

酸化ストレス指標を用いた競技選手のコンディション評価に関する研究

A study on evaluating the condition of competitive athletes using
examinations of oxidative stress.

三重大学大学院地域イノベーション学研究科

博士後期課程

谷口耕輔

目次

第1章 緒言	
1. 1 研究の背景と目的.....	2
1. 2 文献研究	5
(1) 生体内の活性酸素.....	5
(2) 抗酸化防御システムと抗酸化物質.....	6
(3) 酸化ストレスの定義.....	7
(4) 酸化ストレスの測定法.....	8
(5) コンディションとコンディショニング.....	10
(6) コンディション指標としての酸化ストレス.....	11
第2章 実業団女子長距離走選手における酸化ストレス測定を用いたコンディション評価 に関する研究	
2. 1 研究目的	15
2. 2 研究方法	17
(1) 対象者	17
(2) 測定期間及び測定回数.....	17
(3) 測定方法及び測定項目.....	17
2. 3 測定結果	20
(1) 定期的に実施した測定項目について.....	20
(2) 酸化ストレスと各測定値との関係.....	21
(3) 競技成績との関係.....	21
2. 4 考察	29
2. 5 結論	33
第3章 高校男子長距離走選手の試合期における酸化ストレス、心理的状态及び主観的コ ンディションに関する研究	
3. 1 研究目的	35
3. 2 研究方法	37

(1) 対象者	37
(2) 測定期間及び測定回数.....	37
(3) 測定方法及び測定項目.....	39
3. 3 測定結果	40
(1) 測定期間中の経時的変化について.....	40
(2) 酸化ストレスと抗酸化力及び気分プロフィール検査との関係.....	41
(3) 大会結果との関係.....	41
3. 4 考察	47
3. 5 結論	51
第4章 安静時における一過性の高濃度酸素吸入が心拍変動及び酸化ストレスに与える影響	
4. 1 研究目的	53
4. 2 研究方法	55
(1) 対象者	55
(2) 測定方法及び測定項目.....	55
4. 3 測定結果	59
(1) 試験ガス吸入前後の項目について.....	59
(2) 試験ガス吸入中の項目について.....	59
4. 4 考察	66
4. 5 結論	70
第5章 総括	
5. 1 総合的考察	72
5. 2 結論	83
謝辞	85
関連論文	86
引用文献	87

第 1 章
緒言

1. 1 研究の背景と目的

競技力向上を目指して、競技者は日々トレーニングに取り組んでいる。競技会などで良い成績を収めるためには、日々のトレーニングの充実が必要不可欠である。スポーツにおけるトレーニングの基本は、体調を整えること（コンディショニング）、過負荷をかけること（オーバーロード）、休養をすること（リカバリー）の繰り返しである。しかしながら、選手強化を図る中での過度なトレーニングは、選手の怪我や体調不良を引き起こし、試合に向けた調整期間においてマイナス面が非常に大きいことが考えられる。そのようなマイナス面をマネジメントするためにもコンディショニングの状態を的確に把握できる客観的指標がコンディショニングにおいて非常に重要な役割を担っているといえる。

トレーニングや運動、特に激しい身体活動においては、酸素摂取量が安静時の10～15倍に増加し、活動筋組織への酸素流量は、安静時の約100倍に達するといわれている（Senら, 1994; Sen, 1995）。通常、酸素は体内に取り込まれた後、ミトコンドリア内のエネルギー産生系で利用される。しかし、酸素が必要なATP産生に利用される過程において、数パーセントの酸素は、活性酸素種（Reactive Oxygen species, ROS）に変化してしまう（Sen, 1995）。ROSは大気中に存在する安定な酸素と比べて反応性が非常に高いため、生体内で過剰な状態になると、生体組織へ様々な障害を引き起こすとされている（Clarkら, 1985; Daviesら, 1982; Jenkins, 1988; Sjödínら, 1990）。ROSの生成が何らかの要因で増加することに対して、生体では抗酸化防御機構が存在しているが、このような防御機構を上回った場合に酸化ストレスが生じるのである。酸化ストレスとは「生体の酸化反応と抗酸化反応のバランスが崩れ、酸化状態に傾き、生体が酸化的障害を起こすこと」（関, 2009）と定義されており、酸化ストレスの強弱（酸化ストレス度）は、「生体にどれだけ酸化的障害を起こす可能性があるか」をROSなどの濃度により、測定することが可能であると考えられている（高野ら, 2009）。

近年、少量の血液サンプルを対象に酸化ストレス度（Reactive Oxygen Metabolites, d-ROMs）と抗酸化力（Biological Anti-Oxidant Potential, BAP）が測定できる機器が開発されたことによって、トレーニング現場での酸化ストレスを比較的簡便に調査することが可能となった（Albetiら, 2000）。

運動と酸化ストレスとの関連性においては、ROSが赤血球膜タンパク質を酸化し、変形能を低下させることによって血液循環を悪化させることや、免疫力の指標であるNK細胞活性

を低下させることにより競技能力に悪影響を及ぼすことがこれまでに指摘されている (Azizbeigi ら, 2013 ; Betten ら, 2004 ; Huang ら, 2000 ; 清水ら, 2011). さらに, 酸化ストレスや抗酸化能力が運動能力や競技成績に及ぼす影響に関する近年の研究では, 短時間高強度の運動パフォーマンスと酸化ストレスとの間に有意な負の相関関係が認められ, 運動前の酸化ストレスのモニタリングがその後の運動パフォーマンスを推測できる可能性が示唆されている (杉田, 2014).

このような背景から, 本研究ではコンディション評価のための客観的指標として, 酸化ストレス指標について着目した. 本博士論文は, 競技現場で評価が可能な酸化ストレス指標 (d-ROMs・BAP) の事例研究を中心とした検討から, コンディション指標としての有用性やその評価に関する研究に主題をおいた.

第2～4章の研究では, いずれも競技選手のコンディション評価及びコンディショニングを高めるための方策について検討しており, 本研究がスポーツ現場におけるコンディショニングへ対する重要性の高まりの中, 酸化ストレス指標がコンディションをより精度を高く評価する指標の一つであることが明らかとなれば, コンディショニングに対してより良い効果を得ることができると期待される. このような客観的指標が競技パフォーマンスの予測・推測にも役立つことが示されれば, コンディショニングが競技力向上に貢献しうる可能性を広げることになると考えられるとともに, 競技現場にのみならず一般社会にも還元できる可能性があり, 産業や地域経済に対しての波及効果の観点からも意義深いといえる.

本論文では, アスリートのコンディション評価のための客観的指標として, 酸化ストレス指標を用いることの有用性や利活用について, 第2章では実業団女子長距離走選手, 第3章では高校男子長距離走選手を対象に事例的に検討し, 第4章では疲労回復のために活用されている高濃度酸素吸入による効果と酸化ストレスに対するデメリットについての検討を行った. これらの研究の総合的考察について, 第5章で述べることとする.

第2章では, 実業団女子長距離走選手を対象に, 酸化ストレスというコンディション指標を定期的に測定し, 指標間の関連性や競技成績との関係などを調査することによって, コンディショニングのための客観的指標として有用であるかを明らかにすることを目的とし, 約2年間という長期間に及ぶ事例研究について報告する.

