

硝酸塩経口摂取が女子大学生エリートカヌー選手の 無酸素性運動能力に及ぼす影響

谷口夢結¹⁾ 福田佳尉²⁾ 福田侑季実³⁾ 山崎裕太⁴⁾ 松永須美子⁵⁾ 松永 智^{6,7)}

The Effect Dietary Nitrate on Anaerobic Exercise Capacity in Elite Female University Canoe-Sprint Paddler

Yui TANIGUCHI¹⁾, Kai FUKUDA²⁾, Yukimi FUKUDA³⁾, Yuta YAMASAKI⁴⁾,
Sumiko MATSUNAGA⁵⁾ and Satoshi MATSUNAGA^{6,7)}

Dietary inorganic nitrate has profound effects on health and physiological responses to exercise. Recent studies have shown that nitrate (NO_3^-) supplementation via NO_3^- rich beetroot juice (BR) preferentially improves vascular conductance and O_2 delivery to contracting skeletal muscles. It is unclear, however, whether nitrate supplementation would enhance anaerobic exercise capacity. We examined the effects dietary nitrate on race performance and anaerobic power in the elite female university paddler specializing in kayak single 200m. Kayak paddler and track and field athlete as a control subject were administered BR ($\sim 6.4\text{mmol}$ of NO_3^- per 70 ml) for 21 days. Regrettably, it was much difficult to make a fair judgment on the performance between pre and post-race time, as the environmental conditions of the race are greatly different. In kayak paddler, though maximum and mean power during Wingate anaerobic test (WAnT) could be impaired by the repeated WAnT, BR supplementation for 21days could keep them at a constant level to the second WAnT. Though the heart rates at starting point of each WAnT in kayak paddler could be increased by the repeated ergometer exercise, BR could keep it constant from second to forth WAnT. These data therefore provide a putative finding for the dietary inorganic nitrate for 21days induced improvements in anaerobic exercise capacity during WAnT in kayak paddler.

Key words: kayak, beetroot juice, wingate anaerobic test

¹⁾ 株式会社デンソー宮崎, ²⁾ 熊本県山都町立蘇陽南小学校, ³⁾ 佐賀県武雄市立山内中学校,

⁴⁾ 筑波大学大学院人間総科学研究科, ⁵⁾ 南九州短期大学国際教養学科, ⁶⁾ 宮崎大学教育学部,

⁷⁾ 鹿屋体育大学大学院体育学研究科

責任著者: 松永 智

I. 緒言

カヌースプリントは静水面に並べたカヌー9艇が一斉にスタートし、自然環境下においてゴールまでの着順を競う競技である。なかでもオリンピック種目の一つであるカヤックシングル200mは、風や気温等の条件によりタイムは異なるが、日本国内の大会における成年女子のタイムは、通常42～45秒程度で行われている(リオデジャネイロ・オリンピック女性金メダリストは39.864秒)。このカヤックシングル女子200mをエネルギー供給系からみた場合、無酸素性運動と有酸素性運動の割合は、7:3とされている¹⁸⁾。また、カヌースプリントの競技大会では、予選から決勝までのレースが1日のうちに行われることが多く、また選手は複数の種目にエントリーしていることから、通常1日3～6本のレースに挑戦することとなる。つまり、短時間で爆発的なパワーを必要とするレースを、一定の休憩時間をはさみ複数回行うカヌースプリント競技では、高強度運動における筋疲労の要因²³⁾をできる限り排除し、最終レースとなる決勝において、最高のパフォーマンスを発揮できる取り組みが必要とされている。

食事由来の硝酸塩は、ヒトが健康的な生活を送るうえで非常に重要であり、「ほうれん草」「レタス」「ビート」など硝酸塩が豊富に含有されている緑葉野菜から60～80%摂取されている¹³⁾。経口摂取された硝酸塩の多くは、口腔内で亜硝酸イオン(NO_2^-)に変化し^{2,9)}、その後、さらに一酸化窒素(NO)にまで変化する^{2,15,16)}。このように産生されたNOは血管を拡張させ⁸⁾、筋線維でのガス交換をはじめとした筋代謝を促進させることが知られている⁸⁾。このことから、食事性硝酸塩が運動パフォーマンスを改善するエルゴジェニックエイドサプリメントの一つとして期待されている^{1,6,25)}。

