<sup>公益財団法人日本陸上競技連盟</sup>	Bulletin of Studies
陸上競技研究紀要	in Athletics of JAAF
第20巻, 182-189, 2024	Vol.20,182-189,2024

日本人男子競歩選手におけるランニング中の地面反力のフォースプラットフォームに よる計測値と重心加速度・全身角運動量による推定値との比較

三浦 康二<sup>1)</sup> 松林 武生<sup>2)</sup> 景行 崇文<sup>2)</sup> 後藤 晴彦<sup>2)</sup> 杉田 正明<sup>3)</sup> 佐藤 高嶺<sup>4)</sup> 高橋 直己<sup>5)</sup> 川向 哲弥<sup>6)</sup> 今村 文男<sup>7)</sup> 谷井 孝行<sup>8)</sup>
1)株式会社大塚製薬工場 2)国立スポーツ科学センター 3)日本体育大学
4)至学館大学/筑波大学大学院 5)茨城キリスト教大学/東京学芸大学大学院
6)株式会社エモーションテック 7)富士通株式会社 8)自衛隊体育学校

Comparison of ground reaction forces of Japanese male race walkers between measured from force platform and estimated from angular momentum and acceleration of whole body

Koji HOGA-MIURA<sup>1)</sup> Takeo MATSUBAYASHI<sup>2)</sup> Takafumi KAGEYUKI<sup>2)</sup> Haruhiko GOTO<sup>2)</sup> Masaaki SUGITA<sup>3)</sup> Takane SATO<sup>4)</sup> Naoki TAKAHASHI<sup>5)</sup> Tetsuya KAWAMUKAI<sup>6)</sup> Fumio IMAMURA<sup>7)</sup> Takayuki TANII<sup>8)</sup> 1)Otsuka pharmaceutical factory Inc.,

2)Japan institute of sports sciences,

3)Nippon sport science university,

4)Shigakkan university/Graduate school of the university of Tsukuba,

5)Ibaraki Christian university/Graduate school of Tokyo Gakugei university,

6)Emotiontech Inc.,

7)Fujitsu limited,

8)Physical training school of Japan self defense force

Abstracts

This study aimed to evaluate the estimation method of ground reaction force (GRF) and center of pressure (CP) of support foot during running as Hoga-Miura (2022) on race walking. Seven Japanese male race walkers participated to the experiment of present study during training camp of race walkers, running along 50m-walkway on their own speeds for their recovery training with running. Force platforms (1000Hz) which were mounted on the walkway measured *GRF* and *CP* during running. Vicon-system (250Hz), set up on the walkway, captured three dimensional coordinates of body marks in order to calculate the position of the center of gravity of whole body (CG) and other parameters of kinematics and kinetics. From the estimated center of pressure of support foot at the midpoint of their sole (*eCP*), the acceleration of *CG* and the angular momentum about *CG*, the ground reaction force (*eGRF*) was estimated by using the methods of Hoga-Miura (2022). To evaluate the influence of estimation to other valuables, joint torques in lower extremities were compared between measured (TRQ) and estimated (eTRQ). Statistical parametric mapping (SPM) were used to conduct non-parametric paired t-test between measured and estimated variables (GRF vs eGRF, CP vs eCP, TRQ vs eTRQ). Along with the practical quick feedback methods on the training of elite athlete in Japan, this study focused on the parameters in sagittal plane. CP and eCP were significantly different during the almost entire support phase (p < 0.05). Also, *GRF* and *eGRF* were significantly different during the almost entire support phase (p < 0.05) both in anterior-posterior and vertical component. However, in the joint torques at ankle and knee in sagittal plane (about lateral-medial axis), there were not significant difference between TRQ and eTRQ during almost entire support phase.

我が国における競歩種目国内トップ競技者のバイ オメカニクス支援に際してのデータフィードバック は、三浦ほか(2024)において報告されたように全 身角運動量から推定した地面反力によって算出され た関節トルクによって行われている.

