

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

三浦 康二¹⁾ 佐藤 高嶺²⁾ 川向 哲弥³⁾ 大久保 玲美²⁾

1) 日本スポーツ振興センター 2) 筑波大学大学院人間科学研究科 3) 北陸体力科学研究所

1. 目的

競歩の競技中の3次元動作分析は、本連盟科学委員会活動としてこれまで2001年度から2002年度に国内で開催された男子20kmWを対象に報告が行われたほか(Hoga et al., 2003; Hoga-Miura et al., 2016a, 2016b), 2004年度から2007年度にかけても国際競技会の男子20kmWと女子20kmWを対象として行われている(法元・阿江, 2006; 法元ほか, 2007; Hoga-Miura et al., 2017, 2020, In Press).

その後、2020年東京オリンピックを前にして我が国の競歩種目の競技水準が向上したことから、2018年度より本連盟科学委員会活動としての3次元動作分析を再開し、2019年度に報告を行っている(佐藤ほか, 2020; 三浦ほか, 2020).

本報告では、2018年度から2019年度にかけて日本国内で開催された競歩種目の主要競技会における男子20kmW・50kmW, 女子20kmWに出場した世界一流の日本人競技者を含む国内競技者の下肢および体幹関節トルクの分析結果から、パフォーマンスによる違いと、種目による違いを示すことを目的とした。

2. 方法

2.1 データ収集

分析競技会・レースは表1に示した通りである。

撮影した競技者のうち失格とならずにフィニッシュした競技者を強化競技者・強化対象競技者を中心として競技会ごとに表1の人数だけ分析対象とした。また、これらの競技会は表1に示す距離の周回コースで行われたが、各競技会においてコース内の1箇所幅3.0m長さ4.5m高さ2.0mの分析空間を設置し、ハイスピードカメラ2台(カメラスピード: 240fps)にて3次元DLT法による分析撮影を全ての

周回について行なった。

また、分析データと歩型判定の関係について検証するために、本来は競技運営上の内部情報として非公開とされる各競技会の競歩審判集計表を主催者との協力のもとで許可を得て入手し、各分析対象者が受けた赤カードの合計枚数を算出した。

2.2 データ処理

レース後に1kmごとのスプリットタイムを入手し、各分析対象者の画像が2台のカメラに同時に映っていた周回のうち、最も速かった区間を表1に示した分析地点とした。2台のカメラのそれぞれの画像における各分析対象者の身体標点25点を分析点として1歩行周期(2歩)分の動作をビデオ動作分析システム(Frame-DIAS IV, DKH社製)により60fpsでデジタル化し、右足接地フレームを同期フレームとして3次元DLT法による3次元座標の再構築を行なった。

得られた分析点の分析画像面内の座標はバターワース型デジタルフィルターによって平滑化し、法元・阿江(2006), Hoga-Miura et al. (2017)の方法により身体重心加速度および重心まわり角運動量を用いて推定した歩行中の地面反力に基づいて、支持期を含む下肢3関節まわりのトルクおよび肋骨下端中点に仮定した体幹関節まわりのトルクを算出した。

算出したデータは、支持期については右足接地から離地までを右足支持期として、右接地時点を0%, 右足つま先の離地時点を100%として局面を規格化した。回復期についても、右足離地から右足接地までを右足回復期として、右足つま先の離地時点を0%, 右足接地時点を100%として局面を規格化した。左足についても同様の規格化を行なったが、Hoga-Miura et al. (2016b)が示すように、男子20kmWの一流競技者の支持期の時々刻々のキネマティクスにおいては有意な左右差がみられないことから、各

表 1 分析対象競技会・レース

競技会名	開催地	期日	周回コース 距離	分析対象	
				分析種目	人数 (外国 OP)
第 57 回全日本競歩 高畠大会	山形県高畠町	2018 年 10 月 28 日	2km	男子 20kmW	5
				男子 50kmW	6
				女子 20kmW	4
第 102 回日本陸上 競技選手権大会	神戸市	2019 年 2 月 17 日	2km	男子 20kmW	14
				女子 20kmW	7(1)
第 103 回日本陸上 競技選手権大会	石川県輪島市	2019 年 4 月 14 日	2km	男子 50kmW	10(3)
第 58 回全日本競歩 高畠大会	山形県高畠町	2019 年 10 月 27 日	2km	男子 20kmW	7
				男子 50kmW	7
				女子 20kmW	0
第 103 回日本陸上 競技選手権大会	神戸市	2020 年 2 月 16 日	1km	男子 20kmW	20
				女子 20kmW	6
第 44 回全日本競歩 能美大会	石川県能美市	2020 年 3 月 15 日	1km	男子 20kmW	10
				女子 20kmW	6