ヒユ科のビーツの主根であるビートルートには硝酸塩が多く含まれている。このビートルートを飲料用に加工した「ビートルートジュース(BR)」は、硝酸塩を多く含有し、国内外で広く市販されている。いくつかの先行研究では、BRを摂取したアスリートの有酸素運動能力が向上することが報告されている^{5,7,14,17,24)}。一方、BR摂取が無酸素性能力に及ぼす影響について、運動の内容や回数といったプロトコルの違いからパフォーマンス①向上する²⁵⁾、②向上しない^{12,20)}など異なった報告がみられ、BR摂取と無酸素性運動能力との関係については未だ明らかにされてはいない。また、これらの研究でのBRの摂取期間は4～6日間といった比較的短期間のものであり、長期的なBR摂取が無酸素性運動能力に及ぼす影響についても不明なまま残っている。

無酸素性の運動能力を的確に評価できるテストの1つに、ウインゲート無酸素性テスト(Wingate anaerobic test, 以下WAnT)が挙げられる^{3,10)}。WAnTは、陸上競技400m走や競泳の200～400m泳のような、短時間で爆発的なパワーを必要とする競技の無酸素性エネルギー供給能力を評価する方法として用いられている。これは自転車エルゴメータを用いた30秒間最大努力下でのペダリング運動から構成され、得られた最高パワーは無酸素性パワーを、平均パワーは無酸素性容量を反映しているとされている¹¹⁾。しかしながら、短時間で爆発的なパワーを必要とするレースを、一定の休憩時間をはさみ複数回行うカヌースプリント競技の試合局面に鑑み、スプリント系カヌー競技者に間欠的なWAnTを負荷し[反復性スプリント能力(Repeated sprint ability: RSA)]²¹⁾、長期間の硝酸塩摂取が活動筋の抗疲労機能、すなわち筋のパワー発揮能力に及ぼす影響についての検討は行われていない。

そこで本研究では、エリート・カヌースプリント女子大学生選手を対象に、21日間の硝酸

塩の経口摂取がカヤックシングル 200m 漕、及び WAnT を用いた無酸素性運動能力に及ぼす影響について検討した。また同時に、短時間で爆発的なパワーを必要とする競技を複数回行うことから、抗疲労を視野に入れた反復性スプリント能力にどのような影響を与えるかについても考察を加えた。

II. 研究方法

1. 被検者

本研究に、被検者としてカヌースプリントのカヤック競技選手で、21 歳以下 (2018 年度)、及び 23 歳以下 (2019 年度) の日本代表選手でシングル 200m を専門としている女子大学生 1 名 (Kayak paddler : 以下 KAY) (Age: 22 years, Height: 161.0 cm, Weight: 60.2 Kg, BMI: 23.2 kg/m²) と、対照者として陸上競技の円盤投げ競技者である女子大学生 1 名 (Track & Field Athlete : 以下 TF) (Age: 21 years, Height: 171.3 cm, Weight: 62.3 Kg, BMI: 21.2 kg/m²) が参加した。BR 摂取期間中は被検者のオフシーズンのため、体力維持を目的とした運動を継続するよう指示した。研究の概要と予想される危険性などを事前に被検者に十分に説明し、文書で同意を得た上で研究を行った。なお本研究は、宮崎大学教育学部研究倫理委員会の承認のもと行われた。

