

博士論文

一般市民ランナーにおける 20m シャトルラン
テストの成績およびトレーニング変数を用いた
マラソンタイム予測式の作成

(Applicability of 20-m shuttle run test performance
and training indices for developing prediction
equation of marathon race time in recreational
runners)

2021 年 3 月

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科
スポーツ健康科学専攻博士課程後期課程

高尾 憲司

立命館大学審査博士論文

一般市民ランナーにおける 20m シャトルラン
テストの成績およびトレーニング変数を用いた
マラソンタイム予測式の作成

(Applicability of 20-m shuttle run test performance
and training indices for developing prediction
equation of marathon race time in recreational
runners)

2021 年 3 月
March 2021

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科
スポーツ健康科学専攻博士課程後期課程

Doctoral Program in Sport and Health Science
Graduate School of Sport and Health Science
Ritsumeikan University

高尾 憲司
TAKAO Kenji

研究指導教員：伊坂 忠夫教授
Supervisor: Professor ISAKA Tadao

目次

原著論文の一覧

表のタイトル一覧

図のタイトル一覧

用語の定義

略語の一覧

第1章 序論	8
第2章 文献研究	10
第3章 研究目的および研究意義	18
第4章【研究課題1】一般市民ランナーの持久性能力の評価に対する20mシャトルランテスト の有用性.....	19
1. 緒言	19
2. 方法	20
3. 結果	24
4. 考察	32
5. 小括	35
第5章【研究課題2】一般市民ランナーを対象にした20mシャトルランテストおよびトレーニング変数によるマラソンタイム予測式の妥当性	36
1. 緒言	36
2. 方法	37
3. 結果	40

4. 考察	49
5. 小括	52
第6章【研究課題3】マラソンタイム予測式を用いたマラソンペース設定の可能性についての 事例研究.....	53
1. 緒言	53
2. 方法	53
3. 結果	55
4. 考察	57
5. 小括	59
第7章 総括論議	60
第8章 結論	64
謝辞	65
参考文献.....	66

原著論文の一覧

本博士学位申請論文は、以下の副論文をまとめたものである。

研究課題 1

【副論文】

Takao Kenji, Hiromasa Ueno, kanta Hamaguchi, Tadao Isaka,

Comparison of aerobic profiles between the field-based 20m-shuttle run test the laboratory-based bike ergometer test in runners. Gazette Medical Italian, in press

研究課題 2

【副論文】

高尾憲司, 濱口幹太, 上野弘聖, 松生香里, 伊坂忠夫,

一般市民ランナーを対象とした 20m シャトルランおよびトレーニング変数を用いたマラソンタイム予測式の検討. 体力科学, 67 (3), 227-235, 2018.

表のタイトル一覧

- 表 1 Physical characteristics and training indices in male and female participants
- 表 2 Measurement results in male and female participants
- 表 3 Physical characteristics and training indices in male and female subjects
- 表 4 The correlation between measurement data (Male runners)
- 表 5 The correlation between measurement data (Female runners)
- 表 6 Multiple regression analysis in marathon time (Male runners)
- 表 7 Multiple regression analysis in marathon time (Female runners)
- 表 8 Characteristics of subjects for confirming the validity of the prediction formula
- 表 9 Comparison of split times between the marathon race time and the predicted marathon time

図のタイトル一覧

- 図 1 Relationship between measured BET- $\dot{V}O_{2\max}$ and 20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$
- 図 2 Relationship between measured BET-HRmax and 20mSRT-HRmax
- 図 3 Comparison of the estimated $\dot{V}O_{2\max}$ between 20mSRT and BET

- ☒ 4 Relationship between measured 5000mTT and 20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$

- ☒ 5 Relationship between measured 5000mTT and BET- $\dot{V}O_{2\max}$

- ☒ 6 Relationship between measured marathon time and 5000mTT

- ☒ 7 Comparison of estimated maximal HR among 20mSRT, BET and 5000mTT

- ☒ 8 Relationship between measured marathon time and predicted marathon time

- ☒ 9 Bland-Altman plot The bold line denotes bias (mean of difference) and dashed lines denote limits of agreement (1.96SD of difference).SD, standard deviation

用語の定義

$\dot{V}O_{2\max}$	1分間に体重1kgあたりに取り込むことができる酸素摂取量の最大値
一般市民ランナー	Billat <i>et al.</i> (2002) によると, トップアスリートの週間トレーニング回数は平均11回であると報告されている. これを参考に, 本研究では週間トレーニング回数が9回以下のランナーを一般市民ランナーとした
月間走行距離	一ヶ月あたりの走行距離
週間トレーニング回数	一週間あたりのトレーニングの実施回数
乳酸性作業閾値	運動強度の増加に対して血中の乳酸が安静時以上に蓄積し始める時点であり, 血中乳酸濃度によって示される
ペース戦略	ランニング中における生体の恒常性の乱れを最小限にコントロールし, 理想的に貯蔵エネルギーを使い切り, マラソンを最短時間で完走できるプロセス
マラソンペース	マラソンを走る1kmあたりのスピード
ランニングエコノミー	最大努力下のある走速度における酸素摂取量
ランニング歴	大会参加を目的として走り始めた時期から現在に至るまでの期間

略語の一覧

BET	Bike ergometer test
BMI	Body Mass Index
bpm	Beats per minute
CT	Continuous training
HRmax	Maximal heart rate
BET-HRmax	HRmax determined by bike ergometer test
20mSRT-HRmax	HRmax determined by 20 m shuttle run test
$\dot{V}O_{2\max}$	Maximal oxygen consumption
BET- $\dot{V}O_{2\max}$	$\dot{V}O_{2\max}$ determined by bike ergometer test
PWC	Physical work capacity
20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$	$\dot{V}O_{2\max}$ determined by 20 m shuttle run test
20mSRT	20 m shuttle run test
5000mTT	5000 m time trial

5000mTT-HRmax

HRmax determined by 5000 m time trial

第1章 序論

平成 30 年度「スポーツの実施状況等に関する世論調査」(スポーツ庁, 2019)によると, ウォーキングやランニングなどの有酸素運動の実施率が高くなっていることが報告されている。特に 2006 年以降, ランニング実施人口が増加し, 2007 年に開催された東京マラソンをきっかけに第 2 次ランニングブームが訪れ (丸山, 2012; 清水, 2015), 2018 年においては約 964 万人がランニングを実施している (笹川スポーツ財団, 2018)。その一方で, ランニング障害やレース中の心停止などの障害についても多く報告されている (白川ら, 2013; Jonathan and Kim, 2012)。それらの原因として, 個々が耐えられる以上の強度, 量, 頻度でトレーニングを実施していること (Swank, 2008), さらに, マラソンレース中は最大心拍数の 80–90%程度の強度で運動し続けており (Billat *et al.*, 2009), 身体への負担が非常に大きいことが指摘されている。これらの点を踏まえると, マラソンを安全に行うための方策の 1 つとして, 個々人の持久性能力およびマラソンのレースパフォーマンス (マラソンタイム) に応じたマラソンペースを設定することがあげられる。

マラソンのレースパフォーマンスに関連する持久性能力の生理学的指標については, これまでに多くの研究が行われており, 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{max}$) をはじめランニングエコノミーや乳酸性作業閾値が代表的なものとして報告されている (Adrian *et al.*, 2007)。その中でもマラソンタイムに大きな個人差がある一般市民ランナーにおいては, $\dot{V}O_2\text{max}$ が重要な要素の 1 つである (山本と木村, 2013)。その $\dot{V}O_2\text{max}$ の測定には, 一般に自転車エルゴメータやトレッドミルを備えた実験室で実施される。しかし, その測定にあたっては高価な機器に加え, 測定・分析に専門的な知識を持った検者が必要であることから, 多人数を対象とした測定は困難である (田中, 2000)。それに対し, 多人数を対象に $\dot{V}O_2\text{max}$ の評価を可能にするものに, 20m シャトルランテスト (20mSRT) がある。20mSRT は $\dot{V}O_2\text{max}$ を簡易に算出でき, 再現性も認められている (Leger and Lambert, 1982)。しかしながら, 20mSRT で推定された $\dot{V}O_2\text{max}$ は, 自転車エルゴメータ試験に比較して低いとする報告 (Poortmans *et al.*,

1986) もあり、一般市民ランナーの持久性能力の評価における 20mSRT の有用性については、改めて検討する必要がある。

マラソンタイムに応じたマラソンペースを設定するためには、現状のマラソンタイムを予測する必要がある。先行研究では、 $\dot{V}O_2\text{max}$ に加えてトレーニング変数などランニングに関する項目を用いることで、マラソンタイムを予測することが可能とされている (Hagan *et al.*, 1981)。しかしながら、現在の第 2 次ランニングブームは、今までマラソンに関心がなかったジョギングあるいはランニング愛好家が興味を持ち、ブームとなっている (清水, 2015)。したがって、第 2 次ランニングブームに対応した一般市民ランナーの実態調査の結果に基づくマラソンタイム予測式の作成が必要であると考えられる。

また、マラソンレースのペース配分 (マラソンペース) は、パフォーマンスに大きな影響を及ぼす。マラソンタイムの速いランナーは、ペース変動の少ないイーブンペースで走行しており (Ely *et al.*, 2008)、それに対しマラソンタイムの遅いランナーは、レース前半の平均走速度が速く、レース序盤にペース持続が難しい走速度で走行することが示されている (Renfree and Gibson, 2013; Santos-Lozano *et al.*, 2014)。一方、マラソンレースでの完走できない理由の 35.2% は、打ち切りの設定タイムに対して走行ペースが遅すぎるのが原因であると指摘されている (Yeung *et al.*, 2001)。したがって、マラソンレースにおいて、レース参加者が個々人の最高のパフォーマンスで完走できるようにするためには、事前に各自のマラソンタイムに応じたマラソンペースを認識する必要がある。

そこで、本研究は「一般市民ランナーにおける 20mSRT の成績およびトレーニング変数を用いたマラソンタイム予測式の作成」を主題とし、1) 一般市民ランナーの持久性能力の評価に対する 20mSRT の有用性 (研究課題 1) および 2) 一般市民ランナーを対象とした 20mSRT およびトレーニング変数を用いたマラソンタイム予測式の妥当性 (研究課題 2) を明らかにすると同時に、3) マラソンタイム予測式を用いたマラソンペース設定の可能性について事例研究 (研究課題 3) の結果に基づき検証することを目的とした。

第2章 文献研究

2-1. ランニングの実施状況に関する研究

ランニング実施人口については、笹川スポーツ財団が1998年から2年ごとに調査を実施している。調査によると、年1回以上ランニングを実施している人口は、1998年に約675万人であり、2002年に減少したものの、2012年には約1009万人に増加した。その後、微減しているが、2018年におけるランニング実施者は約964万人である（笹川スポーツ財団, 2018）。我が国における市民マラソン大会の始まりは、1967年の青梅マラソンであり（杉本, 2016）、1979年の第1回東京国際女子マラソンを契機に、生活習慣病の予防などを目的とした男性一般市民ランナーが増加したことで、マラソン第1次ブームを迎えた（山口と伊藤, 2020）。第2次ランニングブームは、2007年に開催された都市型マラソンである東京マラソンをきっかけに、それ以降フルマラソン大会が新設され、現在の第2次ランニングブームを迎えた（丸山, 2012）。この第1次ブームと第2次ブームの大きな違いは、インターネットの普及やメディアが大々的に取り上げたことで、今までマラソンに関心がなかったジョギングあるいはランニング愛好家が興味を持ちだしたことにあると考えられている（清水, 2015）。

2-2. ランニングの障害に関する研究

ランニングブームの背景には、ランニングの特性として、時間・場所・仲間を選ぶ必要がなく、低コストで実施することができ、低体力・スポーツが苦手な人でも楽しめるといった、思い立ったら気軽に始められるという点があり（田中, 2014）、ランニングは多くの市民が気軽に行える。一方でランニング実施者の増加に伴い、スポーツ障害などリスクに関する報告数も増加傾向にあることも事実である。例えば、一般市民ランナーではランニング傷害が76%と高頻度で認められ、その中でも膝関節に傷害が多く（渡部ら, 1996; 今井ら, 2010; 高尾ら, 2013）、貧血や走りすぎによるランニング障害、女性選手では無月経や骨粗鬆症などが

発生しやすいことが知られている（小幡ら,2011）．また，武者と藤谷（2016）は，スポーツ突然死の発生率に，スポーツ種目による大きな違いは認められていないと報告している．しかし，畔柳ら（2002）は，スポーツ実践中の突然死 534 件をスポーツ種目別にみた結果として，ランニング中が最も多く全体の 22%（118 件）を占めると指摘している．事実，日本の市民マラソン大会では，参加者の約 5 万人に 1 人の割合で心停止が発生すること（白川ら，2013）や，ハーフマラソンよりマラソンの方が心停止の発生率が高い（Jonathan and Kim, 2012）．さらに，マラソンは 2 時間を超える長時間の競技であり，そのレース中は最大心拍数の 80%~90%程度の強度で運動し続けており（Billat *et al.*, 2009），レース後には内臓機能障害や筋損傷といった諸症状を誘発することから，身体への負担が非常に大きい（Sanchez *et al.*, 2006）．また，Swank（2008）は，個々が耐えられる以上の強度，量，頻度でトレーニングを行った際や十分な休息が与えられない場合には，パフォーマンスが低下し，良い成績を収めることが困難になるとし，渡部ら（1996）は，月間走行距離が長く，練習中の走行ペースが速く，ランニング歴が長い持久性ランナーがランニング障害を発生しやすいと述べている．したがって，現状の持久性能力を評価し，個々人のマラソンタイムに応じたランニングペースを設定することができれば，ランニング障害を予防し安全にマラソンを実施することができると考えられる．

2-3. マラソンのレースパフォーマンスに関連する持久性能力の生理学的指標についての研究

Adrian *et al.*（2007）は，マラソンタイムの 70%を決定する要因として $\dot{V}O_{2max}$ ，ランニングエコノミーおよび乳酸性作業閾値を挙げている．同様に，榎本（2013）も $\dot{V}O_{2max}$ ，ランニングエコノミーおよび乳酸性作業閾値がマラソンタイムに大きな影響を与えることを報告している．

2-3-1 $\dot{V}O_{2\max}$

$\dot{V}O_{2\max}$ は運動実践が習慣化していない成人男性で約 45ml/kg/min であり，男性持久性アスリートでは 70ml/kg/min 以上の値が報告されている (Lucia *et al.*, 2001; Le Meur *et al.*, 2009). 女性の $\dot{V}O_{2\max}$ は，一般に男性よりも 8%~10%低い，特に優れている女性持久性アスリートでは，約 70ml/kg/min に達するといわれている (Billat *et al.*, 2003; Le Meur *et al.*, 2009).