第3章における高校男子長距離走選手に対しては, 酸化ストレス指標を大会に向けた期間において定期的に測定し, 心理的状態, 主観的コンディションとの関連からコンディショ

ニングのための客観的指標として有用であるかについて検討を加え、コンディションチェックのための指標として利活用するための知見を得ることを目的に研究を遂行した。第2章の研究結果を追試するとともに、競技レベルの異なる対象における酸化ストレス指標の評価法について論じる。

第4章は、運動選手に対する疲労回復のために活用されている高濃度酸素発生器を使用した酸素吸入が、心拍変動や酸化ストレスにどのような影響を与えるのかを検討することで、コンディショニング手法としての有用性についての知見を得ることを目的とし、その実験結果について報告する。

第5章では、これまでの取り組んできた研究と実際に筆者が競技現場において酸化ストレス指標を活用している事例も踏まえ、総合的に考察を行い、競技選手のコンディション評価のための酸化ストレス指標の利活用について論じることとした。

1. 2 文献研究

(1) 生体内の活性酸素

ヒトをはじめとする好気性生物は酸素を利用して多くのエネルギーを得ており、生命維持に酸素は欠かせない物質である。トレーニングや運動、特に激しい身体活動においては、酸素摂取量が安静時の10~15倍に増加し、活動筋組織への酸素流量は、安静時の約100倍に達するといわれている (Sen ら, 1994; Sen, 1995)。通常、酸素は体内に取り込まれた後、ミトコンドリア内のエネルギー産生系で利用される。このように酸素は必要不可欠な物質であるが、酸素が必要なATP産生に利用される過程において、数パーセントの酸素は、活性酸素種 (Reactive Oxygen species, ROS) に変化してしまう (Sen, 1995)。活性酸素とは、広義には酸素を含む反応性の高い化合物、すなわち大気中の酸素分子よりも活性な状態にある酸素種すべてのことを示すが、生体に関しては、一般に、スーパーオキシド ($O_2^{\cdot-}$)、過酸化水素 (H_2O_2)、ヒドロキシラジカル (HO^{\cdot}) 及び一重項酸素 (1O_2) の4種を狭義の活性酸素としている (大石, 2015)。その他にも次亜塩素酸 (HOCl) やオゾン (O_3)、脂質ヒドロペルオキシド (LOOH)、ペルオキシラジカル (LOO^{\cdot})、アルコキシラジカル (LO^{\cdot}) など含めた反応性の高い化合物のことが活性酸素種と考えられている (大石ら, 2001, 表 1-1)。このROSは、その高い反応性ゆえに、生体の様々な分子、すなわち脂質、蛋白質、炭水化物、核酸、あるいは生物学的活性物質などを標的に、多くは非特異的にすみやかに反応する。ROSは、免疫反応や細胞内のシグナル伝達など、生体の向上性維持 (ホメオスタシス) において重要な役割を果たす一方で、脂質、蛋白質及び核酸などの生体分子を酸化傷害するという負の作用も同時に持ち合わせている (Valko ら, 2007)。ROSが生体内で過剰な状態になると、生体組織へ様々な障害を引き起こすとされており、老化やがん、動脈硬化、糖尿病、変性神経疾患などの様々な病態に関わっていると考えられている (Clark ら, 1985; Davies ら, 1982; Jenkins, 1988; Sjödin ら, 1990)。先行研究によれば、安静時においても生体内のあらゆる組織 (肝臓、腎臓、心臓、骨格筋など) でROSの産生が行われていることや、これらの組織では常に一定レベルの酸化傷害が引き起こされていることが報告されている (Nikoladis ら, 2012)。

表 1-1 生体内の活性酸素種

ラジカル		非ラジカル	
$O_2^{\cdot\cdot}$	スーパーオキシド	H_2O_2	過酸化水素
OH^{\cdot}	ヒドロキシラジカル	$HOCl$	次亜塩素酸
LOO^{\cdot}	ペルオキシラジカル	O_3	オゾン
LO^{\cdot}	アルコキシルラジカル	1O_2	一重項酸素
HOO^{\cdot}	ヒドロペルオキシラジカル	$LOOH$	脂質ヒドロペルオキシド

(2) 抗酸化防御システムと抗酸化物質

生体には、ROS による有害な影響から細胞を保護するための抗酸化防御システムが備わっている。特に主要な抗酸化酵素であるスーパーオキシドジスムターゼ (Superoxide dismutase : SOD) やグルタチオンペルオキシダーゼ (Glutathione peroxidase : GPX), カタラーゼ (Catalase : CAT) は重要な働きを持つ酵素である (大石, 2015)。生体内で生じる ROS のほとんどは、スーパーオキシド ($O_2^{\cdot\cdot}$) とみなされており、その消去酵素である SOD は抗酸化酵素システムの最上流に位置していると考えられる。その過程において、SOD の代謝産物である過酸化水素は、GPX や CAT によって代謝され無毒化される (大石, 2015)。

抗酸化防御システムは、上記で記した抗酸化酵素と、ビタミン C やビタミン E などの抗酸化物質から構成されており、細胞内外において基質の酸化を遅らす働きや防止する役割を担っている (Halliwell・Gutteridge, 2015)。また、主な抗酸化物質としては、ビタミン E, ビタミン C, コエンザイム Q10, グルタチオンなどのネットワーク系抗酸化物質があり、その他にもカロテノイド類, ポリフェノール類, ミネラル (微量元素) 類などがあげられる (下村ら, 2013, 図 1-1)。

ネットワーク系抗酸化物質

- ✓ α -リポ酸
- ✓ ビタミンE
- ✓ ビタミンC
- ✓ コエンザイムQ10
- ✓ グルタチオン

カロテノイド類

- ✓ ビタミンA
- ✓ β -カロテン
- ✓ α -カロテン
- ✓ リコピン
- ✓ アスタキサンチン
- ✓ ルテイン
- ✓ β -クリプトキサンチン

ポリフェノール類

- ✓ カテキン
- ✓ レスベラトロール
- ✓ アントシアニン
- ✓ アントシアニン
- ✓ ケルセチン
- ✓ イチョウ葉エキス
- ✓ ビタミンP類
- ✓ 大豆イソフラボン

ミネラル類

- ✓ セレン
- ✓ 亜鉛
- ✓ 銅
- ✓ 鉄

図 1-1 主な抗酸化物質（下村ら，2013 より作図）

（3）酸化ストレスの定義

これまで述べてきたように、生体内では、複雑な調整メカニズムによって、ROS による有害な影響から細胞を保護するための抗酸化防御システムが備わっており、酸化・抗酸化のバランスが保たれている。ROS の生成が何らかの要因（運動、放射線及びアルコールなど）で増加することに対して、生体では抗酸化防御システムが存在しているが、このような防御システムを上回った場合に酸化ストレスが生じるのである。酸化ストレスとは「生体の酸化反応と抗酸化反応のバランスが崩れ、酸化状態に傾き、生体が酸化的障害を起こすこと」（関，2009，図 1-2）と定義されており、酸化ストレスの強弱（酸化ストレス度）は、「生体にどれだけ酸化的障害を起こす可能性があるか」を ROS などの濃度により、測定することが可能で