2. ビートルート摂取

硝酸塩摂取のため、BR の 1 つである Beet it (James White Drinks Ltd 製) を 21 日間、全て同時刻 (± 1 時間) に 1 日あたり 1 本を経口摂取させた (70ml 入り : 硝酸塩 284mg 含有)^{5, 14, 17, 24}。なお、測定日のみ測定開始 2.5 時間前に BR を摂取させた²⁴。被検者には、測定前日、及び測定日は硝酸塩の含有量が高い食物 (ほうれん草、にら、白菜、小松菜など)、及びカフェイン・アルコール摂取を避けるように指示した。また、抗菌性の洗口液 / 歯磨き粉及び舌掻き取りの使用は、BR 摂取の前後 1 時間以内は行わないように指示した⁴。

3. 測定方法

(1) 200 m カヤックスプリントタイムトライアル

BR 摂取前 (pre)、及び 21 日間の BR 摂取後 (post) に、200m シングルカヤックスプリントのタイムトライアルを行った。30 分間の動的ウォーミングアップを行った後、5 分間の休息を設定した。スタート時は左のパドルを水中につけるよう指示し、スタート直後から全力でのタイムトライアルを行わせた。また、テスト時の流速、流向、気温を記録した。

測定項目は、200 m 漕のタイム、速度、及び心拍数とし、速度、及び心拍数はハートレートセンサー (ガーミン社製 HRM-Run TM) を用い測定した。

(2) 反復性スプリント能力テスト

pre、及び post に自転車エルゴメータ (Ergonomic823E, MONARK 社製) を用い、4 回の WAnT から構成される RSA を行った。テスト前に 5 分間のウォーミングアップの後、全力ペダリングを被検者の体重の 7.5% の負荷で、30 秒間行なわせた。2 分間の動的休息 (時速 3.5 km のウォーキング) と引き続いて 2 分間の静的休息 (椅座位休憩) の後、再び 30 秒間全力ペ

ダリングを行なわせた。この最大ペダリング運動と4分間の休息を1セットとし、これを4セット行った (Fig.1)。なお、測定を行う前に被検者に対して、①サドルの高さを最もペダリングしやすい位置にセットすること、②運動中はサドルから腰を上げないこと、③4回あるWAnTにおいて、ペース配分をせず1回目のWAnTの運動開始時から4回目のWAnT終了

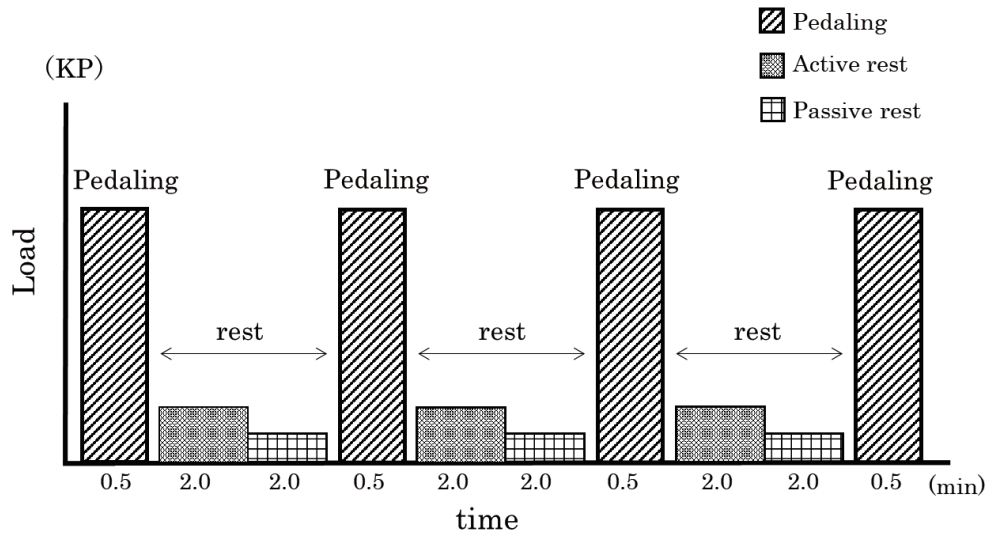


Fig.1 Schematic of experimental procedures of the pedaling and rest during repeated sprint ability test