三浦ほか(2024)では、その方法の検証のために フォースプラットフォームによる実測地面反力とそ こから算出された関節トルクを基準として、全身角 運動量から推定した地面反力(法元,2000;三浦ほか, 2006, 2020, 2021, 2024, Hoga-Miura ほカ, 2022) により算出した関節トルクとの比較が行われた. そ の結果、地面反力については鉛直方向成分、前後方 向成分ともに実測値と推定値の間に有意な差が支持 期全体にわたってみられたが,支持期の矢状面内の 下肢関節トルクについては、実測値と推定値の間に 有意な差が認められない局面が多くみられた. その ため、動作の改善を目指したコーチング上、筋の出 力を反映することで「なぜそうなるのか」の評価(阿 江,2005;窪,2017)に有効な変数とされるキネティ クス変数による競技者の動作分析とフィードバック において有効な手法であることが報告された(三浦 ほか, 2024).

この分析手法は,陸上競技走種目において榎本ほか(1999)や羽田ほか(2000)における分析報告はあるものの,これまでレース中の支持脚関節トルクの算出はほとんど報告されていない.しかし,足関節トルクのスティフネスのパフォーマンスとの関係など,中長距離選手の動作のキネティクス変数による評価がこれまで多く報告されてきていることから,レース中における下肢関節トルクの算出はレースパフォーマンスを評価するうえで重要であろう.

そこで、本研究では、三浦ほか(2024)で報告さ れたキネティクス変数算出方法の走動作での検証を 行うことを目的とし、競歩種目を専門とする競技者 によるランニング中の地面反力の計測と身体動作の 画像情報の収集を行い、重心加速度および全身角運 動量から推定した地面反力との比較を行った.また、 同時に計測地面反力と推定地面反力による下肢関節 トルクの算出と比較も行った.

# 2. 方法

#### 2.1 対象者

研究対象者は競歩種目を専門とする日本人男性競 技者7名とした. Table 1に分析対象者の身体的特 徴を平均値と標準偏差で示した.

本研究は、公益財団法人日本陸上競技連盟と国立 スポーツ科学センターの共同研究として行われ、同 センター倫理委員会の承認(承認番号 第 2021-017 号)を得た上で実施された.また事前に本研究 の目的、計測方法ならびに計測中に起こりうる危険 性などについて、口頭および書面にて十分に説明し た上で、同じく口頭および書面にて同意を得てから 実施した.なお、実験は一般社団法人日本実業団連 合主催の競歩種目強化研修合宿に対象者が滞在して いる期間に実施された.

## 2.2 データ収集

実験は屋内に設置された赤外線 3 次元自動追尾 システム(Vicon Nexus 2.10, 0xford Metrics 社製) を用いて行われた.実験に際してはサンプリング周 波数を 250Hz とし、対象者の身体標点 34 箇所に赤 外線反射マーカーを貼付して全身の座標データが収 集された.また、実験は長さ約 50m の歩行路を対象 者が歩くことで行われたが、座標収集の空間は実験 歩行のスタートから約 40m 地点に設定され、座標収 集と同時に地面反力を計測できるよう、座標デー タの収集空間に重なるように長さ 90cm\* 幅 50cm の フォースプラット(Kistler force plate 9287C, Kistler 社製)が 6 枚埋設され、合計 5m40cm の区 間で歩行中の地面反力データがサンプリング周波数 1000Hz で計測・収集された.

本研究では、ランニング、通常歩行、ストロール (リカバリートレーニング時のスピード)、ロング歩 トレーニング (20-40km 程度のトレーニング時のス ピード)、レースペース、最大スピード、の6種類 のスピードでの試技を行った.本報告書ではランニ ング試技のみの報告とする.

#### 2.3 データ処理

収集した赤外線マーカー座標データから Plug in Gait モデルによって算出された身体標点 25 点を 用いて対象者の身体がリンクセグメントモデル化さ れ, Ae ほか(1992)の身体慣性係数を用いて, 試 技中の対象者の身体各部分の慣性係数および全身の 重心位置が算出された.算出された全身の重心位置 からは,時間微分によって重心速度,重心加速度が 算出されたほか,歩行スピード,ピッチ,ストライ ドなどのステップ変数が算出された.さらに,重心 位置および身体各部分の慣性係数からは全身の角運 動量が算出された.