分析対象者の規格化した左右の各支持期および回復期のデータの平均値を算出した。

2.3 比較と統計処理

本報告でのデータ比較は、表 1 の対象者のうち各種目で複数回のパフォーマンスを示した競技者を選び、パフォーマンス（記録）に基づいて以下の 4 種類のデータ比較分析を行った。

- 1) 男子 20kmW での同一競技者のパフォーマンス最大と最小の比較 (N = 18)
- 2) 男子 50kmW での同一競技者のパフォーマンス最大と最小の比較 (N = 5)
- 3) 女子 20kmW での同一競技者のパフォーマンス最大と最小の比較 (N = 8)
- 4) 同一競技者の男子 20kmW と男子 50kmW のそれぞれのパフォーマンス最大の比較 (N = 10)

群間のデータ比較では比較各群とも同一対象者のデータであったことから、危険率を 5% として対応のある t 検定を行った。

3. 結果と考察

3.1 競技パフォーマンス

方法で示した比較各群における対象者のパフォーマンスを表 2 に示した。

本報で分析したすべての種目でパフォーマンス最大と最小で有意な差がみられた（男子 20kmW : N = 18, $t = 5.00$, $p < 0.05$; 男子 50kmW : N = 5, $t = 2.85$, $p < 0.05$; 女子 20kmW : N = 8, $t = 3.60$, $p < 0.05$). また, 男子 20kmW と 50kmW の両方でパフォーマンスを残した対象者のそれぞれの種目の最大パフォーマンスの平均スピードは有意な差がみられた (N = 10, $t = 10.71$, $p < 0.05$).

3.2 ステップ変数

表 3-6 に比較各群のレーススピード, 歩行スピードおよびステップ変数を分析対象者の平均値と標準偏差で示し, あわせて t 値を示した。

男子 20kmW のパフォーマンス最大と最小のステップ変数の比較では, 全ての項目で有意な差はみられなかった (表 3). 一方, 男子 50kmW ではステップ

表2 比較対象ごとのパフォーマンス（競技記録）

比較の種類	人数 (N)	パフォーマンス最大		パフォーマンス最小		t値
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	
男子 20kmW	18	1:20'39"	2'12"	1:22'38"	2'45"	5.00*
男子 50kmW	5	3:42'04"	6'21"	3:47'57"	6'47"	2.85*
女子 20kmW	8	1:32'36"	2'54"	1:35'32"	2'39"	3.60*

* $p < 0.05$

	人数 (N)	20kmW パフォーマンス最大		50kmW パフォーマンス最大		t値
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	
男子 20kmW・50kmW	10	1:21'34"	2'47"	3:47'09"	8'21"	10.71*

* $p < 0.05$ (男子 20kmW と 50kmW は平均スピードの比較)

表3 男子 20kmW ステップ分析 (N = 18)

	パフォーマンス最小		パフォーマンス最大		t値
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
分析地点スピード (m/秒)	4.24	0.16	4.21	0.18	0.86
ピッチ (ステップ/秒)	3.50	0.16	3.46	0.13	1.80
ステップ時間 (秒)	0.29	0.01	0.29	0.01	1.81
支持時間 (秒)	0.23	0.02	0.23	0.02	0.24
非支持時間 (秒)	0.06	0.01	0.06	0.01	0.97
ステップ長 (m)	1.21	0.04	1.22	0.05	0.52
支持距離 (m)	0.97	0.05	0.96	0.06	0.40
非支持距離 (m)	0.25	0.05	0.26	0.06	0.81

* $p < 0.05$

表4 男子 50kmW ステップ分析 (N = 5)

	パフォーマンス最小		パフォーマンス最大		t値
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
分析地点スピード (m/秒)	3.96	0.07	3.69	0.15	2.61*
ピッチ (ステップ/秒)	3.39	0.08	3.30	0.05	2.53*
ステップ時間 (秒)	0.295	0.007	0.303	0.004	2.50*
支持時間 (秒)	0.24	0.01	0.26	0.01	3.30*
非支持時間 (秒)	0.06	0.02	0.04	0.01	2.69*
ステップ長 (m)	1.17	0.04	1.12	0.05	2.11
支持距離 (m)	0.95	0.03	0.96	0.05	1.13
非支持距離 (m)	0.22	0.02	0.16	0.03	2.78*

* $p < 0.05$

表5 女子 20kmW ステップ分析 (N = 8)

	パフォーマンス最小		パフォーマンス最大		t 値
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
分析地点スピード (m/秒)	3.72	0.10	3.56	0.10	2.79*
ピッチ (ステップ/秒)	3.44	0.11	3.46	0.09	0.20
ステップ時間 (秒)	0.29	0.01	0.29	0.01	0.22
支持時間 (秒)	0.24	0.01	0.26	0.01	2.11*
非支持時間 (秒)	0.05	0.01	0.03	0.01	3.00*
ステップ長 (m)	1.08	0.04	1.03	0.01	3.03*
支持距離 (m)	0.90	0.04	0.93	0.04	1.23
非支持距離 (m)	0.17	0.05	0.10	0.04	3.09*