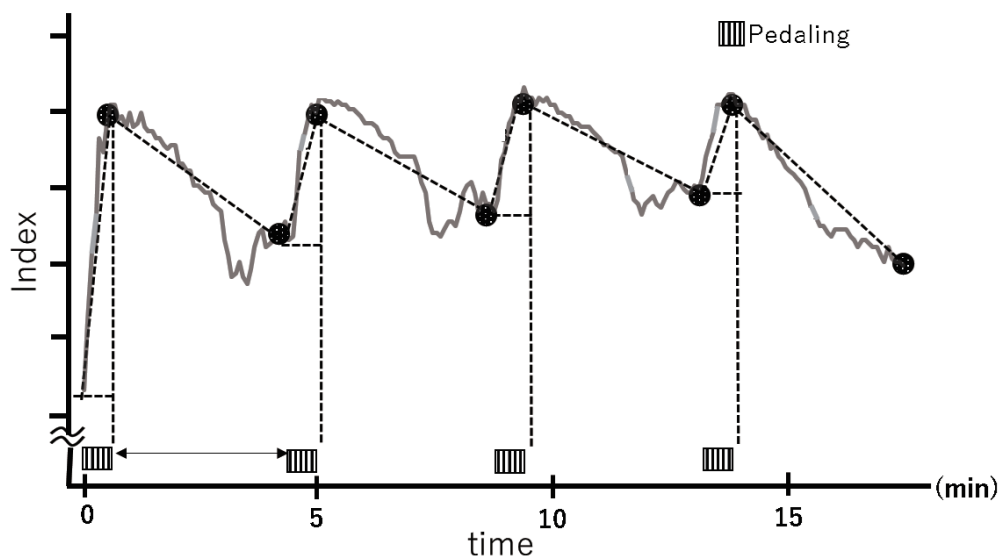


Fig.2 An example of a heart rate or an oxygen uptake during repeated sprint ability test

時まで、最大努力でペダリングすることを指示した。

RSA 中は心拍数 (HR)、酸素摂取量 ($\dot{V}O_2$)、脚力パワー (Power) を計測した。運動中の HR の変化は心電計 (LX-7120, フクダ電子社製) を、 $\dot{V}O_2$ は自動呼気ガス分析装置 (AE-310S, ミナト医科学社製) を用いて測定した。また、エルゴメータを用いて発揮された脚パワーは 5 秒毎に記録した。RSA 中の測定指標の概略を Fig.2 に示した。

Ⅲ. 結果

1. 200 mカヌースプリントタイムトライアル

KY の 200 mカヤックスプリントタイムトライアルの結果と環境条件を Table 1 に示した。pre でタイムは 44.2 秒、最大心拍数 (HRmax) 169 拍/分、最高スピード 278.3 m/分であるのに対し、post のタイムは 46.3 秒、HRmax 166 拍/分、最高スピード 306.7 m/分であった。

2. 反復性スプリント能力テスト

(1) 脚発揮パワー

反復性スプリント能力テスト時の脚発揮パワーを Table 2 に示した。KAY の最大パワーは、硝酸塩経口摂取前では 1 セット目からセット数を重ねるごと 561 W から 487 W と低下したのに対し (100 → 94.1 → 92.0 → 86.8 %), 21 日間の硝酸塩経口摂取後では、1、2 セット目 (100, 98.5%) とともに変化がなく、3 セット目以降大きく減少していた (→ 79.4 → 70.4%)。一方、TF は摂取前後ともにセット数を重ねるごとその値は減少していき、経口塩摂取による変化はみられなかった。KAY、TF とともに、平均発揮パワーについても、最大パワーと同様に、摂取前はセット数の増加に伴い減少したのに対し (425 → 348 W/min)、硝酸塩摂取後は 2 セット目までは一定の値を示した一方、3 セット目以降は大きく減少した。KAY の筋パワー立ち上がり速度についても、摂取前はセット数の増加に伴い減少したのに対し、硝酸塩摂取後は 2 セット目までは一定の値を示したが、3 セット目以降は大きく減少する類似の変化の傾向がみられた。