あると考えられている（高野ら，2009）．上記で記したように ROS に対抗する体内の抗酸化防御システムは，抗酸化酵素と酵素以外の抗酸化物質によるものから成り立っている．酸化ストレスの程度は，ROS の生成と抗酸化防御システムのバランス（図 1-2）によって決まることから，ROS の生成量が変わらなくとも，抗酸化防御システムが低下すれば酸化ストレスが引き起こされる（下村，2013）．酸化ストレスが慢性化することは，糖尿病，がん，循環器疾患及び神経障害などの疾患の発症やその進行に深く関わり，老化へも影響することが懸念されている（Valiko ら，2007）したがって，ROS を十分処理できる抗酸化防御システムを準備し，ROS を効果的に無毒化処理することは，健康維持にきわめて重要であると考えられる．

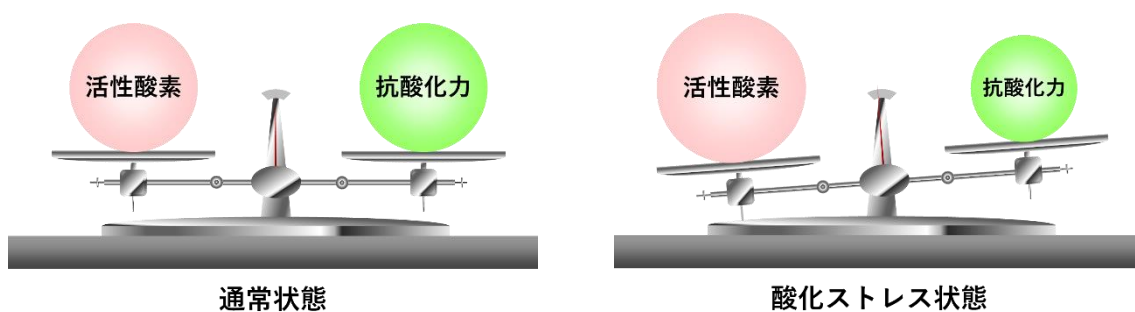


図 1-2 酸化ストレスの概念図

（4）酸化ストレスの測定法

酸化ストレス指標については，大きく 4 つに分類されると考えられている（Powers・Jackson, 2008, 図 1-3）．1 つ目は，ROS などの酸化体（Oxidants）を検出する方法である．ROS の多くは反応性が高いことや半減期が極めて短いことから，直接測定することが困難である．測定方法としては，蛍光プローブやスピントラップ剤などの外因性分子を用いて発光または安定化させた後に ROS をそれぞれ計測する．このように ROS を直接検出することは非常に難しく，また生体の酸化ストレスは，酸化反応と抗酸化反応のバランスによるものであることから，酸化体の測定だけでは酸化ストレスを厳密に評価することはできないと考えられている（Powers・Jackson, 2008；鈴木，2014）．

2 つ目は，組織の抗酸化の状態を測定する方法である．抗酸化の状態（濃度または活性）

は、それぞれの組織によって異なるが、酸化ストレスが曝露されることによって上昇あるいは減少を示す。このように抗酸化の状態を測定することは、酸化ストレスを反映する有用な指標であるものの、栄養状態も測定結果に影響を与える可能性があることに注意が必要である (Powers・Jackson, 2008)。

3 つ目は、直接 ROS を測るのではなく、ROS により酸化された酸化生成物 (Oxidation products) の量から測定する方法である。この酸化生成物を評価するには、蛋白質の酸化指標であるカルボニル化蛋白質、脂質の酸化指標である F₂-イソプロスタニン、マロンジアルデヒド、DNA の酸化指標である 8-ヒドロキシグアノシン (8-OHdG) などを測定する方法がある。このような酸化生成物の測定は、酸化ストレスを評価するうえで最も重要であると考えられている (Powers・Jackson, 2008)。

4 つ目は、酸化還元 (レドックス) のバランスを測定する方法である。これまでに最も用いられている指標は、還元型グルタチオン・酸化型グルタチオン比 (GSH/GSSG) である。このようなレドックス指標は、生体内の酸化・抗酸化のバランスを両方から評価できるため、非常に有用な酸化ストレス指標であると考えられている。一方で他の方法と同様に、組織の摘出することやサンプル処理を行うことへの手技が結果に影響を与える可能性について指摘されている (Powers・Jackson, 2008)。

以上のように、これらの酸化ストレス指標には、メリットとデメリットがあることから、単一の酸化ストレス指標を測定するだけではなく、複数の酸化ストレス指標を測定し、酸化・還元のバランスに関しても評価できることが望ましいと考えられる。

近年、少量の血液サンプルを対象に酸化ストレス度 (Reactive Oxygen Metabolites, d-ROMs) と抗酸化力 (Biological Anti-Oxidant Potential, BAP) が測定できる機器が開発された (Albeti ら, 2000)。酸化ストレス度 (d-ROMs) は、生体内の ROS を直接計測するのではなく、それらにより生じた血中のヒドロペルオキシド (ROOH) 濃度を呈色反応で計測し、生体内の酸化生成物の量から酸化ストレス度の状態を総合的に評価するものである (関, 2009)。単位は U. CARR (ユニット・カール) が用いられ、1 U. CARR が過酸化水素 0.08mg/dl に相当する。U. CARR は、d-ROMs テストの発明者である化学者 Mauro CARRATELLI にちなんで独自の単位である (関, 2009)。抗酸化力 (BAP) は、血漿の溶液が三価鉄 (Fe³⁺) から二価鉄 (Fe²⁺) に戻す能力 (還元反応) を示したものである。BAP は、吸光度の変化から酸化された鉄イオン濃度を計算し、抗酸化レベルを評価することが可能である (Iorio, 2010)。なお、BAP は抗酸化物質自体を測定しているわけではないため、図 1-3 には欄外に記してい

る。また、これらの値から、d-ROMs と BAP の比である潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs) を算出することができる。潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs) は、酸化還元 (レドックス) の状態を評価できると考えられ、酸化ストレス防御系を包括的に把握することが可能である (永田ら, 2008)。したがって、d-ROMs と BAP における酸化ストレスの測定は、従来から行われていた測定法よりも比較的簡便に調査ができ、競技現場においても活用しやすい指標であると考えられる。

Makaers of oxidative stress

<u>Oxidants</u>	<u>Antioxidants</u>
Superoxide anions Hydroxyl radical Hydrogen peroxide Peroxynitrite Other radicals	Glutathione Ascorbate Alpha-tocopherol Total antioxidant capacity ----- BAP
<u>Oxidation products</u>	<u>Antioxidant/Pro-oxidant balance</u>
Protein carbonyls Isoprostanes Nitrotyrosine 8-OH-dG 4-hydroxyl-nonenal Malondialdehyde d-ROMs	GSH/GSSH ratio Cysteine redox state Thiol/disulfide state BAP/d-ROMs Other?

