

超長時間山岳耐久レースにおけるパフォーマンス向上戦略

高山史徳 (筑波大学体育系、日本学術振興会特別研究員PD)

1. はじめに

トレイルランニングは、主として舗装路以外の山道を走るランニングスポーツである。その中でも本稿では、完走するまでに大よそ1日以上を要するレース（以下「超長時間山岳耐久レース」とする）に焦点を置く。数ある大会の中でもUltra-Trail du Mont-Blanc (UTMB、距離：約168 km、累積標高差：約10,000 m)、The Western States Endurance Run (WSER、距離：約161 km、登りの累積標高：約5,500 m、下りの累積標高：7,000 m)、Tor des Geants (距離：約330 km、累積標高差：約24,000 m) は、世界的に知名度が高い超長時間山岳耐久レースである。日本においては、2012年に日本初の100マイルトレイルレースとして開催されたULTRA-TRAIL Mt.FUJI (距離：約161 km、累積標高差：約8,000 m)、富山湾から駿河湾までを駆け抜けるTrans Japan Alps Race (距離：約415 km、累積標高差：約27,000 m) が代表的な超長時間山岳耐久レースである。

近年、これらの大会を取り上げるメディアは増え、超長時間山岳耐久レースへの関心が高まっている。本稿では、著者の知る範囲で超長時間山岳耐久レースのパフォーマンス向上に役立つ科学的知見を提供する。

2. パフォーマンスの制限要因

マラソンをはじめとする数時間以内で完走できる長距離走のパフォーマンスは、エネルギーの産生能力を表す最大酸素摂取量 (Maximal oxygen uptake: $VO_2\max$)、エネルギーの節約能力を表す走の経済性

(Running economy: RE)、漸増負荷試験における最高走速度といった有酸素性能力によってある程度説明できる。これは、完走時間が大よそ半日までの山岳耐久系レースにも当てはまり、例えばフランスで開催されたInterlacs trail (距離：約75 km、登りの累積標高：3,930 m、下りの累積標高：3,700 m、平均完走時間：約12時間) の完走時間と有酸素性能力との間に密接な関係があることが報告されている¹⁾。

一方、超長時間山岳耐久レースでは、有酸素性能力以外の様々な要因によってパフォーマンスが制限されやすい。WSERあるいはVermont 100 Endurance Race (距離：約161 km) に出場した500名を対象とした調査によると、完走者のパフォーマンスに影響を与えた要因は、足の水泡やマメ、胃腸障害 (吐き気、嘔吐)、筋痛の3点が特に多かった (図1)²⁾。また、未完走者のリタイア要因としては、胃腸障害

