1, PC2) の固有ベクトル (Eigenvector) を図 II-3-2~II-3-4 に示す.

膝関節の屈伸角度 (図 II-3-2) より, 両群の違いが明らかになった. PW 群と walk 群との間で, 最初の 2 つの PC (表 II-3-3, 図 II-3-2) を比較した. PC1 の固有ベクトルからは荷重応答期 (loading response) と前遊脚期 (pre-swing) に高い値が示された (図 II-3-2 および図 II-3-5 の a, b). PC1 は, これらの位相における屈伸角度波形の大きさに影響する成分であることが示唆された. PC スコアの統計解析から, PW 群の屈伸角度は, 荷重応答期と前遊脚期に walk 群に比べて少ないことが明らかになった ($p < 0.0001$). PW 群では, 荷重応答期における膝関節の軽度屈曲が観察されなかった. PC2 は, スイング期には大きな正の値を持つことから, 遊脚中期 (mid swing) における膝屈曲角度のタイミングの違いを捉える成分と考えられた. PW 群では, 遊脚中期 (mid-swing) の膝屈曲の時間的シフトが見られ, 屈曲のタイミングが遅くなることが観察されたが, 検定結果からは有意差は認められなかった ($p = 0.45$).

膝関節屈伸モーメントデータの形状と大きさには群間差があった (図 II-3-3). PC1 の固有ベクトルは, 立脚期全体で正の値が観察され, 特に荷重応答期では大きな値が示された. PC1 は, 荷重応答期における屈伸モーメント波形の大きさに影響する成分であると解釈された. walk 群に比べて, PW 群は同相の伸展モーメントが小さく (図 II-3-3 および図 II-3-5 の c), 立脚後期の屈曲モーメントが大きいと解釈された (図 II-3-3 および図 II-3-5 の d). PW 群は, walk 群に比べて立脚前半の伸展モーメントが有意に小さかった ($p < 0.0001$). PC2 の固有ベクトルは, 荷重応答期に大きな負の値を示し, 立脚後期に大きな正の値を示した.

PC2 は、歩行の立脚相における屈曲モーメント波形の全体的な振幅に影響する成分であることが示唆された。PW 群は、walk 群に比べて立脚後期の屈曲モーメントが有意に大きかった($p < 0.05$)。

両群間の立脚時における股関節内外転モーメントの波形にも有意な差が認められた(図 II-3-4)。PC1 の固有ベクトルは、歩行周期の 20-50%に大きな正の値を有していた。PC1 は、立脚後期(late stance)における内外転モーメント波形の大きさに影響する成分であると解釈された。walk 群と比較して、PW 群では立脚期後半の外転モーメント発揮が有意に高いことが認められた($p < 0.01$, 図 II-3-4 および図 II-3-5 の f)。PC2 の固有ベクトルは、立脚初期(5-20%)にピークを示した。立脚初期の外転モーメント発揮に時間的な有意差があると解釈された($p < 0.05$)。また歩行の各相と膝屈曲角度、膝屈伸モーメント、股関節内外転モーメントの動きを照らし合わせて見やすく色分けした図を加えた。

表 II-3-1 被験者の体格情報

	n	Age (year)	Height (cm)	Weight (kg)	BMI (kg/m ²)
PW group	4	47.0 ± 9.0	164.9 ± 6.2	53.4 ± 4.3	19.63
Walk group	10	49.6 ± 9.1	160.4 ± 5.0	54.1 ± 6.0	21.02

The data are presented in the form of mean ± S.D.

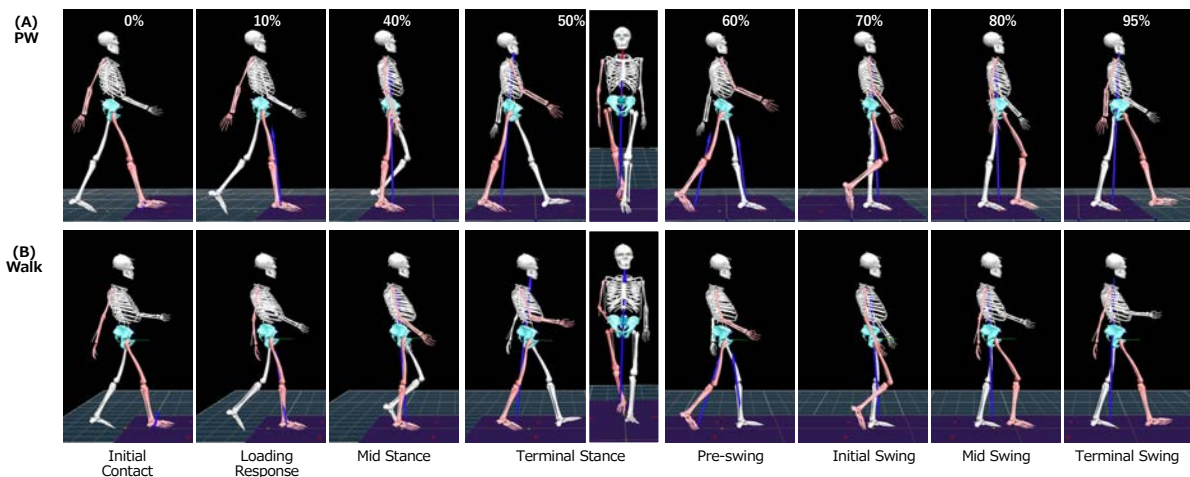


図 II-3-1 歩行動作の連続写真。(A) PW,(B)walk (一般歩行)。一歩行周期を 100%で時間正規化し、歩行の各相の姿勢をパーセントで表記している。0~60%は立脚期 (stance phase)、60~100%は遊脚期 (swing phase) を示す。各相は Initial Contact: 初期接地,Loading Response: 荷重応答期,Mid Stance: 立脚中期,Terminal Stance: 立脚終期,Pre-swing: 前遊脚期,Initial Swing: 遊脚初期,Mid Swing: 遊脚中期,Terminal Swing: 遊脚終期をそれぞれ示す。

表 II-3-2 主成分モデル

	Knee flex angle	Knee extension moment	Hip abduction moment
Cumulative variation explained (%)	92.81	93.23	90.24
Number of PCs	3	2	3

表 II-3-3 波形データの群間比較

Gait measure	PC (Variance explained)	Feature	Mean (S.D.)		p-Value
			PW	Walk	
Knee flexion angle	PC1 (76.4%)	Magnitude of Flexion angle during loading response & pre-swing	-1.42 (0.38)	0.57 (0.45)	<0.0001
	PC2 (11.8%)	Phase shift during mid swing	-0.19 (1.50)	0.07 (0.72)	0.45
	PC3 (4.6%)	Amplitude	0.36 (1.24)	-0.14 (0.86)	0.10
Knee extension moment	PC1 (79.4%)	Magnitude of Extension moment during loading response	-1.26 (0.79)	0.50 (0.51)	<0.0001
	PC2 (13.9%)	Amplitude during stance	0.55 (1.36)	-0.22 (0.72)	<0.05
Hip abduction moment	PC1 (70.0%)	Magnitude of abduction moment during late stance	1.23 (0.83)	-0.49 (0.53)	<0.01
	PC2 (16.0%)	Phase shift during early stance	-0.38 (0.92)	0.15 (1.00)	<0.05
	PC3 (4.2%)	Amplitude	0.06 (0.77)	-0.02 (1.09)	0.75

The principal components, or features, from each of the gait measures are described. Mean (S.D.) represents the average value and standard deviation of PC scores derived from each trial. The p-Value corresponds to a Welch's t-test comparing the PC scores between the PW and the walk groups.

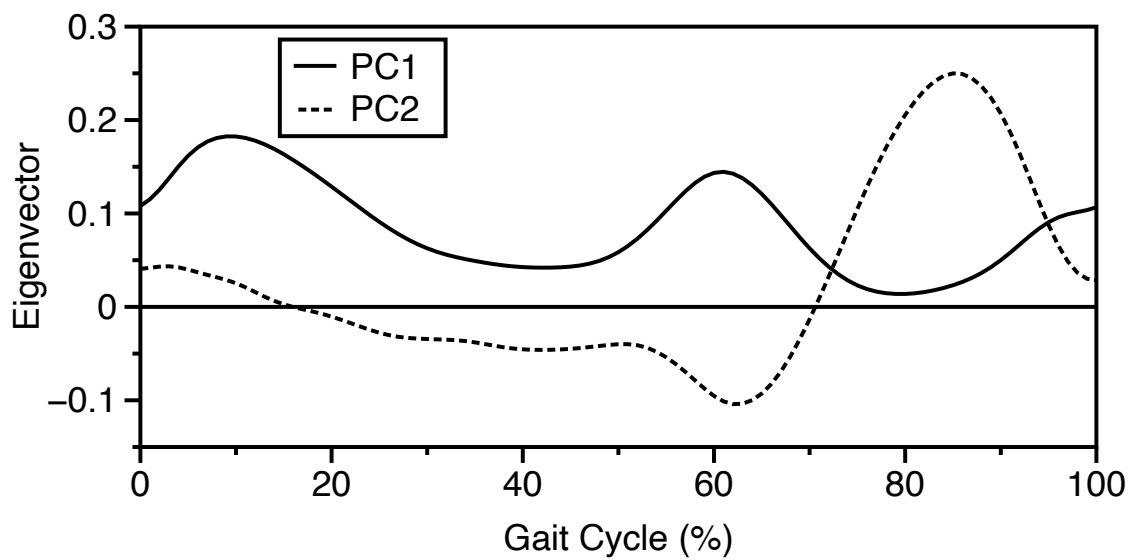
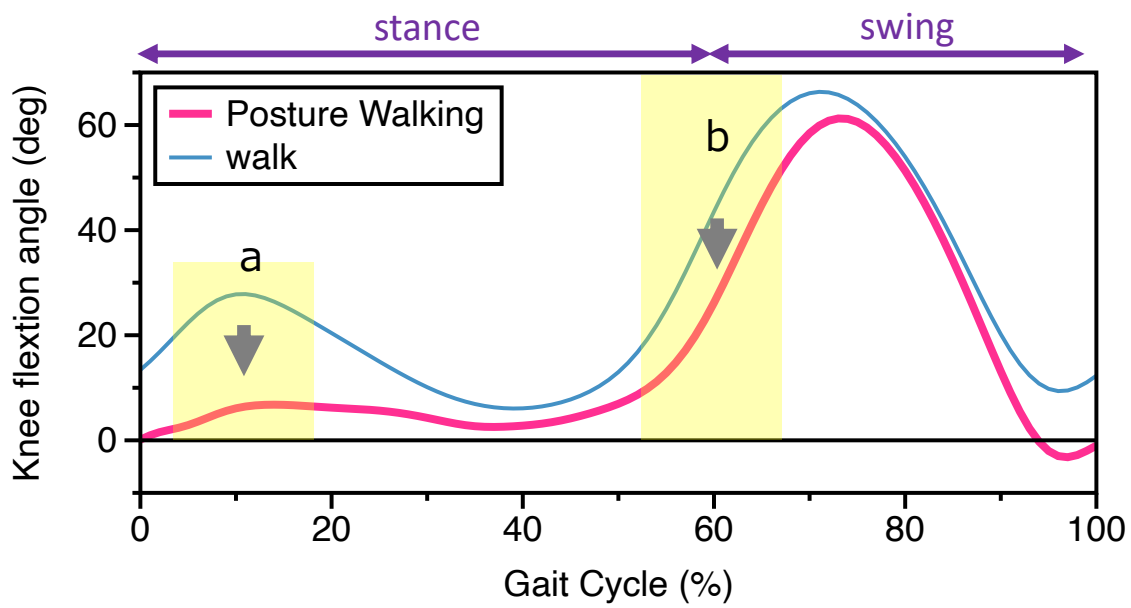


図 II-3-2 膝屈伸角度の平均波形データ（上図）と、第1および2主成分（PC1, PC2）の固有ベクトル（Eigenvector）（下図）。上図の膝関節角度の時系列データは、右上がりの場合は屈曲していること、右下がりの場合は伸展していることを意味する。

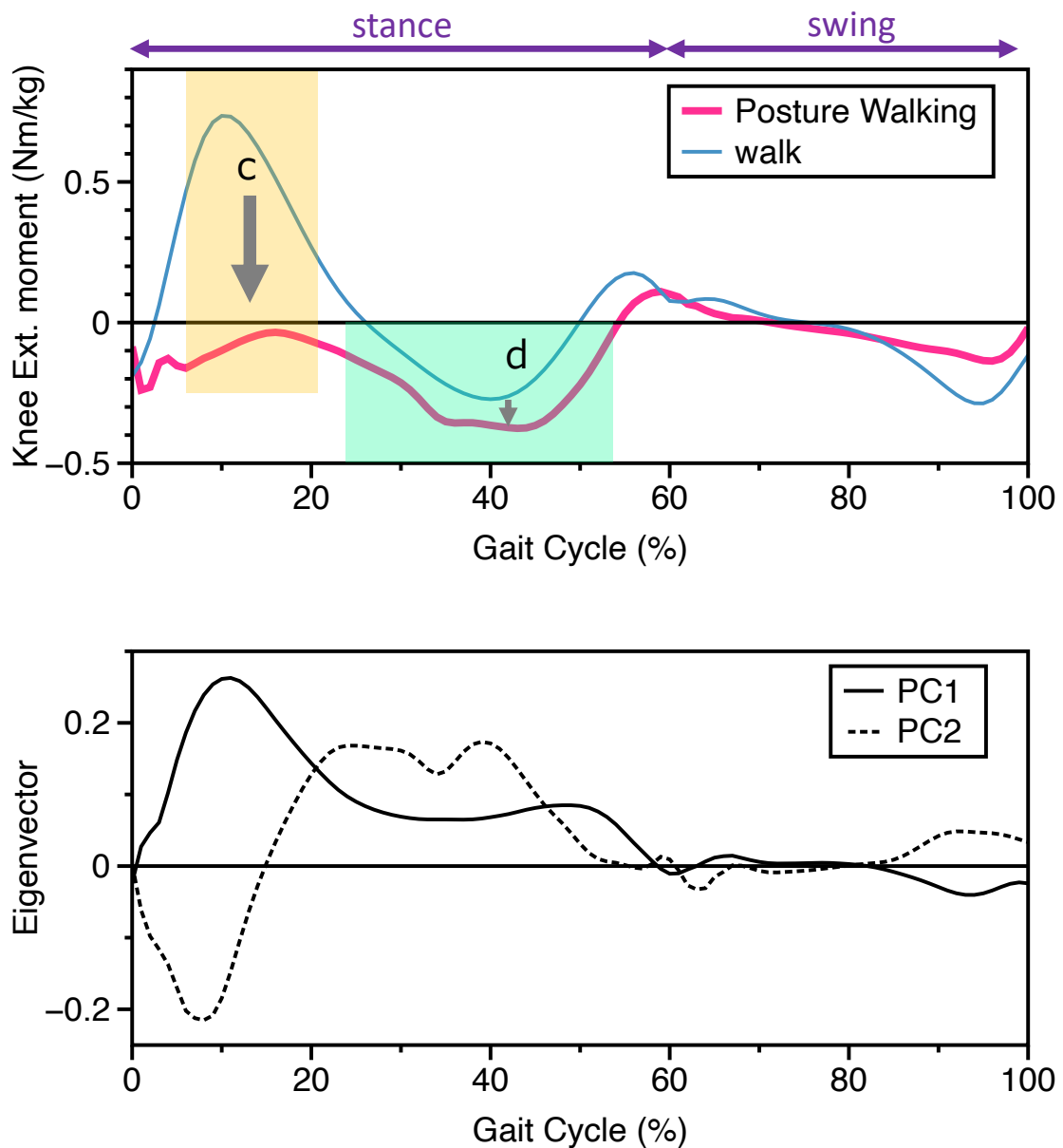


図 II-3-3 膝関節屈伸モーメントの平均波形データ（上図）と、第 1 および 2 主成分（PC1, PC2）の固有ベクトル（Eigenvector）（下図）。上図の膝関節モーメントの時系列データは、プラスは伸展モーメントの発揮、マイナスは屈曲モーメントの発揮を意味する。

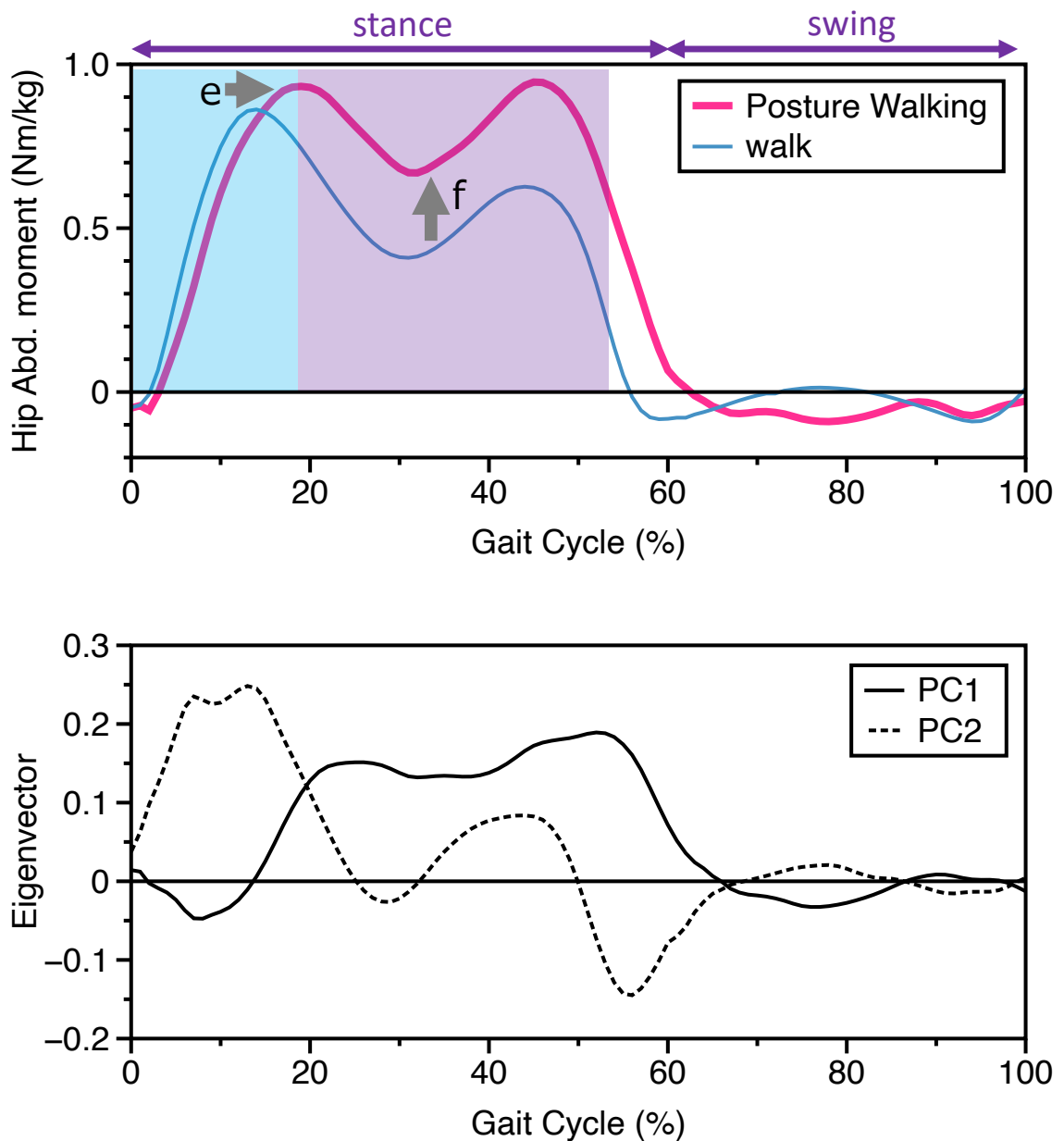


図 II-3-4 股関節外転モーメントの平均波形データ（上図）と、第1および2主成分（PC1, PC2）の固有ベクトル（Eigenvector）（下図）。上図の股関節モーメントの時系列データは、プラスは外転モーメントの発揮, マイナスは内転モーメントの発揮を意味する。

