

パラ陸上競技男子立位選手の 100m における疾走速度分析とそのデータ活用の検討

福田厚治¹⁾ 山本真帆²⁾ 浦田達也³⁾ 川端浩一⁴⁾

1) 兵庫県立大学 2) 国立スポーツ科学センター 3) 神戸医療福祉大学 4) 宝塚医療大学

はじめに

競技スポーツにおいては、国内外問わず各競技および種目についての分析や研究、科学的データを用いた選手の強化サポートなども盛んに行われており、競技と科学の関係性はますます強まっている。近年では「パラ陸上競技（以下、パラ陸上）」においても、オリンピック選手らと同じように代表レベルなど一部の選手については医科学サポートやデータの活用を行うようになってきたが、それ以外の選手や指導者も広く参考にできるような科学的な資料となると健常者のものに比べてかなり少ない。パラ陸上は、かつて「身体障がい者陸上」と呼ばれ、身体機能上のさまざまな障がいを有する選手たちが参加するスポーツで、健常の陸上競技のように各種目が性別で分けられているだけでなく、障がいの種類やその度合いによって細かく区分されたクラスに分かれて競われるものである。選手たちの障がいの部位や種類はさまざまで、例えば義足選手の場合、切断による残存部位の大きさが選手によって異なるなど1つのクラスの中であってもそれらが少し異なるようなケースは多い。このように部位の大きさが異なる場合は、筋のサイズや部分質量も個々で異なるが、それが生理学的または力学的なところや動作などに影響する可能性も考えられる。各選手の日頃のトレーニングやその指導においては健常選手のものを参考に行っていることが多いと思われるが、加えてこのような障がい特性や装具の使用などがあるため、健常選手より考えるべきことは多いかもしれない。パラ陸上に関する研究報告は全くないわけではないが、研究となるとその多くは例えば義足自体やそのクラスに関するものなどのように、ある一つの障がいカテゴリーだけを対象にしたようなものや、対象とされやすい障がいの種類に偏りがあるようである。そのため、一つの研究もしくはひとまとまりの研究として、パラ陸上に含まれる障がいの種類の

多くをカバーしているような研究資料はほとんどない。また、科学的資料が少ないのは競技人口の少なさなどもあるであろう。その上、前述したようにパラ陸上ではクラスも細分化されているので、競技者数がごく少数となるクラスもある。そのため、事例報告等以外では研究として扱いにくいというようなこともあるのだろう。

著者は、日本パラ陸上競技連盟（以下、日本パラ陸連）の強化委員会において、立位にて競技を行う短距離・跳躍パートのコーチを担当し、視覚障がい、脳性まひ、上肢もしくは下肢の切断および機能障がい（義足等装具使用含む）など、さまざまな障がいの種類にわたる男女強化指定選手の競技力向上を図る立場としてパラ陸上と関わってきた。その活動の中で、トレーニングメニューを検討していたときに気になったことがあり、科学的データを参考にしたいと考えたが、パラ陸上に関する全体的な基礎データや競技特性、もしくはそれぞれの障がいごとのデータなどを資料として目にできるようなものがあまり見当たらず困ったことがある。こういった立場でパラ選手を指導する場合、障がいのある選手の指導だから難しいということだけではなく、異なる種類の障がいを有する選手たちを対象として競技力向上を考える必要があるというところにも難しさがある。例えば、一般的に陸上界ではスプリント系のトレーニングとして、加速走やスタートダッシュ（以下、SD）を行う場合、30mや60mなど、ほかいくつかの共通的な距離を用いて行うことが多いが、パラ陸上においても男女やクラスに関わらず、100mのためのトレーニングとしてこれらと同じような設定で行うことやそれをベースとして距離や本数を少し調整するなどして行うことが多いと思われる。しかし、さまざまな障がいや記録が含まれるパラ選手のトレーニングにおいて、そのような距離設定は広く多くの選手に対して適切といえるのだろうか。このような一般的に行われている距離設定には、100m

の最高速度は50-60m区間に多く見られるというような、阿江ら(1994)や松尾ら(2006),もしくはさらに以前から多数報告されている健常選手の疾走速度に関するものが参考にされていると思われる。しかし,これらの報告は競技力が比較的高い選手を対象としているものが多く,健常選手だけでみてもそれらトレーニングの一般的な設定のすべてが幅広い競技レベルの選手に対して適切に適用されているとは言えないようにも思える。そのため,パラ選手に対してとなるとさらにそのままでは適切ではない可能性がある。それは,健常選手との違いとして,障がいがあることだけでなく,競技記録が一般的にイメージされる記録の範囲とは大きく異なる選手がいるからでもある。

また,本研究の対象ではないが,パラ陸上の100mでは車イス(レーサー)のクラスもある。多くの健常選手やパラ立位選手と同じようにスタート時から全力運動を行うが,トップレベルの男子選手においては,そのレース中の最高走速度はフィニッシュライン付近の場合がある。なお,そのクラスの日本記録は14.07秒である。しかし,そこでレースを終えているので,仮にそのあとも直走路が続くような場合は速度をまだ上げていくことが可能かどうかは不明であるため,100mレース中の最高速度はその選手の「最大速度」ではないかもしれないことは非常に興味深い。このように,100mという種目であっても,健常選手とは全く異なる場合もある。しかし,パラ陸上ではそれらの科学的な分析や検証が広く行われていないため,トレーニングにおいては,目的に対して疾走距離などが適切な設定ではないまま行っている可能性もある。競技パフォーマンスの向上において,個々のトレーニング実践の報告なども重要ではあるが,パラ陸上においては,個別の選手の実践的な報告の前に,その実践を深める上でパラ陸上としてのトレーニングの考え方の基となるものの科学的な検証や確認が必要なものがまだ多数あるような段階であるとも考える。

本研究では,立位で競技を行う複数種類の障がいクラスのパラ選手における100mレース時の疾走速度について分析し,報告されている健常選手のものとの比較やパラ選手の中での速度データの検証および検討をすることで,上位レベルの選手だけでなくさまざまな競技レベルのパラ選手のプリントトレーニングにおいてできるだけ適切な設定を行う上での参考となる情報や知見を得ることを目的とした。