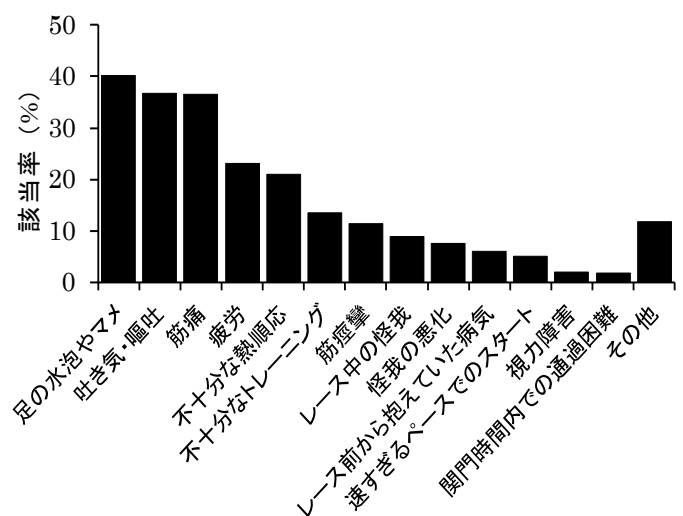


図1 100マイルレース完走者のパフォーマンスに影響を与えた要因複数回答あり、文献²⁾をもとに作成

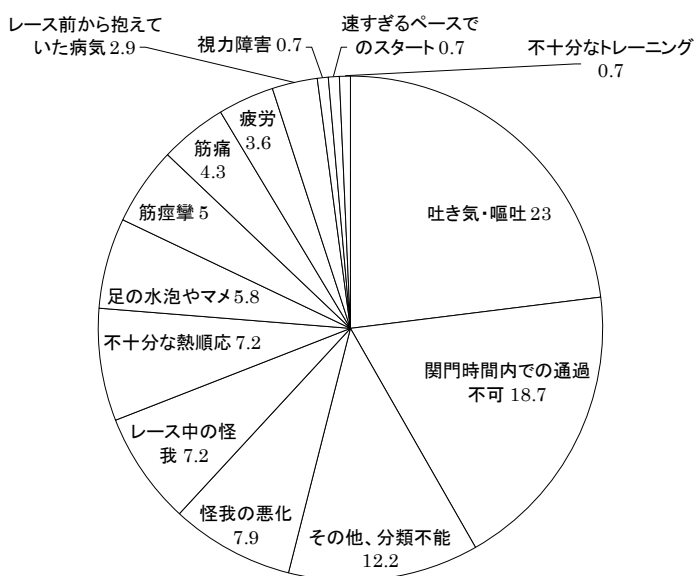


図2 100マイルレースの未完走者のリタイア要因
数値は該当率(%)、文献²⁾をもとに作成

(吐き気、嘔吐) が最も多かった (図2)²⁾。実際、Transalpine-Run 2010 (距離: 約305 km、登りの累積標高: 13,500 m) のレースタイムと有酸素性能力との間には相関関係がないことも報告されている³⁾。したがって、超長時間山岳耐久レースでは、単に優れた有酸素性能力を持つだけでは高いパフォーマンスは保証されず、様々なトラブルの発生を未然に防ぐ技能やトラブルへの対応力によってパフォーマンスが決まる場合が多い。

3. 胃腸障害の原因と要因

前述したとおり胃腸障害は、超長時間山岳耐久レースで頻繁に起こるトラブルであり、パフォーマンスを制限する主要な要因でもある。胃腸障害は、上腹部と下腹部の症状に分類でき、前者には胸痛、ゲップ、吐き気、嘔吐などが含まれ、後者には腹部の痙攣、脇腹痛、鼓腸、尿意、便意切迫感、下痢、腸の出血などがある。WSERに出場した272名を対象とした調査によると、96%のランナーに胃腸障害がおき、完走者のうち44%のランナーのパフォーマンスが胃腸障害によって影響を受けた⁴⁾。

超長時間山岳耐久レースにおける胃腸障害は、様々な原因によって引き起こるとされているが、主な原因としては、1) 内臓への血流低下 (運動中は筋や皮膚に血流が優先的に配分されやすく、胃腸は虚血になりやすい)、2) 腸の膜透過性増加 (摂取した栄養素が大きな分子のまま吸収される)、3) 胃腸の運動性変化 (胃の中に入った飲食物を吸収する速度が低下する)、4) 内臓への物理的な衝撃 (ランニングによる上下動) が挙げられる⁵⁾。

胃腸障害を引き起こす具体的な因子としては、1) 運動の強度と時間 (強度が高くなると胃腸への血流は阻害されやすい、時間が長くなると内臓の振動回数は増加する上、脱水も起きやすい)、2) 脱水 (脱水によって胃腸への血流は阻害されやすく、胃腸障害と体重減少には関係がある)、3) 不適切な量あるいは内容の飲食物の摂取 (摂取した飲食物を消化吸収するには限界があり、個人差も大きい) などが挙げられる⁵⁾。

4. 胃腸障害の予防策

胃腸障害の予防は、超長時間山岳耐久レースで完走するために最重要な課題である。また、胃腸障害は、レース中のエネルギー摂取や水分補給を妨げ、中枢性および末梢性の疲労を誘発する。したがって、胃腸障害を予防することは、優れたパフォーマンスの発揮にも繋がる。