* $p < 0.05$

表6 男子 20kmW・男子 50kmW ステップ分析 (N = 10)

	20kmW パフォーマンス最大		50kmW パフォーマンス最大		t 値
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
分析地点スピード (m/秒)	4.22	0.19	3.86	0.18	5.55*
ピッチ (ステップ/秒)	3.43	0.15	3.36	0.12	2.19
ステップ時間 (秒)	0.29	0.01	0.28	0.01	2.33*
支持時間 (秒)	0.23	0.01	0.25	0.01	4.29*
非支持時間 (秒)	0.06	0.01	0.05	0.01	3.35*
ステップ長 (m)	1.23	0.04	1.15	0.04	6.04*
支持距離 (m)	0.98	0.05	0.95	0.04	2.18
非支持距離 (m)	0.25	0.04	0.20	0.03	5.13*

* $p < 0.05$

長、支持距離以外の全ての項目において有意差がみられ、パフォーマンス最大でステップ時間、支持時間は有意に小さく、スピード、ピッチ、非支持時間、非支持距離が大きくなっていた (表4)。女子 20kmW では、ピッチ、ステップ時間、支持距離以外の項目で有意差がみられ、パフォーマンス最大でスピード、非支持時間、ステップ長、非支持距離が有意に大きく、支持時間は有意に小さくなっていた。

本報告ではすべてのレース、対象者で、それぞれのレースの1周当たりのスプリットタイムが最も速かった周回を分析対象としているが、これらの結果は、男子 20kmW ではレースの記録に関係なくそれぞれのレースで最速だった周回のスピードには違いがなく、レースパフォーマンスの違いはそれ以外の周回のスピードによって発生していることが示唆され

た。このことは、法元ほか (2011) が行った2次元動作分析によるレース前後半の動作の違いに関する研究でも報告されており、男子 20kmW レースの特徴であるといえる。

それに対し、男子 50kmW と女子 20kmW では、パフォーマンスが高かったレースの場合には最速の周回のスピードも高かったといえる。また、個々のステップ変数の違いについてみると、ステップ時間においてパフォーマンスによる違いが発生していた点が両種目に共通していた。同一対象者群による男子 20kmW と男子 50kmW のパフォーマンス最大の比較では、支持期における重心の移動距離には違いはなかったものの支持時間は男子 20kmW で短く、また、非支持期が 20kmW の方が長くなっていた。

また、本報告における分析対象レースの全てで国

表 7 比較対象ごとの競歩審判員赤カード数

比較の種類	人数 (N)	パフォーマンス最大		パフォーマンス最小		t値
		平均 (枚)	標準偏差	平均 (枚)	標準偏差	
男子 20kmW	18	0.72	0.75	0.94	1.11	0.75
男子 50kmW	5	0.60	0.89	0.20	0.45	1.46
女子 20kmW	8	0.25	0.46	0.25	0.46	1.00

	人数 (N)	20kmW パフォーマンス最大		50kmW パフォーマンス最大		t値
		平均 (枚)	標準偏差	平均 (枚)	標準偏差	
男子 20kmW・50kmW	10	0.40	0.70	0.90	0.88	1.17

際競歩審判員が判定にあたり、分析対象者に対して出された赤カードの各群の平均値と標準偏差を表 7 に示したが、1 名あたりの平均値が 1 枚未満だったように、本報告の分析対象者には判定上の課題はなかったといえる。加えて、表 3 - 6 に示した非支持時間では男子 50kmW、女子 20kmW の群間および男子 20kmW と 50kmW の間で有意差がみられたのに対し、実際の判定では有意差がなかったことから、非支持時間の有意な違いは判定に影響を与えるほどではなかったといえる。

3.2 支持期におけるトルク

3.2.1 男子 20kmW パフォーマンス最大群・最小群の比較

図 1 は男子 20kmW パフォーマンス最大群と最小群の下肢 3 関節および体幹のトルクについて、足関節は背屈・底屈のみ (図 1a)、膝関節は伸展・屈曲 (図 1b) と内反・外反 (図 1c)、股関節は屈曲・伸展 (図 1d) と内転・外転 (図 1e)、体幹は長軸周りの回旋 (図 1f) のみを示したものである。それぞれ回復期の離地から接地までを 0% から 50%、支持期の接地から離地直前までを 51% から 100% として規格化し、左右両脚の平均値で示したものである。比較群間で有意な差のみられた局面を危険率 5% 水準で示した。

図 1a の足関節についてみると、回復期では非常に小さなトルクしか発揮されていなかったが、支持期である 51 - 65% で背屈トルクが発生し、65% から離地までは底屈トルクが発生していたが、80 - 85% 付近でピークとなっていた。大きなトルクが発生する支持期では 2 群間の有意な差は見られなかった。