$\dot{V}O_{2\max}$ と長距離走パフォーマンスとの関係についてはこれまでにいくつか報告されており，例えば Costill *et al.* (1973) は，男性 16 名の持久性ランナーを対象にした結果において， $\dot{V}O_{2\max}$ と 10 マイルレースのパフォーマンスとの間に有意な相関関係を認めている．また，Hangan *et al.* (1981) も男性 50 名の持久性ランナーを対象にした調査の結果として，マラソンタイムと $\dot{V}O_{2\max}$ との間に関連性を見出している．さらには，女性 35 名の持久性ランナー (Hagan *et al.*, 1987) および女性 32 名の一般市民ランナー (山本と木村, 2013) を対象にした研究においても，マラソンタイムと $\dot{V}O_{2\max}$ との間には有意な相関関係が示されている．しかしながら，Sjödín and Svedenhag (1985) は，持久性ランナーを 3 群に分類した比較において，エリートランナーでは $\dot{V}O_{2\max}$ と記録との間に有意な相関関係が認められないと報告し，Pollock *et al.* (1997) もエリートランナーを対象に同様の結果を得ている．これらの知見を考慮に入れると，エリートランナーにおいては， $\dot{V}O_{2\max}$ だけがマラソンタイムを決定する要因ではないものの，マラソンタイムに大きな個人差がある一般市民ランナーにおいては， $\dot{V}O_{2\max}$ の評価はマラソンタイムを予測するうえで重要な要素の一つになると考えられる．

2-3-2 ランニングエコノミー

Conlry and Krahenbuhl (1980) は， $\dot{V}O_{2\max}$ がほぼ同レベルのエリートランナーにおいて，10,000m 走とランニングエコノミーの間に高い相関関係を示している．さらに di Prampero (2003) は，ランニングのエネルギーコストを 5%改善できれば，持久走の走行距離を 3.8%

増加させることができると述べている．一方で，23 名の持久性ランナー（マラソントime：2 時間 23 分～4 時間 8 分）を対象にした Foster *et al.*（1977）の結果では，マラソントimeとランニングエコノミーとの間に有意な相関関係は認められていない．また，Morgan *et al.*（1995）も持久性ランナー89 名を競技レベル別に 4 群に分類したとき，ランニングエコノミーは競技レベルが高いランナーほど優れる傾向にあるものの，同一レベルでのランナーにおいては一定の傾向が認められなかったと報告している．したがって，ランニングエコノミーはマラソントimeに影響を与える一要因ではあるものの，ランニングエコノミーだけでは，マラソントimeを評価することは困難であると考えられる．

2-3-3 乳酸性作業閾値

Enrinco *et al.*（2012）は，19 名のエリートランナーの調査において，マラソンスピードと乳酸性作業閾値との関連を見出している．Davis（1985）もマラソンの走速度と乳酸性作業閾値での走速度に高い正の相関関係があることを報告している．さらに，日本人のランナーを対象とした研究において，競技レベルが高い選手ほど乳酸性作業閾値レベルでの走速度も速いことが示されている（足立ら, 2003）．また，松生ら（2001）の研究においても，男子長距離ランナーの競技記録が優れたグループほど，乳酸性作業閾値での 5000m 走の平均スピードが速い傾向にある．これらの知見は，乳酸性作業閾値もマラソントimeに大きな影響を与える要因であることを示唆している．しかしながら，乳酸性作業閾値を測定する場合，検者には穿刺する技能や結果を分析する専門的知識が要求される．したがって，競技選手ではない一般市民ランナーを対象に，フィールドテスト的に乳酸性作業閾値を評価することは容易でなく（田中, 2000），かつ現実的でない．

以上の点を考慮に入れると，一般市民ランナーのような幅広いマラソントimeを有している人を対象とする場合には， $\dot{V}O_2\text{max}$ を測定（推定）することが，個々人のマラソントimeの予測やマラソンペースの設定に有用な情報を得ることができると考えられる．

2-4. 最大酸素摂取量の間接的測定方法に関する研究

$\dot{V}O_{2\max}$ を測定するためには、一般に実験室で呼気ガス分析など高精度で高価な分析機器や測定・分析に専門的な知識を持った人材が必要となり、多人数を対象とした測定は困難である（田中, 2000）。それに対し、フィールドテストとして $\dot{V}O_{2\max}$ を間接的に推定する方法が数多く報告されている。例えば、12 分間走テストの成績は $\dot{V}O_{2\max}$ と強い相関関係（ $r = 0.90$ ）にあり（Cooper, 1968）、全身持久力の向上を意図した指導現場においては、トレーニング強度を設定する有益な指標になると報告されている（豊岡と山崎, 2012）。さらに、能力面で個人差が著しい集団においては、1500m 走のタイムに基づき、 $\dot{V}O_{2\max}$ を推定できること（ $r = 0.88$ ）が示されている（Tanaka, 1985）。しかしながら、この 2 つの測定には、400m のトラックなど安定したランニング条件が得られ走距離が明確な場所が必要であることに加え、ペース配分および強度が高くなる点に注意が必要である。その他には、Åstrand and Ryhming（1954）が開発したモノグラムを使用して、最大下運動中の仕事量と心拍数の関係から間接的に $\dot{V}O_{2\max}$ の推定が可能な方法や一定の範囲内での心拍数と負荷量との関係から $\dot{V}O_{2\max}$ を推定する PWC テストがある（Holmgren and Åstrand, 1966）。それらの方法は最大下の運動を採用することから安全に推定が可能となるが、自転車エルゴメータを必要とすることに加え、最大心拍数（HRmax）が加齢とともに低下する（Lakatta, 1993）ことも考慮する必要がある。一方で、文部科学省の新体力テストに含まれる 20mSRT のスコア（回数）から $\dot{V}O_{2\max}$ を推定することも可能である（Léger and Lambert, 1982）。楠本と中尾（2007）は、20mSRT は多数の幅広い年齢層の被験者を対象にスタート時 8.0km/h の速度から始まり、2 分毎に 0.5km/h ずつ速度を増加する漸増負荷の簡便で正確であり安全なテスト法であると述べている。さらに、20mSRT の成績は再現性が高く、摩擦抵抗の異なる床の上で 20mSRT を行わせた場合でも、その成績に差異がないことが示されており（Léger and Lambert, 1982）、また電子音のリズムに合わせて走行することから、初心者でランニングペースの感覚がな

い一般市民ランナーにも取り入れやすい。これらのことから、20mSRT は、特別な機器や専門的な知見を必要とせず、ランニング経験の浅い一般市民ランナーでも場所を選ばず、簡易的に実施することができるトレーニング現場での応用性の高いフィードテストであると推測できる。しかしながら、20mSRT によって推定した $\dot{V}O_{2max}$ は、自転車エルゴメータで測定した $\dot{V}O_{2max}$ と比べ 5.2%過少に評価されるという報告 (Poortmans *et al.*, 1986) に対し、約 11%高い値を示すという知見 (Naughton *et al.*, 1996) もある。したがって、一般市民ランナーにおける持久性能力の評価として、20mSRT がどの程度有用であるかについては、一般市民ランナーを対象に実験室レベルで採用されている測定の結果との比較に基づき、改めて検討する必要がある。

2-5. マラソンタイムの予測式に関する研究

持久性能力の評価から個々人のマラソンタイムに応じたマラソンペースを提供するためには、現状のマラソンタイムを予測する必要がある。マラソンタイム予測式に関する先行研究はこれまでにいくつかなされており、di Prampero *et al.* (1986) は、 $\dot{V}O_{2max}$ およびランニングエコノミーの 2 変数によって、マラソンやハーフマラソンでの平均走速度の約 72%を説明できると報告している。さらに、Hagan *et al.* (1981) は、 $\dot{V}O_{2max}$ にトレーニング変数（走行距離およびトレーニングペース）と年齢を加えることで、実際のマラソンタイムの約 71%を予測できると述べている。また、Hagan *et al.* (1987) は、女性ランナーを対象にした研究において、マラソンレース前 12 週間の記録（1 日の走行距離とトレーニングペース）によってマラソンタイムを約 68%予測することが可能であるという結果を得ている。

以上の知見から判断すると、マラソンの持久性能力に関連する生理学的指標やトレーニング変数を独立変数とする予測式により、マラソンタイムの約 70%を説明できるといえる。しかしながら、先行研究における $\dot{V}O_{2max}$ の測定は、トレッドミルを用いてお

り、その測定には高価な分析機器や専門的知識を持った人材が必要となることから（田中，2000），多人数を対象に適用することは困難である．よって，多人数を対象に $\dot{V}O_{2max}$ の推定が可能な変数を独立変数とするマラソンタイム予測式の作成が求められる．また，先述したように第2次ランニングブームは，メディアが大々的にマラソンを取り上げることで，今までマラソンに関心がなかったジョギングあるいはランニングの愛好家が興味を持ったことにより生じた現象である（清水，2015）．したがって，現在マラソンレースに参加している一般市民ランナーの持久性能力やトレーニング状態は，これまでのマラソンタイム予測に関する先行研究の対象者とは明らかに異なっている．以上を踏まえると，第2次ランニングブームにも対応した，新たな一般市民ランナーの実態調査やその結果に基づいてマラソンタイムの予測式の作成が必要であると考えられる．

2-6. ペース戦略に関する研究

マラソンにおいて，マラソンレースのペース配分（ペース戦略）はマラソンタイムに大きな影響を及ぼす．嶋津ら（2019）は，マラソンレースのペース配分において，レース前後半の走速度によって「ネガティブ型」「イーブン型」「ポジティブ型」に分類できるとしている．Abiss and Laursen（2008）は，競技レベルに関わらずフルマラソンにおいて高いパフォーマンスを発揮するためには，スタートからフィニッシュまで走速度を維持して走行する「イーブン型」のペース戦略が最適であるとしている．さらに，マラソンタイムの速いランナーは，ペース変動の少ないイーブンペースで走行しており，30km以降においてペースの落ち込みを防ぐことが重要であると報告されている（Ely *et al.*, 2008）．一方，マラソンタイムの遅いランナーは，マラソンタイムの平均速度に対してレース前半の平均走速度が速く，レース序盤にペース持続が難しい走速度で走行していることが示されている（Renfree and Gibson, 2013; Santos *et al.*, 2014）．また，マラソンレースでの完走できない理由として，42.6%は過度な疲労，35.2%は打ち切りの設定タイムに対して走行ペースが遅すぎることが原因であると

指摘されている (Yeung *et al.*, 2001). これら一連の知見を考慮すると, 個々人のマラソンタイムに基づきペース戦略を予め設定し, それに沿ってマラソンレースを実践することで, 安全かつ個々人にとってより良いパフォーマンスで完走することができると考えられる.

2-7. 本研究の課題

一般市民ランナーが安全にマラソンを実施するためには, 事前にペース戦略を設定することが重要である. そのためには, まず現状の持久性能力を評価し, その結果に基づき個々人のマラソンタイムを予測する必要がある. そして, 予測したマラソンタイムから, それに応じたマラソンペースを設定することができれば, マラソンレースを安全かつ個々人にとってより良いパフォーマンスで完走することができると考えられる.

以上の点を踏まえて, 本研究は以下の研究課題について検討した.

- 1) 一般市民ランナーの持久性能力の評価に対する 20mSRT の有用性 (研究課題 1)
- 2) 一般市民ランナーを対象にした 20m シャトルランテストおよびトレーニング変数によるマラソンタイム予測式の妥当性 (研究課題 2)
- 3) マラソンタイム予測式を用いたマラソンペース設定の可能性に関する事例研究 (研究課題 3)

第3章 研究目的および研究意義

研究目的

本研究は、「一般市民ランナーにおける 20m シャトルランテストの成績およびトレーニング変数を用いたマラソントime予測式の作成」を主題とし、1) 一般市民ランナーの持久性能力の評価に対する 20m シャトルランテストの有用性（研究課題 1）、2) 一般市民ランナーを対象にした 20m シャトルランテストおよびトレーニング変数によるマラソントime予測式に基づくマラソントime予測式の妥当性（研究課題 2）を明らかにすると同時に、3) 事例研究を通して、マラソントime予測式を用いたマラソンレースでのペース設定の可能性について検証を加えること（研究課題 3）を目的とした。

研究の意義

一般市民ランナーの持久性能力の評価に対する 20mSRT の有用性を明らかにすることは、簡易な方法で一般市民ランナーの持久性能力を評価できる点で意義があるといえる。また、一般市民ランナーを対象に、20mSRT の成績およびトレーニング変数によるマラソントime予測式に基づくマラソンペースの設定の可能性について明らかにすることは、初級者ランナーや上級者ランナーなど、様々な一般市民ランナーにおいても簡易に個々人のマラソントimeに応じたマラソンペースを設定するうえで有用な知見を得ることができると考えられる。

第4章【研究課題1】一般市民ランナーの持久性能力の評価に対する20m シャトルランテストの有用性

1. 緒言

マラソントイムに大きな影響を与える持久性能力の生理学的要因として、 $\dot{V}O_{2max}$ 、ランニングエコノミーおよび乳酸性作業閾値が挙げられる (Adrian *et al.*, 2007; 榎本, 2013). そのなかで $\dot{V}O_{2max}$ は、エリートランナーの場合にマラソントイムと有意な相関関係が認められないとする報告 (Sjödín and Svedenhag, 1985) もあるが、一般市民ランナーのような幅広いマラソントイムを有する対象者の場合には、 $\dot{V}O_{2max}$ と記録との間には有意な相関関係が認められている (星ら, 2011; 山本と木村, 2013). したがって、一般市民ランナーにとっては、個々人の $\dot{V}O_{2max}$ を簡易に評価することができれば、マラソントイムに関連する持久性能力を知るうえで有用な情報を得ることができると考えられる.

$\dot{V}O_{2max}$ を測定する方法として、直接法と間接法がある (田中, 2000). 直接法の測定にあたっては、呼気の酸素濃度・二酸化炭素濃度がわかる高精度の高価な機器に加え、測定・分析に専門的な知識を持った検者が必要となる (田中, 2000). また、トレッドミルや自転車エルゴメータなど運動様式の差異によっても数値が異なることが示されている (Wasserman and Whipp, 1972). 一方で、間接法としては、フィードテストとして $\dot{V}O_{2max}$ を推定できることはこれまでも数多く報告されている. その中でも、12 分間走テストは $\dot{V}O_{2max}$ と強い相関関係を示している (Cooper, 1968). しかし、その測定の実施に当たっては、400m トラックといった整地されかつ走距離の測定がしやすい場所を必要とする. また、イーブンペースになるようにペース配分も必要となる. 一方で、新体力テストとして使用されている 20mSRT は、多数の幅広い年齢層の被験者を対象に簡便に正確である安全なテスト法であり (楠本や中尾, 2007)、直線距離にして 20m の間隔と余裕をもって折り返しができるスペースがあれば測定が可能となる. また、電子音のリズムに合わせて走行することから、ランニ

ング経験の浅い一般市民ランナーでも簡易的に実施できると推測できる。しかしながら、20mSRT で推定した $\dot{V}O_{2max}$ は、自転車エルゴメータで測定した $\dot{V}O_{2max}$ と比べ、5.2%過少評価 (Poortmans *et al.*, 1986) あるいは約 11%過大評価 (Naughton *et al.*, 1996) という報告がなされており、先行研究間で一定の知見が示されていない。

そこで本研究課題 1 では、20mSRT において求められる推定の $\dot{V}O_{2max}$ および HRmax が、自転車エルゴメータの測定結果との比較に基づき、一般市民ランナーを対象にした持久性能力評価の有用性について明らかにすることとした。

2. 方法

2-1. 対象者

対象者は日常的にマラソンの練習を継続しており、少なくとも年 1 回はマラソンレースの完走経験がある成人男性 16 名、成人女性 14 名の一般市民ランナーを研究対象とした。なお本研究は、立命館大学「人を対象とする医学系研究倫理審査委員会」で承認を得た後、研究参加の同意を得られた者のみを研究対象とした（承認番号：BKC－人医－2017－061－1）。

2-2. 測定項目および測定方法

形態測定およびトレーニング状況に関するアンケート調査に加え、20mSRT、自転車エルゴメータ試験 (BET) および 5000m タイムトライアル (5000mTT) をそれぞれ日を変えて実施した。各項目の測定は、項目間で 2 日以上空けて実施し、全体では 3 週間以内に測定を完了した。

2-2-1. 形態測定

ポータブル身長計 (SEKA 社製, 千葉, 日本) および体重計 (オムロン社製, 京都, 日本) によ

り、それぞれ身長と体重を測定した。また、身長と体重の測定値から body mass index (BMI) を算出した。

2-2-2. アンケート調査

対象者のトレーニング状況に関するアンケート調査を実施した。質問項目は、年齢、ランニング歴、週間トレーニング回数、月間走行距離およびマラソントimeとした。年齢は満年齢とした。ランニング歴は大会参加を目的として走り始めた時期から現在までの期間（何年何カ月）とし、ランニングを中断した期間を除いた年数をランニング歴とした。また、週間トレーニング回数と月間走行距離は直近 3 カ月間の平均とし、マラソントimeは 3 カ月以内の直近のものとした。それぞれの項目はアンケート調査用紙に自由記述で回答を得た。

2-2-3. 20m シャトルランテスト (20mSRT)

20mSRT は、測定に関する注意事項を口頭にて説明後に陸上競技場で実施した。測定は、先行研究 (Leger and Gadoury, 1989; 文部科学省, 2014) によって報告された方法に従って実施した。測定試技は、20mSRT 用 CD (エバニュー社製, 東京, 日本) の電子音 (8km/h で走行を開始し、約 1 分毎に 0.5km/h ずつ漸増するプロトコル) に合わせて実施した。対象者がその音の速度内に 20m を 2 回続けて走行できなくなるまで継続し、折り返し数から「20m シャトルラン (往復持久走) 最大酸素摂取量推定表 (文部科学省, 2014)」より、 $\dot{V}O_{2\max}$ (20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$) を推定した。また、計測中の心拍数は HR モニター (Suunto Ambit3 Sport ; Sunnto, Vantaa, Finland) により 1 秒間隔で平均化され、その最大値を最大心拍数 (20mSRT-HRmax) として記録した。なお全計測中の気温は約 23℃であった。