近年の研究によると、トレーニング中に糖質を積極的に摂取することで、ランニング中の糖質酸化率が高まり、胃腸障害を予防できることが明らかになっている⁶⁾。このアプローチは「gut-challenge (胃腸への挑戦)」と呼ばれている。具体的な方法としては、1時間のランニング中に90 g (90 g/h) の糖質含有ジェルを摂取 (0分、20分、40分のタイミングでそれぞれ30 gずつ) するgut-challengeを2週間で合計

1. 登山に関する調査研究

10回行うことで、胃腸障害の予防やパフォーマンスの改善が認められている⁶⁾。一般に、超長時間山岳耐久レースにおける糖質摂取量は、60 g/hを下回るため、この研究におけるgut-challengeの糖質摂取量は非常に多い。

超長時間山岳耐久レースで胃腸障害を起こさなかったランナーは、そうでないランナーに比べて、レース中に積極的に栄養補給をしている。Javelina Jundred (距離：約161 km、砂漠地帯のコースを周回するレース) を対象とした調査によると胃腸障害が起きたランナーは、レース序盤の水分摂取量や脂質の摂取量が低く、レース中の体重減少率も著しかった⁷⁾。超長時間山岳耐久ランナーの中には、脂質酸化能力(糖質の節約能力)の向上を期待して、普段のトレーニング中のエネルギーの摂取を控える者がいる。もちろん、個人の消化吸收できる範囲を超えた大量の栄養補給は胃腸障害の要因となるが、積極的に栄養補給ができることは胃腸障害の予防に繋がる可能性がある。

5. 栄養補給戦略

最適な栄養補給戦略は個々の体格、トレーニング状況、有酸素性能力、胃腸の強さ、飲食物の趣味嗜好などによって異なるため、超長時間山岳耐久レースにおける必要なエネルギー摂取量やエネルギー比率(糖質、脂質、タンパク質の比率)、摂取方法に関する基準を示すことは困難である。また、近年では日常的に糖質制限食(low-CHO ketogenic diets)を摂ることで脂質酸化能力が高まり、超長時間運動のパフォーマンス向上に貢献する可能性に関心が高まっているが、このアプローチを実践しているランナーの栄養補給戦略は、一般的な食事を摂っているランナーとは異なる。本稿では、超長時間山岳耐久レースの特性を踏まえた上で、示唆に富む知見を紹

介する。

超長時間山岳耐久レースでは、エイドステーション(補給所)のみでは十分な栄養補給をすることが困難のため、ランナーはバックパック(ザック)を背負って走ることがほとんどである。そして、バックパックの中には、大会によって異なるが、ウェア、レインジャケット、保険証、夜間走行用ライト、携帯電話、ファーストエイドキットといった食糧品以外の必需品を保持する必要がある、その重量は10 kgを超えることもある。たとえ数kgであってもバックパックを背負った走行は、生理学的負荷を高め、それは重量が増すほど顕著となる⁸⁾。したがって、超長時間山岳耐久ランナーは、1) 生理学的負荷は軽減するが、栄養補給を犠牲にする(低重量バックパック)、2) 生理学的負荷は加重するが、十分な栄養補給を優先する(高重量バックパック)、という相反する二方向の狭間での選択を迫られる。ここでの適切な選択は、個々の胃腸の強さや有酸素性能力、レースの特性(エイドステーションの充足度、所要時間など)によって異なるが、読者にヒントを与えてくれる研究が存在する。Alcock et al.⁹⁾は、1名の男性ウルトラマラソンランナーを対象として、実験室で5日間にわたり毎日5時間30分(9時-14時30分)の走行を課す実験を2条件実施した。このとき1条件は、バックパックは軽いものの栄養補給が少ない制限条件(開始時の重量:9.2 kg、毎日のエネルギー摂取量:約3,300 kcal)であり、別の条件は、バックパックは重い一方で栄養補給が多い完全条件(開始時の重量:14.0 kg、毎日のエネルギー摂取量:約7,200 kcal)であった。その結果、このランナーは完全条件において高い運動強度を維持し、主観的な疲労度やストレスホルモン、炎症反応が軽微であった。すなわち、この研究は、生理学的負荷が多少加重しても十分な栄養補給をすることの重要性を示唆

