

# 片麻痺のパラアスリートにおける ランニングフォームの特徴

帝 京 大 学 佐 賀 典 生  
(共同研究者) 同 佐 保 泰 明

## Characteristics of The Running Form of A Para-Athlete with Hemiplegia

by

Norio Saga  
*Teikyo University,  
Institute Sports Science & Medicine*  
Yasuaki Saho  
*Teikyo University,  
Faculty of Medical Technology*

### ABSTRACT

We present here a case study of the characteristics of the running form in a para-athlete with hemiplegia (track and field, standing, cerebral palsy) to provide relevant information to para-athletes and coaches. The participant performed a multistep progressive load running test on a treadmill. Oxygen uptake, carbon dioxide output, respiratory rate, expired gas volume, heart rate, and blood lactate concentration were measured to determine running speeds equivalent to 2 mmol/L (LT speed) and 4 mmol/L (OBLA speed) blood lactate concentrations. The participant ran at determined speeds, and foot pressure measurements and 3-D motion analysis were performed. Differences in foot pressure were observed between left and right feet, revealing a bimodal foot pressure curve on the paralyzed side. The 3D motion analyses also revealed disparities in left and right trunk rotation in response to arm swinging.

The findings of this study imply that hemiplegic para-athletes develop high levels of motor control over asymmetric movements and rotations by modifying and/or repressing the influence of the paralyzed side.

#### キーワード

パラアスリート, 脳原性麻痺, 片麻痺, 乳酸閾値, ランニング

#### Keyword

Para athlete, cerebral palsy, hemiplegia, Lactate Threshold, running motion analysis

### 要 約

本研究の目的は、片麻痺のパラアスリート1名（陸上競技、立位・脳原性麻痺）を対象としたランニングフォームの特徴に関する事例を提示して、パラアスリートや指導者の一助となるような情報を提供することであった。対象者は、トレッドミルを用いた多段階漸増負荷ランニングテストを行い、酸素摂取量、呼吸交換比、換気量、心拍数、血中乳酸濃度を測定し、血中乳酸濃度が2mmol/L (LT) および4mmol/L (OBLA) 相当の走速度を求めた。対象者は求めた速度でランニングを行い、足圧測定および3次元動作分析を行った。その結果、足圧や足圧中心の軌跡に左右差が認められ、麻痺側では2峰性の足圧曲線となった。また、3次元動作分析により、腕を振る際の体幹部の回旋には左右差が認められた。本研究の結果より、片麻痺パラアスリートにおけるランニング動作は、麻痺側の影響を修正・抑制することによって、アシンメトリーな動作や回旋に対して、高いレベルで運動を調節している可能性が示唆された。

### 緒 言

近年、パラリンピックやその他の障がい者スポーツイベントが注目を集め、参加者が増加している。パラアスリートの競技パフォーマンスが向上している競技もあるが、向上していない競技も

ある<sup>1)</sup>。競技パフォーマンスを上げるためには、選手のフィットネスレベルや特徴を把握して、トレーニングに活かす必要がある。特にパラスポーツにおいては、個々の選手の能力を適切に評価するためにも、安全性が高く個別性も強くありつつも汎用性が高い測定方法の確立や指標が必要となる。我々は、陸上の中長距離種目を専門とするパラアスリートの有酸素性作業能力に関する測定を行っている。今回はその中でも片麻痺のパラアスリートについての取り組みに焦点を当てる。

脳性麻痺は、日常生活活動における障害がほとんどない症状から、多くの介助が必要である症状、さらには生命維持に危険をとまなう症状まであり、非常に幅広い<sup>2)</sup>。片麻痺を持つパラアスリートは、身体の片側に麻痺が生じる状態となっているが、その麻痺の程度によって個々のアスリートへの身体能力や運動パターンに対する影響は多様なものとなることが予想される。これまでの研究では、片麻痺患者の歩行動作に関する分析は多く行われているが、ランニングに特化した研究は少なく、情報が不足しているのが現状である<sup>3)</sup>。片麻痺のある子どもの先行研究では、歩行と比べて、ランニング動作は非対称性が増大するが、ステップ時間においては非対照性が減少する可能性も報告されている<sup>4)</sup>。ランニング動作は、筋力、持久力、協調性など多くの身体的要素を必要とする動作様式であると考えられ、片麻痺のあるアスリー