2-2-4. 自転車エルゴメータ試験 (BET)

BET による $\dot{V}O_{2\max}$ の測定は、自転車エルゴメータ (エアロバイク 75XL II ; コナミ社製,

東京,日本) およびエアロモニタ (AE-310s, ミナト医科学社製) を用いて実施した。また, 自転車運動中のペダル回転数は 60 回転/分とし, 負荷様式は Ramp 負荷式とした。運動中の酸素摂取量は breath by breath 法により測定した。対象者は, 20W の負荷で 4 分間のウォームアップを行った後, 引き続き 20W の負荷から測定を開始し, 1 分毎に男性では 30W, 女性では 20W ずつ疲労困憊に至るまで負荷を増加した。以下の条件のうち 1 つを満たした時点で測定終了とし, その時点での酸素摂取量を $\dot{V}O_{2max}$ (BET- $\dot{V}O_{2max}$) とした (Nishijima *et al.*, 2002)。

条件 1. 運動強度は漸増しているにもかかわらず酸素摂取量が定常状態 (レベリングオフ) になった場合

条件 2. HRmax に達した場合

条件 3. 対象者が疲労困憊により随意的に運動を中止した場合

計測中の心拍数の解析は HR モニター (Suunto Ambit3 Sport ; Sunnto,Vantaa,Finland)

を用いて行い, 最大心拍数 (BET-HRmax) を記録した。

2-2-5. 5000m タイムトライアル (5000mTT)

5000mTT は, 全天候型陸上競技場 (1 周 400m) で実施した。対象者は, 試技前にウォームアップ (それぞれのペースで 5 分間走行) を行った後, 5000m (12 周と半周) を最大努力で走行した。タイムの計測にはストップウォッチ (SVAS005; Seiko Watch Corporation,Tokyo,Japan) を用いて手動で記録し, 心拍数は HR モニター (Suunto Ambit3 Sport ; Sunnto,Vantaa,Finland) により測定し, 最大心拍数を記録した (5000mTT-HRmax)。なお, 5000mTT 計測中の気温は約 23℃であった。

2-3. 統計方法

データは平均値±標準偏差と最小値および最大値で示した。測定したすべての項目につ

いて、Kolmogorov-Smirnov の方法により正規性の検定を行った。2 つの測定間の関係性は Pearson の積率相関係数を用いた。また、2 つの測定間の差の検定には、対応のある t 検定を用いて分析した。さらに、t 検定における効果量として Cohen's d を算出した。効果量の大きさは、先行研究 (Cohen, 1992) に基づいて、“弱い ($d < 0.40$)”、“中程度 ($0.40 < d < 0.80$)”、“強い ($0.80 < d$)”と解釈した。3 つの測定値間の差は、正規分布が確認された場合は、一元配置の分散分析を用いて検定した。正規性が確認されなかった場合には、Greenhouse-Geisser 補正を用いた。多重比較検定は Tukey の事後検定で実施した。さらに、一元配置の分散分析における効果量として η^2 を計算した。効果量の効果の大きさは、“弱い ($0.10 < \eta^2$)”、“中程度 ($0.25 < \eta^2$)”、“強い ($0.40 < \eta^2$)”とした (Cohen, 1988)。なお、統計処理ソフトは SPSS for Windows ver19.0 (IBM 社製、東京、日本) を用い、統計学的有意水準は 5%未満とした。

3. 結果

3-1. 対象者特性

対象者の形態測定およびトレーニング状況に関するアンケート調査結果を Table 1 に、
20mSRT, BET, 5000mTT の結果を Table 2 に示した.

	Total (n = 30)		Male (n = 16)		Female (n = 14)	
	Mean $\pm$ SD	Range	Mean $\pm$ SD	Range	Mean $\pm$ SD	Range
Physical characteristics						
Age (yr)	46.6 $\pm$ 9.6	22 – 64	46.5 $\pm$ 12.1	22 – 64	46.6 $\pm$ 6.1	39 – 60
Body height (cm)	163.6 $\pm$ 7.5	149.2 – 175.9	169.1 $\pm$ 4.4	161.4 – 175.9	157.3 $\pm$ 4.6	149.2 – 165.6
Body weight (kg)	56.4 $\pm$ 7.4	39.6 – 74.3	61.1 $\pm$ 4.9	55.3 – 74.3	51.0 $\pm$ 6.0	39.6 – 60.4
Body mass index (kg/m ²)	21.0 $\pm$ 1.7	16.7 – 24.2	21.4 $\pm$ 1.3	18.6 – 24.0	20.6 $\pm$ 2.0	16.7 – 24.2
Training indices						
Running experience (yr)	9.7 $\pm$ 7.0	2 – 35	11.8 $\pm$ 8.7	3 – 35	7.3 $\pm$ 3.4	2 – 12
Frequency of training (times/week)	2.7 $\pm$ 1.4	1 – 7	3.1 $\pm$ 1.1	1 – 5	2.4 $\pm$ 1.6	1 – 7
Running distance (km/month)	117.5 $\pm$ 55.3	30 – 250	131.9 $\pm$ 56.0	50 – 250	101.0 $\pm$ 51.4	30 – 200
Marathon time (sec)	14467.3 $\pm$ 2344.9	11150 – 18459	13553.4 $\pm$ 2060.0	11150 – 16640	15897.5 $\pm$ 2052.7	12480 – 18459

Running distance is the distance that subjects run within a month.

Table 2. Measurement results in male and female participants

	Total (n = 30)		Male (n = 16)		Female (n = 14)	
	Mean $\pm$ SD	Range	Mean $\pm$ SD	Range	Mean $\pm$ SD	Range
20mSRT (times)	82.2 $\pm$ 25.0	48 – 150	95.6 $\pm$ 25.5	63 – 150	66.9 $\pm$ 13.0	48 – 94
20mSRT- $\dot{V}O_2$ max(ml/kg/min)	44.5 $\pm$ 5.6	36.8 – 59.8	47.5 $\pm$ 5.8	40.2 – 59.8	41.1 $\pm$ 2.9	36.8 – 47.2
20mSRT-HRmax (bpm)	178.8 $\pm$ 12.9	161 – 209	182.8 $\pm$ 14.7	162 – 209	174.2 $\pm$ 8.9	161 – 190
BET- $\dot{V}O_2$ max(ml/kg/min)	39.4 $\pm$ 7.4	29.5 – 55.6	43.5 $\pm$ 7.2	35.5 – 55.6	34.8 $\pm$ 4.4	29.5 – 41.2
BET-HRmax (bpm)	161.2 $\pm$ 12.2	138 – 191	165.1 $\pm$ 12.0	149 – 191	156.8 $\pm$ 11.1	138 – 171
5000mTT (sec)	1403.4 $\pm$ 175.4	1043 – 1701	1305.0 $\pm$ 155.0	1043 – 1548	1515.9 $\pm$ 124.0	1269 – 1701
5000mTT-HRmax (bpm)	179.7 $\pm$ 12.3	160 – 209	182.8 $\pm$ 13.5	165 – 209	176.1 $\pm$ 9.9	160 – 192

3-2. 20mSRT と BET との関係

男女まとめたデータに対する解析の結果として、20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$ と BET- $\dot{V}O_{2\max}$ の間には有意な相関関係が認められた ($r=0.85$, $P<0.01$: Figure 1). さらに、20mSRT-HRmax と BET-HRmax の間にも有意な相関関係が認められた ($r=0.77$, $P<0.01$: Figure 2). 一方で、20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$ は BET- $\dot{V}O_{2\max}$ より有意に高値であった ($P<0.01$, $d=1.278$: Figure 3). これらの結果は、男女別にみても同一であり、男性および女性ともに、20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$ と BET- $\dot{V}O_{2\max}$ (男性: $r=0.77$, 女性: $r=0.78$, $P<0.01$) 及び 20mSRT-HRmax と BET-HRmax (男性: $r=0.79$, 女性: $r=0.67$, $P<0.01$) の各関係には有意な相関関係が認められ、20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$ は BET- $\dot{V}O_{2\max}$ より有意に高値 (男性: $P<0.01$, $d=0.612$, 女性: $P<0.01$, $d=1.691$) であった.

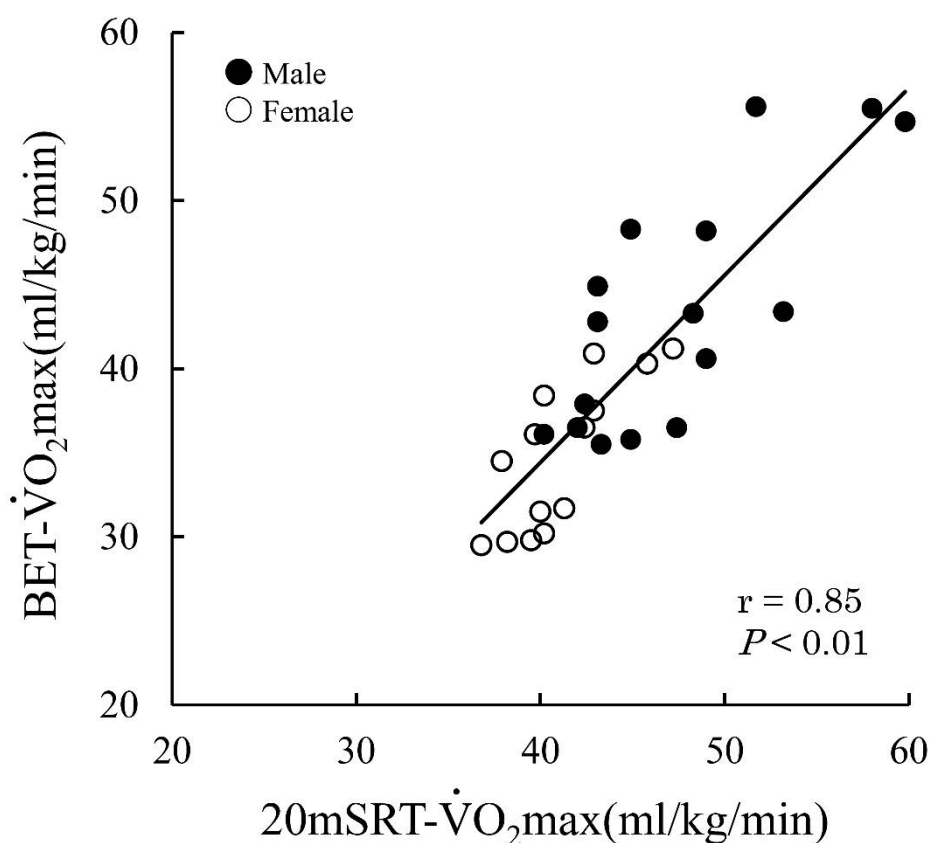


Figure 1. Relationship between measured BET- $\dot{V}O_{2\max}$ and 20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$

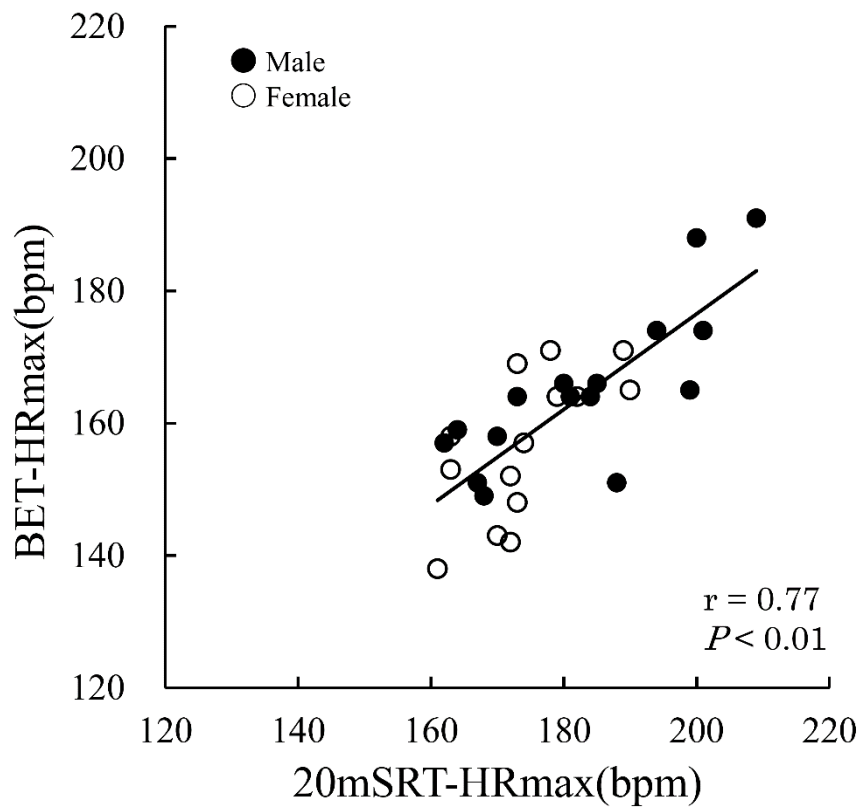


Figure 2. Relationship between measured BET-HRmax and 20mSRT-HRmax

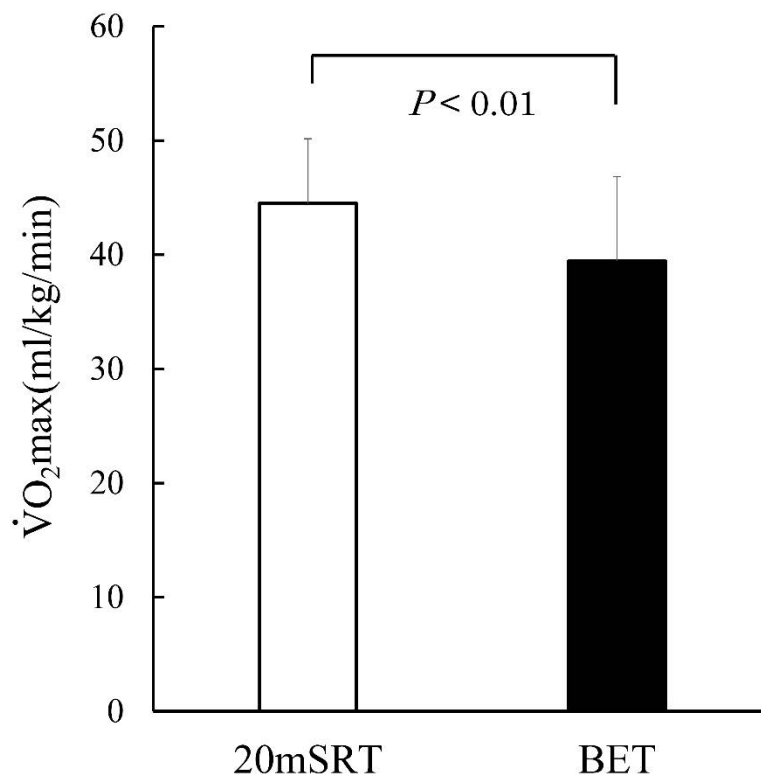


Figure 3. Comparison of the estimated $\dot{V}O_2\text{max}$ between 20mSRT and BET

3-3. 5000mTT と各項目の $\dot{V}O_{2\max}$ との関係

男女混合のデータに対する解析の結果, 5000mTT は, 20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$ ($r = -0.90$, $P < 0.01$: Figure 4) および BET- $\dot{V}O_{2\max}$ ($r = -0.85$, $P < 0.01$: Figure 5) と有意な負の相関関係を示した. 男女別の分析結果においても, 5000mTT は 20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$ (男性 : $r = -0.86$, 女性 : $r = -0.89$, $P < 0.01$) および BET- $\dot{V}O_{2\max}$ (男性 : $r = -0.85$, $P < 0.01$, 女性 : $r = -0.60$, $P < 0.02$) と有意な負の相関関係が認められた. なお, 男女込みのデータ分析では, それら 2 つの相関係数間には有意な差は認められなかった ($P = 0.258$) が, 男女別の分析では, 女性においてのみ有意な差が認められた ($P = 0.003$).