している。

栄養補給計画を立案する際、日々のトレーニングで使い慣れた補給食を活用することや飲食物の趣味嗜好を考慮することも重要である。特に、複数日に及ぶレースにおいては、甘味の強いジェルやバーを多用する戦略は、味覚疲労 (taste fatigue) によって食欲を減退させる可能性もある。したがって、計画した栄養補給を遂行できるように異なる味が楽しめる食糧品を用意することも大切である。

6. 筋損傷

筋損傷の程度は、運動の強度（走速度）と量（距離）に依存する傾向がある。つまり、高い強度で長時間にわたり走ったときに顕著な筋損傷が起こりやすい。また、著しい筋損傷は伸張性収縮で起こるため、大腿四頭筋が引き伸ばされながら力を発揮する下り基調のレースでも著しい筋損傷が発生する。

完走時間が優に1日を超えるレースでは、筋損傷の血液マーカーであるクレアチンキナーゼ (Creatine kinase: CK) がレースの序盤から顕著に増加している (図3)¹⁰⁾。筋損傷やその代表的な症状である筋痛

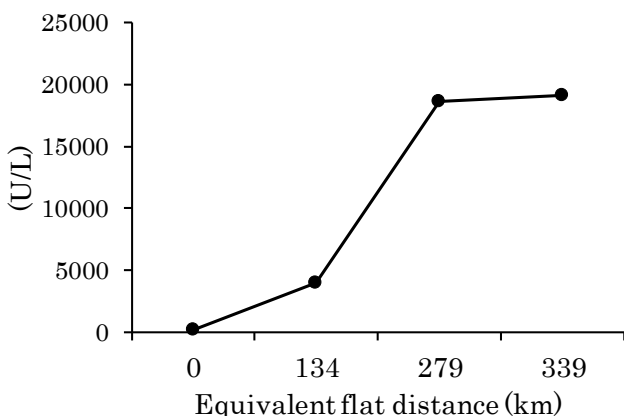


図3 Brazil 135 Ultramarathonのレース前、中、直後のクレアチンキナーゼ数値は男性ランナー6名の平均値、文献¹⁰⁾をもとに作成
Equivalent flat distanceは、標高の変化から算出された平地換算距離(実際の距離は217km)
クレアチンキナーゼの一般的な基準値は約60-250U/L

は、超長時間山岳耐久レースのパフォーマンスに著しい影響を与える。実際、Transalpine-Run 2010のレース途中で測定されたCKは、相対的な運動強度を示す指標である心拍数の低下率と関係することも報告されている³⁾。したがって、超長時間山岳耐久レースで優れたパフォーマンスを発揮するためには、筋損傷への強い耐性が求められる。

筋損傷には、初回の運動後に比べ2回目の運動実施以降に著しく軽減する「繰り返し効果」という現象がある。したがって同一レースを等しいペースで走ったとしても、事前のトレーニング状況に差異があれば、筋損傷の程度は異なる。この点に関して、ロードレースを対象とした面白い研究がある。すなわちKarstoft et al.¹¹⁾は、レース経験が豊富なランナー8名(過去1年間におけるマラソンレースの平均完走回数:34回)を対象として、1日1回のマラソンを1週間連続するウルトラマラソンレース(42.195 km×7日)の前後に血液指標を測定した。その結果、7日目のマラソンレースから20-24時間後に測定されたCKの平均値は640 U/Lであったことを報告している。著者らが最近実施した研究では、大学生市民ランナー16名を対象とした場合、1回のマラソンレース1日後のCKは、おおよそ3,000 U/Lにまで達したことから¹²⁾、Karstoft et al.¹¹⁾が対象にしたランナーの筋損傷は、非常に軽微であったと言える。実際、WSERの完走者を対象として、トレーニング期間中の1週間で走った距離が長いランナーほど完走時間は短いことも報告されており²⁾、超長時間山岳耐久レースで優れたパフォーマンスを発揮するためには十分なトレーニング量が不可欠であることが窺える。