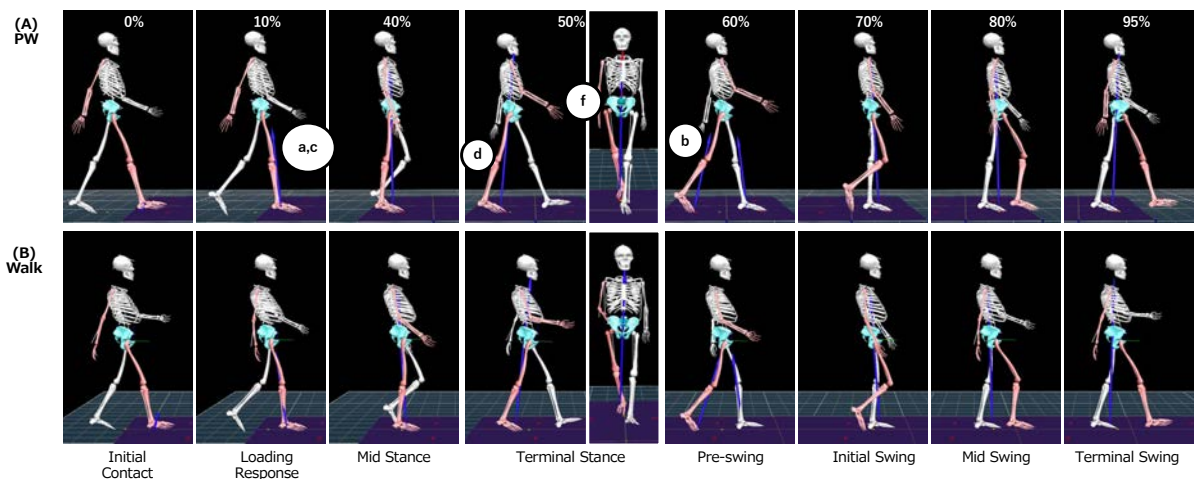


図 II-3-5 膝関節・屈曲角度で有意差が認められた姿勢の比較.

図中 a~d, f は, 図 II-3-2~4 の a~d, f に対応している.

II-4. 考察

PW 群において, 荷重応答期に膝関節の軽度屈曲が観察されないことは, PW の重要な歩容特徴の 1 つと考えられる(図 II-3-2a). 膝屈伸角度の PC1 は荷重応答期と前遊脚で高い値を有している(図 II-3-2 下図). また, PC スコアによる統計的検定から, PW 群では, 立脚期中の膝関節の屈曲が walk 群よりも有意に小さいことが示された($p < 0.0001$). PW の指導書においても, 立脚期における膝関節の屈曲を抑制するよう記載されている¹⁶⁻¹⁷). 一方, 一般歩行では荷重応答期における膝関節の軽度屈曲は常識的な現象であり⁵⁻¹⁰), 本研究の walk 群の角度データにおいても同様であった(図 II-3-2). この軽度屈曲の運動学的機能は衝撃吸収であり, 膝伸展筋群の遠心性収縮によって接地時の衝撃が吸収される⁵⁻¹⁰). walk 群の膝関節屈伸モーメントのグラフ(図 II-3-3)では, 荷重応答期に伸展モーメントの発揮が観察され, 上記の文献の説明を支持していた. PC1 の寄与率は 76.4% と他の主成分に比べて高く, PW の特徴を表していると示唆された(表 II-3-3). PW 群の膝関節屈伸モーメントのデータでは, 立脚期全般に渡って伸展モーメントの発揮が少なく, 立脚後半にかけて屈曲モーメントの発揮が増加していた(図 II-3-3d). PC1 の固有ベクトルは荷重応答期に高い正の値を有し(図 5 B), この相で PW 群では屈曲モーメントが発揮されていた(図 II-3-3c). この結果から, PW では接地直後の衝撃吸収を膝関節伸展筋群で行わない歩行スタイルであることが考えられる. PW 群の歩行速度が walk 群のそれよりも有意に小さかったため, 接地時に受ける衝撃が小さく, 衝撃吸収機能に影響した可能性も考えられる. PC2 の固有ベクトルから, PW 群の波形の特徴として, 立脚期全般で波形の振幅が有意に小さいと解釈された($p < 0.05$). 立脚後期に屈曲モーメントが増加していることは, 屈筋群の活動がこの相で大きくな

ることを示唆している。筋電計を用いた PW と通常歩行の筋活動量の比較研究では立脚後期に大腿二頭筋の顕著な筋放電が観察され、その放電量は通常歩行よりも大きい傾向にあったことを観察していた³⁾。一般歩行において、大腿二頭筋の筋活動はスウィング期から着地までと言われていることを鑑みると⁵⁾、PW では、歩行中に活動量の少ない大腿二頭筋を立脚期に積極的に活動させていることが示唆された。股関節内外転モーメントでは、PC1 の固有ベクトルは立脚中期から後期(20-60%)にかけて大きな正の値を示し(図 II-3-4 下図)、この相で PW 群の外転モーメントの発揮が walk 群のそれに比べて有意に高いことが示された($p < 0.01$)。この相では、遊脚肢側への骨盤の側方傾斜を立脚肢側の股関節外転筋群によってブレーキがかけられている⁵⁾。不安定な骨盤を支えるために、股関節外転筋の強い活動により安定性を維持していると考えられる⁶⁾。この強い外転筋群の活動は、体幹の遊脚肢側への側方傾斜を抑制し、体幹正中位の保持を意識して歩行する PW の特徴と考えられる。PW の PC2 の固有ベクトルは、立脚初期(5-20%)に大きな正值が観察された(図 II-3-4 下図)。この相で、PW 群の外転モーメントの立ち上がり、walk 群のそれよりも時間的に後方へシフトしていることが観察された(図 II-3-4e)。外転モーメントの波形の第 1 ピークについては、初期接地直後の急激な荷重の移行に即応して、外転筋群が床反力の衝撃を吸収するように遠心性に反応しなければならないため、股関節外転筋群の活動は荷重応答期にピークに達する⁶⁾。PW では、股関節外転筋群が衝撃吸収機能の一部を担っていると考えられた。また、上記の時間的シフトの理由として、一歩行周期における両脚支持相の時間割合が walk 群($17.8 \pm 2.1\%$)に比べて PW 群($24.7 \pm 2.9\%$)の方が有意に大きかった($p < 0.0001$)ためと考えられた。両脚支持相は、後脚から前脚への荷重の受け継ぎの機能を有し、この時間を長くすることが PW の歩容特徴の一つであると考えられた。この動作はハムストリングスと大臀筋を発揮させていることになる。つまりヒップアップと太ももの引き締め役に役立つものと考えられた。

II-5. まとめ

研究 I の目的は、主成分分析を用いて PW と一般歩行の違いを明らかにすることとした。対象は PW の指導資格を有する女性 4 名と一般女性 10 名とした。光学式三次元動作分析装置と床反力計を用いて歩行分析を行った。分析では膝・股関節に着目し角度と関節モーメントを比較した。主成分分析によって算出された主成分得点をウェルチの t 検定を用いて群差を検定した。有意水準は 5%未満とした。結果、PW では荷重応答期における膝関節の屈曲角度と伸展モーメントが有意に小さいこと、および立脚中期から後期で股関節外転モーメントが有意に大きいことが分かった。PW の重要な特徴として、荷重応答期における

膝関節の軽度屈曲が抑制されること,同相での伸展モーメントの発揮が小さいこと,立脚中期から後期において股関節外転モーメントの発揮が大きいこと, および両脚支持相の時間割合が大きいことが挙げられた.

III. PW の審美性の解明 (研究 II)

III-1. 目的

PW を含む多様な歩行の動作データを取得し、①アンケート調査から美しいと認識される歩容の特徴を矢状面と前額面の2方向から抽出する。②得られた特徴と PW の動作特徴を比較し、PW の審美性について考察する。

III-2. 方法

III-2-1. 対象と計測方法

歩行動作データの取得にあたって、被験者はポスチャースタイリスト(ポスチャーウォーキング実践3年以上指導者の資格を持つ:以下 PS)と一般人の50名(32~80歳の男女,男性12名,女性38名;身長:163.0±7.5 cm, 体重:56.6±9.7 kg, 年齢:55.6±10.6歳)とした(図 III-2-1)。

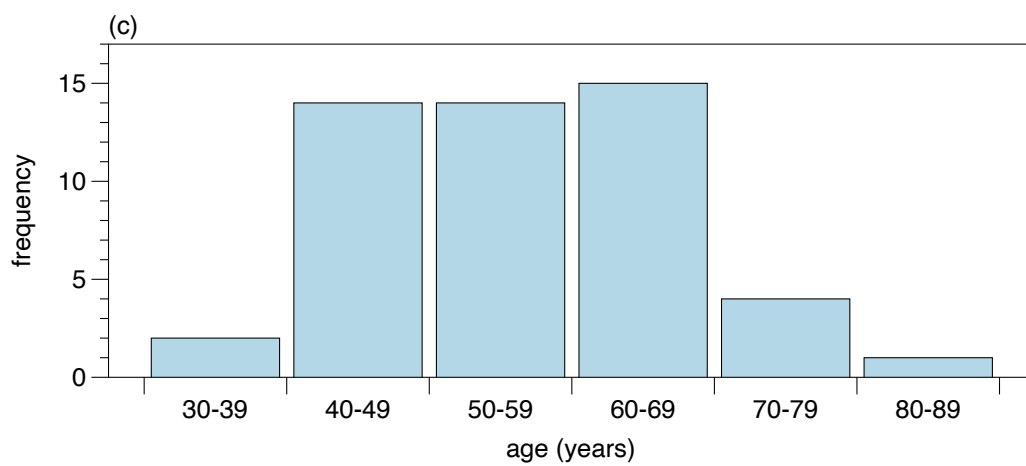
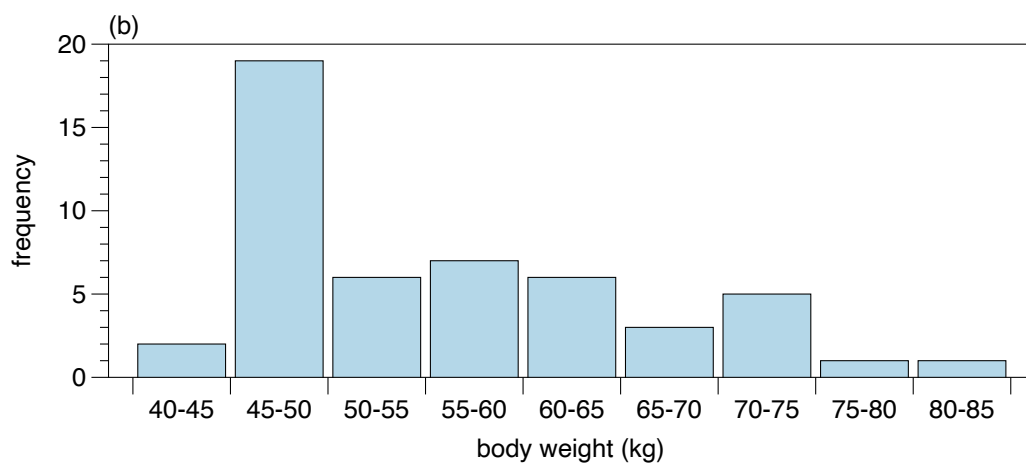
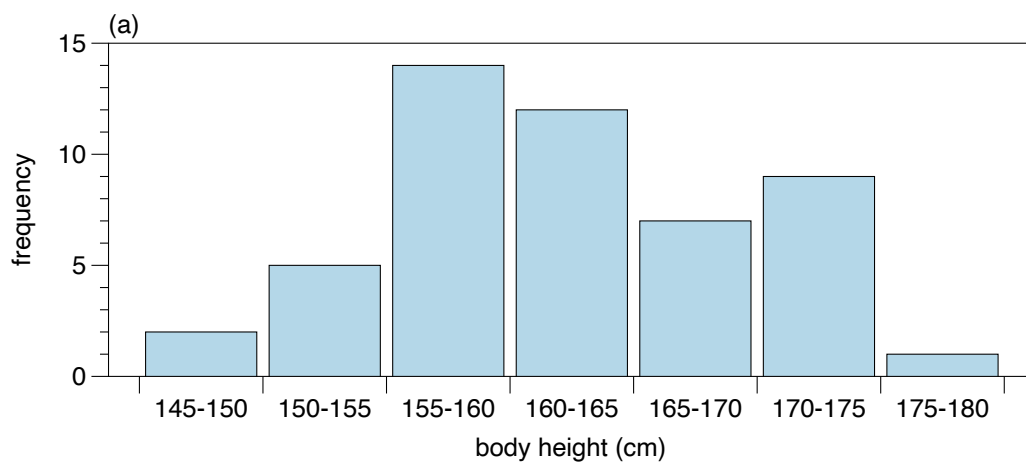


図 III-2-1 歩行動作データの被験者の(a)身長・(b)体重・(c)年齢のヒストグラム

III-2-2.歩行計測

計測は令和4年4月11日東京体育館にて実施した。PSを含む健常な成人50名に室内を普通の服装で10メートルの歩行を一試行させた。被験者には靴を履いた状態で歩行させた。被験者には、研究の趣旨を口頭で説明し、同意を行ったうえで、参加いただいた。計測前に「普段通りに歩いてください」と指示し、姿勢や歩行速度、ストライド長、視線を規制する指示は行わず、被験者自身に委ねた。事前の歩行練習も行わなかった。歩行開始地点は統一した。歩行速度の加速、減速の区間を除外するために、歩行スタートはスタート地点のカメラの設置場所より3メートルほど手間とし、終了地点にあるカメラの前で、減速しないで歩き抜けてもらった。

被験者の動作計測ではマーカレスモーションキャプチャを使用し測定した。このシステムは、光学式のモーションキャプチャとは異なり、皮膚に貼付するマーカを使用せずマルチビデオで動作分析する方法である。そのため、計測には反射マーカ等のマーキングを必要としないため普段着やユニフォームのままの計測が可能である。多くの場合2Dビデオカメラまたは深度センサーと機械学習アルゴリズムの組み合わせを使用し行われる。Theia3Dソフトウェアは、標準的なビデオカメラの二次元データを使用して、身体の三次元モデルを推定する機械学習ベースのマーカレスモーションキャプチャシステムである。ヒトの動作を撮影した映像データから、剛体トラッキングと逆運動学にもとづいた骨格や関節角度の定義を行い、バイオメカニクス研究で利用可能な3次元モデルを自動作成する²¹⁾。マーカを使用しないため、計測結果が検者の触診技術に依存せず、マーカの貼付位置やスキムムーブメント等の影響を受けない。加えて、Theia3Dでは一般的なビデオ映像を用いて動作計測・分析を行うため、実験室での使用に限定されず、屋内外に関わらず実際の動作環境下で計測が可能となる。Theia3Dの信頼性については、歩行におけるマーカベースモーションキャプチャとの比較において、下肢関節角度での類似したパターンおよび高い信頼性が確認されている。

マーカレスカメラシステムのビデオカメラ10台（RX0II, Sony Corp., Tokyo, Japan）（図III-2-2）とカメラコントロールボックス（CCB-WDI, Sony Corp., Tokyo, Japan）を使用し、全てのカメラで被験者を撮影できるように歩行路の周辺に配置し、サンプリング周波数120Hzで撮影した（図III-2-3, 図III-2-4）。