トにとって、これらの要素がどのように変化する  
か、どのような代償動作が生じるのかを理解する  
ことは、競技レベル向上だけではなく、リハビリ  
テーションにおいても非常に重要であると思われ  
る。脳性麻痺のあるヒトが競技だけではなく日常  
生活において直面する課題を軽減し、可能性を最  
大限に引き出すための科学的根拠を提供すること  
は重要である。

本研究は、片麻痺のパラアスリートを対象とし  
たランニングフォームの特徴に関する事例を提示  
して、パラアスリートや指導者の一助となるよう  
な情報を提供することを目的とした。

## 1. 研究方法

### 1. 1 対象者

対象者は、陸上競技種目、立位・脳性麻痺の分  
野のパラアスリート男性1名（世界パラ陸上競技  
選手権出場レベル）で、年齢30歳代、身長168.5cm、  
体重55.3kg、麻痺側は右側であった。日本パラ陸  
上競技連盟のクラス分け<sup>5)</sup>では、トラック・跳  
躍、障害種別：筋緊張亢進アテトーゼ失調（立位）、  
クラス：T37であり、歩行および走行が可能な片  
麻痺の選手であった。本研究において、対象者が  
使用したランニングシューズは、Nike、ヴェイパー  
フライネクストパーセント3であった。

測定を実施するにあたり、測定の趣旨、方法、  
危険性等について書面および口頭で説明を行い、  
対象者から参加の同意を得て行われた。また、選  
手には食事の影響を避けるために、運動の3時間  
前までに食事を済ませ、それ以後は水のみの摂取  
とするよう依頼した。

### 1. 2. 1 テスト①：多段階漸増負荷ランニング テスト

対象者は、トレッドミルを用いたランニングに  
よる多段階運動負荷試験を行った。多段階漸増負  
荷試験は、トレッドミルの傾斜を1%に設定し、  
初速度170m/分から開始した。各ステージの運動

継続時間は3分間とし、次のステージは、前のス  
テージより20m/分漸増した速度で行った。選手  
はこれを繰り返して、安全に走行でき、選手が申  
告した速度のステージまで行った。測定項目は、  
心拍数、呼気ガス分析（酸素摂取量、二酸化炭  
素排出量、呼吸交換比、換気量）、であった。ま  
た、各ステージ間の休憩は1分間として、その間  
に血中乳酸濃度を測定し、自覚的運動強度の確認  
を行った。測定を行う環境制御室の気温と湿度の  
設定は、それぞれ気温22℃、湿度40%で行った。  
トレッドミル走行中の安全のため、選手は安全ベ  
ルトを装着して行った。

### 1. 2. 1. 1 測定項目および方法

多段階漸増負荷ランニングテスト中、呼気ガ  
ス分析装置（AE-300s、ミナト医科学社製、日本）  
を用いて酸素摂取量、二酸化炭素排出量、換気量  
を測定した。なお、呼気ガス分析器は、測定前に  
標準ガスを用いて校正を行った。

#### 1) 最大酸素摂取量

呼気ガス分析より、①酸素摂取量のプラトーの  
出現、②呼吸交換比>1.10、③予測される最大心  
拍数（HRmax：220－年齢）±10 bpmに到達、④  
疲労困憊まで達した直後の自覚的運動強度が18  
以上、のうち、3つ以上を満たしたときに最大酸  
素摂取量として採用した。

#### 2) 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度は、運動開始前と、漸増負荷ラン  
ニングテストにおける各ステージ運動直後に、  
対象者の指先より約0.3 μlの血液を採取した。  
血中乳酸濃度は、簡易型自動血中乳酸濃度  
測定器（Lactate Pro2 LT-1730、アークレイファ  
クトリー社製、日本）を用いて測定した。また、  
LT・OBLA速度におけるランニング動作分析の  
ために、乳酸閾値として血中乳酸濃度2mmol/L  
（Lactate Threshold: LT）および4mmol/L（Onset  
Blood Lactate Accumulation: OBLA）相当の走速  
度を算出した。