図 1-3 酸化ストレスマーカー (Powers・Jackson, 2008 より引用改変)

(5) コンディショニングとコンディショニング

競技力向上を目指して、競技者は日々トレーニングに取り組んでいる。その目的は勝利することであるといえるが、その勝利を収める法則として考えられるのは、必要な時にベストパフォーマンスを発揮できるかどうかであるといえる。ベストパフォーマンス発揮のためには、心技体、すべての要素を総合的かつ包括的にアプローチする必要があり、これを実現するための基盤となるものがコンディショニングであると考えられている (鈴木, 2018)。

また、競技会などで良い成績を収めるためには、日々のトレーニングの充実が必要不可欠である。スポーツにおけるトレーニングの基本は、体調を整えること（コンディショニング）、過負荷をかけること（オーバーロード）、休養をすること（リカバリー）の繰り返しである。しかしながら、選手強化を図る中での過度なトレーニングは、選手の怪我や体調不良を引き起こし、試合に向けた調整期間においてマイナス面が非常に大きいことが考えられる。そのようなマイナス面をマネジメントするためにもコンディションの状態を的確に把握できる客観的指標がコンディショニングにおいて非常に重要な役割を担っているといえる。

コンディションとは、「スポーツにおいて変動する競技的状态を構成する心身の状態、及びアスリートのパフォーマンスに影響を与える全ての要因」と定義されている（西嶋ら、1999）、さらに、西嶋ら（1999）によれば、コンディショニングについては、「現在のコンディションと目標とするコンディションとの間のギャップを最小化するプロセス」と考えられており、競技選手に対してはベストパフォーマンスを発揮するための総合的かつ包括的なアプローチであるといえる（西嶋ら、1999；鈴木、2018）。このように選手のパフォーマンスに影響を与える客観的な指標を、より明確に提示することができれば、目標とした競技会に対するコンディショニングを行ううえで、重要な手がかりとなり、ベストパフォーマンス発揮ための効果的なアプローチとなると考えられる。

（6）コンディション指標としての酸化ストレス

競技現場におけるコンディションの指標としては、選手によるセルフケアとトレーナーやコーチ、スポーツドクターによるプライマリーケアが中心となり、さらに詳細な分析として、二次ケアとしての項目があげられる（和久・河野、2007、表1-2）。

上記のようなコンディションの指標を用いたコンディション評価に関する研究は、選手自身によるセルフモニタリングとして心拍数、体重、自覚的コンディションなどがあり、これらを起床・就寝時に継続的に記録することでコンディションの変化を捉えることが有効であるとする研究（松村、2009；白倉・河野、1990）や、尿検査や血液検査によってトレーニング負荷が適正であるかや選手の疲労を把握する研究（松生・永富、2006；新畑、2000；和久ら、1995）などが行われてきている。尿や血液から得られる様々な指標が存在するが、選手のコンディションをより精度を高く評価することができれば、コンディショニングに対してより良い効果を得ることができると期待される。また、ベストコンディションを維持するためには、選手自身の主観的指標のみならず、的確にチェックできる客観的指標も必要

であると考えられる。

運動と酸化ストレスの関係を示した先行研究によると、運動誘発性の酸化ストレスが免疫機能低下を引き起こすことや筋損傷・筋疲労に繋がることが示唆されている (Schneider・Tiidus, 2007 ; Meeus ら, 2013)。さらに、ROS が赤血球膜タンパク質を酸化し、変形能を低下させることによって血液循環を悪化させることや、免疫力の指標である NK 細胞活性を低下させることにより競技能力に悪影響を及ぼすことがこれまでに指摘されている (Azizbeigi ら, 2013 ; Betten ら, 2004 ; Huang ら, 2000 ; 清水ら, 2011)。アスリートのコンディション評価において、比較的簡便に調査が可能な d-ROMs・BAP を用いた検討も行われてきている。杉浦ら (2011) の報告によれば、アスリートのコンディション (特に疲労) の評価に酸化ストレス指標 (d-ROMs・BAP) の測定が有効である可能性が示唆されている (杉浦ら, 2011)。また、酸化ストレスや抗酸化能力が運動能力や競技成績に及ぼす影響に関する近年の研究では、短時間高強度の運動パフォーマンスと酸化ストレスとの間に有意な負の相関関係が認められ、運動前の酸化ストレスのモニタリングがその後の運動パフォーマンスを推測できる可能性についても検討されてきている (杉田, 2014)。

このようにコンディション評価のための客観的指標として、酸化ストレス指標 (d-ROMs・BAP) を評価することは、競技選手に悪影響を及ぼす因子を把握し、運動パフォーマンスを推測できる観点からも非常に有用性が高い指標であると考えられる。

表 1-2 コンディションの指標 (和久・河野, 2007 より引用)

1. セルフケア

心拍数

血 圧

体 温

体 重

平衡機能テスト (閉眼片足立ちテスト, マンテストなど)

自覚的コンディション (体調, 疲労, 睡眠状況, 技術的調子など)

トレーニング内容 (強度, 量, 時間など)

profile of mood states (POMS)

2. プライマリーケア

圧痛テスト: 足底部, 足甲部, 下腿部, アキレス腱部, 膝部, 腰部など傷害好発部位の圧痛度

スティフネステスト: SLR, 尻上がりテスト, 膝関節外旋テストなど

尿検査: 尿タンパク, 潜血, 尿中カテコールアミンなど

負荷テスト: 一定のパフォーマンステストにおける成績とその際の心拍数, 血圧, 乳酸値,
カテコールアミンなどの反応

フィットネステスト: 有酸素能力, 無酸素能力, 筋力など

3. 二次ケア

血液学的指標: ヘモグロビン

血液生化学的指標: 乳酸, フェリチン, アンモニア, CPK, CKなど

免疫学的指標

一般的炎症免疫検査: 赤血球沈降速度, CRP

液性免疫機能: 免疫グロブリン, 分泌型IgA, 血清補体面など

細胞性免疫機能: T細胞/B細胞比率, リンパ球幼若化反応, NK細胞, 単球機能など

内分泌学的指標: テストステロン, コルチゾール, SHBG, カテコールアミン, 成長ホルモンなど

第2章

実業団女子長距離走選手における酸化ストレス測定を用いた
コンディション評価に関する研究

2. 1 研究目的

競技力向上を目指して、競技者は日々トレーニングに取り組んでいる。競技会などで良い成績を収めるためには、日々のトレーニングの充実が必要不可欠である。スポーツにおけるトレーニングの基本は、体調を整えること（コンディショニング）、過負荷をかけること（オーバーロード）、休養をすること（リカバリー）の繰り返しである。選手の疲労度の把握に役立つ指標を用いながら、客観的にコンディションをモニタリングし、調整することが望ましく、コンディショニング管理において客観的指標を示し、モニタリングしていくことが極めて重要であると考えられる。選手の体調や疲労度などを客観的に把握し、トレーニングプログラムに活かすことができれば、競技力の向上や試合でのベストパフォーマンスの発揮に関して大きな期待ができる。

これまでのコンディション評価に関する研究は、選手自身によるセルフモニタリングとして心拍数、体重、自覚的コンディションなどがあり、これらを起床・就寝時に継続的に記録することでコンディションの変化を捉えることが有効であるとする研究（松村，2009；白倉・河野，1990）や、尿検査や血液検査によってトレーニング負荷が適正であるかや選手の疲労を把握する研究（松生・永富，2006；新畑，2000；和久ら，1995）などが行われてきている。尿や血液から得られる指標として様々な指標が存在するが、選手のコンディションをより精度を高く評価することができれば、コンディショニングに対してより良い効果を得ることができると期待される。また、ベストコンディションを維持するためには、選手自身の主観的指標のみならず、的確にチェックできる客観的指標も必要であろう。