方法

2018年および2019年に国内で行われたパラ陸上の競技会において,100m出場者の疾走速度をレーザー式速度測定器(LDM301S, JENOPTIK社製)により,サンプリング周波数100Hzにて計測した。本研究で示す測定対象は,パラ陸上におけるクラス分けのうち立位で競技を行うクラスに属する男子短距離選手で,日本パラ陸連強化指定選手の一部とほかランダムに選出した選手,9クラス計27名(測定時の記録:11秒台前半~17秒台中盤)である。なお,クラスおよび記録等の記載については個人が特定されないよう配慮するため,詳細までは表示しないこととする。また,パラ陸上では競技会出場者であっても,義足選手などには疾走技術が十分に身につけておらず,疾走速度の様子が不安定な場合もあるため,主観的に疾走技術が不十分とみられた選手については,対象から除外している。

レーザー式速度測定器で計測した疾走速度は,遮断周波数0.5から0.7Hzの範囲で平滑処理を行い,本研究ではそれ以外の平均化等を行わずそのまま示すこととした。そのため,本研究ではそれぞれの瞬間的な最高速度到達が何m地点であったかは取って詳細にしないが,加藤ら(2002),広川ら(2005, 2007),浦田ら(2019)の報告を参考に,最高疾走速度を100%とした相対走速度を求め,おおよそ最高速度状態に近いところとして相対走速度が98%に到達した地点および時間(以下,98%速度到達地点もしくは時間),98%を下回り出した地点および時間(以下,98%速度低下地点もしくは時間)を調べ,その区間の距離および時間をそれぞれ最高速度維持距離もしくは最高速度維持時間として示した。速度減率については,最高走速度がみられた地点を含む10m間の平均走速度と90mからフィニッシュラインまでの最終の10m間の平均走速度から,その低下率を算出した。

統計処理については,各項目間の関係をみるにあたってPearsonの相関係数を求めた。なお,有意水準は5%未満とする。

計測データの一部には,東京2020パラリンピックにおいて日本チームが銅メダルを獲得したユニバーサルリレーの強化にあたって,参考として計測したものも含まれている。ユニバーサルリレーはルール上,異なる障がいおよび性別間での継走となるため,100mの記録や疾走速度の差が大きい選手間でつなぐ場合があるので,各選手の加速特性や100m終盤の減速の様子などリレーゾーンで活用で

表 1. 代表的な立位クラスの 100m 日本記録および健常選手の日本記録からみた記録到達率

障がい種別	クラス	男子	到達率	女子	到達率
視覚	T11	11.62	85.6%	13.45	83.3%
	T12	11.27	88.3%	12.39	90.5%
	T13	11.25	88.4%	12.95	86.6%
脳性まひ	T36	12.48	79.7%	15.37	72.9%
	T37	12.64	78.7%	15.07	74.4%
	T38	11.39	87.4%	13.71	81.8%
上肢	T46	11.05	90.0%	14.49	77.4%
	T47	11.16	89.2%	12.85	87.2%
下肢 (片側義足)	T63	12.61	78.9%	15.75	71.2%
	T64	11.37	87.5%	13.43	83.5%
平均		11.68	85.4%	13.95	80.9%
標準偏差		0.64	4.5%	1.16	6.6%
健常選手		9.95	100%	11.21	100%

(記録は2022年2月14日現在)

※クラスの数字の下一桁は障がいの程度を意味する。数字が小さいほうが重度。

きる予備情報を得ておく上で活かされた。

結果および考察

前述のように、パラスポーツの競技パフォーマンスに関する研究において課題の一つとして挙げられるのは、競技人口の少なさである。障がいクラスごととなるとさらに少数となるため、トップ選手のデータをみることはできても、その障がいやクラスとしてのパフォーマンス特性を検討するまでは難しい場合も多い。また、科学論文等においては、骨格や筋力、身体組成などにみられる身体的な違い等の理由により、男女をまとめてみることは適切ではないとされることが多いが、そのように考えるとパラ選手の場合は身体的な障がいの種類がさまざまあり、それをひとくりに扱うことが不相当となるとパラ選手に関する総合的な科学的検討は非常に困難になるところもある。もちろん、本来は障がいの違いを考慮し、個々に検討するほうがより適切であることのほうが多いとは思いますが、場合によっては広くみるものもあってよいのではと考える。本報告は男子選手のものだけであるが、今後のパラ陸上の発展に貢献する一つの礎になればと考え、それぞれの障がい特性にはあまり細かく触れず、広くデータの見方・捉え方を確認するものとして示すため、各図表においては基本的にはクラスが区分されていないも

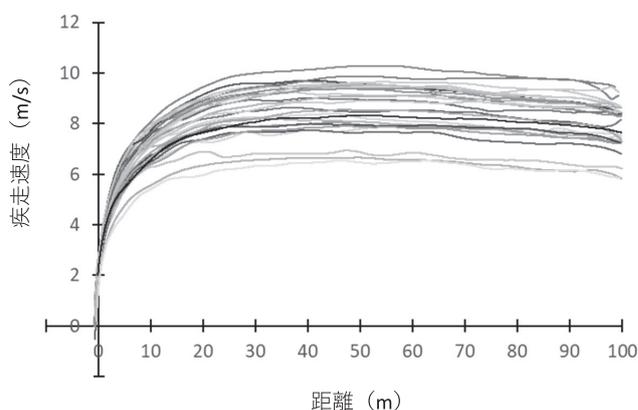


図 1. 100m レース時の距離 - 速度曲線 (n=27)

のとした。

パラ陸上の 100m の記録が健常選手のもの比べてどのようなものを表 1 に示した。本研究の対象クラスを中心とした代表的な立位クラスの日本記録と、それが健常選手の日本記録に対してどの程度の到達率であるかを一覧にした。このように日本記録だけを取り出して健常選手と比べると、男子は比較的ばらつきが小さく平均 11.68 秒で健常選手の日本記録とは 1.73 秒差であり、その差は比較的小さい。しかし、日本記録では遅いクラスでも 12.6 秒程度であるが、いわゆる一般のパラ選手となるとそれと同じクラスで疾走技術もある程度身につけているといえるような選手の中には 17 秒台の選手もいるなどの特性であるといえる。