(2) 心拍数

反復性スプリント能力テスト時の心拍数を Table 3 に示した。KAY、TF とともに、HRmax については硝酸塩摂取に対しても、反復性スプリント能力テストのセット数増加に対しても変化はみられなかった。KAY の平均心拍数は pre の 1 セット目の値が低値を示したが、その他については HRmax と同様であった。一方、TF の平均心拍数は、硝酸塩摂取に関わらずセット数の増加に伴い増加した。HRmax 立ち上がり速度では、KAY、TF とともに、硝酸塩摂取前後ともに、セット数の増加に伴い減少した。各セット開始時の心拍数は、KAY は pre では 1 セット目からセット数を重ねるごと 95 拍/分から 141 拍/分と増加したのに対し、post では、1 セット目はやや低値 (105 拍/分) を示したが、2 セット目以降は 127、131、130 拍/分と一定の値を示した。一方、TF は硝酸塩摂取に関わらずセット数の増加に伴い各セット開始時の心拍数は増加した。

Table 1 Kayak single 200m time trial race

		pre	post
Time	sec	44.2	46.3
Wild speed	m/sec	3.0	3.0
Wild direction	sec	West-southwest	North-northwest
Flow speed	m/sec	0.8	0.7
Flow direction	sec	North-northeast	North-west
Maximum Heart rate	beats/min	169	166
Maximum Speed	m/sec	4.6	5.1

Table 2 Power during repeated sprint test

Maximum power (W)		1st	2nd	3rd	4th
KAY	pre	561 (100%)	528 (94.1%)	516 (92.0%)	487 (86.8%)
	post	567 (100%)	559 (98.5%)	450 (79.4%)	399 (70.4%)
TF	pre	516 (100%)	463 (89.7%)	397 (76.9%)	389 (75.4%)
	post	497 (100%)	430 (86.5%)	410 (82.5%)	383 (77.1%)
Mean power (W/min)					
KAY	pre	425 (100%)	395 (92.9%)	363 (85.4%)	348 (81.9%)
	post	444 (100%)	428 (96.4%)	360 (81.1%)	324 (73.0%)
TF	pre	379 (100%)	324 (85.5%)	285 (75.2%)	279 (73.6%)
	post	221 (100%)	212 (96.0%)	202 (91.4%)	206 (93.2%)
Rate of power development (W/min ²)					
KAY	pre	70.1 (100%)	66.0 (94.2%)	73.7 (105.1%)	60.9 (86.9%)
	post	81.0 (100%)	93.2 (115.1%)	56.3 (69.5%)	39.9 (49.3%)
TF	pre	73.7 (100%)	92.6 (125.6%)	99.3 (122.5%)	55.6 (75.4%)
	post	71.0 (100%)	86.0 (121.1%)	82.0 (115.5%)	63.8 (89.9%)

KAY : Kayak paddler, TF: Track and Field athlete

Table 3 Heart rate during repeated sprint test

HR max (beats/min)		1st	2nd	3rd	4th
KAY	pre	164	166	169	167
	post	167	169	164	161
TF	pre	173	177	178	182
	post	174	176	178	179
Mean HR (beats/min)					
KAY	pre	134	154	157	159
	post	146	156	154	148
TF	pre	145	154	160	172
	post	140	158	160	168
HR at a start point (beats/min)					
KAY	pre	95	127	128	141
	post	105	127	131	130
TF	pre	101	124	143	156
	post	112	138	140	152
Rate of HR development (beats/min ²)					
KAY	pre	75.2	49.2	50.8	39.7
	post	68.9	51.6	44.6	43.1
TF	pre	78.0	60.9	46.1	39.7
	post	68.9	48.4	48.4	40.4