図 1b の膝関節伸展・屈曲トルクでは、回復期前半である 0 - 25% で伸展トルクが発生し、25% で屈

曲トルクに変化した後 40% 付近でいったんピーク値を生じて接地し、支持期となる 51% から 90% まで発生していた屈曲トルクは 75 - 80% でピークとなっていた。図 1c の膝関節内・外反トルクでは、回復期では非常に小さかったが、支持期では外反トルクが発生し、65 - 70% でピーク値となっていた。大きなトルクが発生する伸展・屈曲トルクおよび支持期の内・外反トルクでは足関節トルクと同じように 2 群間の有意な差は見られなかった。

図 1d の股関節屈曲・伸展トルクでは、回復期前半である 0 - 25% で屈曲トルクが発生し、25% で伸展トルクに変化した後 40% 付近でいったんピーク値を生じて接地し、支持期となる 65% でふたたび伸展トルクに変化して、そのまま離地まで伸展トルクが増加していた。図 1d の内・外転トルクでは、回復期である 10 - 35% で内転トルクが発生した後、支持期である 51% から離地までは外転トルクが発生し、70 - 75% でピークとなっていた。2 群間の比較では、支持期で伸展から屈曲にトルクの方向が変化した直後の 70% - 85% でパフォーマンス最大群の伸展トルクが有意に小さくなっていた。

図 1f の体幹長軸回旋トルクについて片側の脚を中心としてみると、0 - 25% の局面は回復脚側の骨盤を前方に振り出すトルクが発生していたのが、25% からは回復脚を後方に振り出す方向のトルクに変化し、その後、支持期に変化して 60 - 65% からは支持脚側の骨盤を前方に振り出すトルクが発生し、90 - 100% でピークとなっていた。2 群間の比較ではピークとなるトルクには有意な差はみられなかったが、20 - 25% のトルクの方向が変わる局面でパフォーマンス最大群の回復脚を後方に振り出すトルクの立ち上がり有意に大きくなっていた。