酸化ストレスとは「生体の酸化反応と抗酸化反応のバランスが崩れ、酸化状態に傾き、生体が酸化的障害を起こすこと」（関，2009）と定義されており、酸化ストレスの強弱（酸化ストレス度）は、「生体にどれだけ酸化的障害を起こす可能性があるか」をROSなどの濃度により、測定することが可能であると考えられている（高野ら，2009）。

近年、少量の血液サンプルを対象に酸化ストレス度（Reactive Oxygen Metabolites, d-ROMs）と抗酸化力（Biological Anti-Oxidant Potential, BAP）が測定できる機器が開発されたことによって、トレーニング現場での酸化ストレスを比較的簡便に調査することが可能となった（Albetiら，2000）。その結果、陸上競技選手を対象とした合宿での酸化ストレスの評価を行った研究（杉浦ら，2011）など、d-ROMs, BAPがコンディションの客観的指標として活用できるかどうかを検討した報告もみられる。しかしながら、これまでの報告では

実施期間が短く、対象者も少数であることから、現場に還元できる指標としての酸化ストレスの利活用を考えると、長期間に及ぶモニタリングや選手ごとの変化を捉えることに関しては、情報が少ないのが現状である。さらに、トップレベルで活躍する選手を対象として酸化ストレス状態の変化を調査することや、競技成績との関係を検討することは、意義深いと言える。

そこで本研究では、実業団女子長距離走選手を対象に、酸化ストレスというコンディション指標を定期的に測定し、指標間の関連性や競技成績との関係などを調査することによって、コンディショニングのための客観的指標となるかどうかを明らかにすることを目的とした。

2. 2 研究方法

(1) 対象者

実業団女子長距離走選手14名(平均値±標準偏差, 年齢:23.1±4.1歳, 身長:159.5±4.2cm, 体重:45.5±3.6kg)を対象とした。2015年12月8日の時点での5000mの平均ベスト記録は, 15分47.0±19.5秒である。選手には事前に今回の測定内容及び危険性を口頭及び書面で十分に説明し, 本調査への参加の承諾を得た。本調査において不利益なことが起こった場合には, いつでも中止できることを説明した。なお, 選手14名のうち7名が2014年12月, 2015年12月の全日本実業団女子駅伝に出場した選手であった。

(2) 測定期間及び測定回数

測定期間は2014年10月8日から2015年12月8日までの14ヶ月間であった。選手の全員がチームの寮に住んでいたため, 生活リズムや食事の内容には大きな差はなかった。しかしながら, 選手全員が同一のトレーニングを実施していたということではなく, 怪我を抱えている選手など, 選手によって異なったトレーニングを行っていた。測定は, 選手にチームの寮の一室あるいは寮近くのトレーニングルームに来室してもらい, 週1, 2回から数ヶ月に1回の間隔で実施した。測定回数は, 計30回であったが, 選手によってその回数は異なっていた(19回~28回)。また, 測定項目の睡眠時間は2014年11月7日から, 目覚めの体調と脚の筋肉の状態については, 2015年2月10日から実施した。自律神経活動の測定は, 2015年9月23日から実施し, その測定回数は, 計8回であった。

(3) 測定方法及び測定項目

I. 酸化ストレス度及び抗酸化力の測定

血液中の酸化ストレス度(d-ROMs)と抗酸化力(BAP)は, フリーラジカル解析装置(FREE carpe diem: Diacron International社製, 輸入元ウイスマー社)を用いて測定した。この装置を用いた測定法の妥当性及び再現性については, これまでに他の論文において報告されている(Iameleら, 2002; Nakayamaら, 2007)。測定手順としては, 来室後, 主観的コンディション等の聞き取りを行い, その後, 採血用穿刺器具(セーフティプラス: ロッシュ・ダイアグノスティックス社製)を用いて指尖より約100 μ lの血液を採取し, 検体を装置内の遠心分離機にて2分間遠心分離させた。d-ROMsの測定方法は, 遠心後の血液から

20 μ l の血漿を採取し、pH4.8の酸性緩衝液に入れ混合、さらに、無色の芳香族アミン水溶液（呈色液クロモゲン）を添加し混合、装置内の光度計に入れ5分後に505nmの吸光度の減少を測定し、変化率から血漿中ヒドロペルオキシド濃度を計算する。d-ROMsは生体内の活性酸素やフリーラジカルを直接計測するのではなく、それらにより生じた血中のヒドロペルオキシド（ROOH）濃度を呈色反応で計測し、生体内の酸化ストレス度の状態を総合的に評価するものである（関，2009）。単位はU.CARR（ユニット・カール）が用いられ、1 U.CARRが過酸化水素0.08mg/dlに相当する。U.CARRは、d-ROMsテストの発明者である化学者Mauro CARRATELLIにちなんだ独自の単位である（関，2009）。基準値としては、正常値：200-300，ボーダーライン：301-320，軽度の酸化ストレス：321-340，中程度の酸化ストレス：341-400，強度の酸化ストレス：401-500，かなり強度の酸化ストレス：501以上が適用されており（関，2009），かなりの強度の酸化ストレスのように大きく高値を示す状態においては、癌など重篤な疾患を患っている場合が考えられる値である（永田ら，2008）。一方、BAPの測定方法は、チオシアン酸誘導体を含む試薬と鉄イオンを含む試薬を混合し、装置内の光度計に入れ505nmの吸光度を測定する。この混合液に10 μ lの血漿を加え、37°Cで5分間保温した後、再び吸光度を測定する。5分間の吸光度の変化から酸化された鉄イオン濃度を計算する。BAPは血漿の溶液が三価鉄（Fe³⁺）から二価鉄（Fe²⁺）に戻す能力（還元反応）を示したものである。単位は μ mol/Lであり、基準値としては、最適値：2200以上，ボーダーライン：2000-2200，抗酸化力がやや不足：1800-2000，抗酸化力が不足：1600-1800，抗酸化力がかなり不足：1400-1600，抗酸化力が大幅に不足：1400以下が適用されている（Iorio，2010）。不足を表す場合などは、食事内容など外因的要素をよく反映していることが指摘されている（永田ら，2008）。d-ROMsは酸化ストレス度，BAPは抗酸化力を示す指標である。また、d-ROMsとBAPの比である潜在的抗酸化能（BAP/d-ROMs）を算出し、酸化ストレス防御系を包括的に評価した（永田ら，2008）。なお、2014年10月15日以降は、測定時間の関係から2台の解析装置を用いて測定した。事前に求めた回帰式（d-ROMs： $y=1.0701x-18.123$ ，BAP： $y=0.6752x+746.75$ ）から、初回で使用した機器の値に修正し、分析を行った。

II. 主観的コンディション及び睡眠時間の聞き取り

主観的コンディションの聞き取りとして、Visual Analog Scale (VAS) 法を用いての主観的な体調、目覚めの体調及び脚の筋肉の状態の測定を行った。VASによる評価は、10cmの物差しスケールの両端の左端を「最も悪い状態」、右端を「最も良い状態」とし、現在の状態を斜線でチェックしてもらうものである。最も悪い状態を0，最も良い状態を100として、