超長時間山岳耐久ランナーのトレーニングについては、ある期間、例えば1週間当たりのトレーニング量ももちろん重要ではあるが、単発のトレーニング

1. 登山に関する調査研究

グの負荷も重要である。ロードの24時間走を対象とした研究ではあるものの、週当たりの走行距離よりも1回のトレーニングで走った最長距離が記録に影響を与えることが明らかになっている¹³⁾。また、100マイルレースの完走者と未完走者の週当たりの走行距離は確かな差がなかったが、1回で走った最長距離は差があったことも明らかになっている¹⁴⁾。この報告では、完走者の1回で走った最長距離の平均値(56 km)に基づき、レースの総距離の35%を1回のトレーニングで走ることが提案されている。その他、短時間であっても傾斜のきついダウンヒルランニング(下り坂走)を実施すると著しい筋損傷が起こるため、短時間でも伸張性収縮を含んだトレーニングを実施することで、超長時間山岳耐久レースの筋損傷を軽減できると著者は考えている。

7. 睡眠

日本人の平均睡眠時間は調査によって異なるものの、概ね6-7時間台とする報告が多い。トレーニングやレースによる身体負荷が高い超長時間山岳耐久ランナーは、心身の回復のために量・質ともに十分な睡眠が不可欠である。その一方、超長時間山岳耐久レースでは、迫りくる眠気に抗いながら走行する能力が求められる。Martin et al.¹⁵⁾によると、完走時間が36時間未満のウルトラマラソンレースでは、レース中の睡眠時間と完走時間との間に有意な相関関係はないが、36時間以上のレースを対象とした場合、睡眠時間が少ないランナーほど完走時間が短い傾向がある。数十時間の断眠は、有酸素性能力に顕著な悪影響を与えないため、出来る限りレース中の睡眠時間を減らすことで高いパフォーマンスに繋がると考えられる。実際、2013年のUTMBを対象とした調査によると、完走者の72%はレース中に睡眠をとらずにレースを終えており、レース中に睡眠

をとったランナーは目標時間に対する完走時間の達成率が悪かった¹⁶⁾。

このように超長時間山岳耐久ランナーには、睡魔に抗う能力が求められる。しかしながら、レース中に睡眠不足が長時間続いた場合、主観的運動強度(きつき)が高まり、パフォーマンスに悪影響を与える可能性もある。また、認知機能が低下するため、転倒や滑落といった危険性も増える。そのような危険性を少しでも減らす有効な戦略としては、レース前夜の睡眠時間を普段以上に確保することが挙げられる。2013年のUTMBの調査によると、レース前夜の睡眠時間を増やす睡眠戦略を採ったランナーは、断眠しながらトレーニングをする機会を設けていたランナーよりも完走時間が短かった¹⁶⁾。事実、海外のウルトラマラソンランナーでは、レース前の睡眠時間や良質な睡眠、昼寝時間を確保することが一般的な戦略として採られている¹⁵⁾。

8. 非ステロイド性抗炎症薬(NSAIDs)

レース中に筋や関節に起こる痛みの軽減を目的として、鎮痛作用を有する非ステロイド性抗炎症薬(Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs: NSAIDs、ステロイド構造以外の抗炎症作用、解熱作用、鎮痛作用を有する薬物の総称)を利用する超長時間山岳耐久ランナーは非常に多い。前述した500名の超長時間山岳耐久ランナーを対象とした調査研究によると、レース出場者の56.3%がNSAIDsを利用していた²⁾。

このように、超長時間山岳耐久レースでは、NSAIDsの利用は一般的である一方、その有効性については否定的な見解が多い。例えば、WSERのレース前およびレース中にNSAIDsの一種であるイブプロフェンを摂取しても、レース後の筋痛やCKの上昇は軽減できず、むしろ血液中の炎症マーカーに過度な増加が認められたことが報告されている¹⁷⁾。