### 3) 心拍数

心拍数は、胸部の心拍センサー (H10, Polar, Finland) を用いて測定し、各ステージの50-60秒での心拍数を1分間の平均心拍数として採用した。

### 4) 自覚的運動強度

運動における自覚的な強度は、6～20の数字で表した、Borgスケールを用いて、各ステージの運動終了直後に記録した。

## 1. 2. 2. テスト②：LT・OBLA速度におけるランニング動作分析

また、走行時の分析は、足底圧計測が可能なトレッドミル (Win FDM-T, zebris Medical GmbH, ドイツ) を用いて計測した。走行速度は、漸増負荷試験を元に算出された、LT速度：222m/minおよびOBLA速度：254m/minとした。対象者がランニングを行い、規定速度に達した1分後から20秒間の計測を行った。

### 1. 2. 2. 1 測定項目および方法

#### 1) ランニングの評価指標

測定項目は、ステップ長 (m)、ストライド長 (m)、スタンス期およびスイング期 (%), ステップ時間 (sec), ストライド時間 (sec), ケイデンス (steps/min), とした。また、足圧 (N), および足圧中心の軌跡の測定を行った。

#### 2) 3次元動作分析

ランニング動作は、ハイスピードカメラ (Miaus Video, Qualisys社製, スウェーデン) を用いて、各速度で15秒間、サンプリング周波数120Hzで撮影した。3次元動作動作分析には、マーカーレスモーションキャプチャシステム Theia3D (Theia3D, Theia Markerless社製, カナダ) を用いた。

データ分析には、動作解析ソフトウェア (Visual3D, C-Motion社製, アメリカ) を用いて、15秒間中に出現したサイクル、22歩分のデータの解析を行った。分析項目は体幹回旋、肩関節、

股関節、膝関節、足関節として、最大・最小角度から求めた。データは平均値±標準偏差で求めた。

## 1. 3 ジャンプテスト

### 1) スクワットジャンプおよびカウンタームーブメントジャンプ

ジャンプ測定は、マットスイッチ計測システム (マルチジャンプテスト, DKH社製, 日本) を用いて計測をした。スクワットジャンプはマット上で両足を肩幅に開き、手を腰に当て、膝を90°に曲げた姿勢から、股関節や膝関節の反動動作を用いずに最大努力で跳躍するように指示した。カウンタームーブメントジャンプは、マットスイッチ計測システムを用いて跳躍高を測定した。手を腰に当てた状態から、沈み込んで跳躍を行うよう指示した。測定はそれぞれ3回行った。

### 2) 立ち2段跳び

麻痺側および非麻痺側のそれぞれの影響をみるため、立ち二段跳びを行った。選手は両足で前方への跳躍し、右足、両足着地、および、両足、左足、両足着地の両方で行い、前方への跳躍距離を各3回ずつ実施した。

## 2. 結 果

### 2. 1 多段階漸増負荷ランニングテスト

最大酸素摂取量は、67.0 mL/kg/minであった。その際の心拍数は195 bpm, 最大換気量138.3 L/minは、呼吸交換比は1.15であった。

オールアウト時の血中乳酸濃度は、12.4 mmol/L, 終了5分後の血中乳酸濃度は15.4 mmol/Lであった。また、自覚的運動強度は19であった。本測定では、最大酸素摂取量の基準を満たした。

測定された血中乳酸濃度から、2mmol/L相当 (LT速度) は、4mmol/L相当 (OBLA速度) の速度を求めた。LT速度は222.0 m/min, OBLA速度は254.3 m/minであった。

表1 片麻痺ランナーにおける2種類の速度における各キネマティクス変数

			LT速度 (222m/min)	OBLA速度 (254m/min)
ステップ長	(m)	左	1.23±0.02	1.38±0.01
		右	1.26±0.02	1.41±0.01
ストライド長	(m)		2.50±0.03	2.79±0.02
スタンス期	(%)	左	26.2±1.2	25.8±1.3
		右	28.1±1.4	26.7±1.2
スイング期	(%)	左	73.8±1.2	74.2±1.3
		右	71.9±1.4	73.3±1.2
ステップ時間	(sec)	左	0.34±0.01	0.33±0.01
		右	0.34±0.01	0.33±0.01
ストライド時間	(sec)		0.67±0.01	0.66±0.01
ケイデンス	(step/min)		178±3	183±3