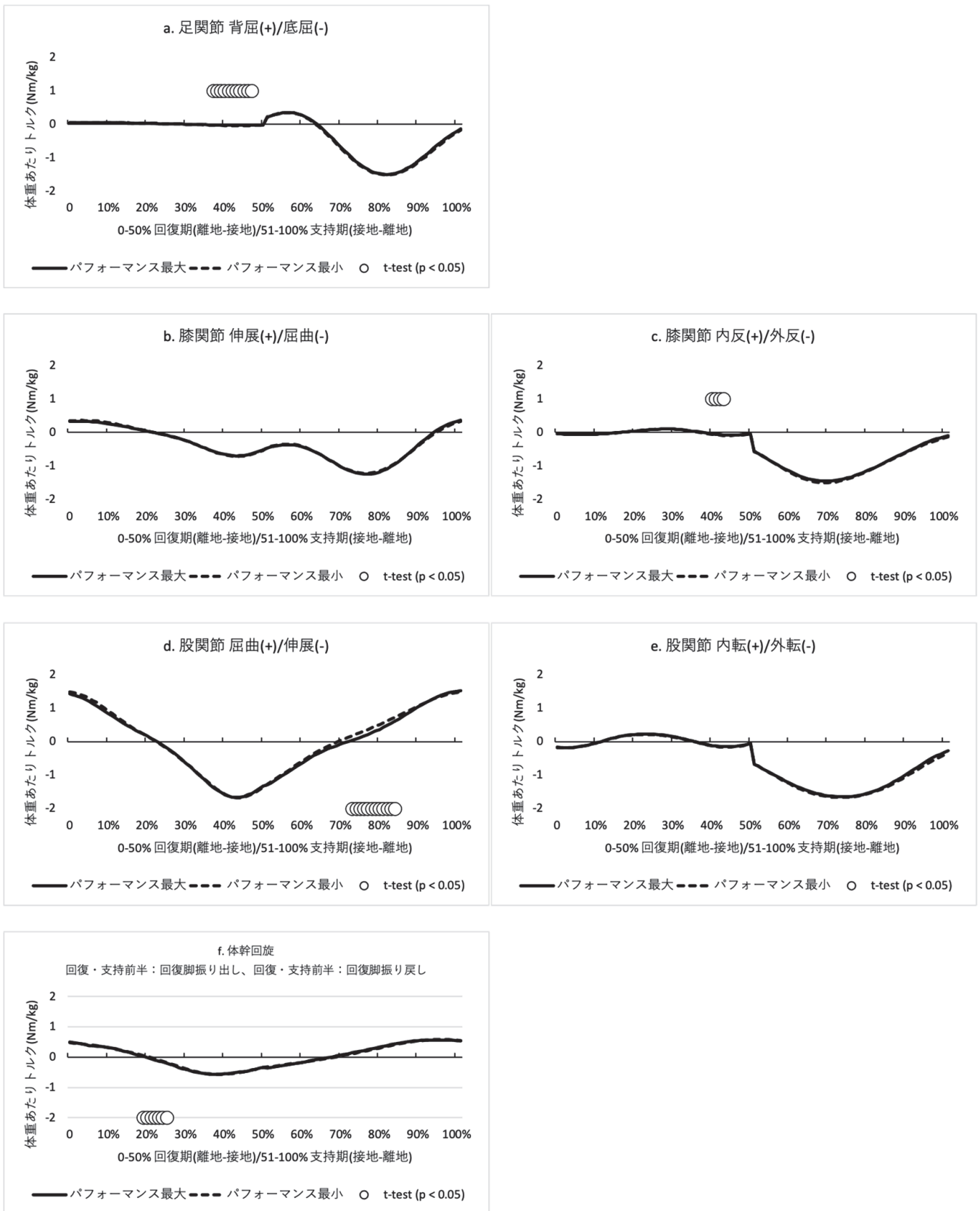


図1 男子 20kmW パフォーマンス最大・最小群の下肢関節および体幹まわりトルク (N = 18)