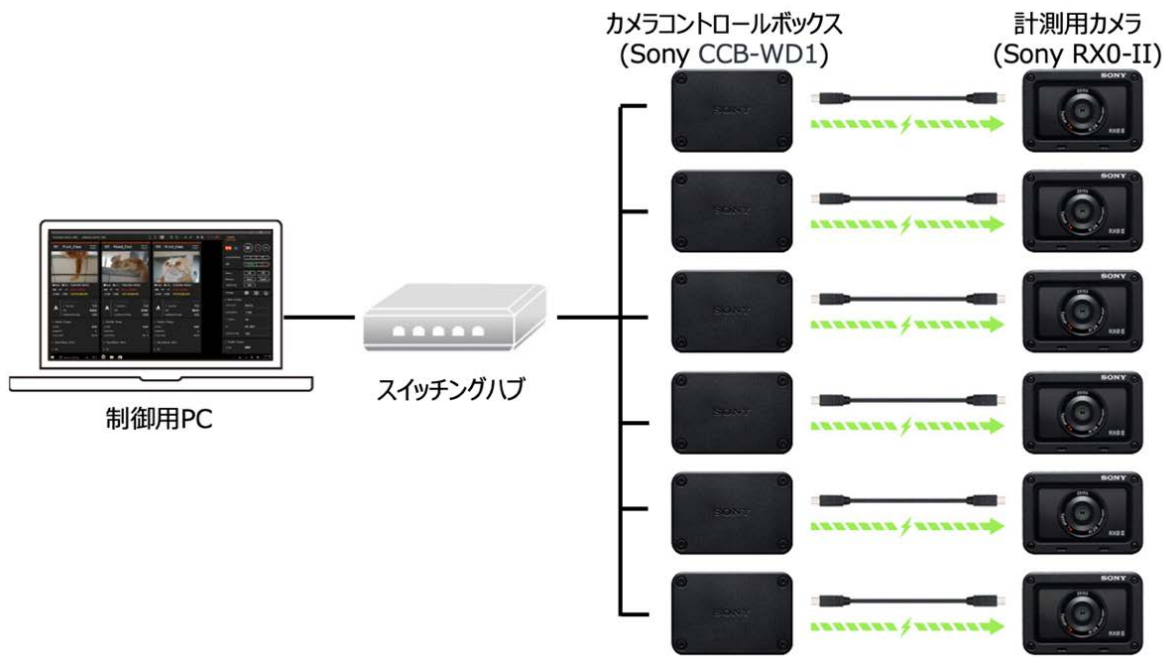


図 III-2-2 録画システムの構成図

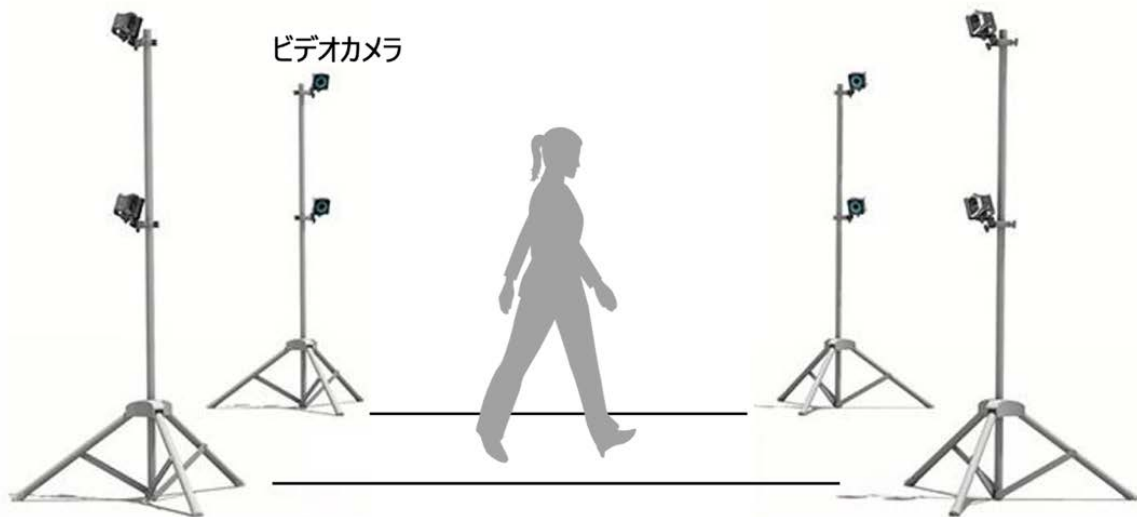


図 III-2-3 ビデオカメラ設置のイメージ図.歩行路の周辺に三脚でカメラを固定している



図 III-2-4 Theia3D アプリの分析結果. アプリの分析によって映像内のヒトが認識され,長方形の枠で囲われている.複数台のカメラの分析結果から,映像内でメインとなるヒトをアプリが認識し,骨格モデル(青色)が当てはめられて表示されている.

III-2-3. 信号処理

Theia3D は, 深層学習アルゴリズムに基づくマーカレスモーションキャプチャのアプローチである. 同期・校正されたビデオカメラの配列により, 被験者の三次元 (3D) ポーズ推定を行う. カメラは 2D ビューが重なるように配置され, 適切な 3D キャプチャボリュームを確立し, 寸法が既知のキャリブレーションオブジェクトを使用してグローバル 3D 空間での位置を決定するためにキャリブレーションされる²²⁾. 次に, ビデオデータが記録されている間に, 被験者は好きな服を着て物理的なタスクを実行する. これらのデータは Theia3D ソフトウェアで処理され, 深層畳み込みニューラルネットワークを使用して, 2D カメラビュー内の人間の特徴認識を行い, フレームごとに特定の解剖学的特徴を識別して位置を特定することができる. また, 外部カメラキャリブレーションパラメータを用いて各カメラの三次元位置を決定し, 二次元映像からの推定値に基づいて各ランドマークのグローバルな三次元位置を計算することができる. 最後に多関節マルチボディモデルをランドマークの三次元位置に適用し, 身体タスク中の被験者の三次元ポーズを推定する. この逆運動学モデルは, 17 個のセグメントからなり, 足首に 3 自由度, 膝に 2 自由度 (屈曲・伸展, 外転・内転) 股関節に 3 自由度, 肩に 3 自由度, 肘に 2 自由度 (屈曲・伸展, 内・外旋), 手首に 2 自由度 (屈曲・伸展, 橈尺骨偏位), となっており, これらの自由度により,

被験者の三次元姿勢を推定する。姿勢推定された動作データから、一歩行周期を切り出して解析の対象とした。一歩行周期は、左右いずれかの足の踵が床に接地した時点から、再び同側の踵が接地するまでのことを指す。Theia3D の分析結果から、2～3 周期分の歩行動作を分析した。

次に、Theia3D 出力ファイル（.c3d ファイル形式の動作データ）を動作分析用アプリケーション Visual3D で読み込んだ。Visual3D では、アンケート調査用のビデオの作成と重心位置や関節角度等の計算を行った。

まず、アンケート用のビデオの作成にあたっては、50 個の歩行データをランダムに並べ替え、5 グループに分けた。1 グループにつき 10 個の歩行データが含まれることになる。歩容に対する印象は個人の服装や表情、体格等によって影響されると考えられたため、Visual3D を用いて CG の骨格アニメーションでビデオを作成した。矢状面および前額面のビデオを作成した（図 III-2-5）。

次に、それぞれの歩行データから歩行分析の基本データである、歩行速度（speed）、ストライド長（stride length）、歩隔（stride width）、歩行周期（cycle time）および両脚支持時間（double limb support time）を算出した。また、計測対象者の体重を基に、身体部分（セグメント）の質量および重心位置から身体重心座標を求めた。重心座標に対する関節座標（股・膝・足関節、肩・肘・手関節）や体幹部および頭部重心の相対座標を求めた。一歩行周期における関節位置の移動軌跡を矢状面および前額面でプロットしたキネマトレースを作成した。関節角度については、オイラー角を用いて股関節角度、膝関節角度および足関節角度とグローバル座標系に対する体幹部の角度を算出した。重心位置や角度データについては、平滑化フィルター（GCVSPL filter, error variance = 0.0001 m²）を適用した²³⁾。

最後に、アンケート結果から最も美しいと認識された歩容と PW および一般歩行（WALK）でグループ分けし、上述の算出データと同じものを求めて比較し、PW の審美性について考察する。

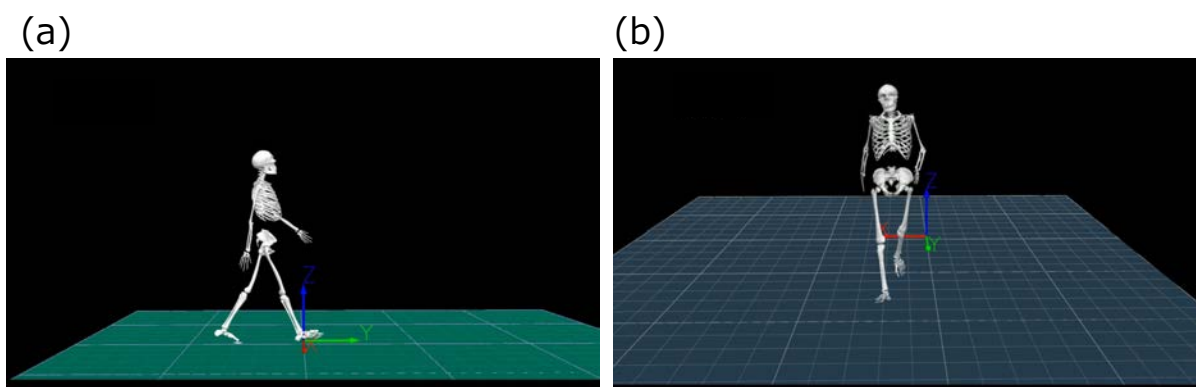


図 III-2-5 アンケート用に作成されたビデオの例.(a)矢状面調査用, (b)前額面調査用

III-2-3. アンケート調査

作成されたアンケート用ビデオを用いて,歩行の審美性についてのアンケート調査を行った.評価者数は,矢状面ビデオでは 166 名,前額面ビデオでは 175 名であった.評価者の性別や年代の内訳を表 III-2-1 に示す.

表 III-2-1 アンケート用ビデオと評価者の内訳

	矢状面ビデオ	前額面ビデオ
歩行データ数	50	41
身長(cm)	163.0±7.5	162.5±7.4
体重(kg)	56.6±9.7	56.8±9.6
年齢(歳)	55.6±10.6	54.5±10.9
評価者数	166名	175名
性別	男性 : 82名、女性 : 84名	男性 : 81名、女性 : 94名
年代	10代 : 66名	10代 : 103名
	20代 : 90名	20代 : 63名
	30代 : 3名	40代 : 8名
	40代 : 6名	50代 : 1名
	80代 : 1名	

III-2-4. 評価項目

バレエダンサーの歩行特徴を解明した先行研究¹¹⁾では,寄与率が 50%以上の歩行に対する評価因子では「綺麗である」「勢いがある」「女性らしい」「疲れている感じがする」「子供っぽい」「男性らしい」の 6 項目を評価していたが,本研究では「美しさ」の評価抽

出が目的であることと、被験者の疲労と評価時間を考慮し「美しい」「勢いがある」「疲れている」の計3項目を評価項目として選定した。評価項目毎に、「非常にそう思う・そう思う・そう思わない・全くそう思わない」の4段階評価を設定した。なお、本研究では審美性つまり「美しいと見えるかどうか」のみを調査することが目的であったため、「勢いがある」「疲れている」の2項目については、今回は調査対象とはしなかった。

III-2-6. アンケート手順

アンケート評価者は矢状面または前額面ビデオを視聴し、上記3つの評価項目（美しい・勢いがある・疲れている）に対し、4段階（非常にそう思う・そう思う・そう思わない・全くそう思わない）で評価を行った。ビデオ再生に際しては、評価者の評価が完了するまで繰り返し再生した。調査方法には、Microsoft Forms（Microsoft社製）で作成したweb回答フォームを用いた（図 III-2-6）。

2.1人目 *

	全くそう思わない	そう思わない	そう思う	非常にそう思う
美しい	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
勢いがある	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
疲れている	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

図 III-2-6 回答フォームの例。評価者はビデオを繰り返し確認し、「美しい」・「勢いがある」・「疲れている」の3項目について、4段階で評価を行う。

III-2-7. アンケートの分析方法

矢状面または前額面ビデオを用いたアンケート調査の結果から、審美性（「美しい」の項目）の観点から4つのグループに分けた。4段階評価に以下の点数を設定し、各歩行データの美しさポイントの平均値を算出した。

- ・非常にそう思う:4点
- ・そう思う:3点

- ・ そう思わない:2 点
- ・ 全くそう思わない:1 点

次に,算出した平均より 4 つのグループ分けを以下のように行った.

- ・ A グループ:3.0~4.0 点以下 (最も美しいと評価されたグループ)
- ・ B グループ:2.5~3.0 点以下
- ・ C グループ:2.0~2.5 点以下
- ・ D グループ:1.0~2.0 点以下 (最も美しくないと評価されたグループ)

III-2-8. 統計解析

グループ間の比較では, Speed (歩行速度), Stride Length(ストライド長), Stride Width (歩隔), Cycle time (歩行周期), Double limb support time (両脚支持時間) の 5 つの歩行要素とした.ただし, Double limb support time については,一歩行周期に 2 回の両脚支持期 (右足から左足へ/左足から右足への荷重の受け継ぎ) があるが,本研究では両方の値の平均値を求め,1 回分の両脚支持時間として算出した.検定手法については Kruskal-Wallis (クラスカル・ウォリス) 検定を用いて群間差を評価した.この検定は,順位を用いたノンパラメトリック検定の一つで,対応のない 3 つ以上のグループ間の差の有無について調べる検定である.ポストホックテストでは Scheffe の方法により多重比較を行った.この検定は,3 つ以上の群相互の母平均の有意差を調べる対比較の検定と,複数の項目を 2 グループに分けて 2 グループの平均値の有意差を調べる対比の検定が行える方法である.有意水準を $p < 0.05$ とした.

PW と一般歩行の比較に関しては,Speed (歩行速度),Stride Length(ストライド長),Stride Width (歩隔),Cycle time (歩行周期),Double limb support time (両脚支持時間;) の 5 つの要素についてマン・ホイットニーの U 検定を用いて比較した.有意水準は 5%未満とした.

キネマトレースや関節角度等の時系列データに関しては,視覚的な歩容を確認するにとどめ,今回は検定を行わなかった.

III-3 結果

III-3-1 歩行の基本データについて

アンケートの結果より,各グループにおける度数分布を図 III-3-1 に示す.最も美しいと評価された A グループ (3.0~4.0 点以下) は矢状面調査では 3 名,前額面調査では,5 名であった.B グループ (美しいと評価されたグループ) は,矢状面調査では 15 名,前額面調査では 13 名であった.以下,C グループは矢状面・前額面調査でそれぞれ 22 名と 12 名,D グル

ープではそれぞれ 10 名であった。 A～D グループの歩容の例として、矢状面調査によるグループ分けによる各グループから 1 名ずつ抽出し、連続写真を図 III-3-2 に示す。

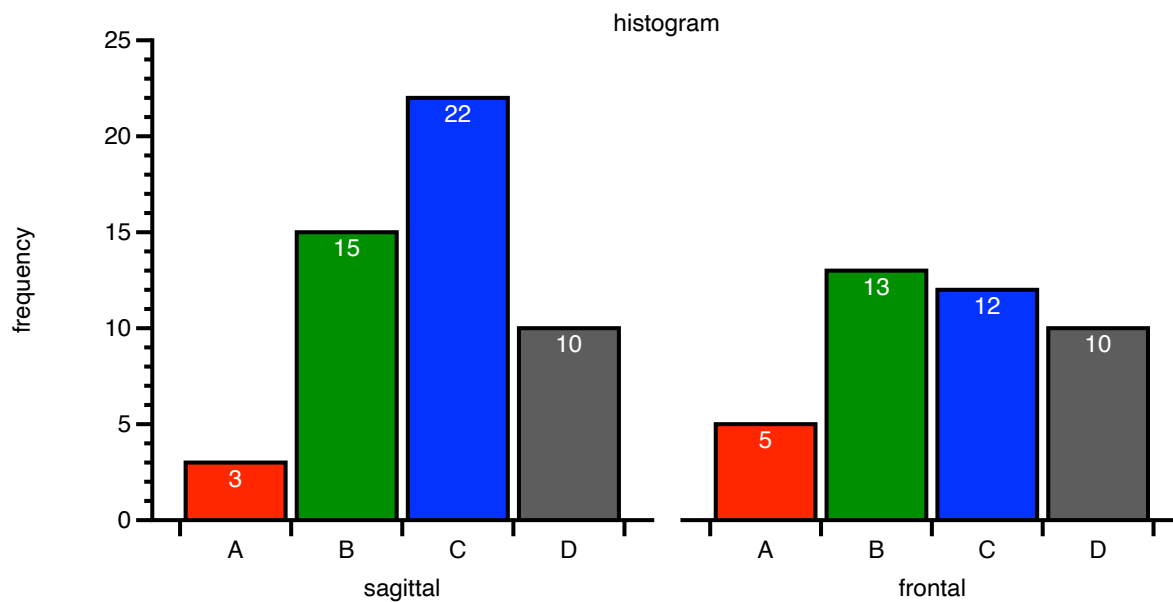


図 III-3-1 アンケート調査結果から、各グループにおける度数分布図。(左図; sagittal) 矢状面ビデオで評価した結果、(右図; frontal) 前額面ビデオで評価した結果

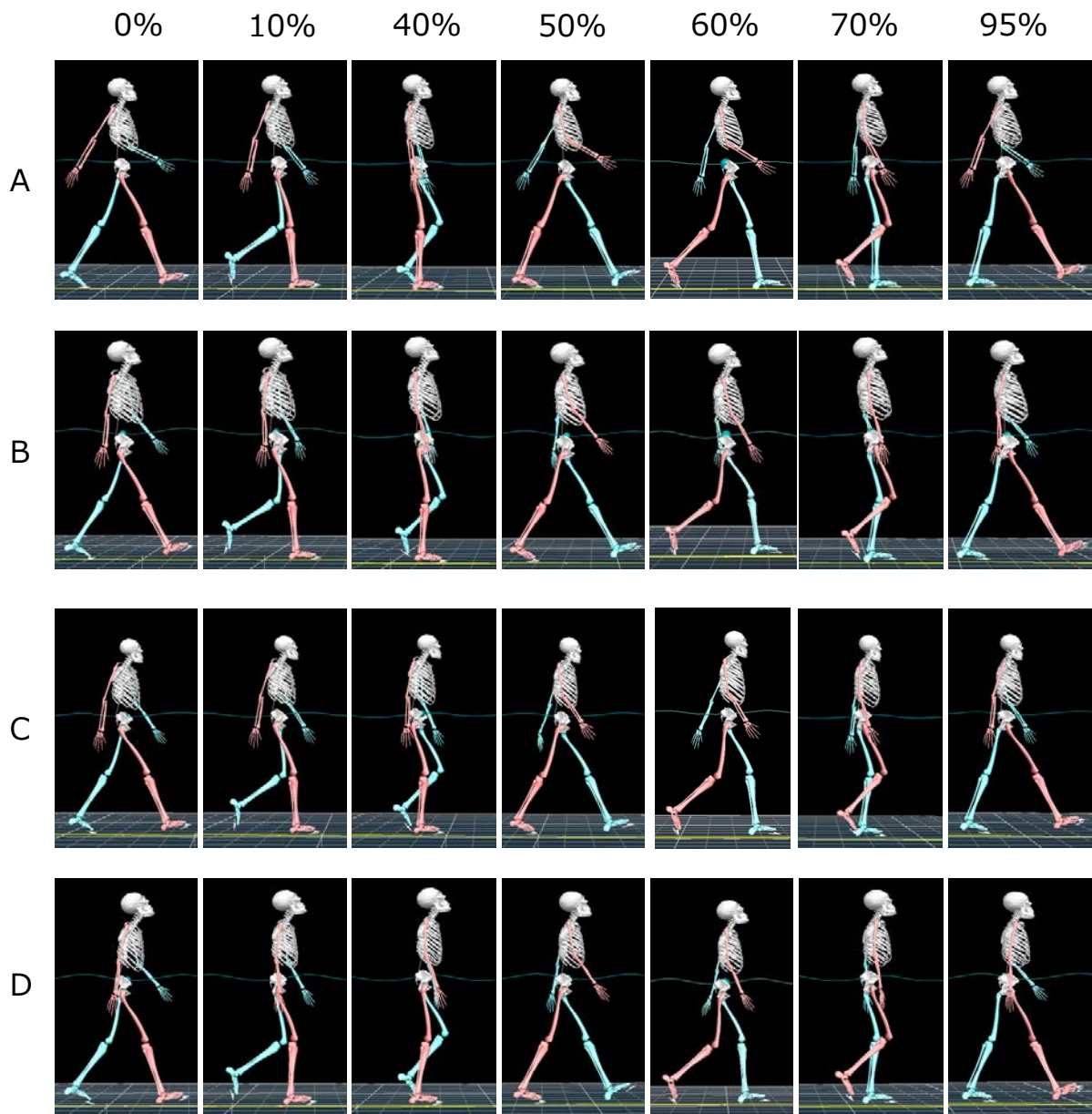


図 III-3-2 各グループの歩容の一例.矢状面調査によるグループ分けにより,各グループから1名ずつ抽出し,連続写真を作成.図の上部のパーセント表示は,一歩行周期に対する時間割合を示す.