1) 距離に対する疾走速度の変化

基礎的なデータとして、図 1 に男子パラ選手 27 名分の「距離 - 速度曲線」を、表 2 に各分析項目の平均値および標準偏差、最大値、最小値と 100m 記録との相関係数を示した。100m 記録と最高疾走速度はこれまでも多数報告されている健常選手のものと同様に(阿江ら, 1994 など)、パラ選手においても高い相関関係が示された(表 2, 図 2: $r=-0.985$, $p<0.001$)。距離 - 速度曲線を見ると、競技記録による疾走速度の違いや一部の選手の曲線にやや揺らぎがみられるものはあるが、ほとんどのものは広川ら(2007)などで示されているような健常選手のデータでよく目にする速度変化パターンと大きな違いはなかった。98%速度到達地点が最もスタートラインから近い選手は 18m 地点、最もスタートラインから遠い選手で 51m 地点であったが、多くの選手は 20m 台や 30m 台であり、平均 $31.48 \pm 7.40m$ であった。98% 速度到達地点が比較的スタートに近い 20m 台の選手には、脳性まひの選手が多く含まれ、反対に、

表 2. 全対象選手の各項目の平均値, 標準偏差, 最大値, 最小値, および 100m 記録との相関係数

パラ陸上 男子 n=27	100m記録 (秒)	最高速度 (m/s)	地点 (98%速度) (m)			時間 (98%速度) (秒)			速度減速率 (%)
			到達	低下	維持距離	到達	低下	維持時間	
平均	13.30	8.70	31.48	67.66	36.18	4.93	9.19	4.27	6.98
標準偏差	1.63	0.99	7.40	8.93	7.69	1.08	1.48	1.12	2.09
最大値	17.57	10.27	51.45	92.50	53.43	8.12	12.60	6.72	10.34
最小値	11.18	6.56	17.92	50.21	23.35	3.69	6.57	2.80	2.25
相関係数 r (記録)	1.000	-0.985***	-0.216	-0.115	0.074	0.356	0.680***	0.556**	0.207

** ; P<0.01, *** ; P<0.001

到達地点が遠い 40m 台の選手には比較的記録のいい義足選手 (特に下腿義足) が多かった。その後, 98%速度低下地点は, 70m 台から 90m 付近にかけて義足選手と視覚障がい選手 (特に全盲 (ガイドランナーあり)) を中心に数名いる程度で, ほかは 50 から 60m 台に多く, 平均は 67.66 ± 8.93 m であった。これにより, 最高速度維持距離としては, 最も短かった選手でおよそ 23m, 長かった選手でおよそ 53m, 平均では 36.18 ± 7.69 m であった。なお, 100m 記録と 98% 速度到達地点および低下地点, 最高速度維持距離のいずれの間にも有意な相関関係はみられなかった (表 2)。

2) 時間に対する疾走速度の変化

本研究においては速度維持能力を時間の点からもみるために, 「時間 - 速度曲線」 (図 3) を示した。短距離走の時間による検討は, 学校体育での児童の短距離走として適切な距離や内容の検討をした研究 (伊藤, 2007 ; 浦田ら, 2019 など) において用いられてはいるものの, 一般の健常選手, 特にトップレベルの選手を含むものでは多少みられる程度で (松尾ら, 2010 ; 大沼ら, 2020), あまり多く示されていない。パラ選手において, 98% 速度到達時間は最も早い選手でスタート後およそ 3.7 秒, 最も遅い選手はおよそ 8.1 秒であったが, 平均は 4.93 ± 1.08 秒であった。また, その到達時間と 100m 記録の間に有意な相関関係はみられなかった (表 2)。ここでは, 98% 速度到達時間としてみたものであるが, これは, 大沼ら (2020) が最高走速度の到達時間と 100m 記録に有意な相関関係はなかったと健常選手について報告しているものと似たような結果であると考えられる。98% 速度低下時間を見ると, 最も早かった選手はスタート後およそ 6.6 秒, 最も遅

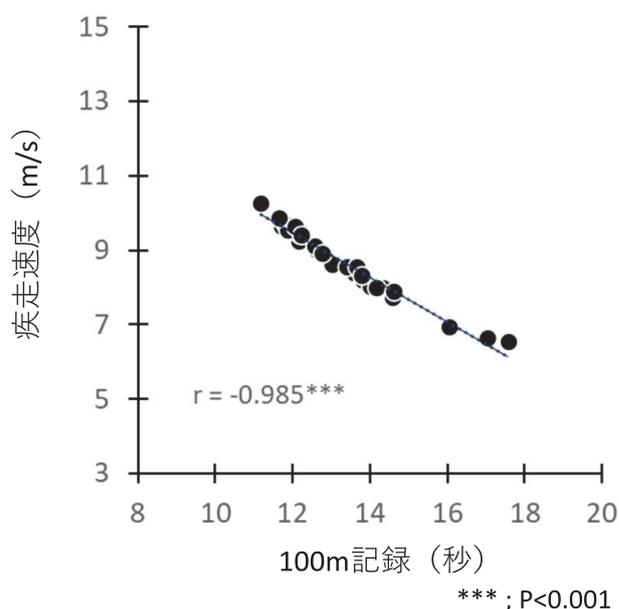
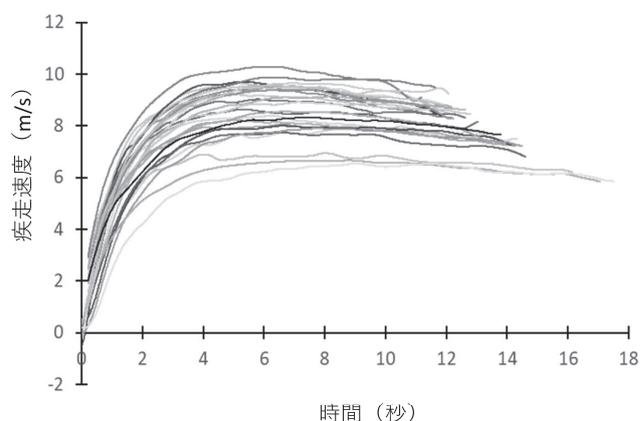


図 2. 100m 記録と最高疾走速度の関係



かった選手は 12.6 秒であり, 平均ではスタートから 9.19 ± 1.48 秒経過後に 98% 速度を下回り出していた。また, 100m 記録の高い選手ほどこの低下

時間を迎える早さは有意に早い傾向がみられた (表 2, $r=0.680$, $p<0.001$). 98%速度に到達してからそれを下回り出すまでの最高速度維持時間は, 男子平均は 4.27 ± 1.12 秒であり, 100m 記録との関係では有意な正の相関関係がみられた (表 2, $r=0.556$, $p<0.01$). つまり, 98% 速度到達時間はあまり記録と関係しないようであったが, 記録の低い選手 (時間として遅い選手) のほうが 98% 速度以下に低下し始めるのは遅く, 維持時間としては記録の低い選手のほうが長くなっていたということである. なお, 98%速度を 5 秒間以上維持していた選手は 27 名中 9 名おり, その内訳は大腿義足が 4 名, 脳性まひが 3 名, 下腿義足および視覚障がい者が 1 名ずつであった.