NSAIDsは、シクロオキシゲナーゼ (Cyclooxygenase: COX) を阻害することで鎮痛物質であるプロスタグランジンなどの産生を阻害するが、COXには胃粘膜の保護や腎機能の維持作用がある。したがって、安静時に比べ活動筋に多くの血液が流れる運動時にNSAIDsを利用することは、腎臓への血流量を減らし、腎機能に悪影響を与える可能性がある。Lipman et al.¹⁸⁾ は、7日間で250 kmを走る砂漠マラソン (Racing the Planet, Gobi, Atacama, Ecuador and Sri Lankan Deserts) に出場したランナーを対象として、無作為二重盲検法を用いてイブプロフェン摂取が腎機能に与える影響を検討した。その結果、イブプロフェンを摂取した群としなかった群ともに急性腎障害が認められたが、イブプロフェンを飲むと5.5人に1人の割合で急性腎障害が増えることを明らかにした。また、完走時間が速いランナーやレース後の体重減少が著しいランナーも急性腎障害になった割合が多かった。この他、超長時間山岳耐久レースでのNSAIDsの利用は、胃腸障害を引き起こす可能性なども指摘されている。

以上を踏まえると、パフォーマンスや鎮痛に対する大きな利益が期待できない上、レース後の健康に悪影響を与える可能性を高めるNSAIDsの服用について、超長時間山岳耐久ランナーは慎重になるべきである。

9. おわりに

本稿では、海外の超長時間山岳耐久レースを対象とした研究成果をもとに、パフォーマンス向上に参考になる科学的知見を提供した。特にレース中に頻繁に起こる胃腸障害、筋損傷、眠気といったトラブルの原因や対応策について述べた。一方、運動時間が数十時間や数日に及ぶレースであっても、優れた有酸素性能力を持つことは、大きなアドバンテージ

となる。具体的には、VO₂maxの高いランナーは、そうでないランナーと比べた場合、同一のペースで走った際の相対強度が低いため、胃腸障害のリスクを軽減できる。また、運動中の糖質と脂質の利用割合は相対強度と密接な関係があるため、VO₂maxの高いランナーは糖質が節約できる可能性もある。REに優れることは、エネルギーの節約に繋がり、全身性炎症を軽減できる可能性もある¹²⁾。したがって、マラソンのような持久性競技のパフォーマンス向上を狙ったトレーニング戦略は、ときに超長時間山岳耐久レースのパフォーマンスを高めることに繋がる。重要なことは、そのランナーが何によってレースパフォーマンスの制限を受けているかを把握し、それを克服する方策を採ることである。

超長時間山岳耐久レースを含む1回のウルトラマラソンレースの出場は、身体にダメージを与えるものの、それは一過性かつ可逆的なものであり、長期的な健康に重大な影響を与えるケースはまれである¹⁹⁾。しかし、本稿の後半で述べたNSAIDsの利用や不十分なトレーニング状況でのレース出場は、身体に過度な負担を強いることに繋がる。したがって、超長時間山岳耐久ランナーには、単にトレーニングによって身体を鍛えるだけに留まらず、レースが心身に与える影響やその機序に関する知識の習得が求められる。