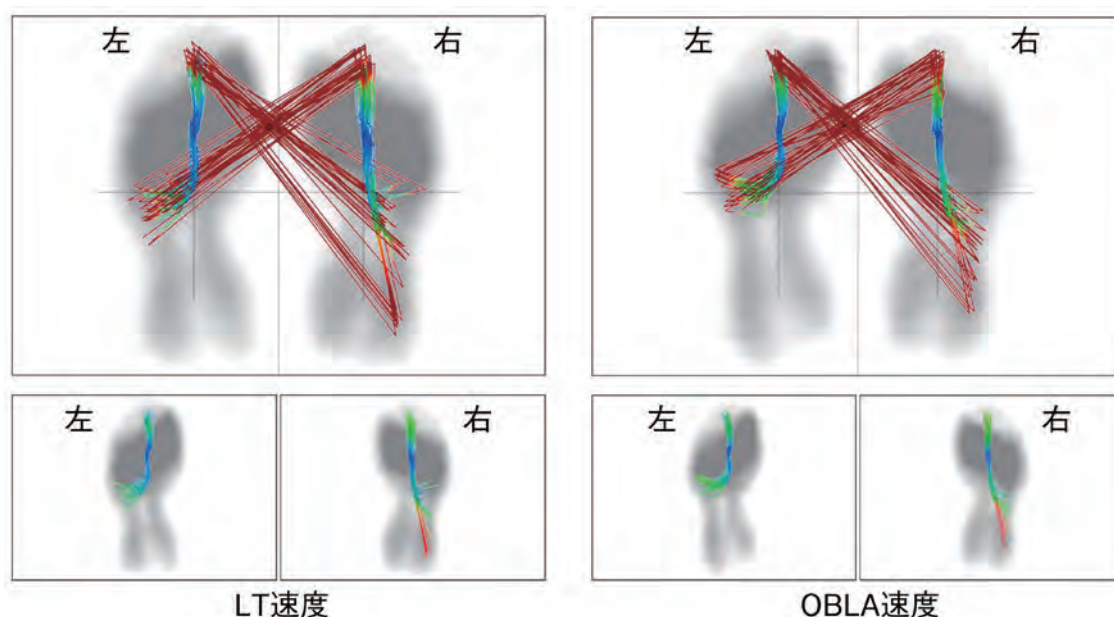


図1 LT・OBLA速度におけるランニング中の足圧中心軌跡 麻痺側は右(左図: LT速度, 右図: OBLA速度)

## 2. 2. 1 LT・OBLA速度におけるランニング動作分析

表1に片麻痺ランナーにおける2種類の速度における各キネマティクス変数を示した。速度に応じてステップ長、ストライド長ともに長くなり、ケイデンスも増加した。左右差について、LT速度およびOBLA速度の両方でわずかではあるが麻痺側(右)のステップ長が長かった。スタンス期では、麻痺側(右)の時間の割合が高く、スイング期の時間の割合が減る傾向にあった。

## 2. 2. 2 足圧分析

図1に各速度におけるランニングにおける足圧

中心の軌跡を示した。単脚支持期中の踵接地から離床までの足圧中心の軌跡長に左右差(LT速度: 非麻痺側 $116.2 \pm 13.5$ mm, 麻痺側 $146.9 \pm 41.3$ mm, OBLA速度: 非麻痺側 $110.8 \pm 9.6$ mm, 麻痺側 $142.7 \pm 28.6$ mm)が観察された。また、接地時のばらつきが認められ、非麻痺側では、中足部で接地をしていたが、麻痺側では後足部から接地している時もあり、ばらつきが観察された。この点に関しては、両速度で同様の傾向であったが、OBLA速度時ではばらつきが小さくなった。