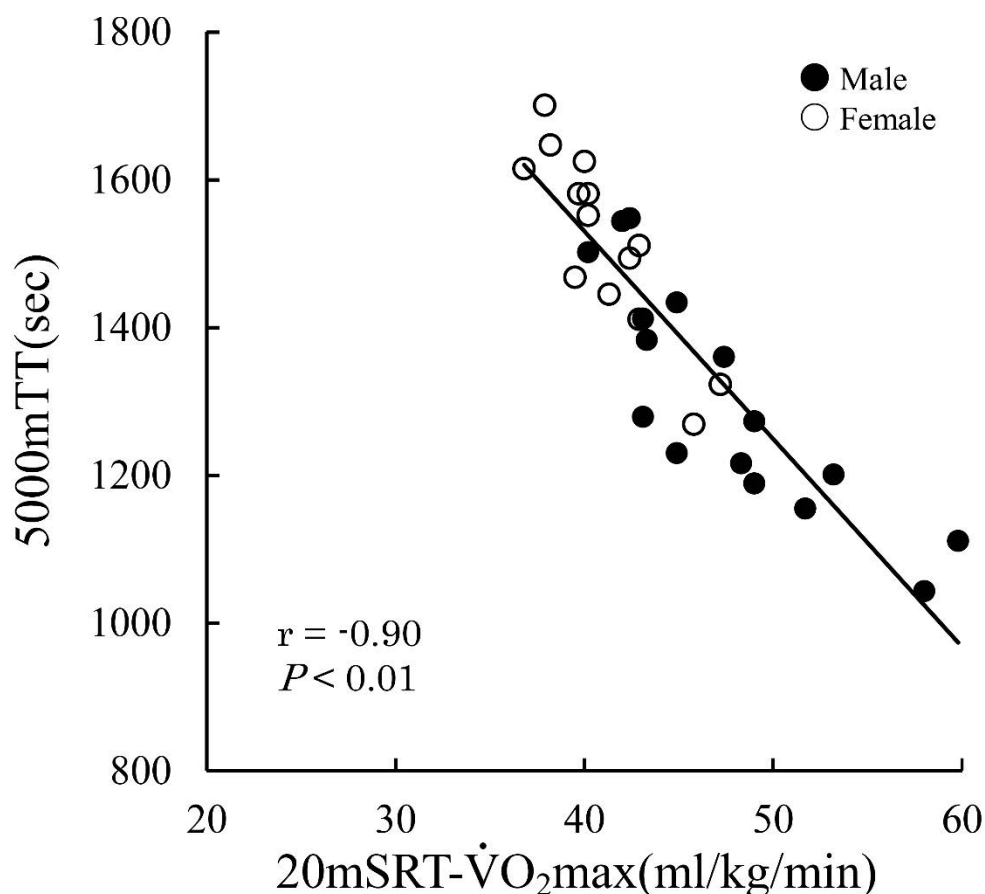


Figure 4. Relationship between measured 5000mTT and 20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$

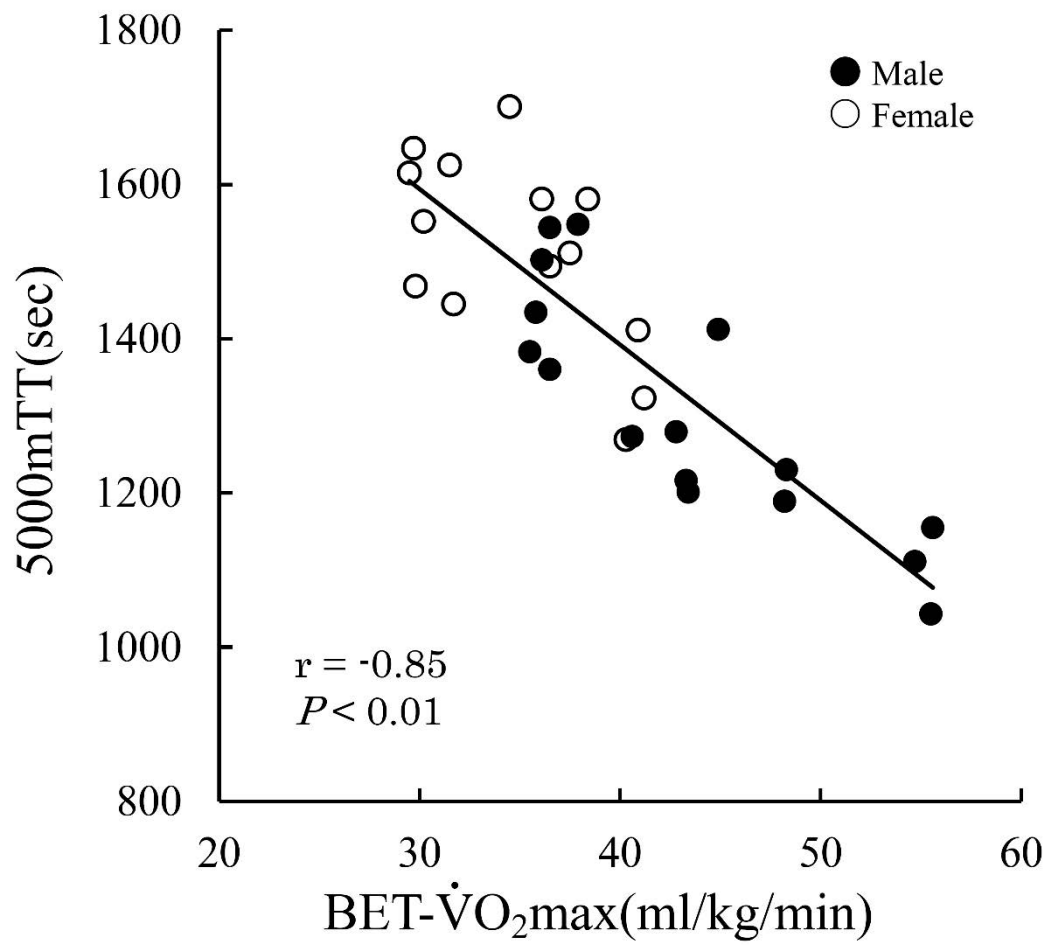


Figure 5. Relationship between measured 5000mTT and BET- $\dot{V}O_2$ max

3-4. マラソンタイムと 5000mTT との関係

男女まとめたデータにおいて、マラソンタイムと 5000mTT の間には有意な相関関係が認められ ($r = 0.90$, $P < 0.01$: Figure 6), 男女別の分析結果においても、マラソンタイムと 5000mTT の間には有意な相関関係が認められた (男性 : $r = 0.88$, 女性 : $r = 0.87$, $P < 0.01$).

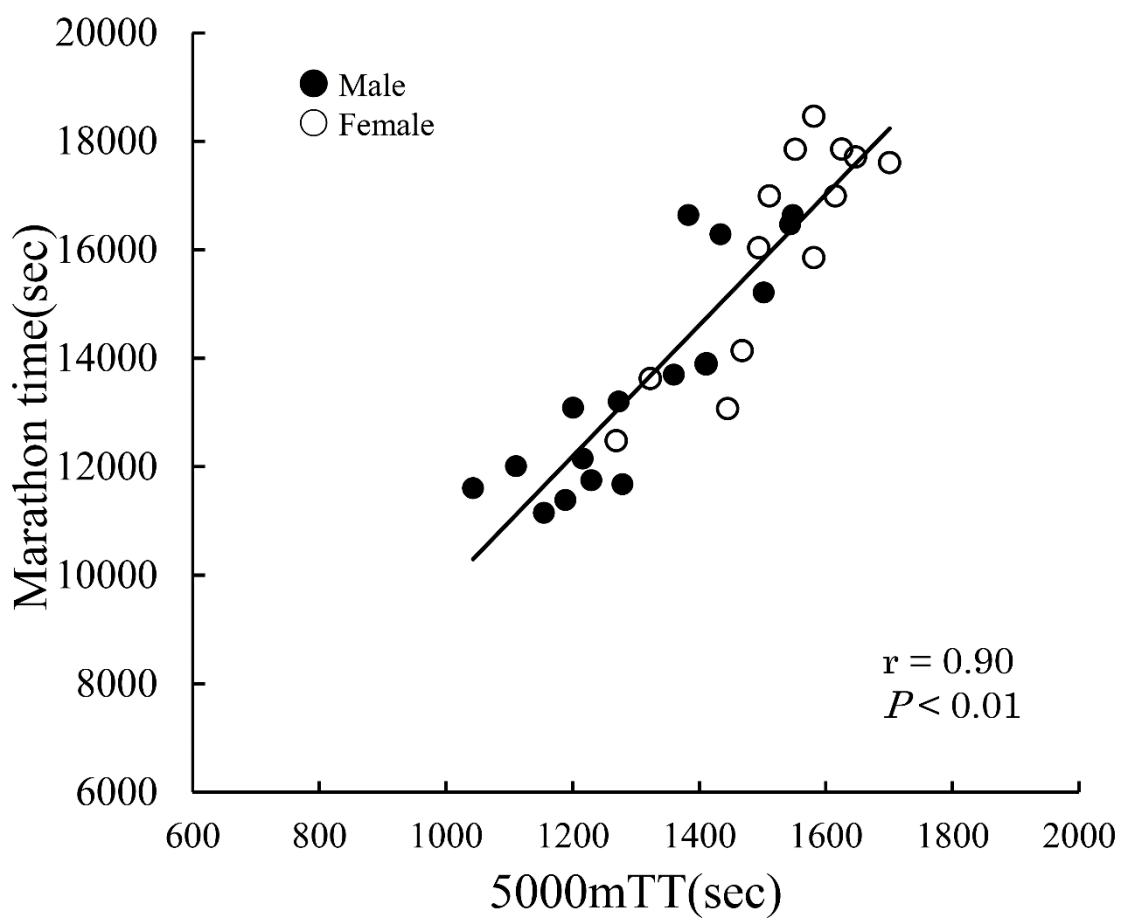


Figure 6. Relationship between measured marathon time and 5000mTT

3-5. HRmax におけるテスト項目間の比較

男女混合のデータに対する一元配置分散分析の結果, HRmax に対するテスト様式の主効果は有意 ($F = 89.932$, $P < 0.01$, $\eta^2 = 0.756$) であり, 事後検定の結果, 20mSRT および 5000mTT の HRmax は, BET に比較して有意に高値であった (Figure 7).

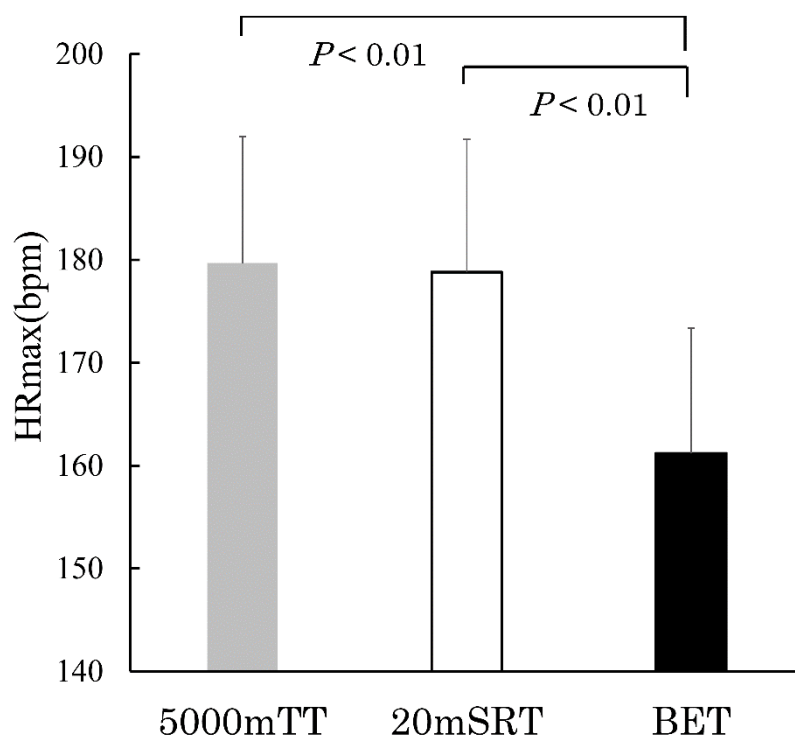


Figure 7. Comparison of estimated maximal HR among 20mSRT, BET and 5000mTT

4. 考察

研究課題 1 では、20mSRT が一般市民ランナーの持久性能の評価として有用であるか明らかにすることを目的とした。その結果、1) 20mSRT- $\dot{V}O_2\text{max}$ と BET- $\dot{V}O_2\text{max}$ および 20mSRT-HRmax と BET-HRmax の各項目間には有意な相関関係が認められること、ならびに 2) 20mSRT- $\dot{V}O_2\text{max}$ および BET- $\dot{V}O_2\text{max}$ はともに 5000mTT と有意な負の相関関係を示すことが明らかとなった。これらの結果は、20mSRT は一般市民ランナーの持久性能の評価に有用であることを示唆する。

これまでも多くの先行研究が、20mSRT の測定結果に基づき $\dot{V}O_2\text{max}$ の推定が可能であることを示唆しており、それらにおいて観察されている推定 $\dot{V}O_2\text{max}$ と実測 $\dot{V}O_2\text{max}$ との相関係数は 0.66~0.90 である (Léger and Lambert, 1982; Léger and Gadoury, 1989; Artero *et al.*, 2011; Mayorga *et al.*, 2015)。本研究の結果においても 20mSRT と BET との間には有意な相関関係が認められ、その相関係数 ($r = 0.85$) は先行研究において報告されている値の範囲内に入るものである。20mSRT は、複数の人数の持久性能を比較的簡易に短時間で同時に測定を行えるという利点を有しており (楠本と中尾, 2007)、文部科学省 (2014) の新体力テストの項目にも用いられ、安全に実施できると述べられている (山地, 2001)。また、Léger and Lambert (1982) は、20mSRT は間接的に有酸素性能を評価することができるとしており、20mSRT は、有酸素性能を評価するテストとして、様々なスポーツや現場において活用されている (España *et al.*, 2010; Marta *et al.*, 2013; Meckel *et al.*, 2014; Ostojic *et al.*, 2006)。これらの先行知見に加え、本研究の結果は、一般市民ランナーに対しても、持久性能の評価テストとして 20mSRT が有用であることを示すものといえる。

本研究では、一般市民ランナーの長距離走パフォーマンスの評価指標として、マラソンタイムではなく 5000mTT を採用した。その理由として、5000mTT はマラソンタイムとの間に強い相関関係が認められる ($r = 0.90$) ことに加え、アンケート調査に記載されたマラソンタイムでは、その達成時の外的条件が調査対象者間で異なることが挙げられる。本研究の結

果, 5000mTT は, $\dot{V}O_{2\max}$ だけではなく 20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$ とも強い負の相関関係 ($r = 0.90$) を示した. $\dot{V}O_{2\max}$ と長距離走パフォーマンスとの関係については, これまでにもいくつか報告されており (Costill *et al.*, 1973; Hagan *et al.*, 1981), エリートランナー (Ramsbottom *et al.*, 1987) や持久走ランナー (山地ら, 2010) を対象にした研究では, 5000m ベストタイムと $\dot{V}O_{2\max}$ の間に $r = -0.89 \sim -0.74$ の負の相関関係が観察されている. 本研究の結果は, それら先行研究の知見と一致するものであり, また, これらの 2 つの相関関係の相関係数に有意な差はなく, 長距離走パフォーマンスに直結する持久性能力の評価手段として, 20mSRT は $\dot{V}O_{2\max}$ の実測と同程度の価値を持つテストであることを示唆する.