KAY : Kayak paddler, TF: Track and Field athlete
HR : Heart rate

Table 4 Oxygen uptake during repeated sprint test

$\dot{V}O_2$ max (ml/kg/min)		1st	2nd	3rd	4th
KAY	pre	39.9	41.7	39.6	45.0
	post	38.1	44.1	40.2	40.5
TF	pre	31.4	32.8	34.8	35.8
	post	29.9	30.6	31.6	31.6
Mean $\dot{V}O_2$ (ml/kg/min)					
KAY	pre	20.5	23.2	23.6	24.7
	post	21.6	28.8	26.8	34.8
TF	pre	17.8	23.5	21.9	24.4
	post	18.2	21.7	21.5	22.6
Rate of $\dot{V}O_2$ development (ml/kg/min ²)					
KAY	pre	60.2	44.7	47.3	50.2
	post	49.9	51.6	53.1	56.4
TF	pre	52.7	47.5	53.6	37.2
	post	53.1	44.5	56.4	55.0

KAY : Kayak paddler, TF: Track and Field athlete
 $\dot{V}O_2$: Oxygen uptake

(3) 酸素摂取量

反復性スプリントテスト時の $\dot{V}O_2$ を Table 4 に示した。KAY の $\dot{V}O_{2max}$ では、硝酸塩摂取前に、セット数を経るごとに増加し、セット数経過に伴い有酸素系のエネルギー供給系にシフトしていったことが観察された(39.9 → 41.7 → 39.6 → 45.0 ml/kg/min)。21日間の硝酸塩摂取により、そのセット数を経るごとに増加していった $\dot{V}O_2$ は2セット目をピークにその値は抑制された(38.1 → 44.1 → 40.2 → 40.5 ml/kg/min)。一方、TF の $\dot{V}O_{2max}$ は硝酸塩摂取に関わらずセット数の増加に伴い増加した。KAY の $\dot{V}O_2$ の1分間平均値は、硝酸塩摂取前で、セット数の増加に伴い増加していった。硝酸塩摂取後の $\dot{V}O_2$ の1分間平均値は、2、3セット目で一定の値を示したが、4セット目で大きく増加した。一方、TF の $\dot{V}O_2$ の1分間平均値は、硝酸塩摂取に関わらず2セット目にピークを迎え、その後はほぼその値のまま推移した。

IV. 考察

カヤックスプリント競技の200m種目は、国内のトップ大会における成年女子の競技時間が1分以内に終了する爆発的なパワー発揮と、かつ有酸素的なエネルギー供給を必要とすること、また短期間の休息の後、レースを複数回繰り返すことが多い種目であることが知られている。本研究は、カヤックスプリント200mを専門種目とする大学生女子エリート選手を対象として、硝酸塩が豊富なビートルートジュースの21日間の経口摂取がカヤック200mのタイム、WAnTを用いた無酸素性運動能力、及び抗疲労を視野に入れた反復性スプリント能力テストにどのような影響を与えるかを検討した。

カヤックシングル200mタイムトライアルは、硝酸塩摂取の前後2回の測定に際し、風速、風向、流速、流向等のレースの条件が大きく異なり (Table 1)、残念なことではあるが、タイムトライアルの結果 (pre:44.2秒, 最大スピード:4.6 m / 秒, 21日目:46.3秒, 最大スピード:5.1m/秒) を単純に比較することは困難であった。そのため、今後はダムなどの流速や風速が比較的静水に近く、日によって異なり難い環境を出来るだけ均一にした形でタイムトライアルを行う必要性を感じている。

21日間の硝酸塩摂取における反復性スプリント能力テストにおいて、KAYの脚発揮最大パワー、及び平均発揮パワーは、TFとの比較において、硝酸塩経口摂取前ではWAnT1セット目からセット数を重ねるごとに低下したのに対し、21日間の硝酸塩経口摂取後では、2セット目までは1セット目の初期値を維持し、3セット目以降に大きく減じた。KAYの筋パワー立ち上がり速度については、摂取前はWAnTのセット数増加に伴い減じたのに対し、硝酸塩摂取後は2セット目までは一定の値を示したが、3セット目以降は大きく減少したことを観察した。反復性スプリント能力テスト時の心拍数については、WAnTのセット開始時の心拍数は、KAYはpreでは1セット目からセット数を重ねるごとに増加したのに対し、postでは、1セット目はやや低値を示したが、2セット目以降は一定値を推移した。BR摂取によるパワー系の間欠的スプリント能力の向上は、筋内の毛細血管網発達による酸素輸送など筋代謝亢進による有酸素的な生理学的適応に起因することが報告されている^{19, 22, 25)}。これらのことを考え合わせると、本研究で得られたWAnTの1セット目から2セット目にかけてのパワー低下の緩和や、それぞれのセット開始時の心拍数上昇の軽減は、部分的ではあるが、硝酸塩摂取由来の筋