図2にLT・OBLA速度時の足圧の力曲線を示した。足圧の力曲線のピークは、LT速度時で非



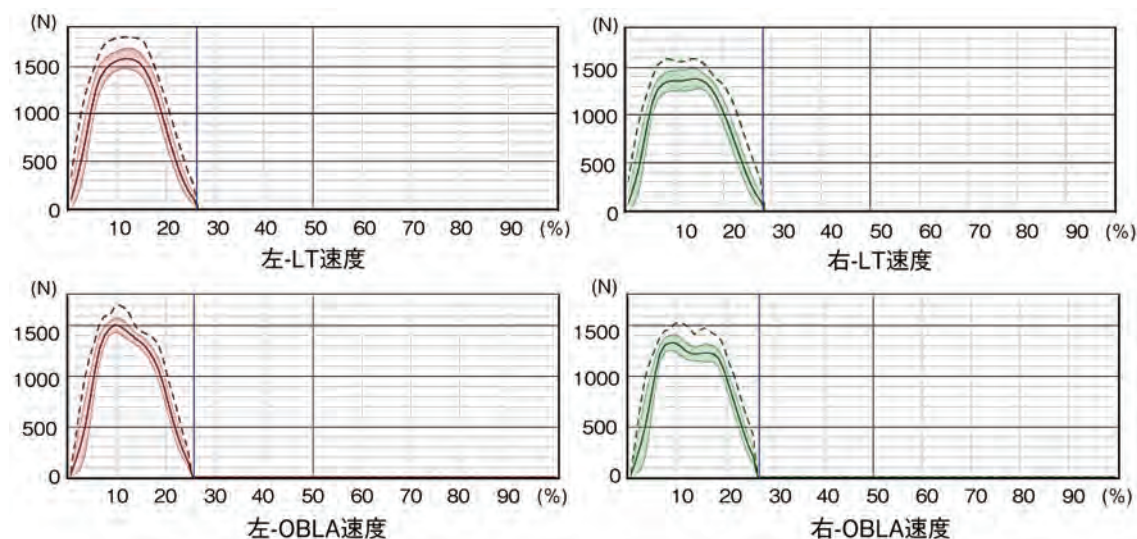


図2 LT速度およびOBLA速度時の足圧 非麻痺側(左)と麻痺側(右)

麻痺側(左)が1578.6N, 麻痺側(右)は1379.3N, OBLA速度時で非麻痺側が1509.0N, 麻痺側が1332.4Nとなり, 両速度ともに非麻痺側と比較して麻痺側の最大値は低値を示した. また図2の力曲線をみると, 非麻痺側とは異なり, 麻痺側では2峰性の曲線となり, 速度によってピークが出現する位置が異なった.

### 2. 2. 3 3次元動作分析

LT速度およびOBLA速度におけるランニング時の各関節可動域を表2および表3に示した. ま

たLT速度におけるランニング中の上方からみた肩関節の伸展/屈曲動作を図3に示した. 非麻痺側の左肩(図3-1, 図中A)は矢状面上で後方に肘を後方に引いていたが, 麻痺側の右肩(図3-2, 図中a)は肘を後方に引かず, 伸展が小さかった. また, 肩関節の屈曲動作は非麻痺側の左肩(図3-1, 図中B)よりも麻痺側の右肩(図3-2, 図中b)で大きかった. この傾向はOBLA時でも同様であった.

表2 LT速度ランニング時の各関節可動域

	屈曲(背屈)(deg)		伸展(底屈)(deg)	
	麻痺側(右)	非麻痺側(左)	麻痺側(右)	非麻痺側(左)
肩関節	34.9±3.8	-6.2±3.5	22.4±2.1	45.1±2.7
股関節	44.8±1.7	48.1±1.1	14.0±1.0	13.3±1.0
膝関節	120.9±3.9	131.0±12.8	-9.9±1.6	-16.3±1.4
足関節	22.8±1.4	18.1±0.8	25.5±2.1	26.5±1.8
体幹	右回旋	14.4±1.0	左回旋	17.4±0.9