3.2.2 男子 20kmW パフォーマンス最大群・最小群の比較

図2は男子 50kmW パフォーマンス最大群と最小群の下肢3関節および体幹のトルクについて、図1と

同じように示したものである。

図2a - fのそれぞれのトルクの変化パターン、トルクの大きさは図1に示した男子 20kmW のものと大きな違いはなかったが、比較した2つの群間での

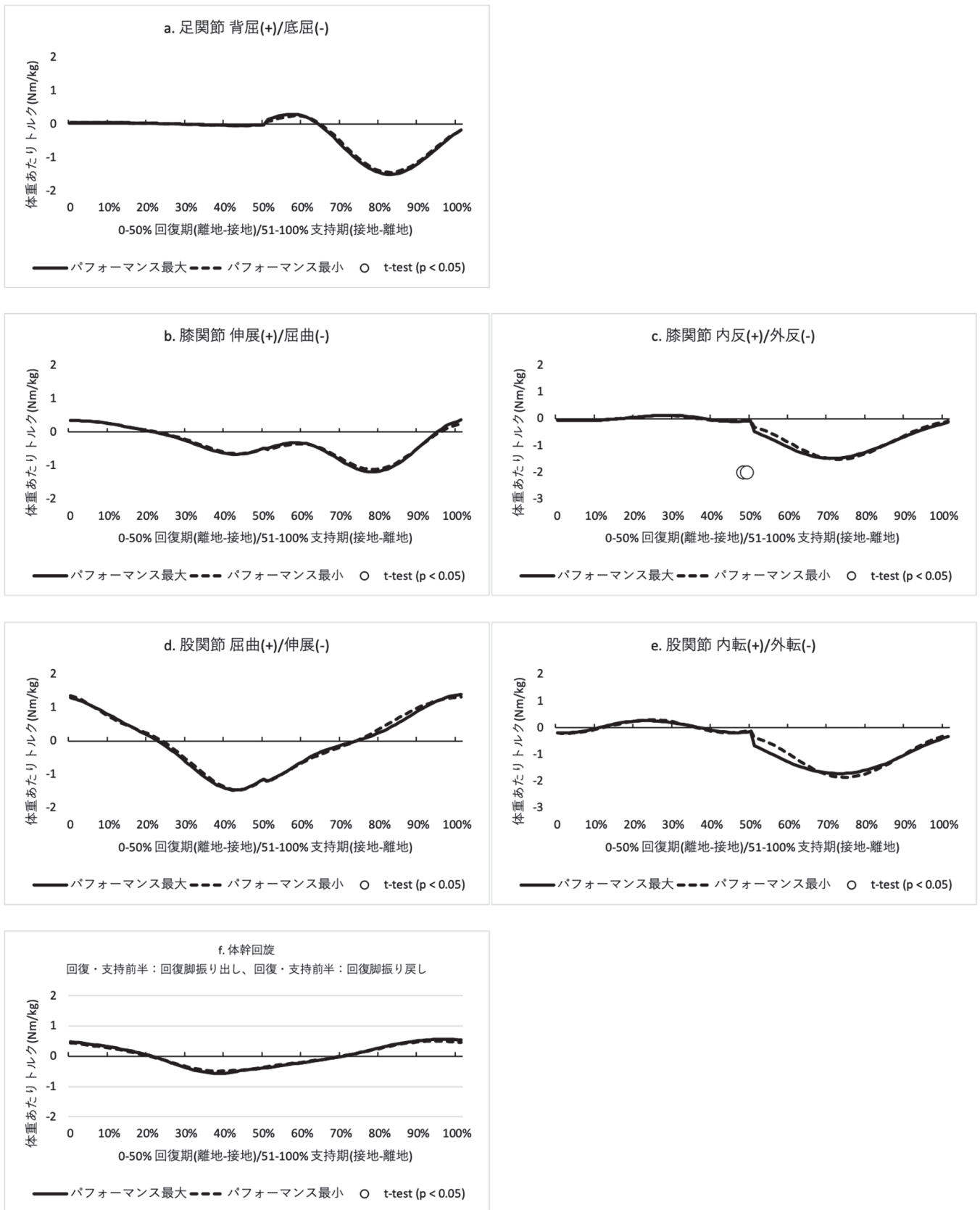


図2 男子 50kmW パフォーマンス最大・最小群の下肢関節および体幹まわりトルク (N = 5)

有意な差は、大きなトルクが発揮される局面ではみられなかった。

3.2.3 女子 20kmW パフォーマンス最大群・最小群の比較

図3は女子 20kmW パフォーマンス最大群と最小群の下肢3関節および体幹のトルクについて、図1と同じように示したものである。

図3a - fのそれぞれのトルクの変化パターンの

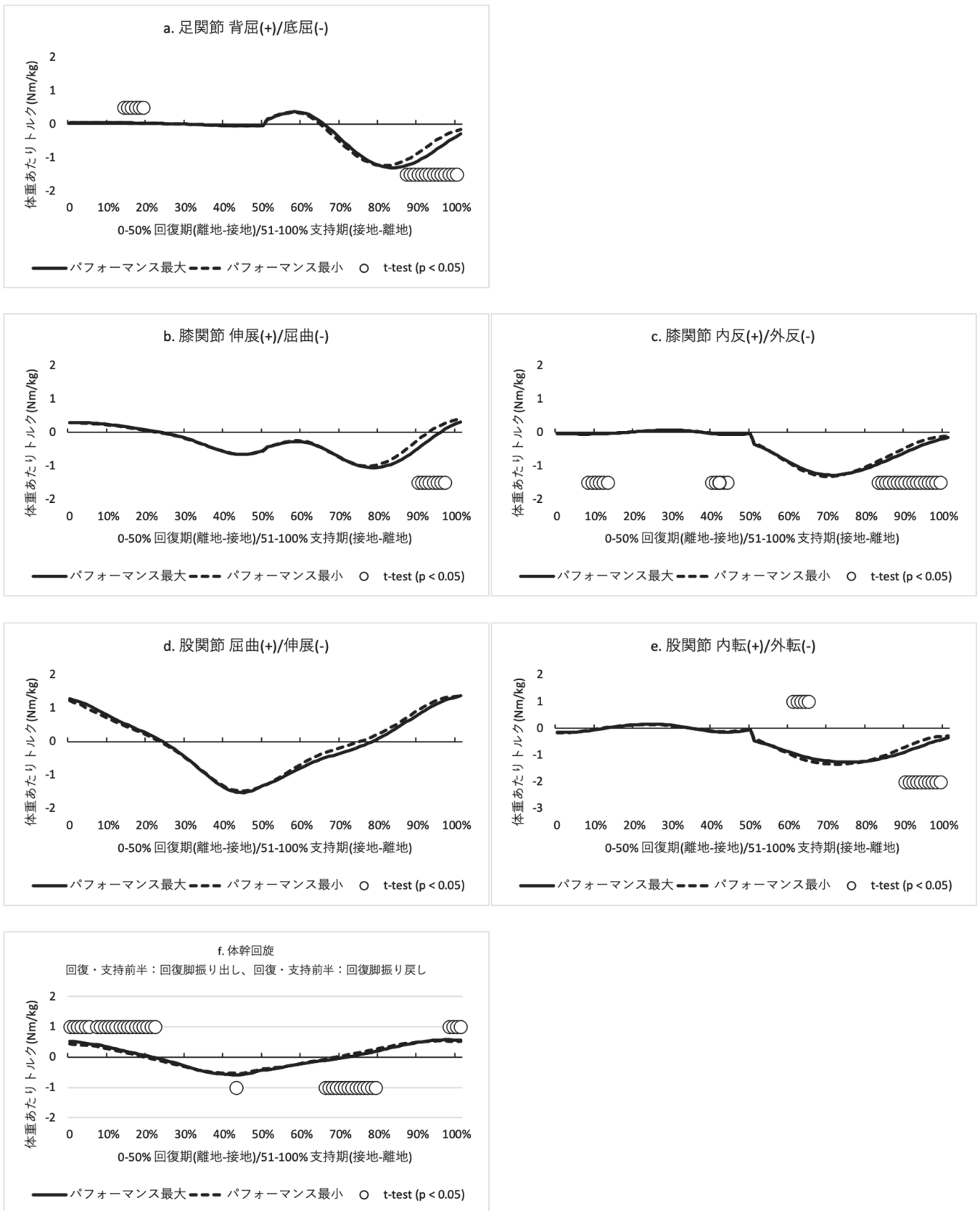


図3 女子 20kmW パフォーマンス最大・最小群の下肢関節および体幹まわりトルク (N = 8)