代謝の亢進に起因する抗疲労に効果的であることを示唆した。

Kristin et al.¹²⁾ は、女性水球競技のエリート選手を対象にパワー系の間欠的スプリントテストを行ったがBR摂取による無酸素性運動能力に顕著な変化はみられなかったことを示している。本研究で得られた結果は、WAnTのセット数増加に伴う間欠的なパワー発揮能力の低下の軽減が認められた。Kristin et al.¹²⁾ の研究で用いられた水球選手が本研究で用いたカヌー選手よりも体格が勝っていることがわかっている（水球選手>カヌー選手）。これらのことを考え合わせると、摂取した硝酸塩量が同じであることから、体重当たりに換算した場合の硝酸塩摂取量が本研究の方が高かったことが本研究の結果との違いに反映しているのかもしれない。今後さらなる検討が必要と思われる。

以上のことから、本研究の21日間のBR摂取は、反復性スプリント能力テストにおいて、カヌー選手のWAnT 2セット目までの無酸素系パワー発揮にプラスの影響を及ぼした知見は、BR摂取がカヌー競技のパフォーマンス向上に貢献する可能性を示し、これからのより一層の研究が期待される。

参考文献

1. Andrew MJ (2014) Dietary nitrate supplementation and exercise performance. *Sports Med*, 44: 35-45.
2. Bailey SJ, Winyard P, Vanhatalo A, Blackwell JR, Dimenna FJ, Wilkerson DP, Tarr J, Benjamin N and Jones AM (2009) Dietary nitrate supplementation reduces the O₂ cost of low-intensity exercise and enhances tolerance to high-intensity exercise in humans. *J Appl Physiol*, 107: 1144-1155.
3. Bar-Or O (1987) The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability. *Sports Med*, 4: 381-394.
4. Cutler C, Kiernan M, Willis JR, Gallardo-Alfaro L, Casas-Agustench P, White D, Hickson M, Gabaldon D and Bescos R (2019) Post-exercise hypotension and skeletal muscle oxygenation is regulated by nitrate-reducing activity of oral bacteria. *Free Radic Biol Med*, 143: 252-259.
5. Domínguez R, Cuenca E, Maté-Muñoz JL, García-Fernández P, Serra-Paya N, Estevan MC, Herreros PV and Garnacho-Castaño MV (2017) Effects of beetroot juice supplementation on cardiorespiratory endurance in athletes. A systematic review. *Nutrients*, 9: 43-66.
6. Domínguez R, Garnacho-Castaño MV, Cuenca E, García-Fernández P, Muñoz-González A, Jesús F, Lozano-Estevan MC, Fernandes da Silva S, Veiga-Herreros P and Maté-Muñoz JL (2017) Effects of beetroot juice supplementation on a 30-s high-intensity inertial cycle ergometer test. *Nutrients*, 12: 1360-1380.
7. Erzurum SC, Ghosh S, Janocha AJ, Xu W, Bauer S, Bryan NS, Tejero J, Hermann C, Hille R, Stuehr DJ, Feelischet M and Beallal CM (2007) Higher blood flow and circulating NO products offset high-altitude hypoxia among Tibetans. *Proc Natl Acad Sci USA*, 104: 17593-17598.
8. Ferguson SK, Hirai DM, Copp SW, Holdsworth CT, Allen JD, Jones AM, Musch TI and Poole DC (2013) Impact of dietary nitrate supplementation via beetroot juice on exercising muscle vascular control in rats. *J Physiol*, 591: 547-557.
9. Govoni M, Jansson EA, Weitzberg E and Lundberg JO (2008) The increase in plasma nitrite after a dietary nitrate load is markedly attenuated by an antibacterial mouthwash. *Nitric Oxide*, 19: 333-337.