表3 OBLA速度時の各関節可動域

	屈曲(背屈)(deg)		伸展(底屈)(deg)	
	麻痺側(右)	非麻痺側(左)	麻痺側(右)	非麻痺側(左)
肩関節	32.4±5.5	-8.2±5.7	27.7±1.9	40.4±6.1
股関節	47.2±1.0	50.6±1.5	16.5±1.4	16.3±1.0
膝関節	126.9±1.7	135.4±1.5	-11.2±1.8	-15.3±1.6
足関節	24.4±1.1	18.0±0.9	30.1±1.7	31.7±1.4
体幹	右回旋	16.3±0.8	左回旋	15.8±0.8

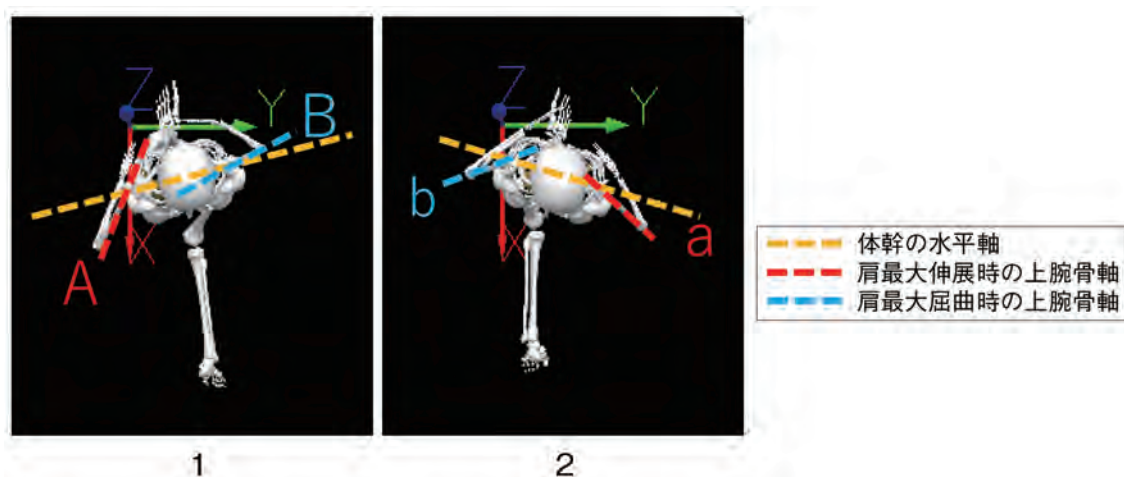


図3 LT速度ランニング中の上方からみた肩関節の伸展/屈曲動作 麻痺側は右

### 2. 3 ジャンプテスト

スクワットジャンプの跳躍高は $31.2 \pm 0.7$ cm, 最大値は31.7cmであった。カウンタームーブメントジャンプの跳躍高は $42.9 \pm 0.9$ cm, 最大値は44.0cmであった。

立ち2段跳びの最大跳躍距離は、左 $361.0 \pm 29.1$ cm, 最大値は393cm, 右 $359.0 \pm 19.5$ cm, 最大値は379cmであった。

### 3. 考 察

本研究は、片麻痺のパラアスリート1名（トラック・跳躍、障害種別：筋緊張亢進アテトーゼ失調（立位）、クラス：T37）を対象としたランニングフォームの特長を観察するため、ランニング時の呼気ガス分析、足圧、動作分析を行った。その結果、足圧と圧力中心の軌跡に左右差が認められ、麻痺側では2峰性の足圧曲線となった。また、ランニングフォームの3次元動作分析により、腕振り、および、体幹部の回旋には左右差が認められた。

脳性麻痺は、運動と姿勢の発達の異常の1つの集まりを説明するものであり、活動の制限を引き起こすが胎児または乳児の脳で生じた非進行性の障害に起因すると考えられ、運動障害には感覚、

認知などが加わるとされている<sup>2,6)</sup>。

これまでの先行研究<sup>7)</sup>では、12名の痙直型脳性麻痺児の等速性筋力、有酸素パワーについて検討し、軽度から中等度の脳性麻痺児であれば、十分に再現性のある値を得ることができることを報告している。本研究に参加したパラアスリートはこれまでも複数回の有酸素能力測定やジャンプ測定を行ってきたが今回と同様に大きなばらつきは認められなかった。しかしながら、手を腰に当てた状態でジャンプを測定したが、麻痺側の腰から手が離れ、腕をスイングをしている場面もあった。項目によっては動作のコントロールが難しい場合もあるため実施するには麻痺側の動きをコントロールする工夫が必要であると思われる。