本研究の結果において 20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$ が BET- $\dot{V}O_{2\max}$ より有意に高値であった. Withers *et al.* (1981) は, ランニングと自転車ペダリングでは, 運動中に動員される筋が異なるため, BET では持久性ランナーの正確な $\dot{V}O_{2\max}$ が評価できない可能性を示唆している. 事実, 持久性ランナーを対象に BET とトレッドミルで測定した $\dot{V}O_{2\max}$ を比較した Verstappen *et al.* (1982) の結果によると, 前者は後者より 14%低値を示すと述べている. 本研究の結果においても, Verstappen *et al.* (1982) の結果と同様に, BET- $\dot{V}O_{2\max}$ は 20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$ より 11%低値であった. また, HRmax における項目間の比較では, 20mSRT-HRmax および 5000mTT-HRmax は BET-HRmax より有意に高値を示した. また, Verstappen *et al.* (1982) はトレッドミルと BET で測定した HRmax を比較したところ, 前者より後者は 5%低値を示すと報告している. 本研究の結果において, 20mSRT-HRmax と 5000mTT-HRmax との間には有意差が存在しなかったが, BET-HRmax は 20mSRT-HRmax より 9%低い値であった. したがって, $\dot{V}O_{2\max}$ および HRmax に観察された 20mSRT と BET との差は, 20mSRT がランニングを主体とする運動様式により実施されていることに起因すると考えられ, BET での測定値は, ランニングを運動様式とするテストによって得られる値よりも低いものである可能性を考慮に入れる必要がある. 一方, 本研究では持久性ランナーを対象としていながら, 持久性評価のための運動様式として, トレッドミル走ではなく自転車ペダリングを採用した.

先行研究によると、トレッドミルでの走行は習熟していないと転倒リスクが高く (Leyk *et al.*, 2007; Fuller, 2000), 年齢や体格などを考慮し負荷装置を選択する必要がある (安達, 2009) と報告されている。したがって、幅広い年齢層の一般市民ランナーを対象者とした本研究では、安全性を考え自転車エルゴメータを用いて測定を実施した。

また、 $20\text{mSRT-}\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ と $\text{BET-}\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ を比べると男性では約 10%, 女性では約 20%と $20\text{mSRT-}\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ の方が高値を示し、また、 $20\text{mSRT-}\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ および $\text{BET-}\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ の各値には性差がみられた。そこで男女別に検討した結果、 $20\text{mSRT-}\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ と $\text{BET-}\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ の間にはそれぞれ有意な相関関係が認められた。さらに、 5000mTT と $20\text{mSRT-}\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ および $\text{BET-}\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ の間にもそれぞれ負の相関関係を示した。しかし、男性においては、2つの相関関係の相関係数には差は認められなかったが、女性の場合、 5000mTT との相関係数は 20mSRT が BET より有意に高値であった。女性持久走ランナーにおいては、 BET より走運動の方が $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ が 20%~25%高くなることが示されている (Brown and Wilmore, 1971)。したがって、女性においては、 20mSRT の方が持久性能を評価できる可能性が考えられ、これらの点からも、一般市民ランナーにおいては、簡易で測定が可能である 20mSRT を用いて持久性能を評価できるテストであることが示唆される。

5. 小括

本研究課題 1 では, 20mSRT が一般市民ランナーの持久性能力の評価するものとして有用であるかを検討した. その結果, 20mSRT-HRmax と BET-HRmax ($r = 0.77$, $P < 0.01$) および 20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$ と BET- $\dot{V}O_{2\max}$ ($r = 0.85$, $P < 0.01$) の各項目間に有意な相関関係が認められた. さらに, 5000mTT タイムは 20mSRT- $\dot{V}O_{2\max}$ ($r = -0.90$, $P < 0.01$) および BET- $\dot{V}O_{2\max}$ ($r = -0.85$, $P < 0.01$) との間に有意な相関関係が認められた. これらの結果より, 20mSRT は一般市民ランナーの持久性能力の評価に有用であると考えられた.

第5章【研究課題2】一般市民ランナーを対象にした 20m シャトルランテスト およびトレーニング変数によるマラソンタイム予測式の妥当性

1. 緒言

マラソンレースのペース配分（マラソンペース）は、レースパフォーマンスに大きな影響を及ぼす（Ely *et al.*, 2008; Renfree and Gibson, 2013; Santos-Lozano *et al.*, 2014）。したがって、マラソンレースにおいて、レース参加者が個々人の最高のパフォーマンスで完走できるようにするためには、各自のマラソンタイムに応じたマラソンペースを事前に提供する必要がある。

一方、マラソンタイムに応じたマラソンペースを設定するためには、現状のマラソンタイムを予測する必要がある。Hagan *et al.* (1981) は、 $\dot{V}O_2\text{max}$ に加えてトレーニング変数などランニングに関する項目を用いることで、マラソンタイムを予測することが可能であると報告している。しかしながら、先行知見の場合に、 $\dot{V}O_2\text{max}$ はトレッドミルを用いて測定されている。また、現在の第2次ランニングブームは、インターネットの普及やメディアが大々的に取り上げたことで、今までマラソンに関心がなかったジョギングあるいはランニングの愛好家が興味を持ちだしたことにより成り立っている（清水, 2015）。したがって、現在のマラソンレースに参加している一般市民ランナーの持久性能力やトレーニング状態は、これまでマラソンタイムの予測に関する先行研究の対象者とは明らかに異なる。したがって、研究課題2では、研究課題1で検討した 20mSRT を用いてマラソンタイム予測式の作成を試みる。

研究課題1で観察された $\dot{V}O_2\text{max}$ における性差を考慮すると、予測式の作成は、20mSRT の回数を指標するとともに、男女別で検討する必要があると考えられる。したがって、研究課題2では、一般市民ランナーを対象にした 20mSRT およびトレーニング状況に関する調査結果に基づきマラソンタイム予測式を作成し、その妥当性について明らかにすることを

目的とした。

2. 方法

2-1. 対象者

対象者は日常的にマラソンの練習を継続しており、少なくとも年 1 回はマラソンレースの完走経験がある一般市民ランナーを研究対象とした。成人男性 100 名および成人女性 111 名を対象に、20mSRT の測定、マラソンタイム（測定時から 3 カ月以内のもの）およびトレーニング状況に関する実態調査を実施し、その結果に基づきマラソンタイム予測式を作成した。作成したマラソンタイム予測式の妥当性は、成人男性 14 名、成人女性 13 名を対象に検証した。なお、予測式の妥当性の検証に採用した対象者は、日常的にマラソンの練習を継続しており、直近 3 ヶ月以内にマラソンを完走している一般市民ランナーとした。本研究は、立命館大学「人を対象とする医学系研究倫理審査委員会」で承認を得た後、研究参加の同意を得られた者のみを研究対象とした（承認番号：BKC－人医－2016－011）。

2-2. 測定項目および測定方法

予測式の作成および予測式の妥当性の検証に採用した対象者には、形態測定およびトレーニング状況に関するアンケート調査に加え、20mSRT の測定を実施した。なお調査および測定の時間帯は午後とし、1 回あたりの参加者数は場所や安全性を考慮し、最大 20 名とした。

2-2-1. 形態測定

研究課題 1 において用いた方法により、身長、体重および BMI を測定した。

2-2-2. アンケート調査

研究課題 1 において用いた方法により、年齢、マラソントimeおよびトレーニング状況に関するアンケート調査を実施した。

2-2-3. 20m シャトルランテスト (20mSRT)

研究課題 1 と同一の方法により 20mSRT を測定した。

2-4. マラソントime予測式の作成と妥当性の検証の手順

まずマラソントimeと測定項目の相関関係を明らかにした。次に、重回帰分析（ステップワイズ法）を適用することで、マラソントimeを従属変数、20mSRT と有意な相関関係を示した測定変数を独立変数とする回帰式を求め、これをマラソントime予測式とした。また、妥当性の検証には、新たな対象者に測定を実施し、求めたマラソントime予測式に代入し予測マラソントimeを算出した。そして、予測マラソントimeと実測マラソントimeとの相関関係を検討し、さらに、Bland-Altman 分析を用いて、系統誤差の検討を実施した。

2-5. 統計方法

すべてのデータは平均値±標準偏差と最小値および最大値で示した。運動中の脂質利用率は男性よりも女性が高く（Dasilva *et al.*, 2011）、男性と女性ではエネルギー基質の利用の違いがあることから（Tarnopolsky *et al.*, 1990; Roepstorff *et al.*, 2002）、統計処理は男女別に実施した。測定したすべての項目は、Kolmogorov-Smirnov の方法によって、正規性の検定を行った。マラソントimeと各測定項目との関係性は、Pearson の積率相関係数を用い、正規分布が確認されなかった項目は Spearman の順位相関係数で求めた。さらに、マラソントime予測式を作成するために、マラソントimeを従属変数、各測定項目を独立変数とする重回帰分析（ステップワイズ法）を実施した。なお、正規分布が確認されなかった項目については、10 を底とする対数変換を行ったうえで分析を実施した。マラソントime予測式の妥当性の

検証として、予測マラソンタイムと実測マラソンタイムとの関係を **Pearson** の積率相関係数を用い、系統誤差の検討は **Bland-Altman** 分析を用いて検討した。なお、統計処理ソフトは **SPSS for Windows ver19.0**（IBM 社製,東京,日本）を用い、統計学的有意水準は 5%未満とした。

3. 結果

3-1. マラソントайム予測式の作成

3-1-1. 対象者の特性

成人男性 100 名，成人女性 111 名の形態測定およびトレーニング状況に関するアンケート調査結果を Table 3 に示した．正規性の検定の結果，ランニング歴，週間トレーニング回数，月間走行距離には男性および女性ともに正規性は認められなかった．

Table 3. Physical characteristics and training indices in male and female runners

	Male (n = 100)		Female (n = 111)	
	Mean $\pm$ SD	Range	Mean $\pm$ SD	Range
Physical characteristics				
Age (yr)	45.8 $\pm$ 9.0	22 – 65	42.3 $\pm$ 8.7	22 – 67
Body height (cm)	171.2 $\pm$ 5.3	157.5 – 184.5	158.4 $\pm$ 5.4	144.4 – 172.0
Body weight (kg)	65.4 $\pm$ 7.7	48.3 – 97.3	52.4 $\pm$ 6.4	40.7 – 72.8
Body mass index (kg/m ²)	22.3 $\pm$ 2.1	17.0 – 31.3	20.9 $\pm$ 2.4	16.3 – 29.7
20-m shuttle run test (times)	76.5 $\pm$ 19.8	32 – 126	53.4 $\pm$ 16.2	11 – 103
Marathon performance time (sec)	15259.5 $\pm$ 2900.7	9540 – 23580	17405.7 $\pm$ 2753.8	11760 – 24840
Training indices				
Running experience (yr)	5.7 $\pm$ 4.9	1 – 25	4.2 $\pm$ 2.6	0.75 – 20
Frequency of training (times/week)	3.1 $\pm$ 1.5	1 – 7	2.8 $\pm$ 1.3	1 – 7
Running distance (km/month)	136.5.2 $\pm$ 81.7	3 – 400	95.3 $\pm$ 55.7	10 – 300

Frequency of training is the number of training within a week. Running distance is the distance that participants run within a month.

3-1-2. マラソンタイムと各測定項目との関係

男性 (Table 4) および女性 (Table 5) とともに, マラソンタイムは BMI, 20mSRT, ランニング歴, 週間トレーニング回数および月間走行距離と有意な相関関係を示した.

Table 4. The correlation between measurement data (male runners)

	1	2	3	4	5	6
1 Age (yr)	—	—	—	—	—	—
2 Body mass index (kg/m ²)	.20*	—	—	—	—	—
3 20-m shuttle run test (times)	-.57**	-.37**	—	—	—	—
4 Marathon performance time (sec)	.16	.37**	-.65**	—	—	—
5 Running experience (yr) †	.19	.06	.01	-.32*	—	—
6 Frequency of training (times/week) †	.13	-.15	.28*	-.42**	.16	—
6 Running distance (km/month) †	.12	-.19	.35*	-.60**	.15	.79**

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

†: Non-normal distribution

Frequency of training is the number of training within a week. Running distance is the distance that participants run within a month.

Table 5. The correlation between measurement data (female runners)

	1	2	3	4	5	6
1 Age (yr)	—	—	—	—	—	—
2 Body mass index (kg/m ²)	.08	—	—	—	—	—
3 20-m shuttle run test (times)	-.25**	-.43**	—	—	—	—
4 Marathon performance time (sec)	-.04	.41**	-.70**	—	—	—
5 Running experience (yr) [†]	.12	-.02	.14*	-.26**	—	—
6 Frequency of training (times/week) [†]	.11	-.09	.22*	-.31**	-.16	—
6 Running distance (km/month) [†]	.24*	-.23*	.40**	-.59**	-.02	.71**

*: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$

[†]: Non-normal distribution

Frequency of training is the number of training within a week. Running distance is the distance that participants run within a month.

3-1-3. マラソンタイム予測式の作成

重回帰分析の結果、男性および女性ともに、20mSRT、ランニング歴および月間走行距離を予測変数とするマラソンタイム予測式が得られた (Table 6, Table 7).

$$\text{男性：マラソンタイム (秒)} = - 82.707x_1 - 2579.611x_2 - 2185.199x_3 + 28278.729$$

$$(R^2 = 0.586, P < 0.01)$$

$$\text{女性：マラソンタイム (秒)} = - 89.374x_1 - 3683.995x_2 - 2053.755x_3 + 30298.162$$

$$(R^2 = 0.640, P < 0.01)$$

(x_1 : 20mSRT, x_2 : 月間走行距離, x_3 : ランニング歴).

Table 6. Multiple regression analysis in marathon time (male runners)

	$B(SE)$	β	p -value	95%CI
20-m shuttle run test	-82.707(10.065)	-0.564	< .001	-102.687 - -62.727
Running distance	-2579.611(623.091)	-0.289	< .001	-3816.437 - -1342.785
Running experience	-2185.199(611.010)	-0.239	< .001	-3398.045 - -972.354
constant	28278.729(1289.561)		< .001	25718.971 - 30838.487

B; regression coefficient, SE; standard error, β ; standardized regression coefficient, CI; confidence interval.

R = 0.766, $R^2 = 0.586$, Adjusted $R^2 = 0.573$, Standard error of estimate = 1895.000.

Table 7. Multiple regression analysis in marathon time (female runners)

	$B(SE)$	β	p -value	95%CI
20-m shuttle run test	-89.374(10.691)	-0.527	< .001	-110.568 - -68.181
Running distance	-3683.995(596.996)	-0.384	< .001	-4867.471 - -2500.519
Running experience	-2053.755(613.825)	-0.197	< .001	-3270.592 - -836.918
constant	30298.162(1127.353)		< .001	28063.316 - 32533.007

B; regression coefficient, SE; standard error, β ; standardized regression coefficient, CI; confidence interval.

R = 0.800, $R^2 = 0.640$, Adjusted $R^2 = 0.630$, Standard error of estimate = 1675.090

3-2. マラソントайム予測式の妥当性の検証

対象者の形態測定およびトレーニング状況に関するアンケート調査の結果を Table 8 に示した. 予測マラソントайムと実測マラソントайムとの間には, 有意な正の相関関係が認められた (男性 : $r=0.91$, 女性 : $r=0.89$, $P<0.01$: Figure 8). また, Bland-Altman 分析を用いた結果, 男性および女性ともに系統的誤差は認められなかった (Figure 9).

	Male (n = 14)		Female (n = 13)	
	Mean $\pm$ SD	Range	Mean $\pm$ SD	Range
Physical characteristics				
Age (yr)	47.9 $\pm$ 12.4	21 – 63	46.7 $\pm$ 7.1	35 – 57
Body height (cm)	169.9 $\pm$ 6.4	161.0 – 180.0	159.5 $\pm$ 5.4	150.1 – 168.0
Body weight (kg)	64.4 $\pm$ 9.1	54.5 – 80.0	53.3 $\pm$ 8.6	40.2 – 70.0
Body mass index (kg/m ²)	22.3 $\pm$ 2.6	20.8 – 24.7	20.9 $\pm$ 2.7	17.0 – 26.0
20-m shuttle run test (times)	83.7 $\pm$ 18.6	58 – 119	60.3 $\pm$ 17.7	37 – 97
Marathon performance time (sec)	13704.4 $\pm$ 2446.4	9660 – 18554	16680.9 $\pm$ 2443.5	11483 – 20160
Training indices				
Running experience (yr)	7.5 $\pm$ 6.1	2.5 – 22	5.7 $\pm$ 3.2	1.5 – 12
Frequency of training (times/week)	3.1 $\pm$ 1.0	2 – 5	2.4 $\pm$ 0.9	1 – 4
Running distance (km/month)	143.6 $\pm$ 61.0	70 – 250	93.7 $\pm$ 34.7	50 – 165

Frequency of training is the number of training within a week. Running distance is the distance that participants run within a month.