次に,各グループの Speed (歩行速度), Stride Length(ストライド長), Stride Width (歩隔), Cycle time (歩行周期), Double limb support time (両脚支持時間) を比較した結果を 図 III-3-3～図 III-3-7 に示す.

Speed（歩行速度）に関しては、矢状面調査および前額面調査において、評価の高い A 群から低い群に向けて速度が遅くなる傾向が観察されたが、どの群間においても有意差は認められなかった(図 III-3-3).

Stride length（ストライド長）は、矢状面調査において、最も美しいと評価された A グループが B, D グループよりも有意に大きかった ($P<0.05$) .一方、前額面調査では、B,C グループ間で有意差が認められたが、明確な傾向は確認されなかった(図 III-3-4).

Stride Width（歩隔）では、前額面調査においてグループ間に明確な傾向が確認され、最も美しいと評価された A グループは小さく、最も美しくないと評価された D グループは大きかった.複数のグループ間で有意差が認められた.一方で、矢状面調査では、明確な傾向は確認されなかった(図 III-3-5).

Cycle time（歩行周期）では、矢状面調査および前額面調査において、同様の傾向が確認され、評価の高い A グループから評価の低い D グループになるにつれて、値が小さくなる傾向が確認された.複数のグループ間で有意差が認められた(図 III-3-6).

Double limb support time（両脚支持時間）では、矢状面調査および前額面調査において、同様の傾向が確認され、評価の高い A グループから評価の低い D グループになるにつれて、値が小さくなる傾向が確認された.複数のグループ間で有意差が認められた(図 III-3-7).また、一歩行周期に対する時間割合は、矢状面調査では、A グループで 13.2%、B グループで 12.2%、C グループで 12.0%および D グループで 11.7%であった.前額面調査では、それぞれ 13.2%、12.6%、10.1%および 10.7%であった.A グループ(最も美しい)から D グループ(最も美しくない)になるに従って一歩行周期に対する両脚支持の時間割合が減少していた.

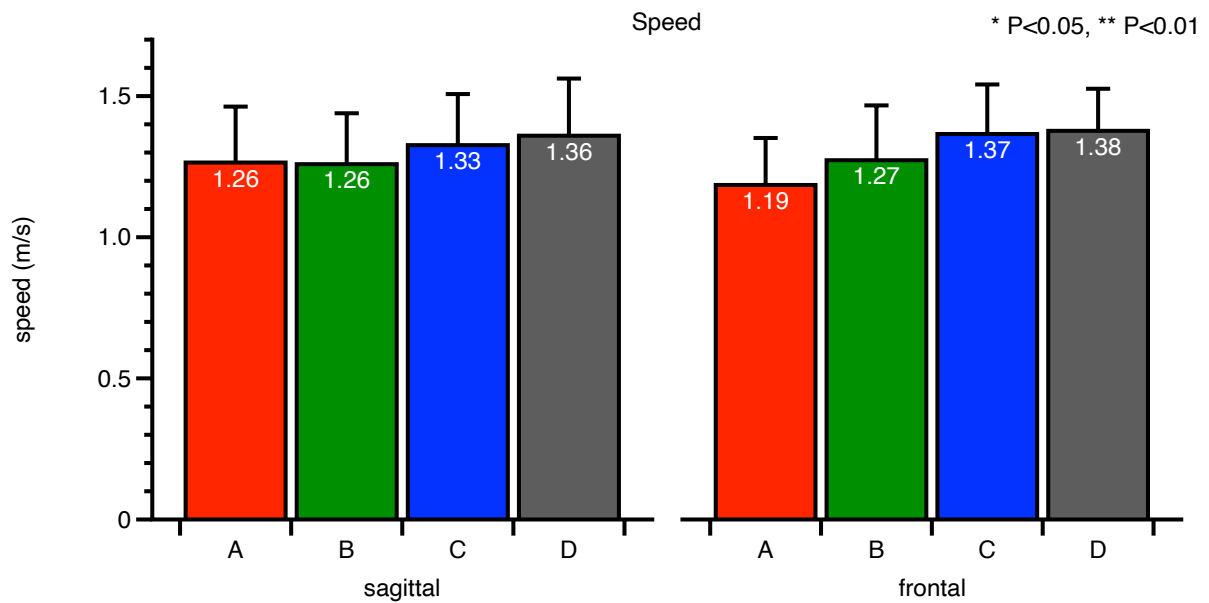


図 III-3-3 Speed (歩行速度) のグループ間比較. (左図; sagittal) 矢状面ビデオで評価した結果, (右図; frontal) 前額面ビデオで評価した結果.

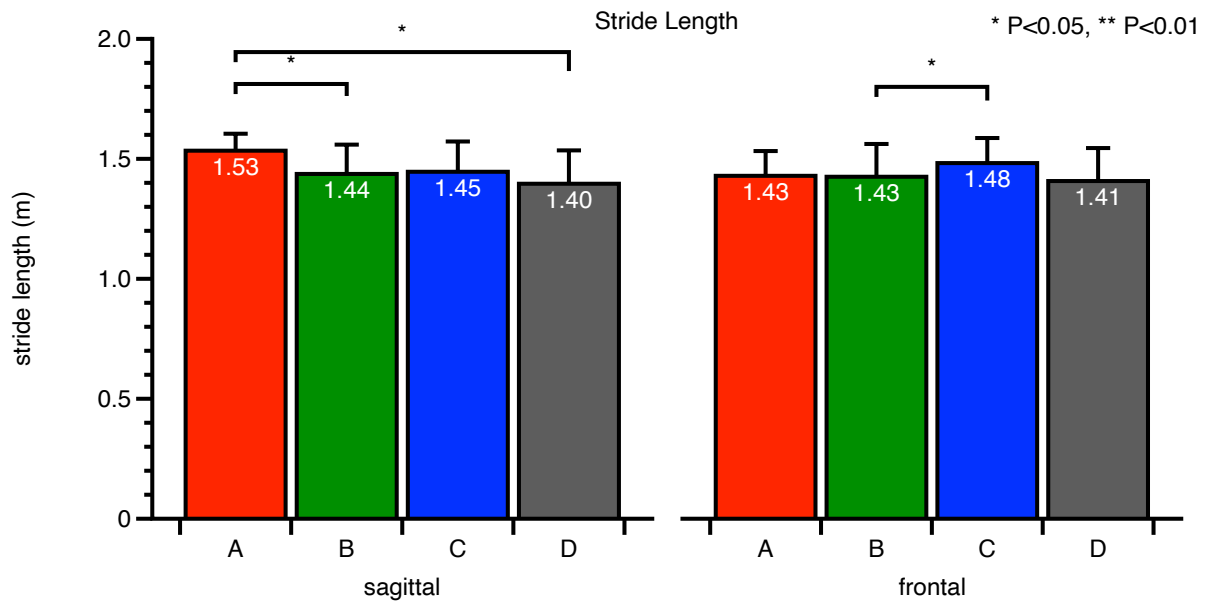


図 III-3-4 Stride Length (ストライド長) のグループ間比較. (左図; sagittal) 矢状面ビデオで評価した結果, (右図; frontal) 前額面ビデオで評価した結果.

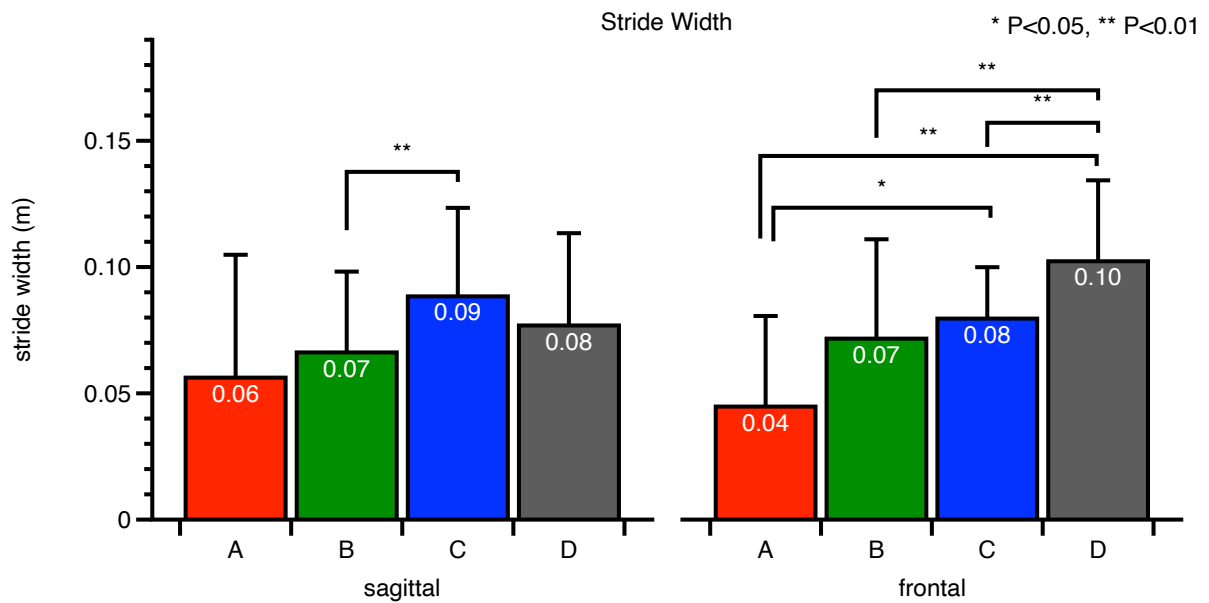


図 III-3-5 Stride Width (歩隔) のグループ間比較. (左図; sagittal) 矢状面ビデオで評価した結果, (右図; frontal) 前額面ビデオで評価した結果.

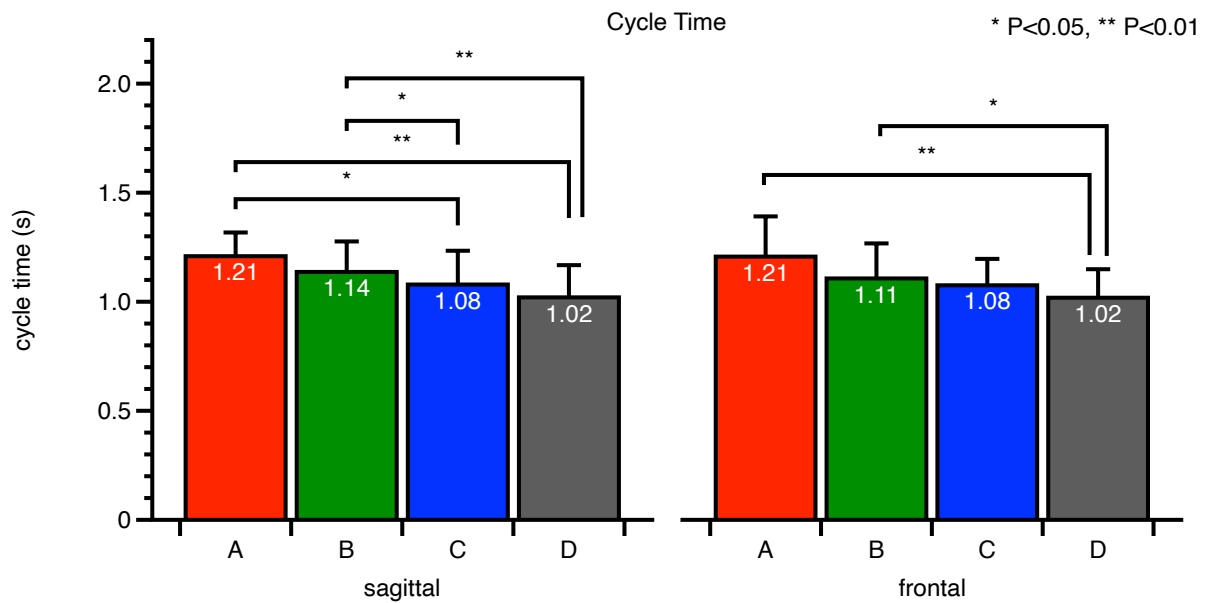


図 III-3-6 Cycle time (歩行周期) のグループ間比較. (左図; sagittal) 矢状面ビデオで評価した結果, (右図; frontal) 前額面ビデオで評価した結果.

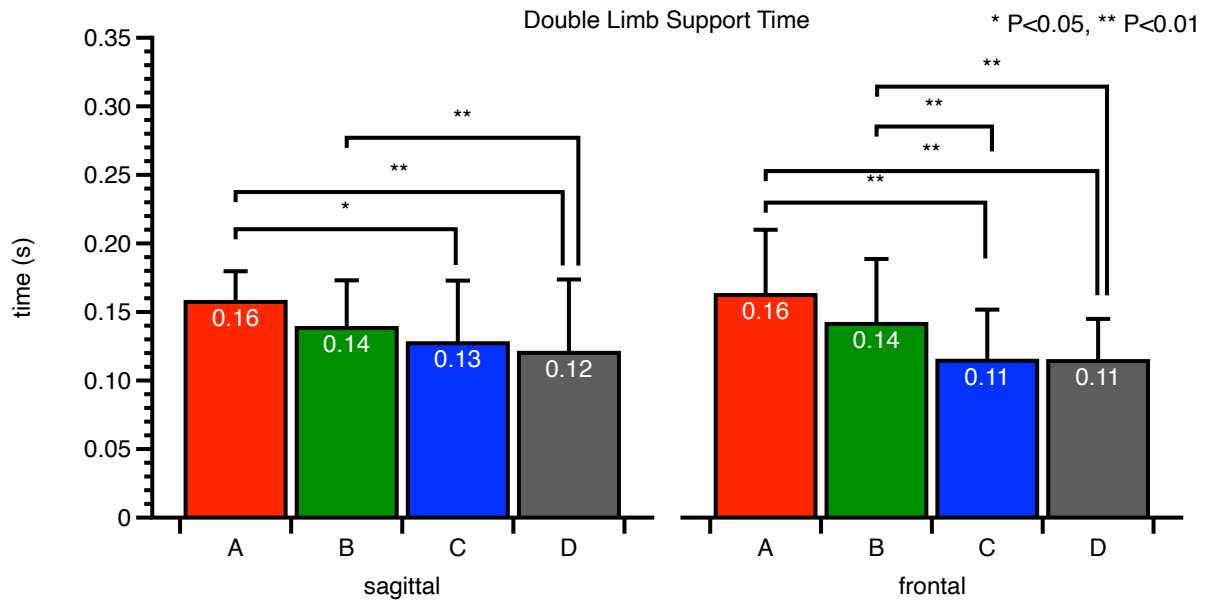


図 III-3-7 Double limb support time (両脚支持時間) のグループ間比較. (左図; sagittal) 矢状面ビデオで評価した結果, (右図; frontal) 前額面ビデオで評価した結果. 一歩行周期に 2 回ある両脚支持期の平均時間を求め, 1 回分の両脚支持時間として算出している.