また立ち二段跳び測定では、麻痺側脚での支持局面でより深く股関節と膝関節を屈曲して沈み込む様子が観察された。要因は複数あると思われるが、健常アスリートと同様に筋力トレーニングも必要かもしれない。また、非麻痺側の反動利用能が高いようにも思われた。しかし動作に慣れ、腕のスイングや非麻痺側の動作が変化していったようにも思われた。パラアスリートにおいて新たな測定項目を行う際には、健常者以上に十分な練習を行うことがデータの再現性のためには重要であ

ると推測された。

本研究における有酸素作業能力測定において、本研究の対象者のパラアスリートの酸素摂取量としては、傾斜と速度から推定される値よりもやや高値であった。この要因の一つにはケイデンスのばらつきが考えられる。走行時のエネルギーコストの増加は、ピッチのばらつきの増加に影響を受けることが報告されている<sup>8)</sup>。推測の域をでないが、本研究では、より速い速度になった際にはスイング期とスタンス期の左右差が減少していたことから考えるとLTおよびOBLA速度付近でのランニングの場合にはエネルギーコストは高くなっている可能性もある。二つ目の要因として、弾性エネルギーの損失の可能性も考えられる。ケイデンスが不規則である場合には弾性エネルギー損失が大きくなる可能性があり、エネルギー消費量の増加を引き起こすと報告されている<sup>8)</sup>。また、脚のスティフネスを測定していないため推測の域をでないが、立ち2段跳び時の麻痺側の片脚接地時には沈み込むような動作が観察され、跳躍距離が低値であったことから、麻痺側脚では弾性エネルギーが非麻痺側脚よりも低い可能性もある。片麻痺のランナーでは、弾性エネルギーの使用が左右で異なった状態で、ランニング動作をコントロールしている可能性も考えられた。これらを検討するには、より時間的に長く計測を行って、ケイデンスのばらつきを観察するとともに、酸素摂取量の関係をみていく必要があるだろう。

さらに本研究はLTおよびOBLA相当の速度で3次元動作分析を行った。ランニング中の動作は、左肩は矢状面上で後方に肘を後方に引くが、麻痺側の右肩は肘を後方に引かず、伸展動作が小さかった。また、肩関節の屈曲動作は左肩よりも麻痺側の右肩で大きかった。これらは腕振りの影響を体幹部で代償するように片麻痺による回旋動作に左右差が生じ、ケイデンスのばらつきが生じる原因の一つになっている可能性が示唆された。し

かし、本研究に参加した対象者は比較的症状が軽度のクラス<sup>5)</sup>で、あったため、症状が異なれば、本研究の結果とは異なる可能性もある。

片麻痺のランナーにおいて、ランニング中に麻痺側脚が支持している際、非麻痺側脚の動作に影響を受け、反対に、非麻痺側脚が支持している際には麻痺側の動作に影響を受けると考えられる。この一連の動作において、麻痺側の影響による負の運動学習を修正・抑制するにより、麻痺側の影響によるアシンメトリーな負荷や回旋に対して、非常に高いレベルで柔軟に運動を調節し、非麻痺側の動きによって運動調節するように運動学習をしている可能性がある。一般的に麻痺側は色々な制限を受けるようになっていると考えられるが、麻痺による強い動きを非麻痺側では制御することが必要になると思われる。非麻痺側は麻痺の動きを予測・調整するなど、健常ランナー以上に高度に適切に調節しているのかもしれない。そのためにも、麻痺側の共同運動における分離の運動学習を行うことの重要性が高く、必要となると考えられた。今後は、単に麻痺側・非麻痺側という観点から左右の能力差をみるのではなく、動作や運動制御の特性の違いを考慮して、それぞれの特徴を伸ばすという観点で研究やサポートが行われることが求められる。