Murray ほか(1983)は、競歩における地面反力



Figure 1 Mean value of measured (*CP*) and estimated (*eCP*) center of pressure during normalized support phase (N = 7)

の計測値および作用点中心の変化を報告している が、ランニングにおける地面反力の作用点中心の変 化が足部接地位置の違いによってさまざまであるの に対し (Cavanagh と LaFortune, 1980), 競歩では 接地点である支持足踵部から,離地点である支持足 足尖まで、地面反力の作用点中心がほぼ等速で移動 していることを報告している.本研究では、フォー スプラットフォームで計測した圧力中心位置 (CP) の実測値の全被験者の挙動が、ランニングにおいて 接地直後を除いて足底内のほぼ中央の接地点から足 尖まで競歩同様にほぼ等速で移動していた (Figure 1). そのため、支持足接地時の支持足踵部座標の x 成分とy成分からなる座標から、支持足離地時の1 フレーム前の時点の支持足足尖部座標のx成分とy 成分からなる座標の中点を接地点とし、接地点から 離地直前の足尖部まで等速で移動する点を推定圧力 中心位置 (eCP) として仮定した.

以上の項目は,法元(2000),法元・阿江(2006) および三浦ほか(2020,2021,2024) や Hoga-Miura ほか(2022) などの先行研究でも用いられて いるものであるが,本研究でも同様に、重心加速度 のみから推定する地面反力(*aGRF*)を算出した上で, *eCP* および*aGRF*の鉛直方向(Z軸方向)成分と全 身の角運動量を用いて,左右方向(X軸方向)成分 および前後方向(Y軸方向)成分成分について角運 動量推定地面反力(*eGRF*)の推定が行われた.以 下にその算出の数式を示す.

加速度の法則によれば地面反力は重心加速度およ び重力加速度と身体質量の積によって算出可能であ るが、本研究においては鉛直成分(Z成分, aGRFZ) の以下の数式(1)によって重心加速度と重力加速度 を用いて算出した.

$$aGRF_z = Ma_z + Mg \tag{1}$$

ここでMは全身の身体質量を示し, az は身体重 心の鉛直(z軸)方向の加速度を, gは重力加速度 を示す.

作用点中心 *eCP* に作用する外力である地面反力 *eGRF* によって全身の身体重心まわりに作用する モーメントは同じく全身の身体重心まわりの角運動 量の一階微分値に等しい. 榎本ほか(1999)と羽田 ほか(2003)は、ランニングおよびスプリント中の 地面反力の前後方向成分(eGRF<sub>Y</sub>)以下の式(2)-(4) によって算出している.

$$\boldsymbol{H}_{CG} = \sum_{i=1}^{s} (\mathbf{I}_{i}\omega_{i} + \mathbf{m}_{i}\mathbf{r}_{iY}\mathbf{r}\mathbf{v}_{iZ} - \mathbf{m}_{i}\mathbf{r}_{iZ}\mathbf{r}\mathbf{v}_{iY})$$
(2)

$$\dot{H}_{CG} = d_{Y}aGRF_{Z} - d_{Z}eGRF_{Y}$$
(3)

$$eGRF_{Y} = \frac{d_{Y}aGRF_{Z} - \dot{H}_{CG}}{d_{Z}}$$
(4)

ここで $H_{cc}$ は全身の身体重心まわりの角運動量を 示し,sは全身を構成する身体各セグメントの個数 を示す.本研究においてはs=15とした. $I_i$ はi番 目のセグメントの質量中心まわりの慣性モーメント を示し, $\omega_i$ はi番目のセグメントの質量中心まわ りの角速度を示す. $m_i$ はi番目のセグメントの質量中心ま 量を示し, $r_i$ はi番目のセグメントの質量中心の 全身の身体重心位置に対する位置ベクトルの成分を 示す. $rv_i$ はi番目のセグメントの質量中心の 全身の身体重心位置に対する速度ベクトルの成分を示 す. $eGRF_y$ は身体重心まわり角運動から算出・推定 した地面反力の前後方向成分を示し,dは作用点中 心の身体重心位置に対する位置ベクトルの各成分を 示す.