これらの結果から, 100m レースにおける「スピード持久能力」について検討する. 本研究で示した, 最高速度維持区間やその後フィニッシュまで速度低下状態で走る区間の様子をもってスピード持久能力を示す場合がある. これに関連してトップレベルの健常選手について報告した広川ら (2005, 2007) は, 高い速度がより長く持続されていけばタイムは短縮されると考え, 最高速度の 98% 以上で走る区間の長さについて検討し, その長さによって維持能力の高さを示しているが, その長さとは距離であって時間については特に言及していない. この「持久」という言葉には「長時間持ちこたえること」という意味があり, どちらかというとき間的要素が濃いものである. 本研究のこの維持時間の長さについては, 障がいの種類や特性によるものかもしれないが, 記録 (運動時間) によるものもあるかもしれないと考えた. 結果を単純に考えると, 記録の高い選手は高い走速度を長時間持ちこたえることができているようにみえてしまうが, むしろ, 記録の低い選手のほうが「長時間持ちこたえている」もしくは「持ちこたえられるようにしている」と考えるほうがよいのかもしれない. このあたりは, 小学生の短距離走について主観的運動強度の観点からも調べた伊藤 (2007) の報告を参考にすると, 対象選手の中の 16 秒や 17 秒などの記録の選手の場合, そのタイムは男子の健常選手でいえば 100m より 200m の記録に近く, 自身のフィニッシュまでにかかるであろう時間に持ちこたえるために, 本来もう少し出せるはずの最高速度自体を少し抑えてレース後半に備えているなど, 戦略的な工夫もしくは心理的なブレーキが働いたことによるものであることが推測される. また, レース中の最高速度がその選手の本来の「最大速度」かどうかについて確かめられることはないため, そ

うではないケースもあり得るかもしれない. この場合, その抑えた最高速度をこのレース中の 100% として, さらにその 98% 速度をみていることになるので, わずかかもしれないが体力的に余裕を持って走ることができ, 時間的に長く持ちこたえられたということも考えられる. もしそうであった場合, 全力疾走によってより高い走速度を維持しようとしているのか, 本来の最大速度だと長く持たないのでやや抑えた速度で長く維持できるようにしようとしているのかではレース中に行おうとしていることが異なるため, この区間の距離や時間で一律に「スピード持久能力」を評価するのは不適切といえよう. このような場合, 「能力」ではなく「戦略」として認識するほうが適切かもしれない. 本研究のように記録が極端に異なる選手を含めてみると, 維持距離や維持時間の「スピード持久能力」としての扱いに少し慎重になるべきであることに気づく. 強化指定選手など上位レベルの選手のみを対象とした場合や, ある障がいクラスだけに絞って調べた場合はみえなかったものとも考えられるが, このように広くみて検討すべきということはパラ選手に限ったことではないかもしれない. この維持時間の長さが, スピード持久能力と呼べるものかほかの影響によるものかは, 今後, 障がいごとのデータ数を可能な限り増やし, それぞれ分けて検討するなどの必要があると考える.

ここで, 対象選手から 100m 記録が 16 秒以上であった選手 3 名を除いてみると, 全対象者の際は 0.1% 水準で有意であった 98% 速度低下時間と記録との相関関係はその有意確率が 5% 未満に低下し, 1% 水準で有意であった 98% 速度維持時間と記録との相関関係については有意ではなくなった. さらに 14 秒以上であった選手 4 名も除くといずれの項目も有意ではなくなった (図 4, 表 3). つまり, 記録の高い選手や 14 秒以内くらいまでのある水準までの記録の選手は, スタート後およそ 4.7 秒で 98% 速度に到達し, その後 8.6 秒程度で 98% 速度を下回るため, その維持時間としては平均的に 3.9 秒あたりにそれぞればらつくということである. これに関連して, 健常者を対象に「出来る限り速く, 走り得るところまで走る」という指示のもと行われた小木曾ら (1997) の研究において, 疾走スピードの時間に対する変化特性や最大平均スピードに関する時間的特性は, 年齢, 性別, 疾走能力およびトレーニングの有無にかかわらず, ほぼ一定であったと報告されており, パラ選手を対象とした本研究の結果と非常に似通ったところがあるため, パラ選手についての