0からの距離を測定し、その長さ（mm）を各主観的コンディションの値とした。また、選手自身の申告から睡眠時間の聞き取りも実施した。

Ⅲ. 自律神経活動の測定

自律神経活動の測定は、指尖末梢血管脈拍を加速度脈波測定機（パルスアナライザープラスビュー-TAS9 VIEW：YKC社製）を用いて2分30秒間実施した。測定手順としては、採血を行った後に寮の一室の隔離された部屋に移動を行い、脈拍測定用のセンサーを左手第2指の指尖に装着し、座位の状態にて測定を実施した。心拍変動の時間領域分析により心拍数（HR：Heart Rate）、心拍1拍ずつの時間の違いである心拍変動標準偏差（SDNN：Standard Deviation of The NN (RR) Interval）、隣り合ったRR間隔の差の二乗の平均値の平方根であるRMSSDを測定し、周波数領域分析により総自律神経活動（TP：Total Power）、低周波数成分（LF：Low Frequency）、高周波数成分（HF：High Frequency、副交感神経活動）を測定し、LF/HF比（交感神経活動指標）を求めた。TP、HF、LF、LF/HF比の各測定データはLn値で示した。また、自律神経活動のバランスを推定するために、HF normalized unit（以下、HFnu、 $HFnu=HF/(LF+HF) \times 100$ ）を求めた。LFに対するHFの大きさを算出することで自律神経活動における副交感神経活動の指標とした（飯塚、2011）。

Ⅳ. 統計処理

測定値は全て平均値（±標準偏差）で示した。各測定日における諸変量の比較は線形混合モデルを用い、有意差が認められた項目については、Bonferroniの多重比較を用いて検討を行った。また、相関分析は各選手の測定値からそれぞれの偏差値を求め、その数値を用いてPearsonの積率相関係数によって分析した。統計処理には、統計処理ソフト（IBM SPSS Statistics 21）を用いた。いずれの場合も危険率5%未満を有意とした。

2. 3 測定結果

(1) 定期的に実施した測定項目について

I. 酸化ストレス (d-ROMs, BAP, BAP/d-ROMs)

測定開始日の2014年10月8日から2015年12月8日までの経時的な推移を図2-1~2-3に示した。d-ROMsの平均値の推移は、2014年10月27日と2015年9月23日の測定日を除いて、200U.CARR~300U.CARRの正常な酸化ストレス度を示す範囲での推移であった(図2-1)。これまでの推移の平均値と各測定日における数値とを比較すると、どの測定日においても有意な差は認められなかった。一方、BAPの平均値の推移をみると、ほとんどの数値はボーダーラインである $2000\mu\text{mol/L}$ 以上の値を示していた(図2-2)。このような推移を示す中でも、2015年2月10日、2015年4月10日、2015年5月8日、2015年10月16日、2015年11月6日、2015年12月5日の測定日においては $2000\mu\text{mol/L}$ 以下で、抗酸化力がやや低下を示す値であった。また、2015年10月16日、2015年11月6日、2015年12月5日の測定値に関しては、全体の平均値と比較すると、有意($p<0.05\sim 0.01$)に低い値であることが認められた(図2-2)。BAP/d-ROMsのこれまでの推移の平均値は、7.294となり、永田ら(2008)が示した日本人の健常者の値である7.541よりも低値を示していた。これまでの推移の平均値と各測定日における数値とを比較すると、どの測定日においても有意な差は認められなかった(図2-3)。

II. 主観的コンディション及び睡眠時間

主観的な体調に関しては、測定開始日の2014年10月8日から、目覚めの体調と脚の筋肉の状態に関しては、測定開始日の2015年2月10日から、睡眠時間は、測定開始日の2014年11月7日からそれぞれ2015年12月8日までの各測定日の平均値を表2-1に示した。主観的な体調の平均値の推移をみると、測定開始日にあたる2014年10月8日の値がこれまでの推移の平均値よりも有意($p<0.05$)に高い値であることが認められた。その他の測定日に関しては、これまでの推移の平均値との間に有意な差は認められなかった。目覚めの体調や脚の筋肉の状態については、両推移とも、これまでの推移の平均値と各測定日の間に有意な差は認められなかった。睡眠時間については、2014年12月5日の値がこれまでの推移よりも有意($p<0.01$)に短い時間であることが認められたが、その他の測定日とは有意な差は認められなかった。

III. 自律神経活動 (SDNN, RMSSD, TP, HF, HFnu, LF/HF比)

自律神経活動については、測定開始日の2015年9月23日から2015年12月8日までの各測定日の平均値を表2-1に示した。SDNN, TP, HF, HFnu, LF/HF比に関しては、これまでの推移の平均値と各測定日における数値とを比較すると、どの測定日においても有意な差は認められなかった。一方、RMSSDについては、測定日2015年12月5日の値がこれまでの推移の平均値よりも有意 ($p < 0.05$) に高い値であることが認められた。

(2) 酸化ストレスと各測定値との関係

酸化ストレスや各測定値の指標は、個人ごとに数値のばらつきが大きいことが確認されたため、同一対象者内において数値が正規分布していることを確認した上で、各選手の測定値から偏差値を算出し、選手ごとのばらつきを考慮して分析に用いた。なお、酸化ストレスの測定回数が20回以下であった選手2名 (Sub. 3, Sub. 12) については、自律神経活動の測定回数も0回であったことから、分析対象から除き、項目間及び競技成績との相関関係を検討することとした。

酸化ストレスと主観的コンディションとの関係についてみると、d-ROMs, BAP, BAP/d-ROMs と主観的な体調、目覚めの体調及び脚の筋肉の状態との間に有意な相関関係は認められなかった。また、睡眠時間との間にも有意な相関関係は認められなかった。一方、自律神経活動の項目においては、HFnu と BAP との間に有意な負の相関関係が認められ、LF/HF比と BAP, BAP/d-ROMs との間には正の相関関係が認められた (表2-2)。

(3) 競技成績との関係

定期的に計測を行った各測定値と競技会 (5000m 走) における成績との関係について検討した。競技成績においては、各測定日から競技会前2日以内の5000m 走の記録を用い、各選手のベストタイムは、2015年12月8日の時点での記録を採用した。各競技会での記録とベストタイムとの割合を求めた。その割合が100%となれば、ベストの記録がその競技会で発揮されたこととなる。上記の条件を満たす競技会は、6レース ($n=19$) であり、選手9名の記録を用いて検討した。なお、自律神経活動の項目については、分析に用いることができるデータ数が少なく、散布図上である選手のデータが大きく偏っているプロットが確認されたことから、今回の検討からは除くこととした。

酸化ストレスとの関係については、d-ROMs, BAP/d-ROMs とベストタイムとの割合の間に有意な相関関係は認められなかった。一方、BAP とベストタイムとの割合の間には、有意な

負の相関関係が認められた ($n=19$, $r=-0.520$, $p<0.05$) (図 2-4).

主観的な体調, 目覚めの体調及び脚の筋肉の状態との関係については, どの項目ともベストタイムとの割合の間に有意な相関関係は認められなかった.