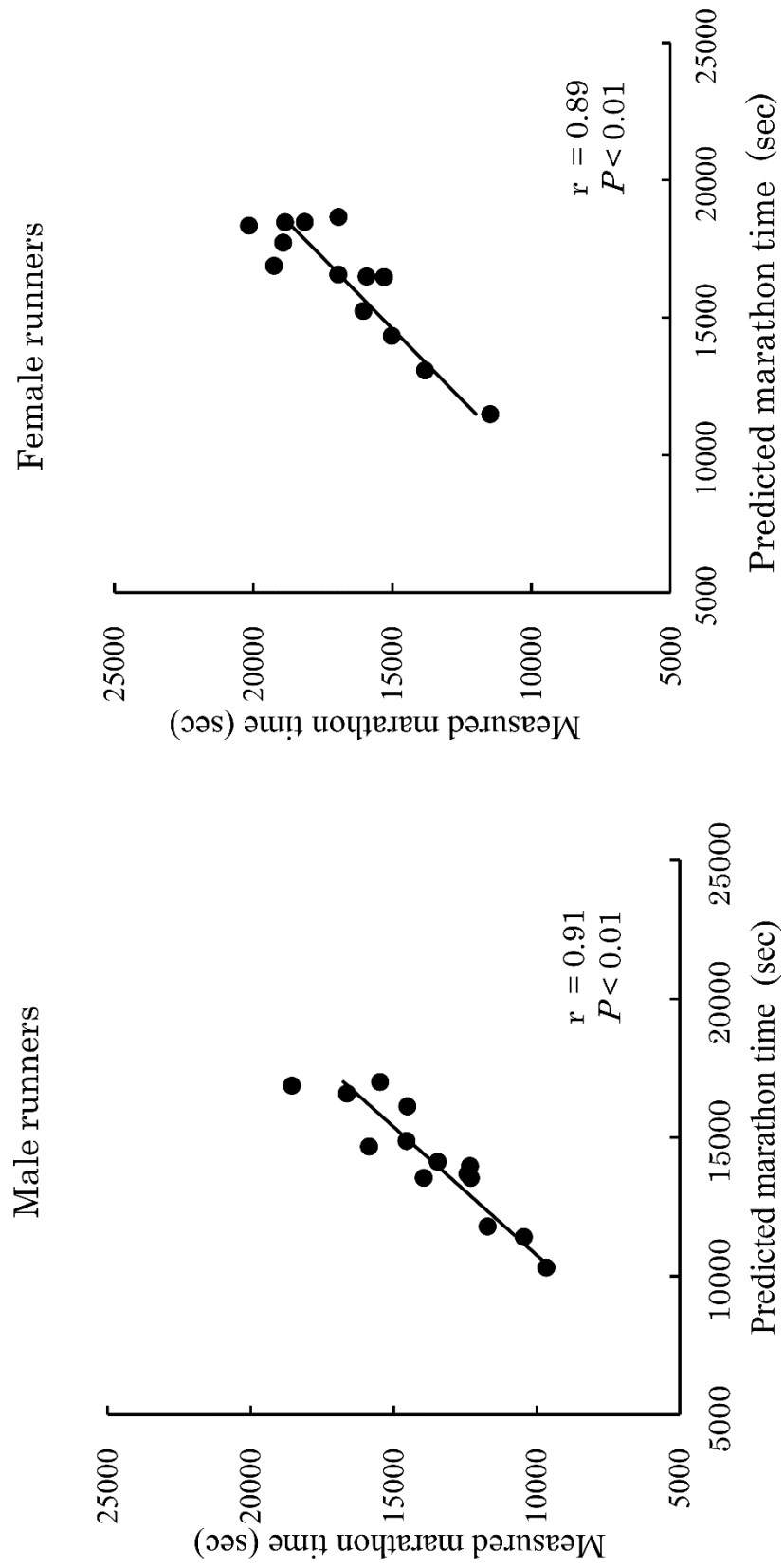


Figure 8. Relationship between measured marathon time and predicted marathon time

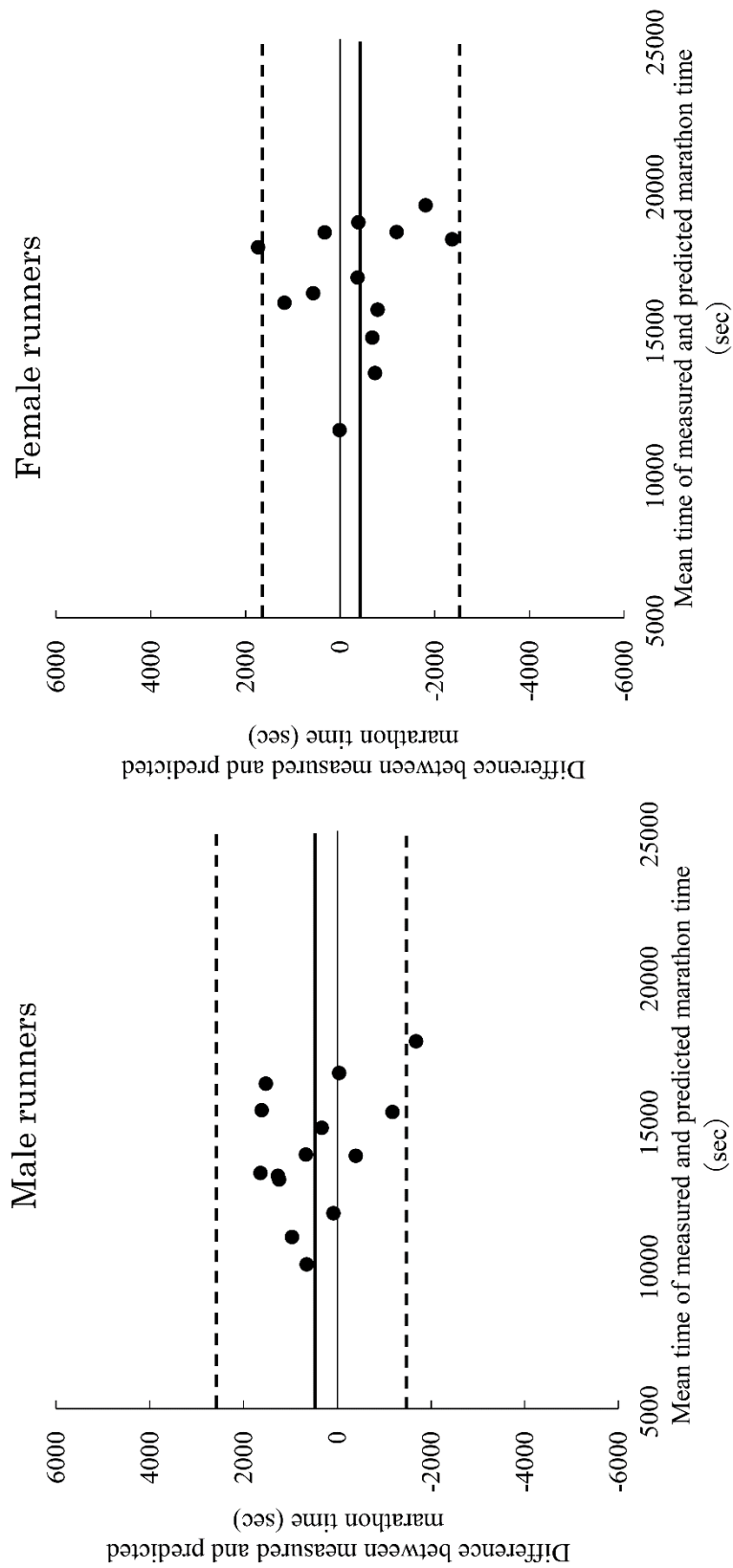


Figure 9. Bland-Altman plot
The bold line denotes bias (mean of difference) and dashed lines denote limits of agreement (1.96SD of difference).
SD, standard deviation.

4. 考察

研究課題 2 の結果、男性および女性ともに、1) BMI, 20mSRT, ランニング歴, 週間トレーニング回数および月間走行距離は、マラソントimeと有意な相関関係を示すこと、2) 20mSRT, ランニング歴および月間走行距離を予測変数としたマラソントime予測式が得られること、および3) 作成された予測式は妥当性を有するものであることが明らかとなった。これらの結果から、20mSRT およびトレーニング変数を独立変数とするマラソントime予測式を作成することができ、その予測式は実走におけるマラソントimeを予測するうえで活用可能なものであることが示唆された。

本研究の結果、20mSRT およびトレーニング変数(ランニング歴, 週間トレーニング回数, 月間走行距離) とマラソントimeとの間には有意な相関関係が認められた。これまでにも20mSRT の測定結果は、ランニングパフォーマンスやマラソントimeと高い相関関係にあることが知られている (Hagan *et al.*, 1981; Morgan *et al.*, 1995)。また、ランニング歴, 週間トレーニング回数, 月間走行距離といったトレーニング変数は、ランニングパフォーマンスと関係し (Midglet *et al.*, 2007), 週間トレーニング回数や走行距離は、マラソントimeと相関関係があると報告されている (Hagan *et al.*, 1981; Billat *et al.*, 2001)。さらに、Morgan *et al.* (1995) によると、ランニング歴はランニングエコノミーと関係することが示されている。これら一連の先行研究の知見は、20mSRT およびトレーニング変数とマラソントimeとの相関関係に関する本研究の結果を支持するものといえる。

また、先行研究においても、 $\dot{V}O_{2max}$ に加えて、ランニングエコノミーや1日の走行距離およびトレーニングペースに基づきマラソントimeの予測が可能であることが示されている (di Prampero *et al.*, 1986; Hagan *et al.*, 1981; Hanga *et al.*, 1987)。本研究では、20mSRT, ランニング歴および月間走行距離を予測変数とするマラソントime予測式が得られ、その予測式は妥当性を有するものであることが示された。しかしながら、先行研究のマラソントime予測式の寄与率は 68%~72%であるのに対し (di Prampero *et al.*, 1986; Hagan *et al.*, 1981;

Hanga *et al.*, 1987), 本研究の結果では, 男性で 58.6%, 女性で 64.0%と低値を示した. これは対象者の特性の違いによるものであると考えられる. すなわち, 先行研究 (di Prampero *et al.*, 1986; Hagan *et al.*, 1981; Hanga *et al.*, 1987) では対象者数が 35~50 名であるのに対し, 本研究では男性が 100 名, 女性が 111 名であり, 2 倍以上の対象者数でマラソントイム予測式を検討している. さらに, それら先行研究における対象者のマラソントイムは 2 時間前半から 5 時間以内の範囲にあり, 月間走行距離も 100km から 500km を超えるようなランナーを対象としている. それに対し, 本研究での対象者は, マラソントイムは男性で 2 時間 39 分から 6 時間 33 分, 女性が 3 時間 16 分から 6 時間 54 分であり, 先行研究の 5 時間以内を超えるランナーは男性で 18 名, 女性で 43 名であった. また, 月間走行距離は男性で 3km から 400km, 女性で 10km から 300km であり, 100km 未満のランナーは男性で 29 名, 女性で 56 名であった. したがって, 本研究では, 先行研究における対象者と比較して, 競技レベルおよびトレーニングレベルが低いランナーが多く含まれていた. Hangan *et al.* (1987) は, マラソンレースの経験別で 2 グループに分け, それぞれでマラソンパフォーマンス時間の予測式を作成している. その結果, マラソンレース経験が多い群 (マラソンレースを 3 つ以上完走, マラソン平均タイム 3 時間 28 分) の予測式の寄与率は 76%であるのに対し, 経験が少ない群 (マラソンレースを 3 つ未満完走, マラソン平均タイム 4 時間 02 分) の予測式の寄与率が 48%と低値を示している. したがって, 本研究の対象者のマラソントイムおよび月間走行距離を考え合わせると, 本研究で得られた予測式の寄与率が先行研究に比較して低値となった原因として, 対象者数の違いに加え, マラソンランナーとしての競技レベルおよびトレーニングレベルの低さが含まれると考えられる. その一方で, 先行研究と比べて, 競技レベルやトレーニングレベルの幅広い範囲の対象者としてマラソントイム予測式を作成することができた点に, 本研究の意義があると考えられる.

予測式の妥当性の検証において, 実測マラソントイムの遅い集団では, 予測マラソントイムと実測マラソントイムの回帰直線からの乖離が大きかった. 20mSRT はターン動作により

加速-減速を繰り返す特性があり脚への負担が大きく（佐伯と谷地, 2018）、20mSRT の成績には、方向転換の技術や無酸素性パワーが影響する（高橋, 2016）。その点を踏まえると、タイムの遅い集団では、20mSRT のターン動作の影響により、限界に達する前に測定が終了している可能性があり、予測マラソンタイムより実測マラソンタイムが速くなる一因と推測される。一方で、マラソンタイムの遅いランナーは、序盤にレース走速度が速くなり、後半のマラソンペースが失速することが示されている（Renfree and Gibson, 2013; Santos *et al.*, 2014）。そのため、マラソンタイムの遅い集団においては、ペース戦略を失敗している可能性があるため、予測マラソンタイムより実測マラソンタイムが遅くなった可能性と考えられる。さらに、マラソンタイムに影響を与える要因として、気温や天候などの気象条件に変化することが知られている（Ely *et al.*, 2007; Ito *et al.*, 2013; Vihma, 2010）。そして、登りのランニングではエネルギー消費量が増大し、降りのランニングでは筋損傷をより大きく引き起こす可能性が報告されている（Vernillo *et al.*, 2017）。このようにランニングコースの特徴によってもマラソンタイムは変化することが推察できる。しかしながら、本研究では、気象条件やランニングコースの影響などを考慮することはできなかった。今後、これらの点を考慮に入れた検討を加えることで、さらに精度の高いマラソンタイム予測式の作成が可能になると考えられる。

5. 小括

本研究課題 2 では, 20mSRT およびトレーニング変数に基づくマラソンタイム予測式の妥当性について検討した. その結果, 20mSRT, ランニング歴および月間走行距離を独立変数とするマラソンタイム予測式を作成することができ, その予測式は実走におけるマラソンタイムを予測するうえで活用可能なものであることが示唆された.

第 6 章【研究課題 3】マラソンタイム予測式を用いたマラソンペース設定の可能性についての事例研究

1. 緒言

マラソンにおいて、マラソンレースのペース配分（ペース戦略）はマラソンタイムに大きな影響を及ぼし、嶋津ら（2019）は、マラソンレースのペース配分において、レース前後半の走速度によって「ネガティブ型」「イーブン型」「ポジティブ型」に分類できるとしている。その中でもマラソンレースにおいて高いパフォーマンスを発揮するためには、「イーブン型」のペース戦略が最適であると指摘されている（Abiss and Laursen, 2008）。しかし、マラソンタイムの遅いランナーは、レース前半の平均走速度が速く、レース序盤にペース持続が難しい走速度で走行していることが示されている（Renfree and Gibson, 2013; Santos *et al.*, 2014）。これらの知見から、マラソンタイムに基づきペース戦略を予め設定し、それに沿ってマラソンレースを実践することで、より良いパフォーマンスで完走することできると考えられる。しかしながら、マラソンタイムに応じたマラソンペースを設定するためには、レース前のトレーニング段階において、持久性ランナー個々人のマラソンタイムを予測する必要がある。そこで、研究課題 3 では、マラソンタイム予測式を用いたマラソンペース設定の可能性について、事例研究の結果に基づき明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2-1. 対象者

日常的にマラソン練習を継続しており、少なくとも年 1 回マラソンレースの完走経験がある成人女性 1 名（年齢:46 歳，身長:158.4cm，体重:46.7kg，BMI:18.6kg/m²）の一般市民ランナーが自発的に研究に参加した。なお本研究は、立命館大学「人を対象とする医学系研究倫理審査委員会」で承認を得た後、研究参加の同意を得られた者のみを研究対象とした（承

認番号：BKC－人医－2017－061－1).