大きさは図1, 2に示した男子 20kmW のものと大きな違いはなかったが、ピークの値についてはいずれも女子 20kmW の方が小さかった。

図 3a の足関節についてみると、支持期である 80

— 85% 付近での底屈トルクのピークでは、男子のピーク値が 1.52Nm/kg だったのに対し、女子では 1.30Nm/kg であった。

図 3b, 3c の膝関節についてみると、支持期であ

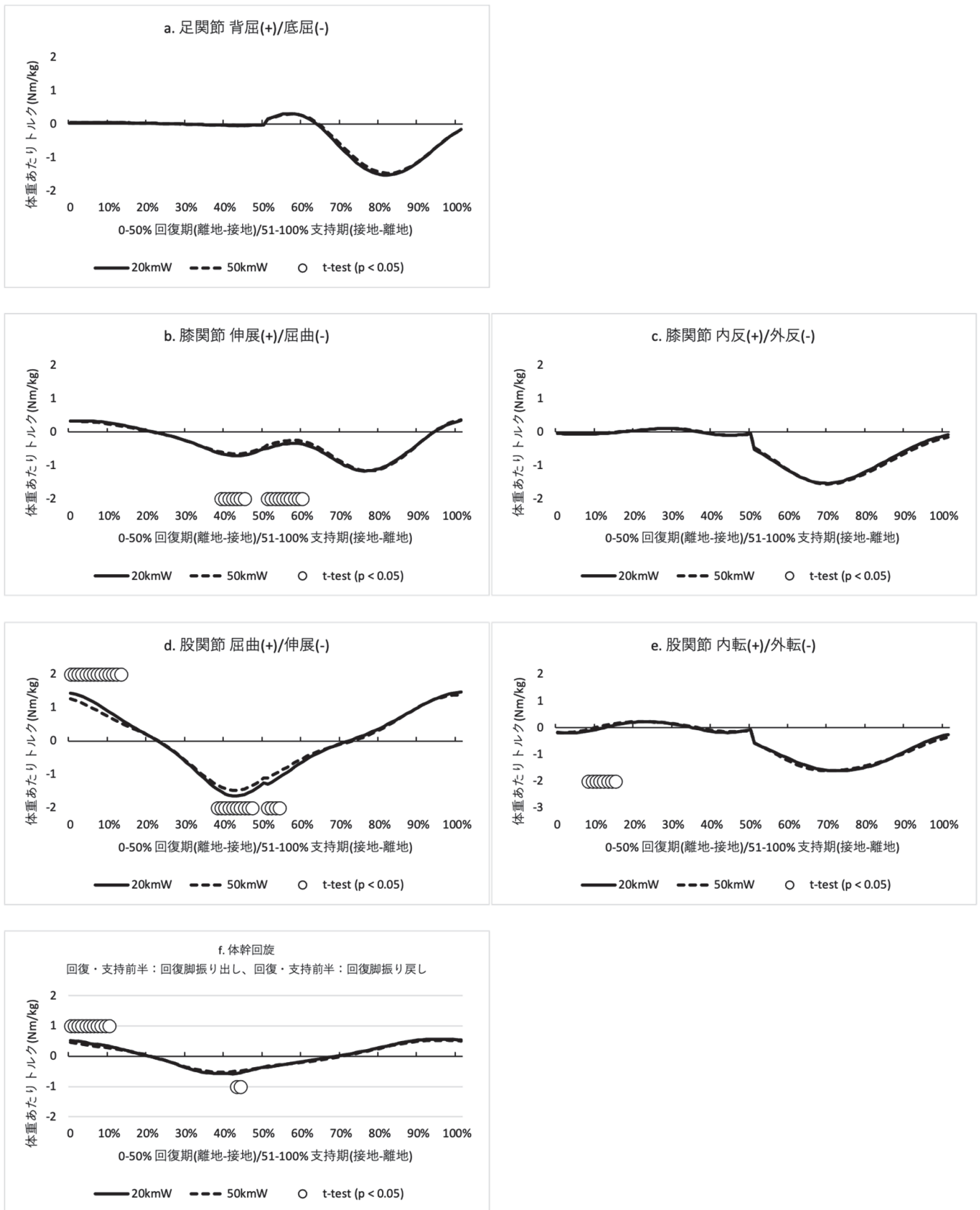


図4 男子20kmWと50kmWパフォーマンス最大群の下肢関節および体幹まわりトルク (N = 10)

る75 - 80%付近での屈曲トルクのピークでは、男子のピーク値が1.25Nm/kgだったのに対し、女子では1.05Nm/kgであり、65 - 70%付近での外反トルクのピークでは、男子のピーク値が1.51Nm/kgだっ