III-3-2. キネマトレース観察による A グループの歩容の特徴抽出

次に、キネマトレースのイメージ（図 III-3-8）および各グループのキネマトレースを図 III-3-9～図 III-3-10 に示す。各データのプロット座標は身長で規格化されている。矢状面調査および前額面調査から、D グループ（もっとも美しくない）から A グループ（最も美しい）になるに従って、次の特徴が観察された（表 III-3-1）。A グループの特徴をより明確に示すために、図 III-3-11 に矢状面調査と前額面調査のキネマトレースから A グループと D グループを重ね合わせた図を再掲した。

表 III-3-1 キネマトレースから観察された A グループ（最も美しい）の歩容の特徴

矢状面調査から	前額面調査から
頭部位置がより後方にある。	肩、肘、手首の位置がより内側にある
肩関節位置がより後方にある。	膝関節、足関節の位置がより内側にある
肘、手首（手関節）の振れ幅が大きく、後方への振れ幅が大きい	
膝関節、足関節の振れ幅が大きい	
足関節位置がより下方にある。	

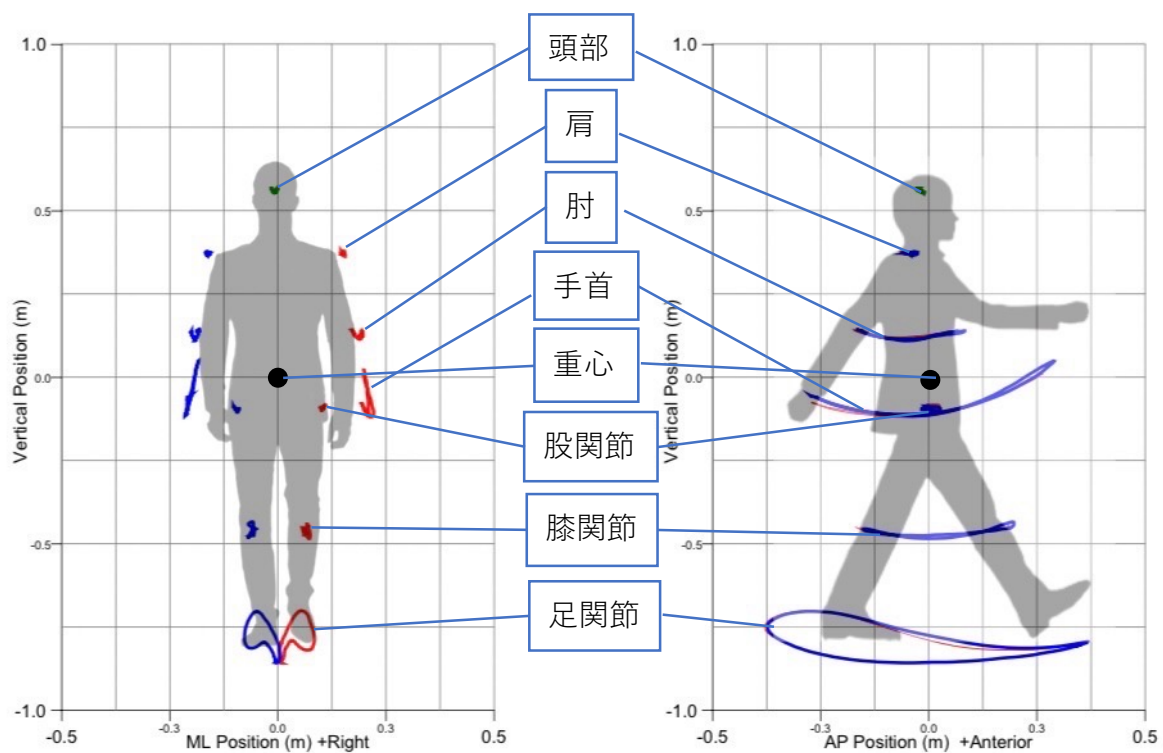


図 III-3-8 キネマトレースのイメージ.人物のシルエットはイメージ.キネマトレースとは, 重心座標 (0,0) に対する関節座標 (股・膝・足関節・肩・肘・手関節) や体幹部および頭部重心の相対座標を求めた.一歩行周期における関節位置の移動軌跡を矢状面および前額面でプロットしたものである.

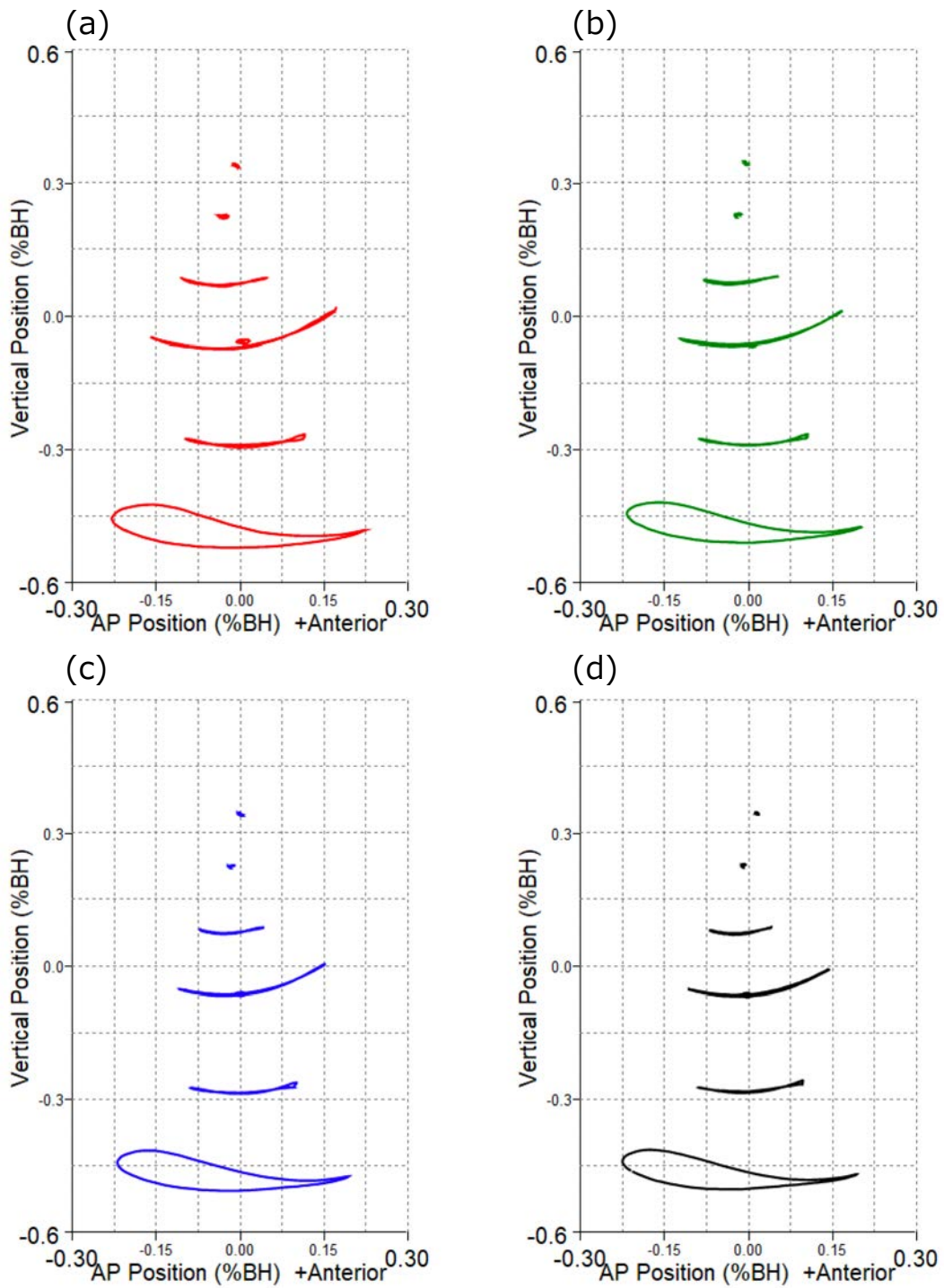


図 III-3-9 矢状面調査による各グループのキネマトレース. 各データのプロット座標は身長で規格化されている.(a) A グループ (最も美しいと評価されたグループ) ,(b) B グループ,(c) C グループ,(d) D グループ (最も美しくないと評価されたグループ) .キネマトレースの見方は図 III-3-7 を参照.

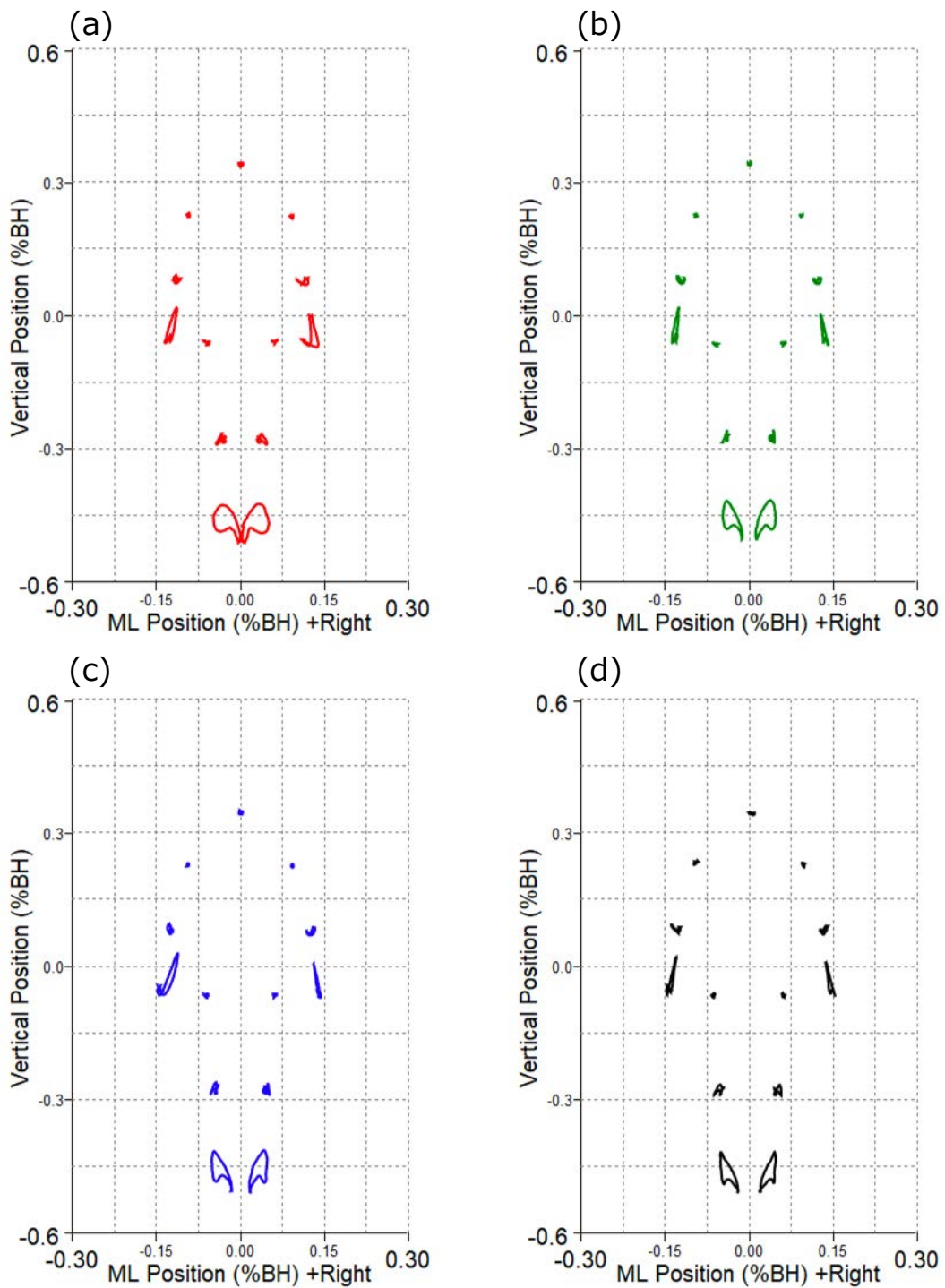


図 III-3-10 前額面調査による各グループのキネマトレース. 各データのプロット座標は身長で規格化されている.(a) A グループ (最も美しいと評価されたグループ) ,(b) B グループ,(c) C グループ,(d) D グループ (最も美しくないと評価されたグループ) .キネマトレースの見方は図 III-3-7 を参照.

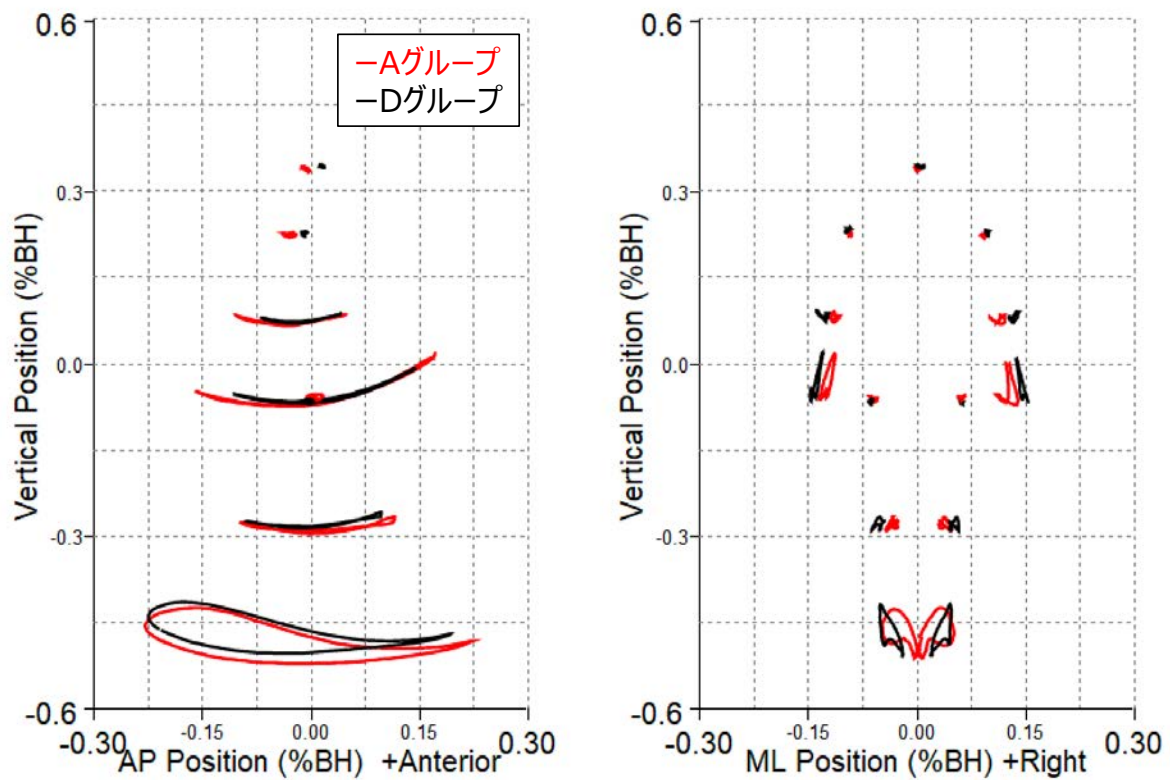


図 III-3-11 A グループ（赤）と D グループ（黒）のキネマトレースを重ね合わせた図.各データのプロット座標は身長で規格化されている.（左図）矢状面調査結果の比較（図 III-3-8 (a), (d) の再掲）,（右図）前額面調査結果の比較（図 III-3-9 (a), (d) の再掲）.キネマトレースの見方は図 III-3-7 を参照.

III-3-3. PW グループ,A グループおよび一般歩行 (WALK) の比較

ここでは,PW グループと一般歩行 (以下,WALK) ,および PW グループと A グループについて,比較した結果を示す.両グループの身長,体重および年齢を表 III-3-2 に示す.体重と年齢に関しては両グループ間に有意差が認められ,一般歩行グループの方がいずれの値も大きかった ($P<0.05$) .

表 III-3-2 PW グループと一般歩行グループの被験者の身体情報

	PWグループ	一般歩行 (WALK)	P
歩行データ数	19	31	
身長(cm)	163.7±5.6	162.6±8.5	0.64
体重(kg)	52.8±4.9	59.0±11.2	0.02*
年齢(歳)	48.4±5.5	60.1±10.6	0.00*

* $P<0.05$

まず,PW と WALK を比較するため,アンケート調査から PW と WALK の得点ポイントをプロットした (図 III-3-12) .矢状面調査からは,両者に有意差は認められなかったが,前額面調査からは,両者に有意差が認められ ($P<0.01$) ,PW の方が美しいと評価された.

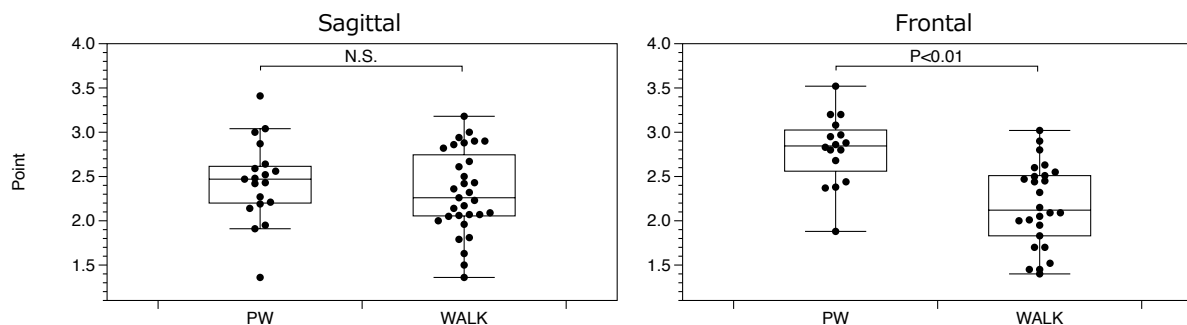


図 III-3-12 PW と一般歩行 (WALK) のアンケート調査の得点分布.矢状面調査によるもの (左図;Sagittal) と前額面調査によるもの (右図;Frontal) .