10. Hazell TJ, Macpherson RE, Gravelle BM, Lemon PW (2010) 10 or 30-s sprint interval training bouts enhance both aerobic and anaerobic performance. *Eur J Appl Physiol*, 110: 153-160.
11. Inbar O, Bar-Or O and James S (1996) The wingate anaerobic test. Champaign, IL, Human Kinetics, 1-7.
12. Jonvik KL, Dijk JW, Senden JM, Loon LJ and Verdijk LB (2018) The effect of beetroot juice supplementation on dynamic apnea and intermittent sprint performance in elite female water polo Pplayers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 28: 468-473.
13. 喜名美香, 坂梨まゆ子, 新崎 章, 筒井正人 (2018) 硝酸塩／亜硝酸塩の不足は代謝症候群, 血管不全, 心臓突然死を引き起こす. *日薬理誌*, 151: 148-154.
14. Lansley KE, Winyard PG, Bailey SJ, Vanhatalo A, Wilkerson DP, Blackwell JR, Gilchrist M, Benjamin N and Jones AM (2011) Acute dietary nitrates supplementation improves cycling time trial performance. *Med Sci Sports Exerc*, 43: 1125-1131.
15. Lundberg JO and Govoni M (2004) Inorganic nitrate is a possible source for systemic generation of nitric oxide. *Free Radic Biol Med*, 37: 395-400.
16. Lundberg JO, Weitzberg E, Cole JA, and Benjamin N (2004) Nitrate, bacteria and human health. *Nat Rev Microbiol*, 2: 593-602.
17. Muggeridge DJ, Howe CF, Spendiff O, Pedlar C, James PE and Easton C (2013) The effects of a single dose of concentrated beetroot juice on performance in trained Flatwater kayakers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab*, 23: 498-506.
18. 中垣浩平, 吉岡利貢, 鍋倉賢治 (2008) カヤックパドリング中の無酸素性及び有酸素性エネルギー代謝の貢献比. *体力科学*, 57: 261-270.
19. Nyakayiru J, Jonvik KL, Trommelen J, Pinckaers PJ, Senden JM, van Loon LJ, and Verdijk LB (2017) Beetroot juice supplementation improves high-intensity intermittent type exercise performance in trained soccer players. *Nutrients*, 9: 314.
20. Smith K, Muggeridge DJ, Easton C and Ross MD (2019) An acute dose of inorganic dietary nitrate does not improve high intensity, intermittent exercise performance in temperate or hot and humid conditions. *Eur J Appl Physiol*, 119: 723-733.
21. Turner AN and Stewart PF (2013) Repeat sprint ability. *Strength Cond J*, 35: 37-41.
22. Thompson C, Vanhatalo A, Jell H, Fulford J, Carter J, Nyman L and Jones AM (2016) Dietary nitrate supplementation improves sprint and high-intensity intermittent running performance. *Nitric Oxide*, 61: 55-61.
23. 和田正信, 坂本 誠, 杉山美奈子, 松永 智 (2006) 高強度運動における筋疲労の要因: 無機リン酸, グリコーゲンおよび活性酸素種の影響. *体育学研究*, 51: 399-408.
24. Wylie LJ, Kelly J, Bailey SJ, Blackwell JR, Skiba PF, Winyard PG, Jeukendrup AE, Vanhatalo A and Jones AM (2013) Beetroot juice and exercise: pharmacodynamic and dose-response relationships. *J Appl Physiol*, 115: 325-336.
25. Wylie LJ, Mohr M, Krstrup P, Jackman SR, Ermiotadis G, Kelly J and Jones AM (2013) Dietary nitrate supplementation improves team sport-specific intense intermittent exercise performance. *Eur J Appl Physiol*, 113: 1673-1684.

(2020年5月8日受理)