陸上競技中長距離走におけるレース中の動作分析 のほとんどは,進行方向に関係した動作的特徴が表

	A and (Virg)	Height (m)	Waight (leg)	Personal Best on 20kmW	
	Age (115)	Height (III)	weight (kg)	(h:m:s)	
Mean	24.6	1.72	59.9	1:20:11	
±	±	±	±	±	
SD	1.3	0.04	4.4	0:01:27	

Table 1 Properties of Subject (N = 7)

	Speed (m/s)	Speed (m:s/km)	Step Frequency (Hz)	Support time (s)	Flight time (s)	Step length (m)	Support length (m)	Flight length (m)
Mean	4.14	4:02	3.08	0.18	0.15	1.34	0.72	0.63
±	±	±	±	±	±	±	±	±
SD	0.26	0:14	0.06	0.01	0.01	0.08	0.04	0.06

Table 2 Step Parameters (N = 7)

れやすい矢状面内の2次元平面内の力学量を用いて 行われている.本報告では同じく陸上競技中長距離 走の動作分析の方法の発展的検討を主な目的として いることから,結果の項目には矢状面内(X軸回り) のトルクおよびそのためのデータとなる前後(Y軸) 方向の作用点中心,Y軸方向と鉛直(Z軸)方向の 地面反力のみを示す.

### 2.3 統計処理

本研究で得られたデータのうち,実測値(*GRF*, *CP*, *TRQ*)に対する推定値(*eCP*, *eGRF*, *eTRQ*) の妥当性の検証に際しては、時系列データの時々 刻々の変化の違いについて検証できるよう、支持足 接地時を 0%,離地時の1フレーム前を100%として 支持期全体を規格化した.その上で、Statistical Parametric Mapping (SPM)を使用してノンパラメ トリック one-dimensional paired *t*-test を行い、 SPM (*t*)曲線を作成した (Pataky, 2011; Coyler ほか、 2018; Nagahara ほか、2020). ランダム曲線の確率 的挙動を記述し、データの滑らかさを考慮したラン ダムフィールド理論を用いて、臨界値*t*\*(有意確率: p = 0.05)を設定した. SPM(*t*)曲線が臨界値*t*\*を 超えた場合、特定の区間に有意な差異があるものと した (中山ほか、2023).

本研究における統計量の算出においては MatlabR2024b(Matworks 社製)の統計量算出のた めの関数を用いた.いずれも統計学的有意水準は 5%未満とした. Table 1および2に示したデータは対象者の特定 を防ぐことのほか推定方法の間の比較ではないこと から,平均値と標準偏差で示し,Figure 1-4のデー タは平均値のみで示した.

## 3. 結果

## 3.1 ステップ変数

Table 2に分析対象試技のランニングスピードと ステップ変数を被験者の平均値と標準偏差で示し た.また,参考として対象者の20km 競歩の実験期 日前2年間の最高記録を同じく平均値と標準偏差で Table 1に示した.

対象者の 20kmWPB の平均は 1 時間 20 分 11 秒であ り,1km 平均では 4 分 00 秒 5 となる.それに対し, 分析対象試技のランニングスピードは対象者の 1km 平均スピード換算で 4 分 02 秒であった.そのため, 対象者は各自の 20km 競歩のペースト同等のスピー ドでランニング試技をおこなっていたといえる.

#### 3.2 作用点中心

Figure 1に実測作用点中心(CP)と推定作用点 中心(eCP)の右足支持期および左足支持期におけ る時々刻々の変化を示した.実験歩行路平面上の実 際の接地位置は試技ごとに異なっていたが,図上で は接地時の支持足踵部を基準(ゼロ値)とし,そこ に対する実測値および推定値の相対値の時々刻々の 変化の平均値で示した.さらに,SPMで有意な差の



Figure 2 Mean value of vertical component of measured (GRF) and estimated (eGRF) ground reaction forces during normalized support phase (N = 7)



Figure 3 Mean value of measured (GRF) and angular-momentum-estimated (eGRF) in anteriorposterior component during normalized support phase (N = 7)

みられた局面で示した.前後(Y軸)方向成分(a: 右足;b:左足)について,左右ともに接地時にお いて支持足踵部と足尖部のほぼ中点で接地し,作用 点中心が支持期全体にわたってほぼ線形に等速で移 動していた.しかし,個々の被験者における実測値 は一定の範囲内でばらつきがあり,推定式によって 一意に定まる推定値と比較した場合には有意となる 差異があったとみられ,右足では支持期全体にわ たって,左足では支持足接地直後と,支持期20%か ら80%にかけて,それぞれ*CPと eCP*の間に有意な 差がみられた.