次に,歩行の基本データである Speed (歩行速度) , Stride Length(ストライド長), Stride Width (歩隔) , Cycle time (歩行周期) , Double limb support time (両脚支持時間) を比較した結果を図 III-3-13 に示す.この図から Speed (歩行速度) ,Stride Width (歩隔) ,Cycle

time（歩行周期）, Double limb support time（両脚支持時間）に有意差が認められた（ $P<0.01$ ）。

PWのWALKのキネマトレースを重ね合わせたものを図 III-3-14 に示す。この図から両グループの歩容の特徴を観察した。矢状面のキネマトレースからは、次の特徴が観察された。①頭部位置や肩関節位置が後方にある。②肘,手首（手関節）の振れ幅が大きく,後方への振れ幅が大きい。③膝関節,足関節の振れ幅が大きい。④接地時（足関節位置が最も前方にある時）に足関節位置がより下方にある。前額面のキネマトレースからは、次の特徴が観察された。①肩,肘,手首の位置がより内側にある。②膝関節,足関節の位置がより内側にある。これらの結果から,PWの歩容特徴が表 III-3-1 に示した A グループ（最も美しい）の特徴と一致していた。

また,PWと A グループ（最も美しい）のキネマトレースを重ね合わせたものを図 III-3-15 に示す。この図から,PWと A グループの各データのトレースが一致している様子が分かる。

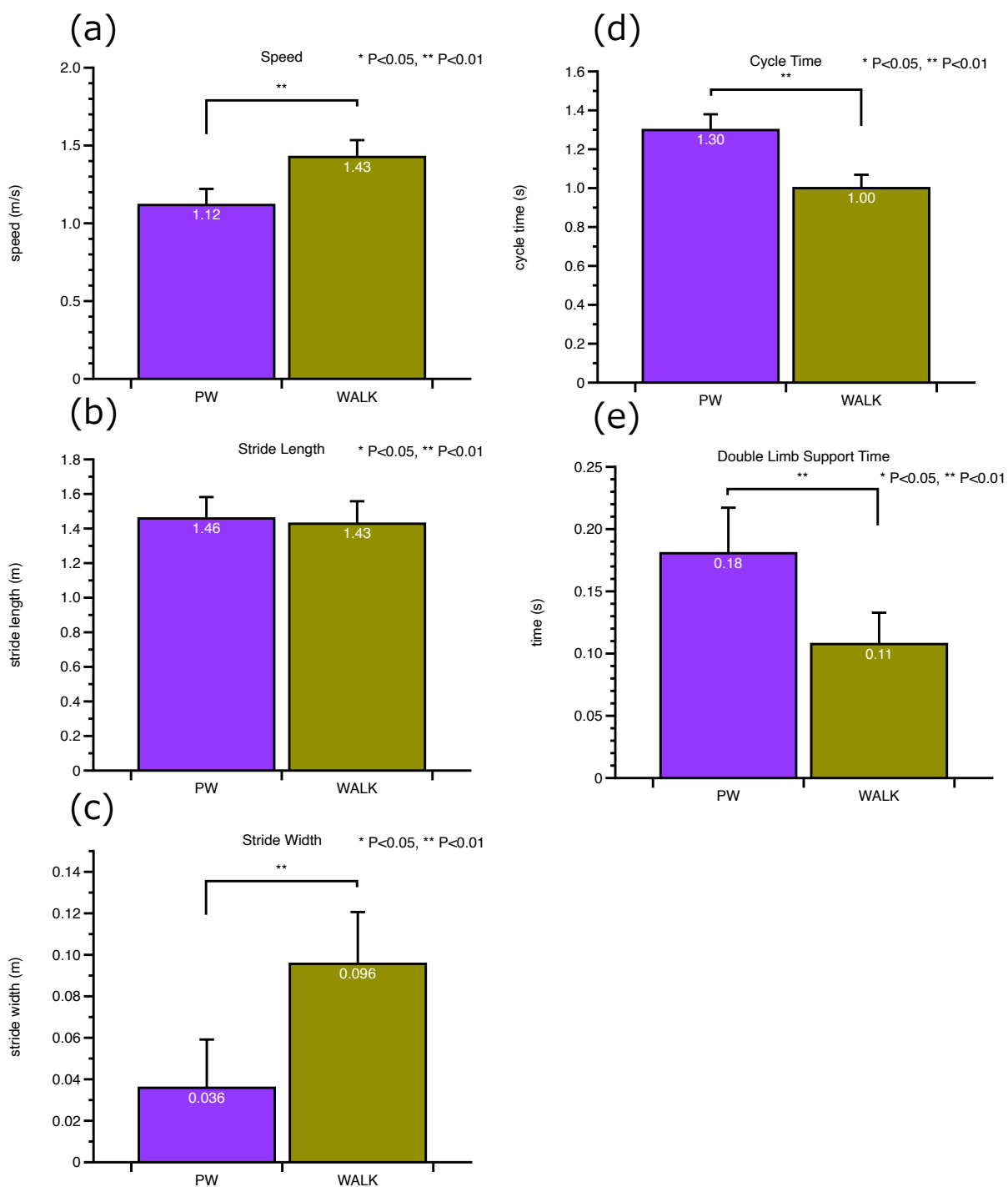


図 III-3-13 PW と WALK の歩行の基本データの比較.(a)Speed (歩行速度) , (b)Stride Length(ストライド長),(c) Stride Width (歩隔) , (d)Cycle time (歩行周期) ,(e) Double limb support time (両脚支持時間) . 一歩行周期に 2 回ある両脚支持期の平均時間を求め, 1 回分の両脚支持時間として算出している.

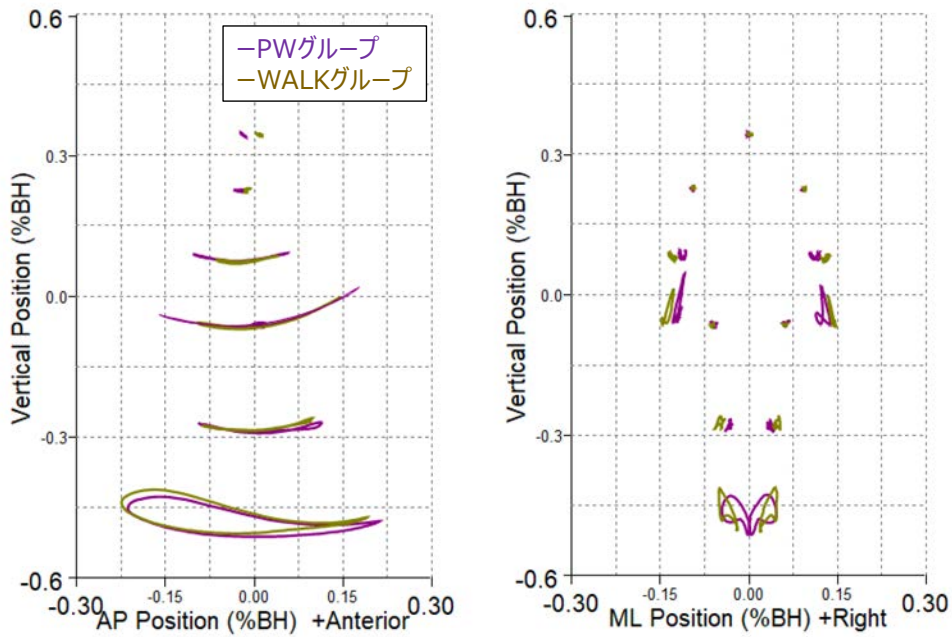


図 III-3-14 PW と WALK のキネマトレースの比較. (左図) 矢状面, (右図) 前額面.キネマトレースの見方は図 III-3-7 を参照.

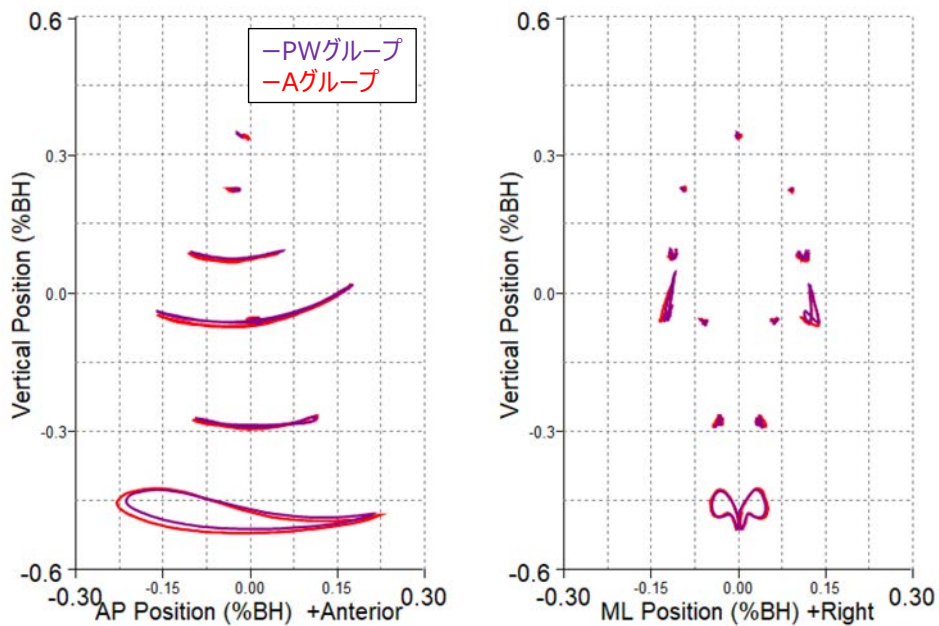


図 III-3-15 PW と A グループ (最も美しい) のキネマトレースの比較. (左図) 矢状面の A グループは矢状面調査結果によるもの, (右図) 前額面の A グループは前額面調査結果によるもの.キネマトレースの見方は図 III-3-7 を参照.

最後に、矢状面調査結果による各グループと PW グループの股・膝・足関節角度および体幹の前後傾角度の一歩行周期の時系列データを図 III-3-16 に示す。この図から各角度データについて、次のことが観察された。

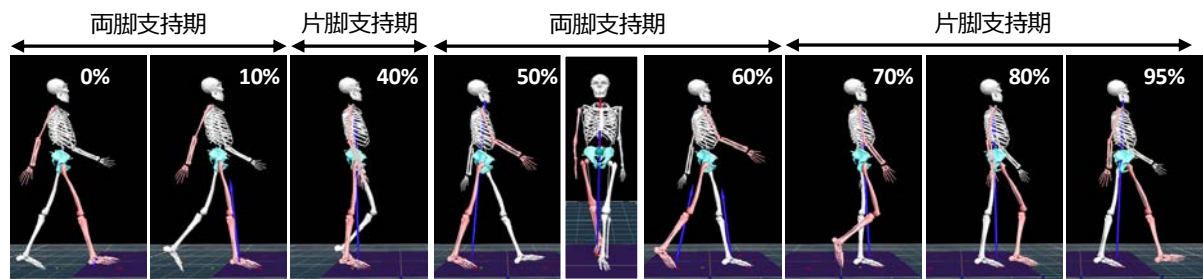
股関節屈伸角度（同図 a）では、50%付近で A グループや PW グループの股関節伸展角度が他と比べて大きいことが確認された。

膝角度伸展角度（同図 b）では、荷重応答期（0～20%付近）において、A グループや PW グループは他のグループに比べて膝関節の屈曲が抑制されていることが観察された。また、両脚支持期（50～60%付近）で、膝の屈曲のタイミングが遅いことも A グループや PW グループの特徴として考えられた。

足関節底背屈角度（同図 c）では、荷重応答期（0-10%付近）において、A グループや PW グループははっきりとした底屈が確認されるが、他のグループではそれが明確ではなかった。

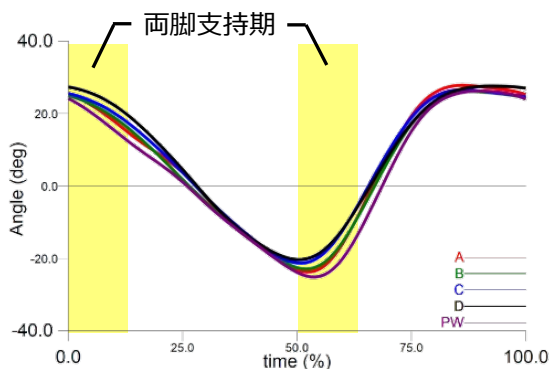
体幹前後傾角度（同図 d）では、A グループや PW グループが歩行周期全般を通してプラスにあることが特徴として観察された。プラスは鉛直線よりも後傾していることを意味する。A（美しい）から D グループ（美しくない）になるに従って、体幹が前傾していくことが読み取れた。

これらの結果から、PW グループや A～D グループの姿勢の違いの多くは、両脚支持期（荷重応答期；0～20%および 50～70%付近）に観察されることが分かる。図 III-3-17 にそれぞれのグループの両脚支持期（荷重応答期）の後半の後ろ足が離地する時点の姿勢の例を示す。この図から PW では、前脚・後脚ともに膝関節が伸展位にあることが観察された。

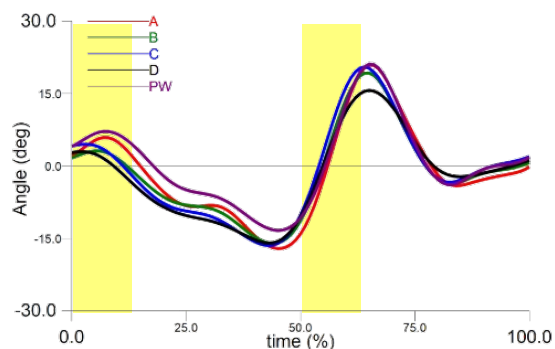


(a) HIP (Flex+)

(c) ANKLE (Plantar Flex+)



(b) KNEE (Flex+)



(d) TRUNK (Backward +)

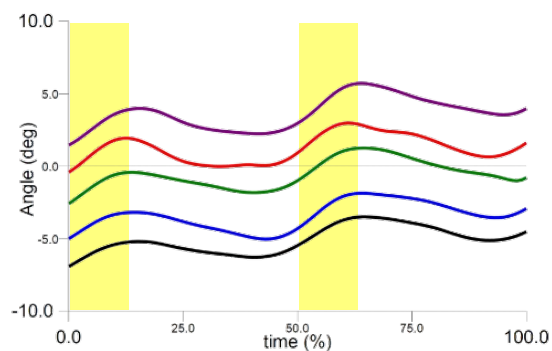
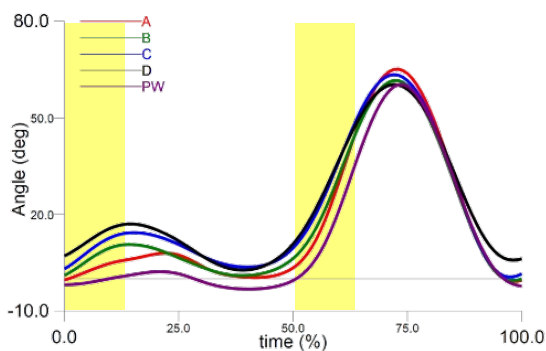


図 III-3-16 歩行の連続写真（上図）と角度の時系列データ（下(a)～(d)図）.A～D グループは、矢状面調査結果によるもの.X 軸の時間は一歩行周期（右足接地から次の右足接地まで；上図の赤でしめされた脚に対応）を表す.図中,黄色ハイライト部は両脚支持期を示す.股関節(a)・膝関節(b)のデータは,右上がり屈曲,右下がり伸張を意味する.足関節(c)のデータは,右上がり底屈,右下がり背屈を意味する.体幹(d)のデータは,鉛直線に対する前後屈を表し,右上がり後傾,右下がり前傾を意味する.プラスは鉛直線よりも後傾していることを,マイナスは前傾していることをそれぞれ意味する.

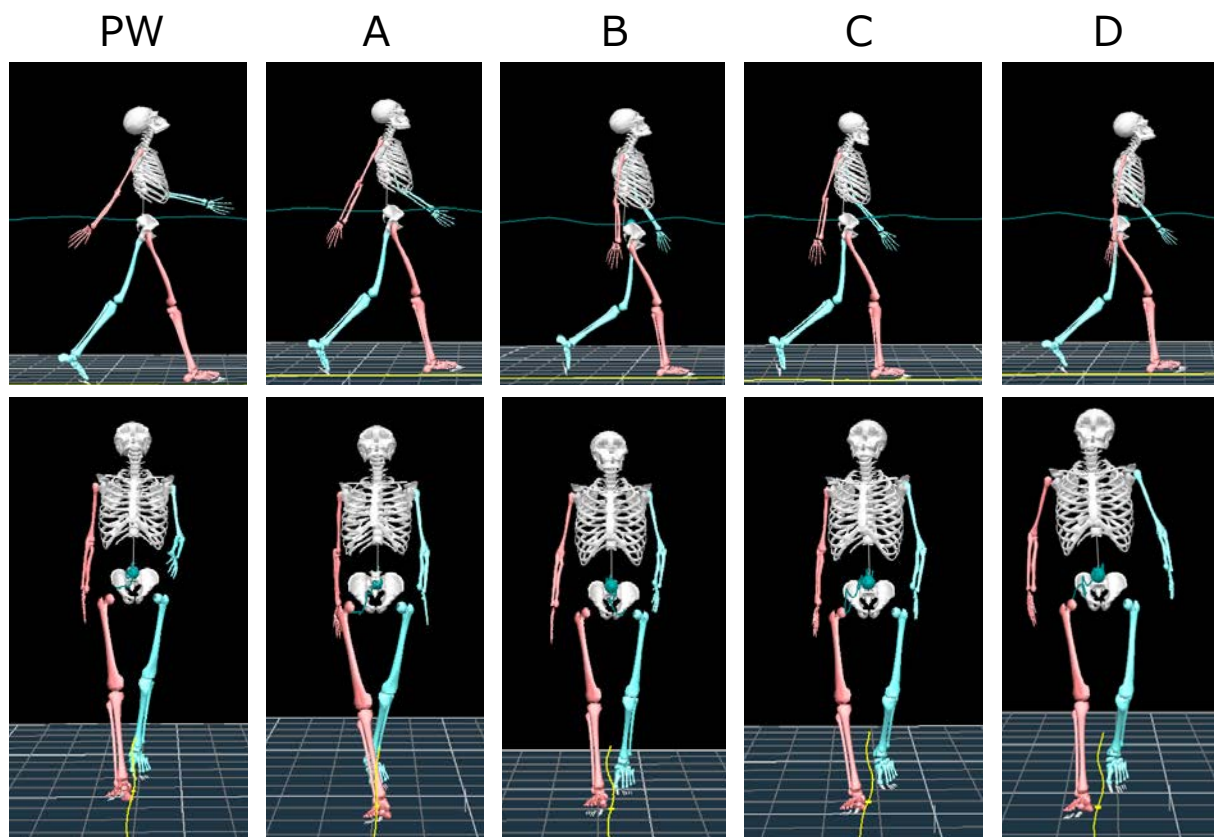


図 III-3-17 両脚支持期（荷重応答期）の後半の後ろ足が離地する時点における姿勢の比較. 各グループから1名ずつ抽出している. 上段は矢状面の姿勢, 下段は前額面の姿勢.

III-4. 考察

III-4-1. アンケート調査結果による4グループの比較について

アンケート調査によって分けられた4グループの比較について、最も美しいと評価されたAグループの特徴として、下記の項目が抽出された(図 III-3-3～III-3-7).

- ① ストライド幅(stride length)が長い.
- ② 歩隔(stride width)が狭い.
- ③ 歩行周期(cycle time)が長い.
- ④ 両脚支持時間(double limb support time)が長い.
- ⑤ 一歩行周期に対する両脚支持の時間割合が長い.