2-2. 測定項目

マラソンタイム予測に必要な変数である，20mSRT と月間走行距離およびランニング歴についての情報を，マラソンレースの1か月前（2019年2月2日）に研究課題1と同様な方法によって得た．

2-3. マラソンタイム予測とペース設定およびペース配分の評価方法

20mSRT は 96 回，ランニング歴は 10 年，月間走行距離は 200km であった．得られた 20mSRT，月間走行距離およびランニング歴に関する情報を，研究課題2において作成したマラソンタイム予測式（マラソンタイム = $-89.374x_1 - 3683.995x_2 - 2053.755x_3 + 30298.162$ ， x_1 ：20mSRT， x_2 ：月間走行距離， x_3 ：ランニング歴）に入力し，予測マラソンタイムを算出した．算出された予測マラソンタイムは3時間06分12秒であり，1km 毎のペース4分24秒であった．そのペースでマラソンレース本番までの1か月間のトレーニングにおいて，設定したペースを身体に覚えさせることを目的に1km 毎のペースで20km 走を2回（2週間に1回）実施した．また，マラソンレースのペース配分の評価方法として，嶋津ら（2019）の方法に従って，レースの前半の走速度に対するレース後半の走速度の変化率を算出して，ネガティブ型（走速度が5%以上増加した場合），イーブン型（走速度が±5%未満の変化であった場合），ポジティブ型（走速度が5%以上減少した場合）の3つに分けた．

2-4. マラソンレースのコースおよびレース当日のグラウンド・コンディション

マラソンペース設定を実践したマラソンレースは，2019年3月10日に行われた．レースコースは，日本陸上競技連盟および IAAF/AIMS 公認コースであった．大会スタート時点（9時10分）のグラウンド・コンディションは，天候：曇，気温：11.2℃，湿度61.4%であり，

ゴール時点（12 時）は、天候：雨、気温：11.7℃、湿度 78.6%であった。マラソンタイムは、5km 毎のスプリットタイムとラップタイムを記録した。

3. 結果

マラソンレースのゴールタイムは、3 時間 06 分 38 秒であった。予測マラソンタイムは 3 時間 06 分 12 秒であり、誤差は実測マラソンタイムが 26 秒と遅い結果であった。マラソンレースの 5km 毎のマラソンタイムは、5km：21 分 57 秒（22 分 00 秒），15km：1 時間 06 分 11 秒（22 分 14 秒），20km：1 時間 28 分 27 秒（22 分 16 秒），25km：1 時間 50 分 30 秒（22 分 03 秒），30km：2 時間 12 分 38 秒（22 分 08 秒），35km：2 時間 34 分 47 秒（22 分 09 秒），40km：2 時間 57 分 06 秒（22 分 19 秒），42.195km：3 時間 06 分 38 秒（9 分 32 秒）であった。

5km 毎の予測マラソンタイムとマラソンタイムの誤差は、5km：-7 秒，10km：-11 秒，15km：-1 秒，20km：+11 秒，25km：+10 秒，30km：+14 秒，35km：+19 秒，40km：+34 秒，42.195km：+26 秒であった（Table 9）。15km までは、予測マラソンタイムより速いタイムで走行しており、それ以降は、予測マラソンタイムより遅いタイムであった。

今回のマラソンレースにおける研究対象者のペース配分（マラソンレース前半：1 時間 33 分 17 秒に対するレース後半：1 時間 33 分 21 秒の走速度の変化率）は 0.07%であり、イーブン型であった。

Table 9. Comparison of split times between the marathon race time and the predicted marathon time

Distance	5km	10km	15km	20km	25km	30km	35km	40km	42.195km
Marathon race	21'57"	43'57"	1:06'11"	1:28'27"	1:50'30"	2:12'38"	2:34'47"	2:57'06"	3:06'38"
Predicted time	22'04"	44'08"	1:06'12"	1:28'16"	1:50'20"	2:12'24"	2:34'28"	2:56'32"	3:06'12"
Difference	-7"	-11"	-1"	+11"	+10"	+14"	+19"	+34"	+26"

4. 考察

2019 年 3 月 10 日に行われたマラソンレースでは、事前のマラソンタイム予測を参考に 1km を 4 分 24 秒のペース配分で走行するように指示を行った。その結果、3 時間 06 分 38 秒で完走することができた。予測マラソンタイムと実測マラソンタイムの誤差は、実測マラソンタイムが 26 秒遅い結果となったが、対象者の持つ自己ベストマラソンタイム（3 時間 08 分 11 秒）を 1 分 33 秒更新することができた。今回の実践例では、5km 毎のタイムは、21 分 57 秒（1km の平均ペース 4 分 23 秒）から 22 分 19 秒（1km の平均ペース 4 分 27 秒）の間で走行しており、15km までは、予測マラソンタイムより速いタイムで走行しており、それ以降予測マラソンタイムより遅いタイムであった。しかしながら、今回の研究対象者のレース前半と後半の走速度からみたペース配分は、イーブン型と評価されるものであった。このような結果は、ペースに変動がない状態でマラソンレースを進めることで高い長距離走パフォーマンスが発揮できると先行知見（Ely et al., 2008; Renfree and Gibson, 2013; Santos-Lozano et al., 2014）を支持するものといえる。

現在、エリートランナーのマラソン大会では、好記録を狙うためにペースメーカーを設定されることが通例となっており、市民マラソン大会においてもペースメーカーが導入される大会が増えてきている。実際のマラソンレースにおいては、それぞれの目標タイムを目指して走行しているが、山本と木村（2004）は、マラソン記録が下位ほど前半に比べると後半のペースの低下率が高く、オーバーペースになっていると調査している。それは、一般市民ランナーの場合、自身がどの程度のマラソンペースで走れるかを把握できていないことが原因ではないかと考える。それに対し本研究で得られたマラソンタイム予測式の活用は、個々人の予測マラソンタイムに基づきマラソンペース設定を客観的に示すことができ、実際のマラソンレースのペース戦略に活用できる可能性をもつといえる。

一方で、本研究におけるマラソンペース設定の活用についての検討例は 1 名であった。したがって、他のランナーにおいても同様にマラソンペース設定が可能であるかは不明であ

る． 今後は様々な年代や性別など多くの一般市民ランナーを対象に検討することで，マラソンペースの設定に対するマラソンタイム予測式の可能性と限界についてより明らかにすることができると考えられる．

5. 小括

本研究課題 3 では、研究課題 2 で得たマラソンタイム予測式の活用によるマラソンペース設定の可能性について、事例研究の結果に基づき明らかにすることを目的とした。その結果、マラソンレースではペース設定に対して 26 秒遅くなったが、イーブン型のペース配分での完走が可能となり、自己記録を 1 分 33 秒更新することができた。これらの結果より、研究課題 2 で作成したマラソンタイム予測式は、個々人のマラソンペースを事前に設定するうえで有効であり、実際のマラソンレースのパフォーマンス改善に結び付くペース戦略の立案に活用できる可能性が示唆された。

第7章 総括論議

1. 本研究の主な知見

本研究は、一般市民ランナーが安全にマラソンレースを行うために、ランナー個々人の持久能力の評価と、それに基づいたマラソンタイムの予測式を作成することを目的とし、1) 一般市民ランナーの持久能力の評価に対する 20mSRT の有用性（研究課題 1）、2) 一般市民ランナーを対象とした 20mSRT およびトレーニング変数を用いたマラソンタイム予測式の作成（研究課題 2）、および 3) マラソンタイム予測式を用いたマラソンペース設定の可能性についての事例研究（研究課題 3）について検討した。

その結果、研究課題 1 では、20mSRT において求められる HR_{max} と $\dot{V}O_{2max}$ は、それぞれ自転車ペダリングによる全身持久力テスト時の HR_{max} および $\dot{V}O_{2max}$ と有意な相関関係にあり、また、20mSRT から求めた $\dot{V}O_{2max}$ は 5000mTT のタイムと有意な相関関係を示したことから、20mSRT は一般市民ランナーの持久能力の評価に有用であると考えられた。また、研究課題 2 では、20mSRT、ランニング歴および月間走行距離を独立変数とするマラソンタイム予測式を作成することができ、その妥当性について明らかにした。さらに、研究課題 3 においては、マラソンタイム予測式に基づき、マラソンペースを設定し、実際のレースでこの予測式は実走におけるマラソンタイムを予測するうえで活用可能なものであることが明らかになった。

以上の結果を踏まえ、本章では、1) 20mSRT を用いたトレーニング量設定の可能性、2) マラソンタイム予測からトレーニング中のランニングペース設定の可能性について総括的に考察する。

2. 20mSRT を用いたトレーニング量設定の可能性

身体トレーニングのプログラムの作成に当たっては、一般にトレーニングの対象となる身体機能の状態を考慮に入れて、トレーニングの量や強度が決定される。安全にランニング

を実施するためには、個々人が耐えられるトレーニング量や強度でトレーニングを実施する必要がある、個々人が耐えられないトレーニングはパフォーマンスを低下することが指摘されている (Swank, 2008)。それらに対し、研究課題 1 で得られた知見は、20mSRT による HRmax を基準に、個々人の持久性能力に応じたトレーニング中の目標 HR の設定や実際のトレーニング中の強度の評価が可能であることを示唆している。一方、トレーニング強度以外に、持久性ランナーにとって重要なトレーニングの構成要素にトレーニング量に相当する月間走行距離がある。研究課題 2 の結果において、月間走行距離はマラソントimeと有意な相関関係が認められており (男性: $r = -0.60$, $P < 0.01$; 女性: $r = -0.59$, $P < 0.01$)、トレーニングにおける月間走行距離の設定は、マラソンパフォーマンスに関連する 1 つに要素となる。そこで、20mSRT の成績と月間走行距離の関係性について研究課題 2 の結果を用いて検討してみる。その結果、男性および女性ともに 20mSRT と月間走行距離との間には有意な相関関係が認められた (男性: $r = 0.34$, $P < 0.01$; 女性: $r = 0.36$, $P < 0.01$)。得られた回帰式をもとに研究課題 1 の被験者のデータに基づき月間走行距離を算出した。

その結果、20mSRT の結果から推定した月間走行距離は男性 162.7 ± 35.7 km、女性 114.9 ± 17.1 km であり、実際の月間走行距離 (男性: 131.9 ± 56.0 km、女性: 101.0 ± 51.4 km) と比べて男女ともに有意差は認められなかった (男性: $P = 0.07$, 女性: $P = 0.26$)。しかし、両変数間の相関係数は男女とも低く、月間走行距離に対する 20mSRT の寄与率は男性 12%、女性 13%に過ぎない。また、男女とも実測値と推定値との間に有意差は認められなかったが、男女とも推定値は過大に推定され、推定値と実測値との差は女性より男性において大きい。したがって本研究で得られたデータから判断する限りでは、20mSRT の成績を月間走行距離の間接的指標として使用することは困難である。なお、渡部ら (1996) によると月間走行距離が長いほどランニング障害が発生しやすいと報告されていることから、月間走行距離を推定する可能性については今後さらに検討する必要がある。

3. マラソントタイム予測からトレーニング中のランニングペース設定の可能性

本研究（研究課題 2）は、20mSRT、ランニング歴および月間走行距離を予測変数とするマラソントタイム予測式が得られた。そこで本章では、得られたマラソントタイム予測からトレーニング中のランニングペース設定に活用できるか検討した。

マラソントタイム予測式の活用方法として、研究課題 3 ではマラソンレースにおけるペース設定の活用について検討した。その他にもトレーニング中のランニングペース設定への活用が考えられる。持久性ランナーのトレーニングを大別すると、一定負荷作業を持続してトレーニングをするコンティニュアス・トレーニング（CT）と強弱の負荷作業を交互に繰り返す断続的トレーニング（IT）がある（山地と樋爪, 1999; Stöggl and Sperlich, 2015）。その中で CT は最大酸素摂取量を向上させるトレーニングの一つであり（山地と樋爪, 1999; Hottenrott *et al.*, 2012）、実際に、持久性ランナーの間でトレーニングとして取り入れられていることが報告されている（Stöggl and Sperlich, 2015）。しかしながら、CT 実施時のペースを適切に設定するためには、最大酸素摂取量や最大心拍数に対する相対的負荷強度を用いる必要がある（Seiler, 2010; Midgley *et al.*, 2007）。しかし、この相対的負荷強度を用いたペースの設定には、事前に別途測定を必要とし、特殊な機器や専門的測定技術を必要とする（Midgley *et al.*, 2007; Sartor *et al.*, 2013）。そこで、一般市民ランナー成人男性 50 名、成人女性 50 名を対象に、実際に完走したマラソントタイムの速度とそのマラソンレースの 3 ヶ月以内に実施した CT 速度のアンケート調査に基づき、本研究で得られたマラソントタイム予測式を使用して、個々人に適した CT 速度を設定できるかについて検討してみた。対象者の特性は、男性は、年齢：48.9±9.6 歳、身長：170.7±6.9cm、体重：65.5±8.2kg、ランニング歴：8.0±6.3 年、月間距離距離：158.6±77.2km、マラソンペース：10.7±1.6km/h、CT ペース：11.6±1.7km/h、女性は年齢：48.0±7.2 歳、身長：158.2±5.4cm、体重：52.3±6.0kg、ランニング歴：8.1±5.3 年、月間距離距離：127.7±66.8km、マラソンペース：9.8±1.5km/h、CT ペース：10.7±1.5km/h であった。結果は、CT ペースとマラソンペースとの間に有意な相関関

係が認められた（男性： $r=0.88, P<0.01$ ；女性： $r=0.92, P<0.01$ ）。さらに，男女ともマラソンペースを予測変数とした予測式を得ることができた（男性：CT ペース= $0.929x+1.668, R^2=0.767, P<0.01$ ；女性：CT ペース= $0.900x+1.831, R^2=0.849, P<0.01, x$ ：マラソンペース）。本調査において，マラソンタイム予測式を用いることで，トレーニング中のランニングペース（CT ペース）を設定することができる可能性が示された。

第 8 章 結論

20mSRT は一般市民ランナーの持久性能力を評価するうえで有効であり，20mSRT の成績にトレーニング変数を加えることで，マラソンレースのペース設定に活用可能なマラソンタイム予測式を作成することができる．

謝辞

本博士学位論文の作成するにあたり，多くの方々より親身で丁寧なご指導，ご支援を賜りましたことを感謝致します．

研究指導担当教員として，研究者としての心構えから，本研究の施行，論文執筆ならびに学位論文申請に際し，多大なる御支援，御指導・御鞭撻を頂きました立命館大学スポーツ健康科学部 伊坂忠夫教授には深く感謝の意を表したく存じます．

立命館大学スポーツ健康科学部 金久博昭教授には，多大なるご指導，ご助言を賜り心より感謝致します．本博士論文を執筆するにあたり，的確な助言を頂いたことにより本博士論文を完成させることが出来ました．深く感謝申し上げます．

さらに，ご多忙にもかかわらず副査を務めて頂きました，筑波大学体育専門学群 鍋倉賢治教授，立命館大学スポーツ健康科学部 田畑泉教授，同学部 後藤一成教授には，丁寧かつ貴重なご助言を賜りましたことをここに厚く御礼申し上げます．

研究，実験，論文執筆に際して貴重なご助言，ご協力をくださいました，川崎医療福祉大学医療技術学部 松生香里准教授，株式会社ブルーミング 濱口幹太氏に感謝申し上げます．また，研究活動においてご助言，ご支援頂きました立命館大学スポーツ健康科学研究科伊坂研究室の皆様にも心より御礼申し上げます．

最後に，これまでの研究に被検者としてご協力頂きました一般市民ランナーの方々には心から感謝の意を表します．

参考文献

- Abbiss CR, Laursen PB.(2008). Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Med* **38**: 239-252.
- Adrian W. Midgley, Lars R. McNaughton, Andrew M. Jones.(2007). Training to Enhance the Physiological Determinants of Long-Distance Running Performance. *sports Med* **37**: 857-880.
- Artero EG, España-Romero V, Castro-Piñero J, Ortega FB, Suni J, Castillo-Garzon MJ, Ruiz JR. (2011). Reliability of field-based fitness tests in youth. *Int J Sports Med* **32**: 159-69.
- Åstrand PO, Ryhming I.(1954). A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol* **7**: 218-220.
- Billat VL, Demarle A, Paiva M, Koralsztein JP. (2002). Effect of training on the physiological factors of performance in elite marathon runners (males and females). *Int J Sports Med* **23**: 336-341.
- Billat VL, Demarle A, Slawinski J, Paiva M, Koralsztein J. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Med Sci Sports Exerc* **33**: 2089-2097.
- Billat VL, Lepretre PM, Heugas AM, Laurence MH, Sailm D, Koralsztein JP.(2003).Training and bioenergetic characteristics in elite male and female Kenyan runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **35**: 297-304.
- Billat VL, Mille-Hamard L, Meyer Y, Wesfreid E.(2009). Detection of changes in the fractal scaling of heartrate and speed in a marathon race. *Physica A* **388**: 3798-3808.
- Brown CH, Wilmore JH.(1971). Physical and physiological profiles of champion women long distance runners. *Med Sci Sports Exerc* **3**.
- Cohen J. (1992). A power primer. *Psychol Bull* **112**: 155-159.
- Cohen J. (1988). Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences. Hillsdale, MI: Lawrence Erlbaum.
- Conley DL, Krahenbuhl GS.(1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise* **12**: 357-360.