#### 3.3 地面反力

Figure 2 に実測地面反力(*GRF*) と推定地面反 力(*eGRF*)の鉛直(Z軸)方向成分の右足支持期 および左足支持期における時々刻々の変化を平均値 と, SPMで有意な差のみられた局面で示した(a: 右足;b:左足).

左右とも接地後から増加し,支持期 40% の近傍 でピークを生じた後,離地にむけて減少していた. *GRF* と *eGRF* の比較では,左右とも支持期全体にわ たって有意な差がみられた.

Figure 3に実測地面反力(*GRF*)と,推定地面 反力(*eGRF*)の前後(Y軸)方向成分の右足支持 期および左足支持期における時々刻々の変化を平均 値と有意な差のみられた局面で示した(a:右足;b: 左足).

Y軸方向成分について,正の値が地面から身体に 対して前方にかかる力,負の値が地面から身体に対 して後方にかかる力を示す.両足とも,GRFでは 支持期前半に負の値,後半に正の値がみられ,それ ぞれ身体に対して後方と前方にかかる力が作用して いたことが示された.eGRFでもこれらの値の方向 の変化は同様であった.また,GRFとの差につい ては支持期前半の負の値,後半の正の値の両方で有 意な差がみられた.

### 3.3 関節トルク

Figure 4 a-f に計測および推定地面反力と作用 点中心により算出した下肢3関節(足関節,膝関節, 股関節)の関節トルクのうち,左右(X)軸まわり・ 矢状面内の成分のものの右足支持期および左足支持



Figure 4 Mean value of lower limbs joint torques in sagittal plane of calculated from measured (TRQ) and angular-momentum-estimated (eTRQ) ground reaction forces during normalized support phase (W = 7)

期における時々刻々の変化を平均値で示した.

足関節まわりのもの(a:右足関節;b:左足関 節)については,左右ともに計測によるもの(TRQ), 推定によるもの(eTRQ)ともに,支持期全体を通 して底屈トルクが発生していた.TRQとeTRQの 間の差の比較では,右では支持期40%から65%まで の底屈トルクのピーク値が発生する局面のほか,支 持期終盤で有意な差がみられたが,左では支持期終 盤にのみ有意な差がみられただけであった.

膝関節まわりのもの(c:右膝関節;d:左膝関節) については,TRQ と eTRQ ともに左右とも支持期 10% から 80% までの局面で伸展トルクが発生してい た.TRQ と eTRQ の間の差の比較では,左右とも に伸展トルクが大きくなる前の支持期 10% までの局 面と,伸展トルクが小さくなった支持期 80% より後 の局面のみで有意な差がみられた.

股関節まわりのもの(e:右股関節;f:左股関節) については,TRQとeTRQともに左右とも接地から 支持期50%まで伸展トルクが発生した後,支持期後 半で屈曲トルクに変化して離地していた.TRQと eTRQの間の差の比較では,左右両方とも支持期前 半の伸展トルクが発揮される局面では断続的に有意 な差がみられた局面があったほか,支持期後半の支 持期70%から90%までの局面で有意な差がみられた.

### 4. 考察

本報では、競歩種目を専門とする競技者を被験者 として、ランニング動作のキネティクス変数の評価 方法について検討を行ったものである.そのため、 目的と被験者の間に齟齬があるが、この点について は方法の項目で示したように当初は日本代表選手を 含む競歩種目の強化合宿中における動作分析サポー トの中で参考として収集したデータに走動作の評価 に応用可能なヒントがあったことから本報告書の中 の一報として報告するものである.