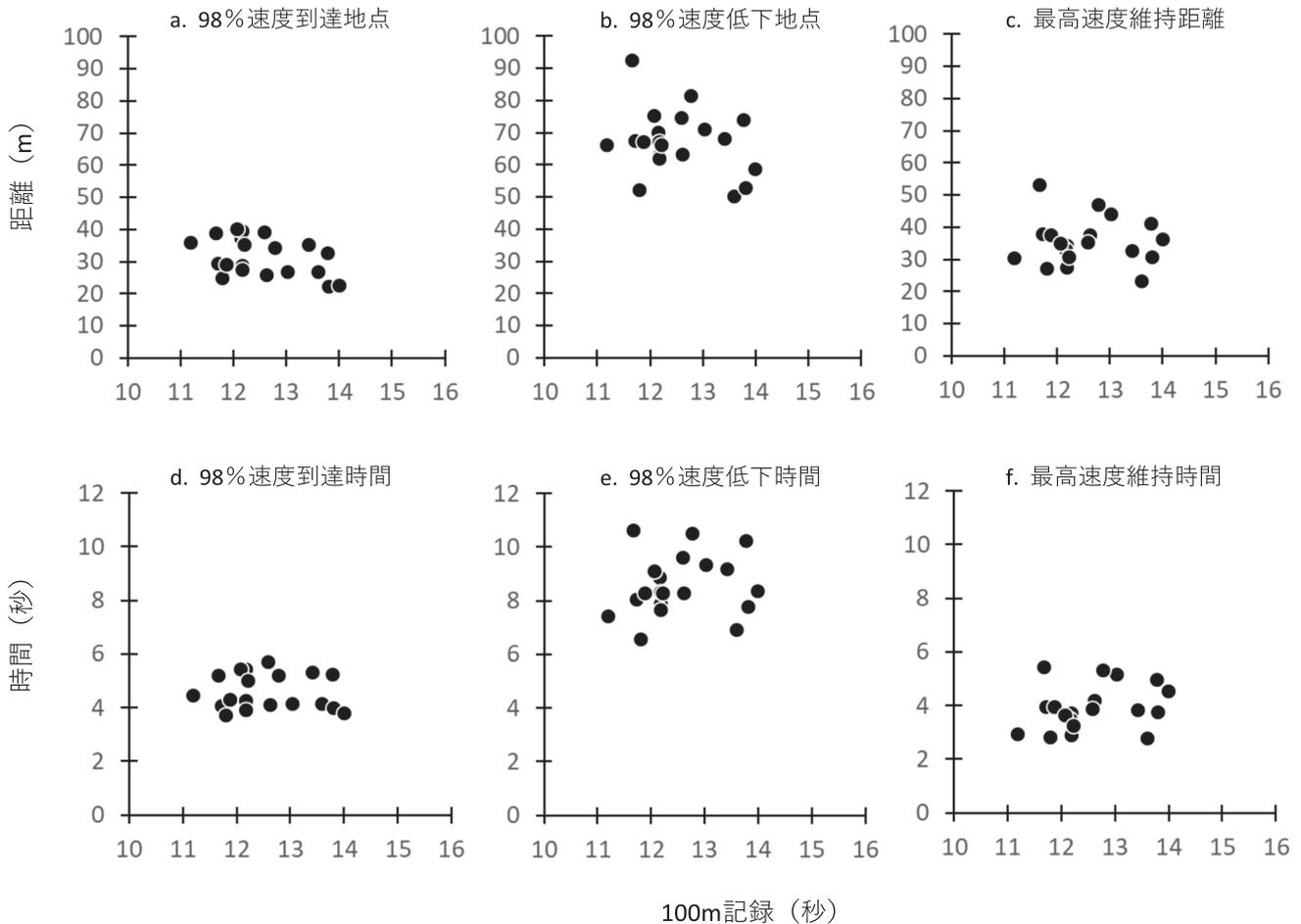


図4. 14秒以内の選手の100m記録と98%速度到達および低下, 最高速度維持の距離および時間の関係 (n=20)

表3. 14秒以内の対象選手の各項目の平均値, 標準偏差, および100m記録との相関係数

パラ陸上 男子 n=20	100m記録 (秒)	最高速度 (m/s)	地点 (98%速度) (m)			時間 (98%速度) (秒)			速度逡減率 (%)
			到達	低下	維持距離	到達	低下	維持時間	
平均	12.53	9.15	31.73	67.25	35.52	4.66	8.59	3.92	6.91
標準偏差	0.81	0.61	5.89	9.96	7.08	0.66	1.12	0.82	2.31
相関係数 r (記録)	1.000	-0.989***	-0.431	-0.289	-0.048	-0.085	0.154	0.279	0.171

***; P<0.001

走速度に関する時間的特性を検討する上でも参考になると考える。これらのことから、パラ立位選手の100mにおいてはこのあたりの記録を境に運動時間が長くなると「長時間持ちこたえられるようにしている」可能性があると考えられるが、ここで対象から除いた16秒や14秒という数値はあくまでも試行的に見てみたものであって特に根拠はないため、具体的にどのあたりの記録がその境界となりそうかなどは詳細な検討が必要であろう。

3) 相対走速度と速度低下

パラ選手の速度逡減率を調べると、100m記録と

有意な相関関係はみられなかった(表2, 表3)。図1の距離-速度曲線でも、また、松尾ら(2008)による健常選手の国内上位者の報告などでも、最高速度や平均速度など高さに違いはあってもそれぞれが描く曲線の様子は似ているものが多いことがわかるが、この曲線では時間に伴う速度の変化を感じることができない。少し見方を変えて、「時間-相対走速度曲線」(図5)として示すと、それぞれの曲線の右端は縦方向にあまり大きな違いがなく、加賀谷ら(1985)が示した児童のものとも同様の様子が示された。これは、それぞれの最高速度(100%)からフィニッシュまでの時間経過の中における相対走速

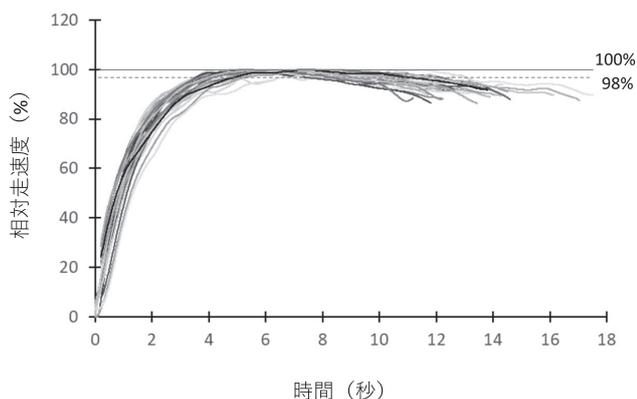


図 5. 100m レース時の時間 - 相対走速度曲線(n=27)

度としての低下を意味しているが、例えば相対走速度として同じ低下率であったとしても、記録の高い選手は比較的短時間で、記録の低い選手は長い時間をかけて、その大きさの相対速度の低下を起こしていたことを意味することになる。このように考えると、最高速度とフィニッシュ手前の速度の2つだけを使って求める速度逓減率は、その値で示しているのは最高速度からの低下率だけであって、その低下に要した時間はわからないため、低下が緩やかだったのか激しかったのかのようなものまでは十分に表せていないことがわかる。速度曲線は選手のレースの特徴をみる資料であるが、距離についてだけでなく、できるだけこのように距離と時間の両方の様子を同時に確認することでより適切に選手の特徴を確認できたり、走運動の特性を知ることができるものである。