■引用文献

1. Balducci P, Clemencon M, Trama R, Blache Y, Hautier C. Performance Factors in a Mountain Ultramarathon. *Int J Sports Med.* 2017 ; 38(11) : 819-826.
2. Hoffman MD, Fogard K. Factors related to successful completion of a 161-km ultramarathon. *Int J Sports Physiol Perform.* 2011 ; 6(1) : 25-37.
3. Gatterer H, Schenk K, Wille M, Raschner C, Faulhaber M, Ferrari M, Burtscher M. Race performance and exercise intensity of male amateur mountain runners during a multistage mountain marathon competition are not dependent on muscle strength loss or cardiorespiratory fitness. *J Strength Cond Res.* 2013 ; 27(8) : 2149-2156.
4. Stuempfle KJ, Hoffman MD. Gastrointestinal distress is common during a 161-km ultramarathon. *J Sports Sci.* 2015 ; 33(17) : 1814-1821.
5. Oliveira EP, Jeukendrup A. Nutritional recommendations to avoid gastrointestinal complaints during exercise. *Sports Sci Exch.* 2013 ; 26(114) : 1-4.
6. Miall A, Khoo A, Rauch C, Snipe RMJ, Camoes-Costa VL, Gibson PR, Costa RJS. Two weeks of repetitive gut-challenge reduce exercise-associated gastrointestinal symptoms and malabsorption. *Scand J Med Sci Sports.* 2018 ; 28(2) : 630-640.
7. Stuempfle KJ, Hoffman MD, Hew-Butler T. Association of gastrointestinal distress in ultramarathoners with race diet. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.* 2013 ; 23(2) : 103-109.
8. Scheer V, Cramer L, Heitkamp HC. Running economy and energy cost of running with backpacks. *J Sports Med Phys Fitness.* 2018. doi: 10.23736/S0022-4707.18.08407-4. [Epub ahead of print]
9. Alcock R, McCubbin A, Camoes-Costa V, Costa RJS. Case Study: Providing Nutritional Support to an Ultraendurance Runner in Preparation for a Self-Sufficient Multistage Ultramarathon: Rationed Versus Full Energy Provisions. *Wilderness Environ Med.* 2018 ; 29(4) : 508-520.
10. Belli T, Macedo DV, de Araujo GG, Dos Reis IGM, Scariot PPM, Lazarim FL, Nunes LAS, Brenzikofer R, Gobatto CA. Mountain Ultramarathon Induces Early Increases of Muscle Damage, Inflammation, and Risk for Acute Renal Injury. *Front Physiol.* 2018 ; 9 : 1368.
11. Karstoft K, Solomon TP, Laye MJ, Pedersen BK. Daily marathon running for a week--the biochemical and body compositional effects of participation. *J Strength Cond Res.* 2013 ; 27(11) : 2927-2933.
12. Takayama F, Aoyagi A, Takahashi K, Nabekura Y. Relationship between oxygen cost and C-reactive protein response to marathon running in college recreational runners. *Open Access J Sports Med.* 2018 ; 9 : 261-268.
13. Knechtle B, Knechtle P, Rosemann T, Lepers R. Personal best marathon time and longest training run, not anthropometry, predict performance in recreational 24-hour ultrarunners. *J Strength Cond Res.* 2011 ; 25(8) : 2212-2218.
14. Tan PL, Tan FH, Bosch AN. Assessment of Differences in the Anthropometric, Physiological and Training Characteristics of Finishers and Non-finishers in a Tropical 161-km Ultra-marathon. *Int J Exerc Sci.* 2017 ; 10(3) : 465-478.
15. Martin T, Arnal PJ, Hoffman MD, Millet GY. Sleep habits and strategies of ultramarathon runners. *PLoS One.* 2018 ; 13(5) : e0194705.
16. Poussel M, Laroppe J, Hurdiel R, Girard J, Poletti L, Thil C, Didelot A, Chenuel B. Sleep Management Strategy and Performance in an Extreme Mountain Ultra-marathon. *Res Sports Med.* 2015 ; 23(3) : 330-336.
17. Nieman DC, Henson DA, Dumke CL, Oley K, McAnulty SR, Davis JM, Murphy EA, Utter AC, Lind RH, McAnulty LS, Morrow JD. Ibuprofen use, endotoxemia, inflammation, and plasma cytokines during ultramarathon competition. *Brain Behav Immun.* 2006 ; 20(6) : 578-584.
18. Lipman GS, Shea K, Christensen M, Phillips C, Burns P, Higbee R, Koskenoja V, Eifling K, Krabak BJ. Ibuprofen versus placebo effect on acute kidney injury in ultramarathons: a randomised controlled trial. *Emerg Med J.* 2017 ; 34(10) : 637-642.
19. Knechtle B, Nikolaidis PT. Physiology and Pathophysiology in Ultra-Marathon Running. *Front Physiol.* 2018 ; 9 : 634.