Table 1と Table 2に示したように、本研究にお けるランニング試技スピードの平均値は、被験者の 20km 競歩の過去2年間の最高パフォーマンスの平 均スピードとほぼ同じであった.しかし,このスピー ドは駅伝競技の全国大会に出場するような大学およ び実業団に所属する長距離走の男性競技者の基礎的 有酸素トレーニング(ロング走)でも用いられる走 スピードである.そのほか、本報の被験者は競歩種 目を専門としているものの、ほぼ全員がU18年代に おいては中長距離走種目への出場経験があり、その ための中長距離走種目のトレーニングも実施してい た経験があることから、本研究の結果は走種目の評 価方法を検証したものとしても差し支えないと考え

## ることができる.

本研究における地面反力の推定方法は、三浦ほか (2024) が報告しているように、算出にあたって地 面反力の推定作用点中心を計算に用いるため、作用 点中心の推定値がどの程度真値を反映したものであ るかが地面反力および関節トルクの推定精度に影響 することになる.本報の結果の項目で示した推定作 用点中心は、被験者全体の平均値では実測値に非常 に近いものであったものの支持期全体にわたって有 意な差がみられ (Figure 1). さらに地面反力の前 後方向,鉛直方向の成分ではほとんどの局面で有意 な差がみられた (Figure 2, 3). それにもかかわら ず, Figure 4に示した矢状面内の足関節トルクと 膝関節トルクでは大きな有意差とはならなかった. このことは、作用点中心および地面反力の推定に関 しては三浦ほか(2024)に示されたように推定方法 にまだまだ改善の余地が大きいということを示して いる.しかし、トルクに関してはその算出には地面 反力と作用点中心だけでなく,支持脚足部,下腿, 大腿のそれぞれの部分の質量中心の加速度、質量中 心まわりの角加速度が関係するほか、部分の端点に かかる力と質量中心の位置関係なども関係する. そ のため、作用点中心および地面反力において実測値 と推定値の間で有意となった差異が、足関節と膝関 節の関節トルクの算出に際しては有意な違いとなる ほどには影響しなかったと考えることができる.

本研究は、三浦ほか(2024)において報告された 競歩種目における検証と同様に、バイオメカニクス 手法を用いた中長距離走のトレーニング・コーチン グの手法として、公式競技会やトレーニングの場な ど地面反力の計測が困難な場所でも関節トルクなど キネティクス変数によって競技者の動作を評価する 手法の検証を目的として行ったものである.地面反 力は運動中の身体によって外界に対して発揮された 力を反映し、関節トルクは身体内部の筋骨格系で発 揮されている内力を反映していることから、身体運 動の評価や、スポーツなどのパフォーマンス向上に 向けた技術改善に向けて非常に有効な指標とされて いる(阿江, 2005;窪, 2017;横澤, 2017;三浦ほ か、2021, 2023).

そのため、本研究の結果は、わが国における競歩 種目のトレーニング支援としてこれまで行われた手 法(三浦ほか、2021、2023)の中長距離種目への応 用可能性を示したものであるといえる.

# 6. 文献

- Ae, M., Tang, H.P., Yokoi, T. (1992) Estimation of inertia properties of the body segment in Japanese athletes. in: Japanese Societyof Biomechanisms, editor. Biomechanisms 11: Form, Motion, and Function in humans. tokyo: University of tokyo press; p. 33.
- 阿江 通良(2005)特集 スキルサイエンス スポー ツ選手のスキルフルな動きとそのコツに迫る.人 工知能学会誌, 20(4), 541-548.
- Cavanagh, P. R., LaFortune, M. A. (1980) Ground reaction forces in distance running. Journal of Biomechanics, 13(5), 397-406.
- Coyler, S.L., Nagahara, R., Takai, Y., Salo, A.I.T. (2018) How sprinters accelerate beyond the velocity plateau of soccer players: waveform analysis of ground reaction forces. Scandinavian Journal of Medicine and Sports in Sports, 28, 2527-2635.
- 榎本 靖士,阿江 通良,岡田 英孝,藤井 範久(1999) 力学的エネルギー利用の有効性から見た長距離 走者の疾走技術.バイオメカニクス研究,3(1), 12-19.
- 羽田 雄一, 阿江 通良, 榎本 靖士, 法元 康二, 藤 井 範久 (2003) 100m 走における疾走スピードと 下肢関節のキネティクスの変化. バイオメカニク ス研究, 7(3), 193-204.
- 法元 康二 (2000) 競歩の歩行速度に影響を及ぼす バイオメカニクス的要因. 平成11年度筑波大学 体育研究科 研究論文集, pp.233-236.
- Hoga, K., Ae, M., Enomoto, Y., Yokozawa, T., Fujii, N. (2006) Joint torque and mechanical energy flow in the support legs of skilled race walkers. Sports Biomechanics, 5(2), 167-182.
- 法元康二・阿江通良(2006) 力学的エネルギー利用 の有効性からみたアテネオリンピック男子 20km 競歩におけるメダリストと日本人選手の比較.陸 上競技研究紀要, 2, 38-46.
- 法元 康二,阿江 通良,榎本 靖士,横沢 俊治, 藤井 範久 (2010) 競歩における左右下肢間の力
   学的エネルギーの流れと下胴および体幹の動作との関係.トレーニング科学,20(3),217-229.
   Hoga-Miura, K., Hirokawa, R., Sugita, M.,