特に、歩隔、歩行周期および両脚支持時間については、複数のグループ間で有意差が認められ、歩容の美しさを決定する重要な項目であることが示唆された。歩行周期については、AグループがC,Dグループに比べて有意に長かったが(図 III-3-6)、歩行速度に関しては、グループ間で有意差が認められなかった(図 III-3-3)。これらの結果と上記のストライド長の結果を合わせて考察すると、美しい歩容では、ストライド長を広くし、ケイデンス(歩行率; 単位時間あたりのステップ数)を小さくしていることが示唆された。

ストライド幅については、キネマトレース(図 III-3-9)からも歩容の違いを観察することができ、Aグループの足関節の前後方向への振れ幅がDグループよりも大きいことが見て取れる(図 III-3-11 左図)。歩隔についても同様に、キネマトレース(図 III-3-10 および図 III-3-11 右図)から、歩容の違いを観察することができ、AグループからDグループになるに従って、足関節位置のトレースが外側へ広がっていく様子が観察された。キネマトレースからは、美しい歩容の特徴として、下記の項目が抽出された(図 III-3-9～III-3-11,表 III-3-1)

- ① 矢状面の観察から、腕を大きく前後(特に後方)に振ること.
- ② 前額面の関節から、手部や足部が身体の中心軸に近い位置にあること.
- ③ 頭部を身体重心の上に位置させ、頭部前方位姿勢(フォワードヘッド)を避けること.

次に、股・膝・足関節角度および体幹前後傾の経時変化の結果(図 III-3-16)から4グループを比較すると、膝関節と体幹角度にグループ間の違いが現れやすいと考えられた。膝関節では美しい歩容ほど、荷重応答期(0-20%)の屈曲が小さいことが観察された。一般的に荷重応答期では、後ろ脚から前脚へ荷重を受け渡す相である。この時、前脚に作用する床反力が急激に増加する相であり、前脚の膝関節を軽度屈曲させることによって膝関節の伸展モーメントを発揮して、衝撃を吸収している。しかしながらAからDグループの順に、この膝関節の屈曲が抑制されていることが観察された(図 III-3-16 左下図, 時間 0-20%)。これは、美しい歩容グ

グループ(A, B グループ)が歩行周期と両脚支持の時間と時間割合を長くし,後ろ脚から前脚への荷重の受け渡しに時間をかけることによって,前脚に作用する衝撃(床反力の急激な増加)を抑制したためと考えられた.膝関節が伸展位を保つことで,美しい歩容と評価されたと考えられた.さらに,美しい歩容グループでは,立脚後期(**terminal stance**)から前遊脚期(**pre-swing**)においても伸展位を維持しつづける(屈曲のタイミングを遅らせている)ことが示唆された(図 III-3-16 左下図,時間 50-60%).

体幹の前後傾角度についても美しい歩容グループは後傾位にあることが観察され(図 III-3-16 右下図),いわゆる胸を張った姿勢が美しいと評価されたと考えられた. 角度の経時変化からは,美しい歩容の特徴として,下記の項目が抽出された(図 III-3-16).これらの特徴は図 III-3-2 に示した各グループの連続写真からも読み取ることができる.

- ① 両脚支持期で両脚の膝関節の屈曲を抑制し,伸展位を保つこと.
- ② 体幹を正中位あるいは後傾させること.

III-4-2. PW の歩容の特徴について

次に,PW と一般歩行(WALK)アンケート調査の得点ポイントを比較したところ,矢状面調査では有意差が認められなかったが,前額面調査では PW の方が有意に高い値を示した(図 III-3-12, $P<0.01$).矢状面調査では有意差が認められなかったことについては次のように考えられた.上述の美しい歩容の特徴の一つとして,「ストライド長が大きいこと」が挙げられたが,PW と一般歩行の間にはストライド長に有意差が認められなかったため(図 III-3-13b),アンケート評価者は矢状面観察において PW が一般歩行よりも有意に美しいとは判断しなかったと考えられた.この結果から,歩行を矢状面から観察した時,ストライド長の大きさは歩容の美しさの評価に大きく影響を及ぼすと考えられた.一方で,前額面からの観察では,ビデオの見かけ上,ストライド長を捉えることができない.評価者は美しい歩容を判断する上で,ストライド長以外の項目で評価したと考えられた.ここでは,歩隔が重要な評価項目の一つと考えられた.上述の 4 グループの比較においても(図 III-3-5 右図),PW と一般歩行の比較においても(図 III-3-13c),歩隔にはグループ間で有意差が認められた.

PW と一般歩行のキネマトレースの比較では(図 III-3-14),PW に下記の特徴が観察された.

- ① 矢状面の観察から,PW の方が腕を大きく前後(特に後方)に振られている.
- ② 前額面の観察から,PW の方が手部や足部が身体の中心軸に近い位置にあること.
- ③ PW では頭部は身体重心の上に位置しているが,一般歩行では頭部前方位姿勢(フォワードヘッド)が観察された.

これらの特徴は、アンケート調査結果で見られた A グループ(最も美しい)の特徴と一致していた(図 III-3-15). PW と A グループのキネマトレースを比較したところ、両者のトレースが一致していることが分かる.

また、関節角度や体幹角度の時系列データ(図 III-3-16)を PW とアンケート調査の 4 グループで比較したところ、PW は、A グループの特徴を更に強調したデータになっていることが分かる.具体的には、PW のグラフから下記の特徴が読み取れた.

- ① PW では、両脚支持期で両脚の膝関節の屈曲を抑制し、立脚中の膝伸展位を保つようにしている.
- ② PW では、歩行周期全般にわたって、体幹を後傾させている.

以上のことから、PW は、アンケート調査によって美しいと評価されたグループ(A グループ)が持つ姿勢特徴に近い、あるいはその姿勢特徴をさらに強調した歩行動作であることが分かった.

III-5 まとめ

ここでは、PW の審美性の検証を行った.PW を含む多様な歩行の動作データを基に、アンケート調査から美しい歩容の特徴を抽出した.次に、得られた特徴と PW の動作特徴を比較し、PW の審美性について考察した.美しい歩容の特徴として、下記の知見を得た.

- ① ストライド幅(stride length)が長い.
- ② 歩隔(stride width)が狭い.
- ③ 歩行周期 (cycle time) が長い.
- ④ 両脚支持時間(double limb support time)が長い.
- ⑤ 一歩行周期に対する両脚支持の時間割合が長い.
- ⑥ 矢状面の観察から、腕を大きく前後 (特に後方) に振ること.
- ⑦ 前額面の関節から、手部や足部が身体を中心軸に近い位置にあること.
- ⑧ 頭部を身体重心の上に位置させ、頭部前方位姿勢(フォワードヘッド)を避けること.
- ⑨ 両脚支持期で両脚の膝関節の屈曲を抑制し、伸展位を保つこと.
- ⑩ 体幹を正中位あるいは後傾させること.

PW では、上記の特徴と同じか、またはそれを強調した姿勢であった.この研究により、PW が「美しい歩容」と評価されると判断された.

IV. 総合考察

IV-1. PW の機能性と審美性について

本研究で得られた知見を以下にまとめる。これらの特徴から、研究 I と II で共通するものを歩行の相毎にまとめ、その解釈について述べる。歩行の相の定義については図 VI-1-1 に再掲する。

【研究 I】 PW の歩容の特徴と機能性(エクササイズ効果)の検証から

- ① PW では荷重応答期における前脚・膝関節の軽度屈曲が抑制される。
- ② 同相において、前脚・膝関節の伸展モーメントが小さい。
- ③ PW では前遊脚期(反対側は荷重応答期)において、後ろ脚・膝関節の屈曲が小さい(屈曲開始タイミングが時間的に遅い)。
- ④ PW では立脚終期から前遊脚期において、後ろ脚・膝関節に有意に大きな屈曲モーメントが発揮されている。
- ⑤ PW では立脚中期から後期において股関節外転モーメントの発揮が大きい。
- ⑥ PW では両脚支持相の時間割合が大きい。

【研究 II】 美しい歩容の特徴と PW の審美性の検証から

- ⑦ 美しい歩容はストライド幅(stride length)が長い。
- ⑧ 美しい歩容は歩隔(stride width)が狭い。
- ⑨ 美しい歩容は歩行周期(cycle time)が長い。
- ⑩ 美しい歩容は両脚支持時間(double limb support time)が長い。
- ⑪ 美しい歩容は一歩行周期に対する両脚支持の時間割合が長い。
- ⑫ 美しい歩容は矢状面の観察から、腕を大きく前後(特に後方)に振っている。
- ⑬ 美しい歩容は前額面の関節から、手部や足部が身体の中心軸に近い位置にある。
- ⑭ 美しい歩容は頭部を身体重心の上に位置させ、頭部前方位姿勢(フォーワードヘッド)を避けている。
- ⑮ 美しい歩容は両脚支持期で両脚の膝関節の屈曲を抑制し、伸展位を保っている。
- ⑯ 美しい歩容は体幹を正中位あるいは後傾させている。
- ⑰ PW の歩容は、上記の特徴と同じか、またはそれを強調した姿勢である。
- ⑱ PW は、一般歩行に比べて歩行速度が小さい。

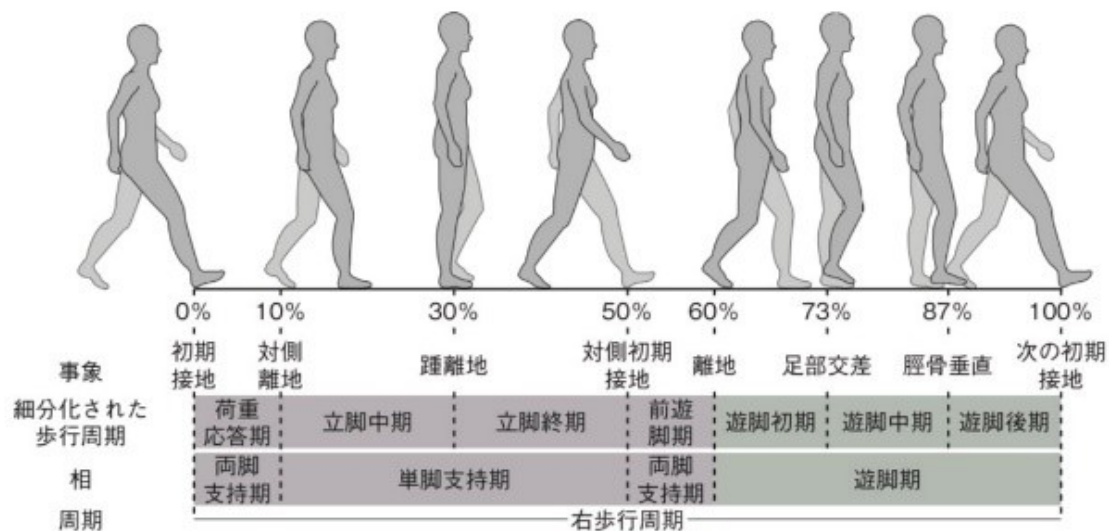


図 VI-1-1 歩行の相分け(再掲)

まず,荷重応答期(両脚支持期;図 VI-1-1 の 0-10%;右脚から左脚への荷重の受け渡しの相)では,①~④と⑮の特徴があった.この相では,前脚は,膝関節を軽度屈曲され,膝関節の伸展筋群(ex. 大腿四頭筋)を遠心性収縮させて衝撃吸収を行っている.しかしながら,PW および美しい歩容では,屈曲が抑制され,伸展筋群の活動が抑えられていたと示唆された.この理由として,歩行周期が長いこと(特徴⑨),歩行速度が遅いこと(特徴⑱)および両脚支持時間/時間割合が長いこと(特徴⑥⑩⑪)が考えられた.歩行速度を遅くすることで,前脚に作用する床反力や衝撃を抑制し,両脚支持時間を長くすることで,時間をかけて衝撃吸収する動作方略を採用していると考えられた.また,前遊脚期において(反対側は荷重応答期)特徴③や⑮に見られた後ろ脚の膝屈曲を抑制すること(膝関節の伸展位を維持しようとする)で,重心を高く保ち,後ろ足離床後の重心の落下量を小さくし,衝撃そのものを軽減している可能性も示唆された. また,検証が十分ではないが,体幹を正中位あるいは後傾させている(特徴⑯)ことも,後ろ脚から前脚への荷重受け渡しに時間をかける動作方略の一つではないかと推察される.

PW では立脚終期から前遊脚期(図 VI-1-1 の 30-60%; 前遊脚期は両脚支持期と同じであり,左脚から右脚への荷重の受け渡す相)にかけて,後ろ脚の膝関節に大きな屈曲モーメントが発揮されていたことから(特徴④),PW この相において,膝の屈曲筋群(ex. ハムストリングス)が大きく活動し,エクササイズ効果があったと考えられる.また,前後脚の膝がともに伸展位にあることによって,見かけ上脚を長く見せる審美的な効果が生まれたものと推察される.図 III-3-17 でこの荷重応答期(両脚支持期)における各グループの姿勢を観察すると

PW や A グループでは、両脚の膝関節が伸展位にあり、両脚と床面で二等辺三角形を形成している印象を受ける。

次に、立脚中期から後期にかけて、PW では股関節外転モーメントが大きく発揮されており(特徴⑤)、股関節の外転筋群(ex. 中殿筋)の活動量が大きくなることが推察される。PW のエクササイズ効果の一つと考えられる。この現象が起こる理由として、歩隔が小さいこと(特徴⑧⑬)が考えられた。歩隔を狭くすることで、床反力ベクトルは、股関節の内側を通過し、股関節中心と床反力ベクトル間のレバーアームが大きくなるためではないかと推察された。研究 II からは、歩隔が狭いことは、美しい歩容の条件の 1 つであることが分かり、PW の審美性を担保する姿勢条件と言える。

研究 II からは、美しい歩容の姿勢条件としては、特徴⑫⑬⑭および⑱が挙げられた。これらの特徴は PW の指導における言葉がけ(後述)に共通する特徴でもある。

これらの結果から、PW の機能性(エクササイズ効果)として、荷重応答期や立脚終期におけるハムストリングスや中殿筋などの股関節周囲筋に特徴があることが分かる。ヒップアップ効果を謳う PW のエクササイズ効果が検証されたと考えられる。また、審美性の観点からも荷重応答期や立脚終期の姿勢が重要視されることが示された。

これらの相において、美しい姿勢を維持しようとするのが、結果的に股関節周囲筋のエクササイズ効果を生み出したと考えられた。

IV-2. PW 指導現場の言葉がけと研究成果の関連性について

では美しい歩行をするには、どうしたら良いか?この章では、PW 指導現場で用いられる言葉がけと本研究で得られた知見との関連性について述べる。

【言葉がけ 1】 姿勢

「正しい姿勢を作り、その上半身を保ち歩行する。立ち方は、両足の踵を閉じ、つま先を拳一つ開け、膝をピンと伸ばして立ちます。次につま先立ちをして首を伸ばして頭を高くキープしたまま踵をそっと下ろしましょう。頭の重さを踵からまっすぐ上がったところに置きます。これで背中がまっすぐになります。鏡がなくても自分で再現できるためです。両腕は体の脇に沿わせて下ろします。前から見て手の甲が見えないように手のひらは体の両脇に置きます」

この言葉がけで、頭部を身体重心の上に位置させ、頭部前方位姿勢(フォワードヘッド)を避ける姿勢を意識させる。歩行全般において、体幹を正中位あるいは後傾させることを意識づける。(特徴⑯)

【言葉がけ 2】 歩き方

「【言葉がけ①】の姿勢を保って、脚を前に出すのではなくて立っている方の足の裏で後ろに地面を送り出すようにします少しゆっくりと丁寧に歩くこと。歩き出す時に足を前に出そうとしないで後ろに大きく蹴ることを優先する。頭が前に出ないように後ろにずっと引いておく。膝を曲げないで着地し、離地するまでずっと伸ばしておく。歩隔を狭くして、体重が前足に乗り替わるまで後ろ足のつま先でずっと押し続ける。足の裏を地面にピタッとつけて地球を後ろに転がすようにするのです。そして最後つま先まで力を込めて蹴ります。後脚が地面から離れるまで、つまり重心が前脚に完全に乗り切るまでしつこく後ろに足を残します。前に足を着地させるときは踵からゆっくり下ろし、膝を極力曲げないようにしてください。靴音を静かにする努力をしましょう。そして体重を支えている時の脚（つまり立脚中）はずっと膝を伸ばします（この蹴り方が飲み込めない人には足の付け根（股関節）を縦に（後ろ側）大きくひらきましようと言がけをすると理解しやすいようです）。横から見て「人」と云う字になるように荷重受け渡しの時に両膝をしっかり伸ばしておく。腕は足のリズムに合わせて体側になるべく近づけて後ろに大きく振る。」

先行研究と統合して PW は一般歩行と比較してハムストリングス、大臀筋、中臀筋、下腿三頭筋の筋活動量が大きく、美しいと認識された歩行と一致しており PW の審美性が証明された。速度を上げずゆったりと歩きながらも運動強度が上がることも証明されている。³⁾ この結果は祝原らの IC(初期接地)から PSw(前遊脚期)までの立脚相（時間）が長くなり、歩幅が増大することが確認されている研究と一致している。両脚支持期が長いとは、つま先までキックバックして歩いているため、継続すると足趾の強化に役立ち転倒防止や、体力の維持増進につながる効果があるとされている¹⁾。PW は一般歩行に比べ、歩行速度は有意に遅い。要因の一つとして「膝を伸ばして、体の中心線延長に接地して歩こう」という努力をする「意識」がそのスピードを遅くしていると考えられる(特徴①③④⑥⑩⑪⑭⑧⑫⑬⑮⑱)。

また頭部の位置を後ろにすることが、体幹を伸展させ、両脚支持期を長くさせ美しさとエクササイズ効果をアップさせるので、Kirsten Götz-Neumann (2010)⁵⁾にある上半身はパッセンジャーであると云う役割に加えてドライバー（運転手）という重要な役割となると言える(特徴⑩⑭⑯)。

【言葉がけ 3】 足運び

「足運びは、片足に体重を乗せその足を後ろに伸ばして床をキックバックするようにして体を前に押し出します。小舟を竿で漕ぎ出すイメージです。体重を後ろに残し蹴り出す力を大きくします。そして前

に出した足が床につく時は前の脚も膝を伸ばして踵から着地します。横から見て「人」という文字になるようにイメージして、後ろ足のつま先まで使って蹴ります。「ケモノ」になってはいけません。決して膝を緩めて、顔から前に歩き出さないようにしてください。」

この言葉がけは、体幹を後傾させる。股関節の伸展を促す。荷重応答期で、膝関節を屈曲させない。前足が着地した瞬間から離地するまでハムストリングスが筋活動するよう意識づけ。両脚支持時間を長くし、ハムストリングスと中臀筋の活動量を増やす等をねらいとしている(特徴③④⑤⑥⑩⑪⑮)。

【言葉がけ 4】 腕の振り方

「腕を後ろにまっすぐ伸ばすだけ、前には振らず、腕を後ろに振るという意識で振るとまっすぐな姿勢を保ちやすいです。腕の付け根、つまり肩から後ろに伸ばすだけ、前には自然に振り戻されます。脇が開かないようにまっすぐに後ろに引きます。腕を大きく振ることで俯いて歩くことを防げます。また後ろに伸ばせば、振り子の作用で前にも振れます。」

美しい歩容の特徴として、矢状面の観察から、腕を大きく前後(特に後方)に振っていることと、前額面の観察から、手部や足部が身体を中心軸に近い位置にあることを実現するための言葉がけである。また、体幹を後傾させる意識付けでもある(特徴⑫⑬⑯⑰)。

【言葉がけ 5】(性別による言葉がけの違い)

「男女の差は、肘と膝の間隔差にあります。男性は直線、女性は曲線(ひねり)が入ってきます。女性の場合は、後ろの足を前に出す瞬間に両足の隙間が見えないように膝を擦り合わせるように、前に踵を置く場所は体の中心線上を目指します。つま先は拳一つ開けた角度を保ちます。この時に前に振り出す側の骨盤がカクンと下がらないように平行を保ってください。肘を体から離さないように、指先まで美しく伸ばすように後ろに引きましょう。こうすると女性らしい「曲線・ひねり」が動作に加わります。ハイヒールではヒールの高さに合わせて歩幅を狭くしましょう。着地するとき膝が曲がらない歩幅が最適です。ヒールの高さにより変わります。

男性の場合は、一本のロープを両足の間に置くくらいの間隔を開けて脚をまっすぐにします。決して外に向けていわゆるガニ股歩きをしないでください。肘を後ろに引く、脇の隙間はやや開ける。つけすぎると女性っぽくなります。」

歩隔を狭くさせるための言葉がけ。これにより支持脚側の立脚終期から前遊脚期におけ

る中臀筋の活動量を大きくするエクササイズ効果が期待される(特徴⑧⑫⑬).