本研究における動作分析での走行時間は各速度で2分以内と短い時間であった。脳性麻痺のパラアスリートでは、疲労が生じている状態では、麻痺側の共同運動の制御が困難となる可能性もあるため、より長時間の疲労状態の有無によるランニング動作を観察することが脳性麻痺アスリートにとって有益な情報となるかもしれない。

また、対象者はフォアフットしやすくなるとされる厚底シューズを着用していた。靴の形状は足圧やランニング動作に影響を与える可能性も考えられる。先行研究<sup>4,9)</sup>では多くの子供の麻痺のランナーはフォアフットであったことを報告してい



る。左右差がある片麻痺のランナーにおいて、フットコンタクト時の足圧中心の軌跡が異なる可能性を考えると、ランナーそれぞれにとってよりよいシューズの選択を考える必要があるかもしれない。ランニング動作に対してどのようなシューズの形状や特徴が適しているか、水平および垂直方向の分力も含めて検討することも今後の課題の一つになると考えられた。

#### 4. まとめ

本研究は、片麻痺のパラアスリートのランニング時の呼気ガス分析、足圧、動作分析を行った結果、足圧やその圧力中心の軌跡に左右差が認められ、麻痺側では2峰性の足圧曲線となった。また、腕振りと体幹部の回旋には左右差が認められた。麻痺側・非麻痺側が相互に代償動作を行い、ランニング動作をコントロールしていることが推察された。本研究の結果が脳性麻痺などのランニング愛好家、アスリートやその指導者だけではなく、リハビリテーション指導まで、脳性麻痺の影響による外傷・障がいにつながる動作を予防・改善する情報を提供できる一助となることが期待される。

#### 謝 辞

本研究の実施にあたり、研究助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団様に厚く御礼申し上げます。また、ご協力いただきました選手と指導者の方々に深く御礼申し上げます。

また、測定のご協力いただきました帝京大学の加藤基先生、多くの助言を頂きました帝京大学スポーツ医科学センターの廣重陽介先生、武末大藏先生に感謝申し上げます。

#### 文 献

- 1) de Macedo T.A., Aguiar SdS., Sousa C.V., Barbosa L.P., Deus L.A., Santos P.A., Maciel L.A., Nikolaidis P.T., Knechtle B., Simões H.G., Performance trends in Paralympic athletes in sprint, middle-distance and endurance events., *Sport Sci. for Health*, **16**: 485-49 (2020)
- 2) 公益財団法人日本リハビリテーション医学会 監修. 脳性麻痺リハビリテーションガイドライン第2版. 金原出版株式会社 (2014)
- 3) Chappell A., Gibson N., Morris S., Williams G., Allison G.T., Running in people with cerebral palsy: A systematic review., *Physiother Theory Pract.*, **35**: 15-30 (2019)
- 4) Bohm H., Doderlein L., Gait asymmetries in children with cerebral palsy: do they deteriorate with running?, *Gait. Posture*., **35**: 322-327 (2012)
- 5) 日本パラ陸上競技連盟. 2021年度版日本パラ陸上競技連盟クラス分け説明表. (2021)
- 6) Bax M., Goldstein M., Rosenbaum P., Leviton A., Paneth N., Dan B., Jacobsson B., Damiano D., Proposed definition and classification of cerebral palsy., *Dev. Med. Child. Neurol.*, **47**: 571-571 (2007)
- 7) van den Berg-Emons R.J., van Baak M.A., de Barbanson D.C., Speth L., Saris W.H., Reliability of tests to determine peak aerobic power, anaerobic power and isokinetic muscle strength in children with spastic cerebral palsy., *Dev. Med. Child. Neurol.*, **38**: 1117-1125 (1996)
- 8) Candau R., Belli A., Millet G.Y., Georges D., Barbier B., Rouillon J.D., Energy cost and running mechanics during a treadmill run to voluntary exhaustion in humans., *Eur. J. Appl. Physiol.*, **77**: 479-485 (1998)
- 9) Davids J.R., Bagley A.M., Bryan M., Kinematic and kinetic analysis of running in children with cerebral palsy., *Dev. Med. Child. Neurol.*, **40**: 528-535 (1998)