実践への提言

本研究において、このように速度変化の様子や最高速度付近のことを調べたのは、パラ陸上の100mにおける練習やトレーニングの設定の一つの資料とするためであった。しかし、走速度の時間的特性については健常選手とも共通点が多いようであることから、ここからは健常選手の100mの考え方にも触れながらの提言としたい。また、本研究では個々のパラ選手の日常的なトレーニングについて調べたものではないため、トレーニング等を実践してどういった効果がみられたかなどには言及できないが、日常のトレーニングの中により科学的なことに基づいた取り組みを取り入れる上での考え方として示すものである。

・速度データのまとめ

これまで、パラ陸上においては100mの競技記録の幅の広さと、それによる考え方の検討が求められ

ることを述べてきた。またこれらには、記録を区分して考えるべきと感じられるところもあった。記録の低い選手について今回は具体的な検討はできないが、14秒以内の選手だけでみた場合の値に基づく以下のようなことがわかった(図4,表3)。男子パラ選手がスタート後98%速度に達するのは、時間では記録に関係なく4.7秒付近の一定の時間のようにであった。距離については平均およそ32m地点であり、そのばらつきは5%水準にわずかに届いていなかったが記録の低い選手はやや短い距離で、高い選手はやや長い距離で98%速度に達している様子がみられた。その後、98%速度を下回るのは距離では平均67m地点、時間では8.6秒程度経過時であった。そのため、最高速度維持時間としてはおよそ3.9秒あたりに、距離は平均的に35m程度を中心にばらついていていた。最高疾走速度の到達時間について、小木曾ら(1997)は男女ともほぼ6秒から7秒の間にみられるということや、非トレーニング群に比べてトレーニング群のほうがその時間のばらつきが小さく安定していたことを報告しており、健常選手の瞬間最高速度について調べた松尾ら(2017)も、その到達距離においては男女間で有意におよそ9mの差があるものの、到達時間については男女とも6.3秒あたりで有意な差はなかったと報告している。本研究でも、記録が14秒以内の男子パラ選手の平均はおよそ6.3秒と同様の様子がみられた。したがって、疾走速度の時間的特性については、男子選手の立位での全力運動の場合は、基本的には障がいの有無や競技レベルにかかわらず同じようなものとして扱ってよさそうであると考えられた。100mの場合、選手はより早くフィニッシュラインを駆け抜けたいと考えてスタートしたあと、ほぼ全力運動により加速していき、やがてそれぞれの最大速度に達する。100mのこの過程はほぼ全力であるがゆえ、ほかの短距離およびトラック種目に比べると、選手間やコンディションなどでの違いは非常に小さいものであろう。また、時間的にみて同じような運動や過程を辿る中で何が競技パフォーマンスに効いてくるのかとなると、その時間でより大きく移動することを可能にする疾走速度、特に最高疾走速度の高さということがより明確になる。以前から示されていたこれらのわかりやすい情報が、ある程度の範囲のパラ選手にも適用できるということがわかったことは、本研究の大きい収穫であろう。

・科学的データに基づいたトレーニング実践

これらに基づき、日本パラ陸連の合宿等でのスピード能力向上を目的としたトレーニングでは、加

速走などに代えて「8 秒間走」を行う機会を増やした。前述のように、このような合宿では記録が大きく異なる立位の各クラスの男女選手と一緒に練習することが多い。そのため、加速走の場合は限られた距離での設定だと全選手に対して適切な設定にならないと考え、また、複数の選手で同時に行うこともできるものとして時間走を採り入れた。この短い時間での時間走は、スタート位置を合わせると周りの選手を感じながら加速の確認を、フィニッシュ位置を合わせると特に高速度で競り合うような場面を経験させることができる。この場合、初回だけは各選手のスタート位置の調整のため、すでに得られているであろう SD の 60m などのタイムを参考に、8 秒時点でどのあたりを走っているかを推定しておく必要がある。各試技について、フィニッシュ位置を固定する場合は 8 秒時点でのフィニッシュラインからのおよその誤差が確認できるよう、ハイスピード動画機能のあるスマートフォンやタブレットで動画撮影を工夫することで、次のスタート位置の調整がしやすい。この時間走という方法は、200m や 400m のためのトレーニングなどでは少し長い時間設定で用いられることもあると思うが、100m のスピード能力向上を目的としたものなかでは、それほど多用されていないと思われる。しかし、このごく短時間で行われる 8 秒間走は、以前から小学生の短距離走の取り組みとして適切な距離の検討（加賀谷ら、1985；加藤ら、2002；伊藤、2007）などとともに提案および実践されてきているものである（山本ら、1988；上岡、2009）。小学生の身体への負担などを考慮して検討されたものではあるが、最高速度で走ることができ、身体的に過度の負担を強いることなく、心理的にもちょうどよい（伊藤、2007）状況で行える点から、競技者に対しても短距離走の本質的なトレーニングとして適していると考えられる。陸上競技としての短距離走などトラック種目は、距離で設定されているため、その距離をどのように走るかという発想で考えてしまいがちである。それぞれ、その距離をいかに短時間で走れるかを競うものであるが、考え方を変わると短時間でより進めるかを競うようなものでもある。時間をベースに全力運動を考えると、以前から最大筋活動は 7.5 秒程度しか持続できないということや（Margaria, 1976）、そのあたりの時間を過ぎれば ATP-CP 系のエネルギーの低下により速度は低下していく（Hirvonen, 1987）と報告されている。したがって、全力運動の場合はこのような生理学的な制限要素によって共通的な時間的特性があると考えられるため、その時間で