たのに対し、女子では1.31Nm/kgであった。

図3d, 3eの股関節についてみると、回復期である40%付近での屈曲トルクのピークでは、男子のピーク値が1.67Nm/kgだったのに対し、女子では

1.52Nm/kg であり、支持期の離地直前での屈曲トルクは、男子が 1.52Nm/kg だったのに対し、女子では 1.37Nm/kg であった。また、70 - 75% 付近での外転トルクのピークでは、男子のピーク値が 1.66Nm/kg だったのに対し、女子では 1.34Nm/kg であった。

図 3f 体幹トルクでは男子との大きな違いはみられなかった。

また、比較した 2 つの群間での有意な差は、男子 20kmW, 50kmW と異なり、女子 20kmW では大きなトルクが発揮される局面でもいくつかみられた。

支持期の足関節底屈トルク (図 3a) ではピークとなる 85% から離地の局面でパフォーマンス最大群が有意に大きかった。また、膝関節 (図 3b, c) では同じ支持期の終盤となる局面で有意な差がみられ、80 - 95% の屈曲トルクがパフォーマンス最大群で有意に大きく、外反トルクでも 85% - 離地の局面でパフォーマンス最大群が有意に大きかった。股関節では外転トルクで有意な差がみられ (図 3e), 90% - 離地の局面でパフォーマンス最大群が有意に大きかった。体幹トルク (図 3f) では、遊脚側の骨盤を前方に振り出すトルクでパフォーマンス最大群が有意に大きかった。

3.2.4 男子 20kmW と男子 50kmW のパフォーマンス最大群の比較

図 4 は男子 20kmW と男子 50kmW のパフォーマンス最大群の下肢 3 関節および体幹のトルクについて、図 1 と同じように示したものである。

図 4a - f のそれぞれのトルクの変化パターンの大きさは図 1, 2 に示した男子 20kmW, 男子 50kmW のものと大きな違いはなかったが、比較した 2 つの群間での有意な差は、男子 20kmW, 50kmW それぞれでのパフォーマンス最大と最小の比較と異なり、大きなトルクが発揮される局面でもいくつかみられた。

支持期の足関節底屈トルク (図 4a) では有意な差はみられなかったが、膝関節屈曲トルク (図 4b) では、接地前後となる 40 - 60% の局面で有意な差がみられ、20kmW で有意に大きかった。股関節屈曲・伸展トルク (図 4c) では、回復期となる離地 - 15% の屈曲トルクで 20kmW が有意に大きく、接地前後となる 35 - 55% の伸展トルクで 20kmW が有意に大きかった。体幹トルク (図 4f) では、遊脚側の骨盤を前方に振り出すトルクと、振り戻すトルクのピークが発生する局面 (離地 - 10%, 40 - 45%) で 20kmW が有意に大きかった。

5. 文献

- Hoga, K. et al. (2003) Mechanical energy flow in the recovery leg of elite race walkers. *Sports Biomechanics*, 2(1), 1 - 13.
- 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.
- 法元康二ほか (2007) 世界陸上競技選手権ヘルシンキ大会男女 20km 競歩におけるロス・オブ・コンタクト判定. *日本陸上競技学会誌*, 6(Supplement), 11 - 16.
- 法元康二ほか (2011) 男子 20km 競歩のレース経過にともなう歩行速度と力学的エネルギーの流れの変化. *コーチング学研究*, 24(2), 139-152.
- Hoga-Miura, K., et al. (2016a) Kinetic analysis of the function of the upper body for elite race walkers during official men 20 km walking race. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(10), 1147 - 55.
- Hoga-Miura, K., et al. (2016b) A three-dimensional kinematic analysis of men's 20-km walking races using an inverted pendulum model. *Gazzetta Medica Italiana-Archivio per le Scienze Mediche*, 175(7 - 8), 297 - 307.
- Hoga-Miura, K., et al. (2017) Reconstruction of walking motion without flight phase by using computer simulation on the world elite 20km race walkers during official races. *Slovak Journal Sport Science*, 2(1), 59 - 75.
- Hoga-Miura, K., et al. (2020) A three-dimensional kinematic analysis of walking speed on world elite women's 20-km walking races using an inverted pendulum model. *Gazzetta Medica Italiana- Archivio per le Scienze Mediche*, 179(1 - 2), 29 - 38.
- Hoga-Miura, K., et al. (In Press) 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 Scienze Mediche*.
- 三浦ほか (2020) 2018 年度および 2019 年度初頭国内主要競歩レースにおける世界・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 REPORT2019, 18, 231 - 237.

佐藤ほか (2020) 男子 50km 競歩日本記録更新時の
ペース変化とキネマティクスおよびキネティクス
的変数の変化. 陸上競技研究紀要, 15(1), 106
- 115.