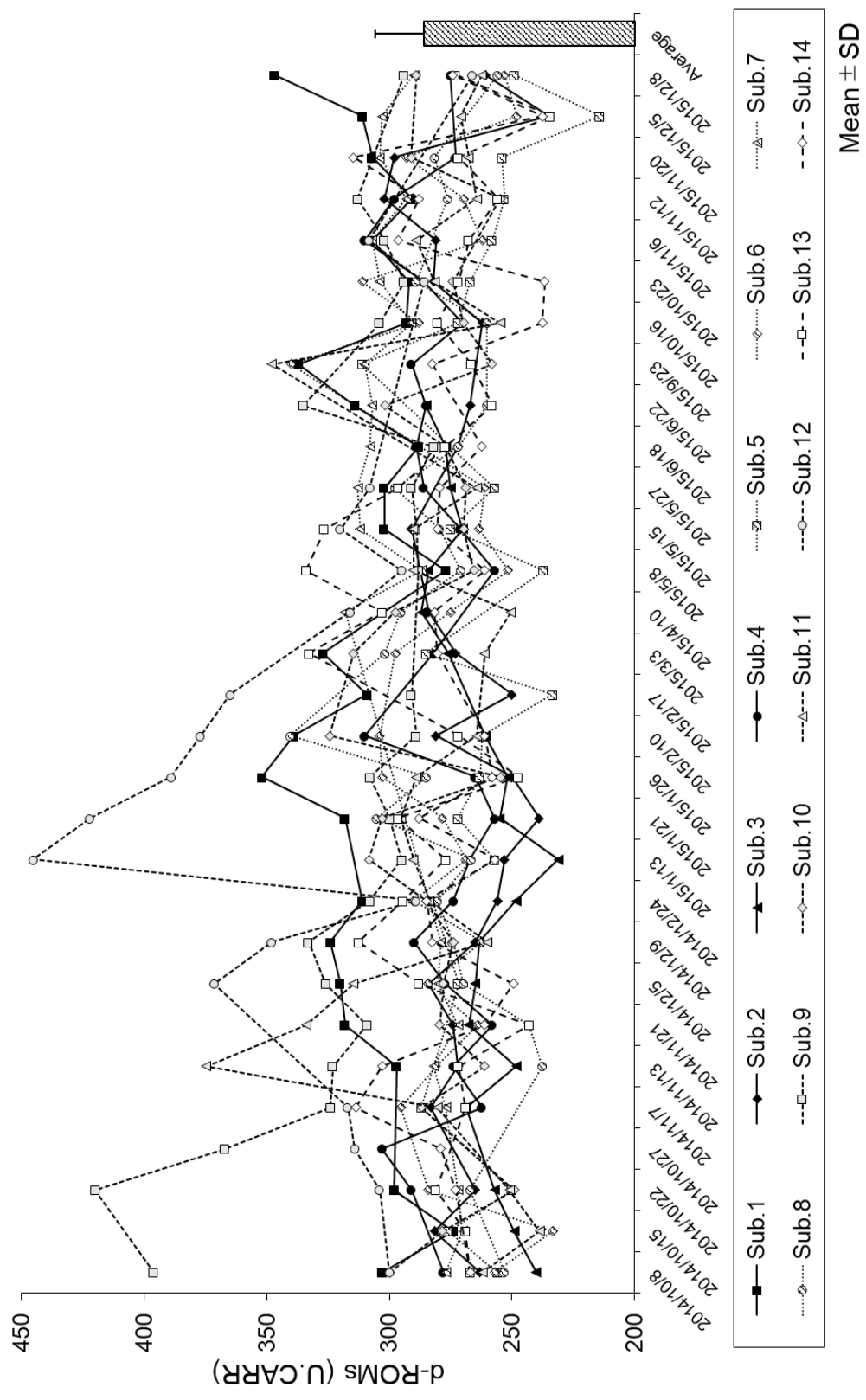


図 2-1 酸化ストレス度 (d-ROMs) の推移

d-ROMs : 酸化ストレス度の指標 U.CARR : 任意単位 (1U. CARR=0.08mgH₂O₂)