よりフィニッシュラインに近づいておくべきであり、走速度はその時間経過付近から低下はしていくが、下がってもなお高い速度であるほうがよいので、低下前の最高速度がより高くある必要があるということになる。なお、ウサイン・ボルト選手が 9.58 秒の世界記録を出したレースでは 80m 地点の通過が 7.92 秒と報告されており（松尾ら、2010；Graubner and Nixdorf, 2011）、8 秒経過時で考えると最高速度からは低下しているものの、やはりおよそ 98% 速度レベルの 12m/s 少しの状態で迎え、残り 19m 程度であるのであと 6 歩強、時間では 1.6 秒程度でフィニッシュラインに到達するところまで来ていたということになる。このように具体的に残りの距離や歩数、時間をみると、いかに 8 秒程度の時間でより進んでおくべきかということを感じられるのではないだろうか。ボルト選手は相対的に後半抜け出すように見えるため、高い速度を保つ能力が他選手より優れているように思われがちだが、速度変化を相対走速度として時間的にみるとパラ選手と同じようなものでもあり、時間的な持久能力は特に優れているとはいえないと考える。しかし、このような速度変化はすべての人が全く同じ時間でそうなるというわけではないであろうし、個人内でも毎回同じタイミングというわけではないと思われるので、レースにおいてはその微妙な違いが展開を左右し、それが競争としては面白さをもたらしていると考えられる。とはいえ、選手間で大きく異なるものでもないであろうし、トレーニングによっても競技パフォーマンスに強く貢献するような変化はほとんど起こらず、全力疾走時に簡単かつ効果的にそのタイミングを操作できるようなものでもないと考えられる。これについては、広川ら（2005）が報告したトップクラスの選手の様子をみても感じられよう。

・「8 秒間」の中で重視したこと

ただし、著者らは最初から「8 秒間走」をパラ選手に用いようと考えたわけではなく、時間設定を検討する上でパラ選手の 98% 速度低下時間を参考のベースとした。14 秒以内の選手のその平均はおよそ 8.5 秒であったため、その少し手前くらいまでとしようと考えて設定したものである。パラ選手に対して 8 秒間走を初めて行った際、加速走より回復が早いと話す選手もいた。そのような場合、加速走の設定が運動時間として 8 秒間より長くなるような距離設定となっていた可能性がある。7 秒や 8 秒あたりにおける 1 秒や 2 秒、もしくは距離としての 10m や 20m のような違いから受ける主観的な疲労などの感じ方には個人差があると思われるが、それは感じ

方の違いだけでなく、個々の加速特性などパフォーマンスの実際において少しの違いがあるがための個人差が含まれていると考えられる。また、8秒間という時間については、スタートから5秒程度で最高速度もしくはそれに近い状態に達した上で、その付近の高速度状態で3秒程度疾走するようなイメージでの設定であり、トレーニングとしてやや負荷を掛ける目的を持って行った設定であるが、選手の個人差を考慮し負荷を掛け過ぎないようにしたものでもある。本研究で示した98%速度維持時間などでは、数値上速度が保たれているということで「維持」という言葉を用いたが、100mを走る選手としては最高速度をこのくらいで十分と思って自分で決めたり、そのあたりの速度を維持しようとしているわけではなく、あわよくば無理のない範囲で少しでも上げることができればと思って走っているが、そのときの能力や状態ではもう上がらないという場面であるはずである。つまり、この維持期間の3秒間程度は、自身の出せる速度に対してポジティブにチャレンジしている場面、もしくは自身の最大スピードに身体をより適用させようとしている場面とも考えられ、スプリントトレーニングの中では非常に重要な場面であると考えられる。ここで言う最大スピードへの身体の適用とは、筋の特性である「力-速度関係」に対するものや、地面への力の作用にも関連するような合理的な疾走動作（伊藤ら、1998）に関するものなどが考えられよう。一般的に、短距離走においては短い接地時間の中でできるだけ大きい力発揮が必要というところはある程度広く認識されている。このあたりについて、福田と伊藤（2004）や小林ら（2009）が短距離走を地面反力の観点から報告したものなども参考にされていると思われる。福田と伊藤（2004）は、疾走中は身体が地面上を高速で移動している状態にあることを相対的にみて「後方へ速く動く地面に対していかに短時間に大きな加速力を発揮できるかが最大疾走速度を決定する」と解説しているが、その報告において特に重視すべきところは、「短時間」というところだけでなく「後方へ速く動く地面に対して」ということも含めたものであると考える。この報告に基づいて、力学的に走速度決定のメカニズムを概括的に解釈すると、疾走時は、走者が接地した瞬間、地面は後方へ遠ざかろうとするが、その地面の動く方向と速さに対して、下肢の筋活動や動作などによって余裕をもって力発揮ができる間は、加速成分の力積が減速成分の力積を上回り走速度は加速するが、走速度が上がれば高速度で後方へ遠ざかる地面への力発揮が

筋の力-速度関係により困難になっていくので、加速成分の力積は減少していく。その後、ある速度のとき、加速成分の力積が減速成分の力積を上回れなくなれば、それ以上加速ができなくなるため、その速度が最高（最大）速度ということになる。このことから、力発揮が困難な高速度状態で十分な加速成分の力積を獲得できるようにしていくことが必要であると考えられる。ただし、このような力学的な説明や、本文中で用いた全力運動という表現などは、現場において誤解されやすいところがあると考えられるためここで整理しておくが、これらで示した「全力」や「大きい力発揮」というのは、精一杯頑張っって大きい力を出すというようなことを意味しているものではない。また、中間疾走においては加速成分（後方）の力積を得るために、より後方に向けて力を込めて地面を蹴るべきというようなことでもない。そのようにして行う力発揮では高速度に対応できないと思われるので気をつけてほしい。より高い速度で動く地面に対して少しでも大きい力発揮をできるようにしていくには、リラックスした自然な走りの中で、現状の最大速度やそれに近い速度を出して、その速度に「身体を慣らす」イメージで取り組むのがよいであろうと考える。そのとき、身体は大きい力発揮が困難な状況にはなっているが、無意識にそのとき可能な限りの大きい力を出そうとしている状況にあると考えられるからである。100mに取り組む上では、最大速度を更新すべくトレーニングに励む必要があることは、これまでも数多く報告されているように記録と最高速度の関係性から明らかである。トレーニングとしては非常に単純かつ地味な取り組みということになるが、その状況を可能にするのは実際に高速度で走っている場面しかない。そのため、パラ選手に対しての取り組みとして、その場面を3秒程度含む8秒程度の全力疾走が適当であろうと考えたということであった。98%速度維持区間をより高い速度で走れるようになれば、その時間の中で進むことができる距離としてはより長くなり、スピード持久能力が上がったようにみえるかもしれないが、本研究の結果や先行研究から考えると最高速度を発揮している100mにおいては、その維持時間についてはおそらくほとんど変化しないものと思われる。したがって、このようにして長くなったであろう維持距離の長さが意味する能力としては、高い速度を長く持ちこたえる能力というより、最大速度能力（最高速度もしくはその付近の平均速度）が上がったことによるものと考えられる方が適当と考えられるため、この場面でのこの状況について「維持」