Enomoto, Y., Kadono, H., Suzuki, Y. (2022) Reconstruction of walking motion without flight phase by using computer simulation on the world elite 20km female race walkers during official race. Gazzetta Medica Italiana- Archivio per le Science Mediche, 181 (5), 303-314.

- 窪 康之(2017) 第8章 スポーツ医・科学,情報 によるコーチング支援,第1節 スポーツ医・科 学によるコーチング支援の現状と課題.日本コー チング学会編,コーチング学への招待.大修館書 店,pp.330-334.
- 三浦 康二,佐藤 高嶺,川向 哲弥,大久保 玲美 (2020) 2018 - 2019 年度国内主要競歩レースに おける国内一流競技者の下肢および体幹関節トル クの分析.日本陸連科学委員会研究報告 陸上競 技の医科学サポート研究 REPORT2020, 19, 221-231.
- 三浦 康二, 蔭山 雅洋, 黒阪 翔, 津野 天兵, 渡 辺 圭佑 (2021) 特集 ハイパフォーマンススポー ツを対象とした医・科学支援の実例—ハイパ フォーマンス・サポート事業の活動を例に.フィー ルドにおける2次元動作分析法による前額面・矢 状面内動作の簡易的分析とクイックフィードバッ ク. Journal of High Performance Sport, 7, 58-70.
- 三浦康二,佐藤高嶺,川向哲弥,高橋直己(2023) 2022年国内主要競歩レースにおける国内シニア・ U20上位競技者の地面反力および下肢関節トル クの推定.日本陸連科学委員会研究報告陸上競 技の医科学サポート研究 REPORT2022, 21, 207-214.
- 三浦 康二,松林 武生,景行 崇文,後藤 晴彦,杉 田 正明,佐藤 高嶺,高橋 直己,川向 哲弥,今 村 文男,谷井孝行 (2024)世界一流日本人男子 競技者における競歩中地面反力のフォースプラッ トフォームに よる計測値と重心加速度・全身角 運動量による推定値との比較.日本陸連科学委 員会研究報告 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2023, 22, 168-176.
- Murray, M.P., Guten, G.N., Mollinger, L.A., Gardner, G.M. (1983) Kinematic and electromayographic patterns of olympic racewalkers. the American Journal of Sports Medicine, 11(2), 68-74.
- Nagahara, R., Mizutani, M., Matsuo, A., Kanehisa, H., Fukunaga, T., (2018)

Association of sprint performance with ground reaction forces during acceleration and maximal speed phases in a single sprint. Journal of Applied Biomechanics, 34(2), 104-110.

- Nagahara, R., Kanehisa, H., Fukunaga, T. (2020) Ground reaction force across the transition during sprint acceleration. Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 30, 450-461.
- 中山 滉一, 榎 翔太, 牧野 瑞輝, 庄司一眞, 眞鍋 芳明(2023) 異なる斜度の下り坂走が平地走に与 える即時的な影響.陸上競技学会誌, 21, 1-12.
- Pataky, T.C. (2011) One-dimensional statistical parametric mapping in python. Computer methods in biomechanics and biomedical engineering, 15(3), 295-301.
- Payne, A. H. (1978) A comparison of ground reaction forces in race walking with those in normal walking and running. Biomechanics VI -A, 293-302.
- 横澤 俊治 (2017) 第8章 スポーツ医・科学,情報
  によるコーチング支援,第2節 現状を把握する,
  パフォーマンスの分析・評価,(2)動作分析
  による把握.日本コーチング学会編,コーチング
  学への招待.大修館書店, pp. 337-338.