最後に,本研究成果から新たに気づいた指導方法の改善点として,下記の2点を挙げ,より効率的な指導方法の確立に役立てたい.

- 1) 両脚支持期に筋発揮を強くするため,両脚支持の形で両膝を曲げない練習をする(特徴③⑮).
- 2) 片足立ちで反対側の骨盤が床と平行になるように上げる練習をする(特徴⑤).

IV-3. 研究の限界・または今後に向けて

今回のアンケート評価者は,10~20代が多くを占めているので,年代の違いにより評価が変わる可能性もある.また前額面の評価で美しい歩きには歩隔が狭いとあったが,男性と女性を分けていないので,男性らしい・女性らしい美しさとして調査すると利用価値が増すと確信する.またポスチャーウォーキングの指導者が美しい歩き方に全員入っていなかったのも,反省点である.美しい歩き方のポイントが高まるように,訓練を重ねていきたい.また海外でも研究してみたい.果たしてPWは美しいと判断されるのか?

厚生省の推奨するMETS UP歩行では4~5METsを目指している.その方法は歩幅を大きくし,前足部(つま先)まで使ってキックバックしながらやや早めに歩くことで通常歩行が運動効果を上げると言われている²⁴⁾.しかしその紹介されているビデオを見る限りでは,やや「小走り」しているようで,心拍数の増加や発汗作用が優先される歩行動作だと考えられた.日常生活に取り入れるには通勤,通学など早く移動する時には役立ちそうだが,ショッピングやおしゃれを楽しむ,いわゆる「おでかけ」の時はこの歩き方は難しいだろう.PWはゆったり優雅に歩きながら4~5METsに達している³⁾(杉山ら,2016)

また,運動効果の高い歩行として,インターバルウォーキングというのがある.歩行の速度を速くしたり,遅くすることを組み合わせるもので,さまざまな効果が証明されており,継続しやすいエクササイズ速歩²⁵⁾として人気を集めている.しかし美しさには注目していない.そもそも,運動効果を高める目的の歩き方に美しさは求めている.他方,足に良いと言われる靴,つまり歩くことに適した靴にハイヒールは入る余地がなく,これまで提案されている歩行スタイルは,機能性(エクササイズ効果)と審美性がトレードオフの関係性(両立できない関係性)にあった.これに対し,本研究で取り上げたポスチャーウォーキングは美しさと,運動効果を同時に実現できる新たな歩行スタイルであることが証明された.すごい!これぞ特に女性が求めてやまない「美しく歩きながら下半身を引き締められる」歩行スタイルと言える.

PW は、男女ともに可能で歩くスピードは早くなく、その足運びもゆったりしており、歩隔が狭く何より「美しい」のでロングスカートやドレス、スーツスタイルでビシッと決めてなど、おしゃれなファッションスタイルでも十分に可能だ。運動効果を求めなくても、運動効果が上がる仕組みになっている。踵を接地するときには衝撃をなるべく抑えるので靴音も静かである。普遍的な美しい歩き方がこの研究で明らかになった。男女、年齢の別なくエクササイズ効果のある美しい歩き方が具体的になった。

今までの「歩行の効果を上げる」と紹介されている数々の歩行法で価値があるとされているのは専ら「エネルギー消費の高さ」であり「美しさ」の尺度は含まれていない。というより美しさの尺度がなかったからであると察する。

「美しさ」には個人の好みや TPO に合わせた「らしさ」などの印象や好みが人により様々で決められなかったのだ。またファッションモデルのような特別な歩き方を想起しやすく日常生活で「美しい歩き方」は無用と感じるのではないだろうか。しかし、男女を超えて美しく見えるエクササイズ効果のある歩き方であれば、魅力的に感じる人は多いと思う。

「時と場所を選ばず、また誰でもができる下半身が引き締まる美しい歩き方」こんな理想的な歩き方が今まであったらどうか。さらに、「生涯にわたる各ライフステージにおいて生活の質（QOL）が向上するように自分自身のライフスタイルに適した運動、スポーツを楽しむこと」と定義されている²⁶⁾生涯スポーツとも言えるのではないか。ポスチャークウォーキングで QOW(Quality Of Walking)を高め、QOL の向上に役立つものとおもわれる。

V. まとめ

本研究の目的はポスチャーウォーキングの機能性と審美性の検証であった。機能性の検証については、PW のエクササイズ効果、特にヒップアップ効果に着目した。光学式 3 次元動作分析装置と床反力計を用いて、歩行姿勢や関節モーメントを求め、一般歩行と比較したところ、PW では立脚期における、膝関節・屈曲モーメントおよび股関節・外転モーメントの発揮が有意に大きいことが分かった。これらの結果から、PW ではハムストリングスや中殿筋の活動量が大きくなり、これがヒップアップ効果をもたらしていると示唆された。

審美性の検証については、PW を含む歩行動作を計測し、アンケート調査によって、美しい歩容の姿勢の特徴抽出を行った。調査結果から最も美しいと評価された A グループと PW の歩容を比較したところ、PW の歩容は、A グループの特徴と同じか、またはそれを強調した姿勢であることが分かった。

以上の結果より、PW が一般歩行に比べてエクササイズ効果(特にヒップアップ効果)に優れていることと、PW が主観的に美しい歩容であると評価されることが分かった。

謝辞

はじめに、測定に際し、協力いただいたポスチャーウォーキング協会スタイリストの皆様、東京体育館と、NHK 名古屋文化センターでのイベントに参加された受講生の皆様、並びに同施設のスタッフの皆様、一般歩行の動作データを提供いただいた(独)産業技術総合研究所デジタルヒューマン工学研究センター、および PCA 波形解析に関してレクチャーいただいた C-motion Inc.の Marcus Brown 氏に心より感謝申し上げます。そして誰よりもこの無謀とも思われたポスチャーウォーキングと言う前例のない歩き方のエビデンスを見つけたいという私のおもいを真摯に受け取り、大学院生として受けて入れてくださいました北翔大学大学院の先生方に感謝申し上げます。息子より若いクラスメイトのみんな、優しくしてくれてありがとう！

先にこの大学院でポスチャーウォーキングを研究し、学会賞まで受賞した山内夕佳里さんありがとう！あなたがいなかったらこの論文は生まれませんでした。当時の学科長の竹田先生には 2018 年韓国ソウルでの国際学会に参加させていただき、発表のチャンスをいただきました。ありがとうございました。

そして、指導教授の山本敬三先生には、言葉で言い尽くせぬほどお世話になりました。右も左もわからぬただ情熱だけを持った還暦のこの私に、ポスチャーウォーキングを科学的に解明したいという漠然とした思いに方向づけをし、実に細かく複雑な作業とご指導を弛まずくださいました。感覚だけで行ってきた23年間のポスチャーウォーキングの仕組みが解明されました。

そして学会で発表するというアカデミックな世界の扉を開き、ポスチャーウォーキング協会の理事としても大変支えてくださいました谷津祥一さん、静岡大学杉山先生、祝原先生、順天堂大学辻川先生に心から感謝いたします。

最後に私の家族へ

ポスチャースタイリストのみんな、私の発案したこのメソッドをまっすぐに信じて世の中に広げる活動をしてくれて本当にありがとう！科学で美しさとヒップアップが証明されましたよ！ますます自信を持って指導してください。

そしてこんな私と昨年国際結婚して、これからの人生に生きる力を与えてくれた夫 DON、このポスチャーウォーキング研究だけでなく私の選ぶ道を全力で応援してくれる母、息子たちに愛と感謝を捧げます。天国にいる父とそして今一度母に、こんなに健康で立派な体に産んでくれて本当にありがとう！

～「歩行美学」の提唱～あとがきに代えて

今から 25 年ほど前に 1 週間の旅行にロサンゼルスに行ったときのことだ。宿泊していたホテルのロビーで白人の美しいご高齢の女性に声をかけられた。

「あなたは日本人じゃないでしょ？だって、綺麗な歩き方をしているし姿勢がいいから」満面の笑みでそう褒めてくださったのだが、,,,なんと云うことだ、日本人の歩き方は美しくないで世界で常識なのか！？ちょうど産後太り解消のために美しく歩く生活を始め、成果が現れてきた頃だった私は、まるで雷に打たれたようなショックを覚え、しばらくソファに座り込んでしまった。しばらくすると、こんな思いが湧き上がってきた。

「日本人の姿勢と歩き方を綺麗にしたい！」心に灯った炎を抱いて帰国した。

そして美しく歩くにはどうしたら良いかと試行錯誤する生活が始まった。産後太りは見事に回復した。努力をし続けていたら、考え方にも及んできた。美しい行いをしようと心がけるようになっていった。人生の美意識が私の中で育った。これはただのビューティウォーキングではない、生き方が変わる歩き方だ！そうしてこの歩き方に“生きる姿勢”という意味もこめて「ポスチャーウォーキング」と名付けた。

友人の子育てサークルでお試し講師（笑）を依頼されたことを皮切りに、口コミで生徒がどんどん集まった。メディアは新聞に始まり、15 冊の著書、180 回を超える雑誌掲載、世界的なスポーツメーカーとポスチャーウォーキングシューズも共同開発し実に契約は 10 年に及んだ。受講生の皆さんから心身ともに健康になったと感謝の声は数えきれなくなってきた。しかし、常に「これでいいのだろうか」と云う不安が付き纏っていた。確固たる証拠がなかったからだ。著書に著名なドクターからお墨付きをいただいてもどこか落ち着かなかった。どの筋肉がどのように動き、体が引き締まったのか、そして本当に美しいのか？

自身で確かめたい。その思いが、18 年目にしてこの研究への扉を開けた。そして、ついにポスチャーウォーキングの美しさとエクササイズ効果を科学で証明することができたのだ。

歩くという人間の基本の動作はその目的が「移動手段」である。陽の光と水があれば生きられる植物と大きく違う点だ。現代では移動をしなくても「獲物」つまり食品が手に入り、ショッピングも可能になった。2020 年に始まった COVID-19 のパンデミックからますますそれは加速した、歩くことの「必要性」がなくなってきた。

歩く喜びを噛み締める時は、一度怪我や病気などで自力で歩けなくなった人が回復した時であろう。PW は健全な体を持ちながら歩けることの喜びを見過ごしている人々に、多くの気づきを与えるものと確信する。歩けることは人間としての特権であり、同時に喜びである。これをさらに発展させる PW で人々の日常が喜びに満ちた生活になることを心から願

う。

人間にとって美しく歩くことは正に美しく生きることである。真に美しく善き生き方だ。ここに万感の思いを込めてポスチャーウォーキングを歩行美学(Aesthetics and Philosophy of Posture Walking)と名付ける。

50年後もこの教えが「歩行美学」として受け継がれていることを祈り、最後に私の信念を表す2つの言葉を持って締めくくりとする。

「人生は姿勢でキマル！」 「美しく歩いて世界平和！」

参考文献

- 1) 祝原豊, 谷津祥一, 辻川比呂斗, KIMIKO, 前澤 康代, 杉山康司 (2016). 歩行時立脚期の足圧分析 によるポスチャウォーキングの特性の検討 . *Walking Research*, 20, 49-54.
- 2) 一般社団法人ポスチャーウォーキング協会ホームページ <https://www.posturewalking.jp/>
- 3) 杉山康司, 岩田理沙, 佐藤里香, 白井友加里, 三林良馬, 祝原 豊, 辻川比呂斗, 谷津祥一, 前澤康代, KIMIKO (2016). 保健体育教材としてのポスチャウォーキングの可能性 —エキスパートポスチャウォーカーの筋活動およびビギナーが示す運動強度から— , *Walking Research*, 20, 21-27.
- 4) 祝原豊, 谷津祥一, 辻川比呂斗, KIMIKO, 前澤 康代, 杉山康司 (2017). 姿勢および歩容を意識した歩行が呼吸循環応答に及ぼす影響:ポスチャウォーキングに着目して .*Walking research*, 21, 3-8.
- 5) Kirsten Götz-Neumann (2010).「観察による歩行分析」, 月城慶一, 山本澄子, 江原義弘, 盆子原秀三 訳, 医学書院.
- 6) Jacquelin Perry (2007).「歩行分析正常歩行と異常 歩行」, 武田 功 統括監訳, 医歯薬出版株式会社 .
- 7) Jessica Rose, James G. Gamble Ed. (2009). 「ヒューマンウォーキング原著第 3 版」, 武田 功統括監訳 , 医歯薬出版株式会社 .
- 8) 勝平純司,山本澄子,江原義弘,櫻井愛子,関川伸哉 (2011).「介助にいかすバイオメカニクス」, 医学書院 .
- 9) Oliver Ludwig (2016).「実践にいかす歩行分析明日から使える観察・計測のポイント」, 月城慶一, ハーゲン愛美 訳, 医学書院.
- 10) 盆子原秀三 , 山本澄子 (2018)「印象から始める歩行分析 エキスパートは何を考え, どこを見ているのか?」, 医学書院 .
- 11) 齋藤早紀子, 牛房奈菜子, 堺碧媛, 近藤恵, 小林吉之 (2020)美しく見える歩容パターンの運動学的特徴, *バイオメカニズム* 25, 195-209.
- 12) 新井彩(2020),若年女性における歩容の美しさの印象を決定する要因の検討, *大阪体育学研究*, 60, 9 – 16.
- 13) 小林吉之, 保原浩明, 持丸正明 (2015). AIST 歩行データベース 2015
<http://www.dh.aist.go.jp/database/gait2015/>
- 14) D. Gordon E. Robertson, Graham E. Caldwell, Joseph Hamill, Gary Kamen and Saunders N. Whittlesey (2004). *Research Methods in Biomechanics*. Human Kinetics,35-51.

- 15) Winter DA. (1990). *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*. 3rd ed. Hoboken, NJ: John Wiley.
- 16) KIMIKO (2014).「DVD 付き歩くだけ!ポスチャウオーキングでかたんキレイ!心も変わる!」, 講談社.
- 17) KIMIKO (2015).「もっと痩せたい人の美しく歩くだけダイエット」, 主婦の友社.
- 18) 山本敬三, KIMIKO, 山内夕佳里 (2020). パイロットスタディ:ポスチャーウオーキングのバイオメカニクスの特徴—創始者 KIMIKO と一般男性の動作比較—, 北翔大学生涯スポーツ学部研究紀要, 11, 1-10.
- 19) Deluzio, KJ., & Astephen, JL. (2007). Biomechanical features of gait waveform data associated with knee osteoarthritis. An application of principal component analysis. *Gait and Posture*, 25, 86–93. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2006.01.007>
- 20) Jackson JE. (1991). *A user's guide to principal components* New York: John Wiley & Sons.
- 21) 株式会社 NAC イメージテクノロジー ホームページ <https://www.nacinc.jp/theia3d/>
- 22) Kanko, R. M., Laende, E. K., Strutzenberger, G., Brown, M., Selbie, W. S., DePaul, V., Scott, S. H., & Deluzio, K. J. (2021). Assessment of spatiotemporal gait parameters using a deep learning algorithm-based markerless motion capture system. *Journal of Biomechanics*, 122, 110414. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2021.110414>
- 23) H.J. Woltring (1986), A FORTRAN package for generalized, cross-validatory spline smoothing and differentiation. *Advances in Engineering Software* 8(2):104-113 (U.K.).
- 24) 厚生労働省 e-ヘルスネット <https://www.e-healthnet.mhlw.go.jp/information/exercise/s-08-002.html>
- 25) 能勢博(2012). メリハリをつけて歩くインターバル速歩-その方法と効果のエビデンス-, 日本顎口腔機能学会雑誌, 19(1), 1-9.
- 26)生涯スポーツ学実践<改訂4版>～生涯スポーツを学ぶ人たちに～出版社：市村出版
編著者：川西 正志、野川 春夫

<著者連絡先>

KIMIKO 一般社団法人 ポスチャーウオーキング協会

E-mail:kimiko@posture.co.jp