や「スピード持久能力」という表現は100mにおいてはあまり適切ではないように思われる。

・おわりに

距離による設定はトレーニングの場を効率的にマネジメントする上では用いやすいが、トレーニング効果の質を高める取り組みになりやすいのはどちらかといえば時間による設定であろうということが本研究から示唆される。しかし、競技パフォーマンスの向上に重要な最高速度については「到達時間はだいたい一定である」ということより、「50mから60mあたりで出現する」や「速い選手ほどその到達地点はよりスタートから遠い」というような距離に関することのほうが定着している傾向がある。距離で示すのはわかりやすいように感じる一方で、距離や地点で示すと「そのあたり」でどういう速度状態であるべきかなどを意識させるだけで、ある時間を高い速度で走らせてこそそのあたりになるという理由までは認識されにくいという弊害があると思われる。距離で示す場合は選手にとって適切な距離を設定するとともに、時間や速度との関係についての説明も必要と考えるが、そういった説明は省略されていることが多いと思われる。時間で示す場合はこれまでの報告でも示されているようにある程度選手に共通して一定なので、説明自体は距離の場合より簡単であるが、どこまでなどを視覚的には示しにくい。ここでは、加速走に代わる方法として時間走を取り上げたが、SDの練習においても、50m以上など5秒を上回るような距離の場合は、そのときの目的に最高速度に対するものも含むならば、できれば各選手の記録に応じた距離選択ができるようにすべきであろう。本研究は距離での設定自体を否定するものではない。本研究のような考え方をしたときに、一般的な距離設定がちょうどいいというレベルの選手も健常選手には多くいるだろう。その場合は、特に距離を検討し直すなどの必要はないが、考え方の再確認はしてもらえればと考える。本研究において、極端に記録が低い選手を除いた男子パラ選手の場合も、時間関連のデータは健常選手のものとおおよそ同じようであることが示されたことから、本研究の結果や考察および提案などは、ある程度健常選手にも適用できるものと考えられる。距離か時間かどちらでスプリントトレーニングを設定すべきか、それぞれ一長一短はあるが、より目的に対応したトレーニングにするには本来は時間をベースにした設定としたほうがよいであろう。もしくは、時間ではトレーニングがしにくいのであれば、この時間に基づいた考え方に応じた自身の距離設定を10m刻みでも

よいので検討し実施するなどでもよいであろう。また、時間走の場合、その設定は8秒間以外であってもよいと考える。例えば、トレーニングとしてしっかり本数を重ねたい場合は回復がある程度スムーズであったほうがよいであろうし、筋への負担を少し減らしたいときなどもあるだろう。その場合は、高速度状態を2秒程度に抑え、浦田ら(2019)が小学校の体育授業の短距離走として提案しているような7秒間走とするのもよいであろう。また、加速を重視し、最高速度が出たかどうかくらいで終わっておく場合は速度の立ち上がりの特性に応じて6秒間や5秒間とするのもよいであろう。

ただし、パラ陸上の指導においては、すべてを時間で設定するようにしたわけではない。一般的な距離でのタイムや以前の自身のタイム、もしくは他者との比較も選手のモチベーションにつながると考え、一般的な距離設定でSDや加速走を行う場合も残し、目的によって使い分けて実施するなどしたということを付け加えておきたい。

参考・引用文献

- 阿江通良ほか(1994) 世界一流スプリンターの100m レースパターンの分析, 世界一流競技者の技術. ベースボール・マガジン社. pp14-28.
- 福田厚治・伊藤章(2004) 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速: 接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか. 体育学研究, 49: 29-39.
- Graubner R, Nixdorf E (2011) Biomechanical analysis of the sprint and hurdles events at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 26:1/2. 19-53.
- 広川龍太郎ほか(2005) “末續慎吾”の100m 走中の疾走速度分析. 陸上競技研究紀要, 1: 108-110.
- 広川龍太郎ほか(2007) 男子100m 走における, 国内GPにて収集した外国人選手と末續慎吾選手の疾走速度分析. 陸上競技研究紀要, 3: 39-41.
- Hirvonen J et al. (1987) Breakdown of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise. *Eur J Appl Physiol*, 56: 253-259.
- 伊藤章ほか(1998) 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. 体育学研究, 43: 260-273.
- 伊藤宏(2007) 小学高学年の望ましい短距離疾走距

- 離についての研究. スプリント研究, 17 : pp32-40.
- 加賀谷熙彦ほか (1985) 児童の短距離走の距離及び時間の至適条件. 体育科学, 13 : 70-77.
- 上岡勝 (2009) 実践・私は授業をこう変えてきた - 「8 秒間走」の魅力を活かす教材配列. 体育科教育, 57-6 : 40-43.
- 加藤謙一ほか (2002) 小学生スプリンターにおける短距離走の適正距離の検討. 体育学研究, 47-3 : 231-241.
- Margarita R. (1976) Biomechanics and Energetics of Muscular Exercise. Oxford University Press.
- 松尾彰文ほか (2007) レーザー方式による 100m およびハードルのスピード分析. 陸上競技研究紀要, 3 : 59-64.
- 松尾彰文ほか (2008) 2007 年男女 100m. 100m ハードルおよび 110m ハードルのスピード分析報告. 陸上競技研究紀要, 4 : 48-55.
- 松尾彰文ほか (2010) 世界トップスプリンターのストライド頻度とストライド長の変化. 陸上競技研究紀要, 6 : 56-62.
- 松尾彰文ほか (2017) 2017 シーズンにおける男女 100m のレース分析および瞬間速度と瞬間加速度. 陸上競技研究紀要, 13 : 154-164.
- 小木曾一之ほか (1996) 全力疾走時にみられる疾走スピードの変化特性. 体育学研究, 41-6 : 449-462.
- 大沼勇人ほか (2020) 2020 年度主要競技会における男子 100m のレース分析. 陸上競技研究紀要, 16 : 82-87.
- 浦田達也ほか (2019) 小学校中学年および高学年の児童における時間経過に対する相対疾走速度変化. 体育の科学, 69-7 : pp543-548.
- 山本貞美ほか (1988) 走る意欲を引き出す 8 秒間走の指導. 黎明書房.