- Cooper KH.(1968). A means of assessing maximal oxygen intake. *J.A.M.A* **203**: 135-138.
- Costill DL, Thomason H, Roberts E. (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports* **5**: 248-52.
- Dasilva SG, Guidetti L, Buzzachera CF, Elsangedy HM, Krinski K, De Campos W, Goss FL, Baldari C. (2011). Gender-based differences in substrate use during exercise at a self-selected pace. *J Strength Cond Res* **25(9)**: 2544-2551.
- Davis JA.(1985). Anaerobic threshold:review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc* **17**: 6-18.
- di Prampero PE.(2003). Factors limiting maximal performance in humans. *European Journal of Applied Physiology* **90**. 420-429
- di Prampero PE, Atchou G, Brückner JC, Moia C. (1986). The energetics of endurance running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **55**: 259-266.
- Ely MR, Cheuvront SN, Roberts WO, Montain SJ.(2007). Impact of weather on marathon-running performance. *Med Sci Sports Exerc* **39**: 487-493.
- Ely MR, Martin DE, Cheuvront SN, Montain SJ. (2008). Effect of ambient temperature on marathon pacing is dependent on runner ability. *Med Sci Sports Exerc* **40**: 1675-1680.
- Enrico Tam, Huber Rossi, Christian Moia, Claudio Berardelli, Gabriele Rosa, Cario Capelli, Guido Ferretti.(2012). Energetics of running top-level marathon runners form Kenya. *European Journal of Applied Physiology* **112**: 3797-3806.
- España-Romero V, Artero EG, Jimenez-Pavón D, Cuenca-Garcia M, Ortega FB, Castro-Piñero J, Sjöström M, Castillo-Garzon MJ, Ruiz JR. (2010). Assessing health-related fitness tests inthe school setting: reliability, feasibility and safety; the ALPHA Study. *Int J Sports Med* **31**: 490-97.
- Foster C, Daniels JT, Yarbrough RA.(1977). Physiological and training correlated of marathon running performance. *Aust. J. Sports Medicine* **9**: 58-61.

- Fuller GF. (2000). Falls in the elderly. *Am Fam Physician* **61**: 2159-2168.
- Hagan RD, Smith MG, Gettman LR.(1981). Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices. *Med Sci Sports Exerc* **13**: 185-9.
- Hagan RD, Upton SJ, Duncan JJ, Gettman LR. (1987). Marathon performance in relation to maximal aerobic power and training indices in female distance runners. *Br J Sports Med* **21**: 3-7.
- Holmgren A, Åstrand PO. (1966). DL and the dimensions and functional capacities of the O₂ transport system in humans. *J Applied Physiology* **21**: 1463-1470.
- Hottenrott K, Ludyga S, Schulze S.(2012). Effects of high intensity training and continuous endurance training on aerobic capacity and body composition in recreationally active runners. *J Sports Sci Med* **11**: 483-488.
- Ito R, Nakano M, Yamane M, Amano M, Matsumoto T. (2013). Effects of rain on energy metabolism while running in a cold environment. *Int J Sports Med* **34**: 707-711.
- Jonathan H, Kim MD.(2012). Cardiac Arrest during Long-Distance Running Races. *The New England Journal of Medicine* **366**: 130-140.
- Lakatta EG. (1993). Cardiovascular regulatory mechanisms in advanced age. *Physiol Rev* **73**: 413-467.
- Léger LA, Lambert J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO₂ max. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **49**: 1-12.
- Léger LA, Gadoury C. (1989). Validity of the 20 m shuttle run test with 1 min stages to predict VO₂max in adults. *Can J Sport Sci* **14**: 21-6.
- Le Meur Y, Hausswirth C, Dorel S, Bignet F, Brisswalter J, Bernard T.(2009).Influence of gender on pacing adopted by elite triathletes during a competition. *European Journal of Applied Physiology* **106**: 535-545.
- Leyk D, Erley O, Ridder D, Leurs M, Rütger T, Wunderlich M, Sievert A, Baum K, Essfeld D. (2007). Age-related changes in marathon and half-marathon performances. *Int J Sports Med* **28**: 513-517.

- Lucia A, Hoyos J, Chicharro JL.(2001). Physiology of professional road cycling. *Sports Medicine* **31**: 325-337.
- Marta C, Marinho DA, Barbosa TM, Izquierdo M, Marques MC. (2013). Effects of concurrent training on explosive strength and VO₂max in prepubescent children. *Int J Sports Med* **34**: 888-96.
- Mayorga-Vega D, Aguilar-Soto P, Viciano J. (2015). Criterion-Related Validity of the 20-M Shuttle Run Test for Estimating Cardiorespiratory Fitness: A Meta-Analysis. *J Sports Sci Med* **14**: 536-47.
- Meckel Y, Harel U, Michaeli Y, Eliakim A. (2014). Effects of a very short-term preseason training procedure on the fitness of soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* **54**: 432-40.
- Midgley AW, McNaughton LR, Jones AM. (2007). Training to enhance the physiological determinants of long-distance running performance: can valid recommendations be given to runners and coaches based on current scientific knowledge? *Sports Med* **37**: 857-80.
- Morgan DW, Bransford DR, Costill DL, Daniels JT, Howley ET, Krahenbuhl GS. (1995). Variation in the aerobic demand of running among trained and untrained subjects. *Med Sci Sports Exerc* **27**: 404-409.
- Naughton LM, Cooley D, Kearney V, Smith S.(1996). A comparison of two different shuttle run tests for the estimation of VO₂max. *J Sports Med Phys Fitness* **37**: 156-157.
- Nishijima Y, Ikeda T, Takamatsu M, Kiso Y, Shibata H, Fushiki T, Moritani T. (2002). Influence of caffeine ingestion on autonomic nervous activity during endurance exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* **87**: 475-80.
- Ostojic SM, Mazic S, Dikic N. (2006). Profiling in basketball: physical and physiological characteristics of elite players. *J Strength Cond Res* **20**: 740-4.
- Pollock ML, Mengelkoch LJ, Graves JE, Lowenthal DT, Limacher MC, Foster C, Wilmore JH. (1997). Twenty-year follow-up of aerobic power and body composition of older track athletes. *Journal of Applied Physiology* **82**: 1508-16.
- Poortmans J, Vlaeminck M, Collin M, Delmotte C. (1986). Indirect estimation of the maximal aerobic power of a male and female population from Brussels aged 6 to 23 years. Comparison with a

- direct technic for measuring maximal oxygen consumption. *J Physiol(Paris)* **81**: 195-201.
- Ramsbottom R, Nute M, Williams C. (1987). Determinants of five kilometre running performance in active men and women. *Brit. J. Sports Med* **21**: 9-13.
- Renfree A, St Clair Gibson A. (2013). Influence of different performance levels on pacing strategy during the Women's World Championship marathon race. *Int J Sports Physiol Perform* **8**: 279-285.
- Roepstorff C, Charlotte H. Steffensen, Madsen M, Stallknecht B, Kanstrup I, Richter EA, Kiens B. (2002). Gender differences in substrate utilization during submaximal exercise in endurance-trained subjects, *Am J Physiol Endocrinol Metab* **282**: 435-447.
- Sanchez LD, Corwell B, Berkoff D. (2006). Medical problems of marathon runners. *Am. J. Emerg. Med* **24**: 608-615.
- Santos-Lozano A, Collado P, Foster C, Lucia A, Garatachea N. (2014). Influence of sex and level on marathon pacing strategy. *Int J Sports Med* **35**: 933-938.
- Sartor F, Vernillo G, de Morree HM, Bonomi AG, La Torre A, Kubis HP, Veicsteinas A. (2013). Estimation of maximal oxygen uptake via submaximal exercise testing in sports, clinical, and home settings. *Sports Med* **43**: 865-873.
- Seiler S. (2010). What is best practice for training intensity and duration distribution in endurance athletes? *Int J Sports Physiol Perform* **5**: 276-291.
- Sjödén B, Svedenhag J. (1985) . Applied physiology of marathon running. *Sports Med* **2**: 83-89.
- Stöggl TL, Sperlich B. (2015). The training intensity distribution among well-trained and elite endurance athletes. *Front Physiol* **6**: 295.
- Swank A.(2008). Adaptations to aerobic endurance training programs. Essentials of strength training and conditioning, 3rd edi, Baechle TR, Earle RW (EDs). *Human Kinetics*: 122-140.
- Tarnopolsky LJ, MacDougall JD, Atkinson SA, Tarnopolsky MA, Sutton JR. (1990). Gender differences in substrate for endurance exercise. *Journal of Applied Physiology Published* **68**: 302-308.

- Tanaka K. (1985). Validity of endurance performance test as a possible substitute for cardiorespiratory fitness. *Osaka City Univ J Health Sci Phys Educ* **21**: 19-28.
- Verstappen FT, Huppertz RM, Snoeckx LH. (1982). Effect of training specificity on maximal treadmill and bicycle ergometer exercise. *Int J Sports Med* **3**: 43-46.
- Vernillo G, Giandolini M, Edwards WB, Morin JB, Samozino P, Horvais N, Millet GY.(2017). Biomechanics and Physiology of Uphill and Downhill Running. *Sports Med* **47**: 615-629.
- Vihma T.(2010). Effects of weather on the performance of marathon runners. *Int J Biometeorol* **54**: 297-306.
- Wasserman k, whipp BJ. (1972). Exercise physiology in health and disease. *Am Rev Respir Dis*. **112**: 219-249.
- Withers RT, Sherman WM, Miller JM, Costill DL. (1981). Specificity of the anaerobic threshold in endurance trained cyclists and runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* **47**: 93-104.
- Yeung SS, Yeung EW, Wong TW. (2001). Marathon finishers and non-finishers characteristics. A preamble to success. *J Sports Med Phys Fitness* **41**: 170-176.
- 足立哲司, 足立博子, 豊岡示朗.(2003). マラソン競技レベルの決定因子. *陸上競技紀要* **16**: 11-18.
- 安達仁.(2009). CPX・運動療法ハンドブック-心臓リハビリテーションのリアルワールド. 中外医学者, 東京.
- 今井寛, 原邦夫, 森原徹, 北條達也, 新井祐志, 生駒和生, 久保俊一.(2010). 市民ランニングチームにおけるランニング障害の疫学調査. *日本臨床スポーツ医学会誌* **18**: 13-18.
- 榎本靖土.(2013). 長距離選手のランニングエコノミーに影響を及ぼす体力および技術的要因の検討. *筑波大学体育学紀要* **36**: 137-140.
- 小幡早紀, 佐久間夕美子, 宮内清子, 加藤綾子, 小山葉月, 遠藤里美, 高祖麻美, 佐藤千史.(2011). プロスポーツ選手における生活習慣と健康意識. *臨床スポーツ医学* **28**: 335-342.

- 楠本秀忠, 中尾美喜夫.(2007). 20m シャトル・ラン・テストについて. *大阪経大論集* **57**: 57-71.
- 畔柳三省, 松尾義裕, 小島原将直, 熊谷哲雄, 黒須明, 早乙女敦子, 長井敏明, 徳留省悟.(2002). スポーツ中の突然死. *日本臨床スポーツ医学会誌* **10**: 479-489.
- 佐伯徹郎, 谷地笑奈.(2018). 20m シャトルランテスト成績に影響する要因—心技体の各側面との関係性に着目して—. *日本女子体育大学スポーツトレーニングセンター紀要* **21**: 27-32.
- 笹川スポーツ財団.(2018). スポーツライフ・データ 2018.
<https://www.ssf.or.jp/report/sldata/tabid/1752/Default.aspx> (last accessed 2020/02/06).
- 嶋津航, 高山史徳, 丹治史弥, 鍋倉賢治.(2019). フルマラソンレースにおける Cardiovascular drift とパフォーマンスとの関係. *体育学研究* **64**: 237-247.
- 白川遼, 田中秀治, 喜熨斗智也, 高橋宏幸, 後藤奏.(2013). マラソン大会における心停止の発生頻度. *国士舘大学体育研究所報* **32**: 127-130.
- 杉本厚夫.(2016). 市民マラソンは都市を活性化するか：大阪マラソン共同調査が語ること. *関西大学経済・政治研究所セミナー年報* **2015**: 85-99.
- スポーツ庁.(2019). スポーツの実施状況等に関する世論調査.
https://www.mext.go.jp/sports/b_menu/toukei/chousa04/sports/1415963.htm (last accessed 2020/5/03).
- 清水泰生.(2015). 東京マラソンと日本—メディア報道を中心に—. *国際研究論叢* **28(2)**: 131-141.
- 高尾憲司, 濱口幹太, 大槻伸吾, 田中史朗, 堀部秀二.(2013). 一般市民ランナーにおける妥当な週間トレーニング回数と月間走行距離について—ランニング傷害のアンケート調査より—. *関西臨床スポーツ医・科学研究会誌* **23**: 55-56.
- 高橋信二.(2016). 全身持久力テストとしてのシャトルランを再考する. *体育の科学* **66**: 568-573.
- 田中喜代次.(2000). 全身持久性体力の測定. *体育学研究* **45**: 679-694.
- 田中俊夫.(2014). なぜランニングが魅力的なスポーツになってきたか. *臨床スポーツ医学* **31**: 182-186.

- 豊岡示朗, 山崎大樹.(2012). 第1回大阪マラソン完走を目指した「よみうりマラソン講座」: 受講者 52 名の指導報告. *ランニング学研究* **23**: 47-56.
- 星研一, 河原崎清栄, 梅垣茂, 五十嵐宏美, 黒岩敏明.(2011). 長野マラソン参加市民ランナー酸素摂取量測定会の試み. *信州公衆衛生雑誌* **6**: 34-34.
- 松生香里, 福嶋利浩, 和田光代, 豊岡示朗.(2001). 男子長距離ランナーの OBLA スピード推定簡便法. *大阪体育大学紀要* **32**: 33-39.
- 丸山智由.(2012). 市民マラソン開催による経済効果と今後の課題. *Best Value* **26**: 12-15.
- 武者春樹, 藤谷博人.(2016). スポーツにおける突然死とその予防. *心臓* **48**: 127-134.
- 文部科学省.(2014). 新体力テスト-有意義な活用のため-. *ぎょうせい*, 東京: 97-115.
- 山口志郎, 伊藤央二.(2020). 市民マラソンにおけるイベント満足度がディスティネーションの認知, イメージ, 及ロイヤリティに与える影響: 参加者視点のディスティネーションブランドエクイティの構築. *スポーツ産業学研究* **30**: 13-30.
- 山地啓司.(2001). 最大酸素摂取量の科学, *大修館書店*: 50.
- 山地啓司, 樋爪和夫.(1999). インターバル・トレーニングとコンティニュアス・トレーニングの有酸素的作業能への影響. *日本運動生理学雑誌* **6**: 17-25.
- 山地啓司, 樋爪和夫, 遠山孝司.(2010). 中・長距離走の競技記録と体重のべき指数当りの最大酸素摂取量. *スポーツパフォーマンス研究* **2**: 165-171.
- 山本正彦, 木村瑞生.(2004). スプリットタイムからみた市民マラソンレースの一考察. *東京工芸大学工学部紀要* **27**: 102-107.
- 山本正彦, 木村瑞生.(2013). 市民ランナーのマラソン記録推定における VT と $v\text{VO}_{2\text{max}}$ の比較. *東京工芸大学工学部紀要* **36**: 6-9.
- 渡部裕一, 野口蒸治, 宮本義明.(1996). 一般市民ランナーの下肢傷害. *整形外科と災害外科* **45**: 475-477.