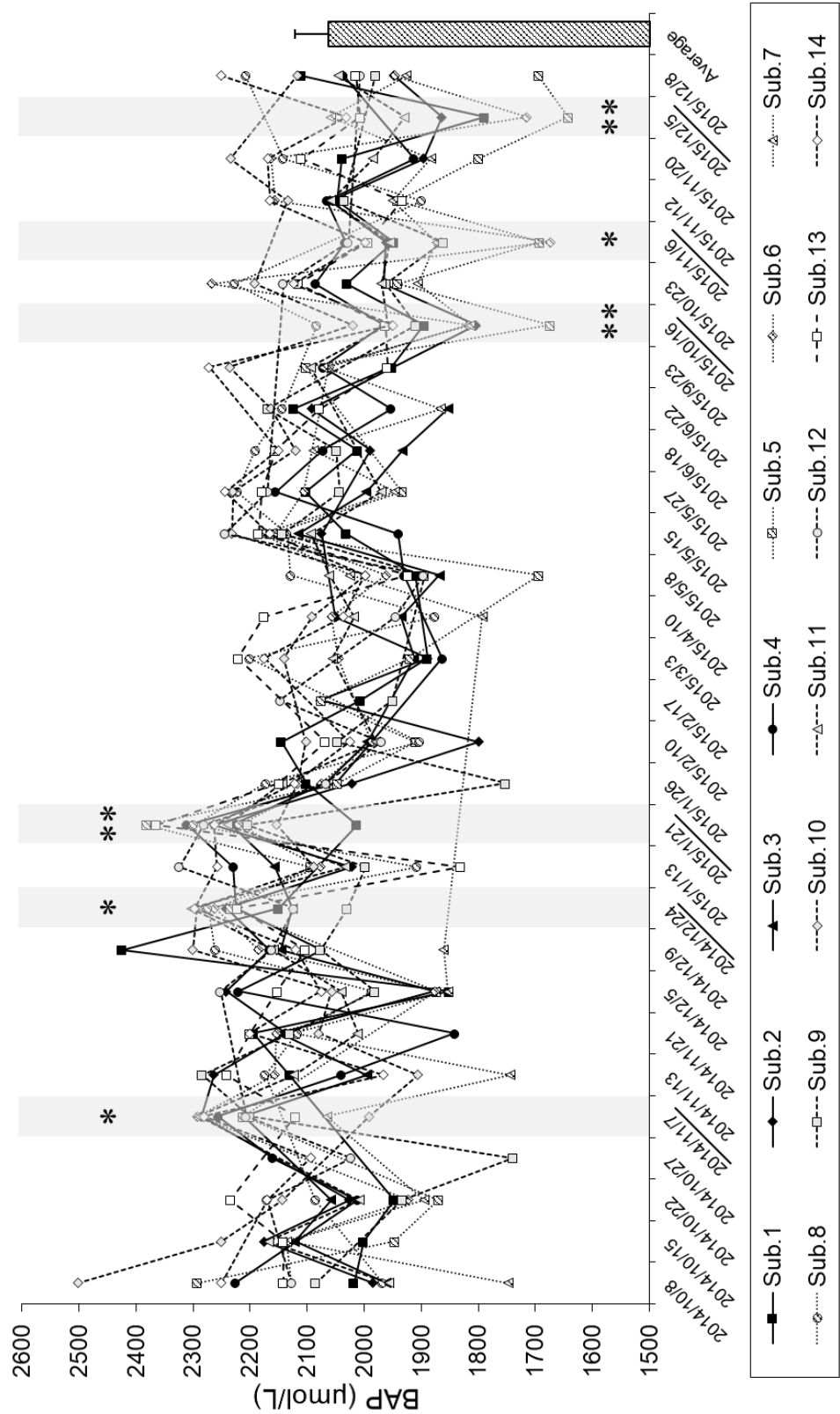


図 2-2 抗酸化力 (BAP) の推移 * : p<0.05, ** : p<0.01 (vs Average) Mean ± SD

BAP : 抗酸化力の指標

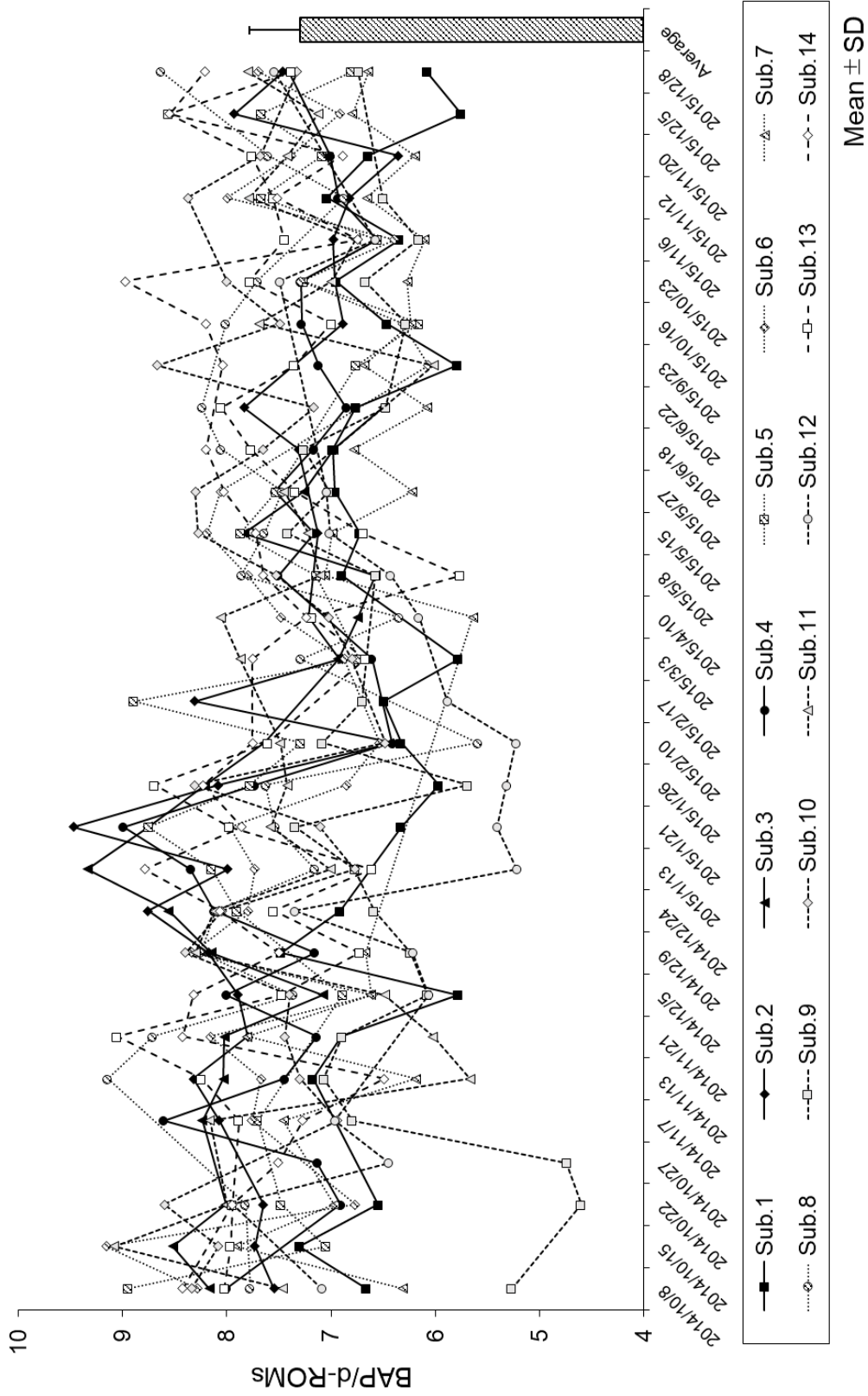


図 2-3 潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs) の推移

表 2-1 各測定日の主観的コンディション，睡眠時間及び自律神経活動の一覧

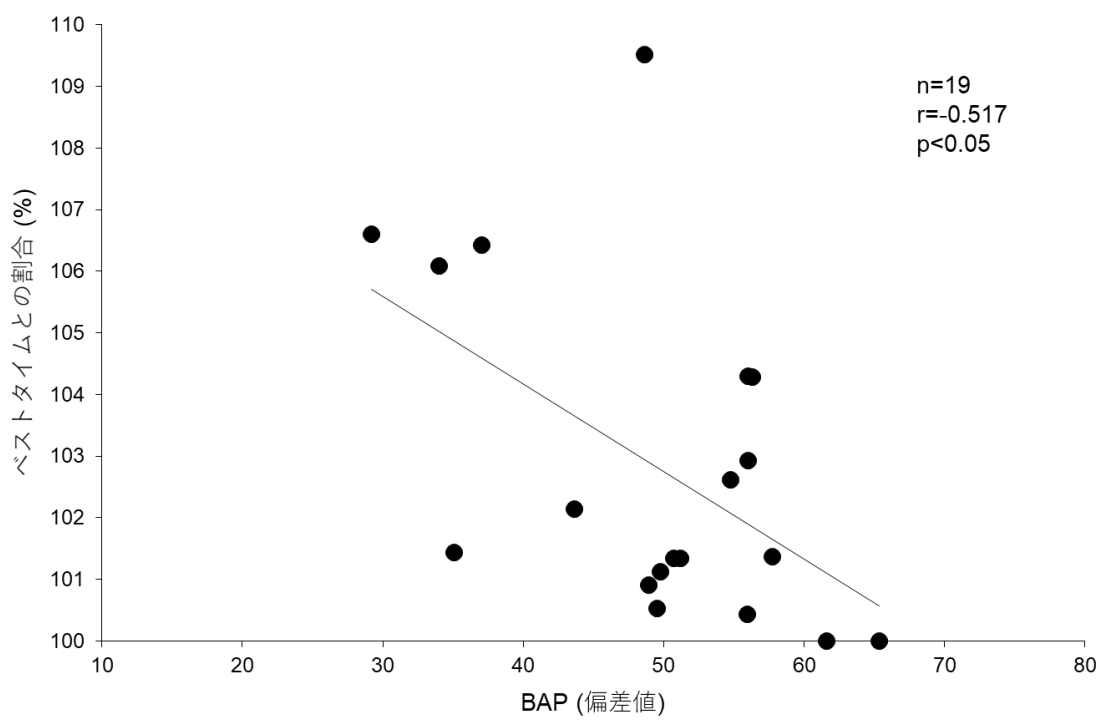
	主観的コンディション			睡眠時間 (min)	自律神経活動					
	主観的な体調 (mm)	目覚めの体調 (mm)	脚の筋肉の状態 (mm)		SDNN (msec)	RMSSD (msec)	Ln Total Power (msec ²)	Ln HF (msec ²)	HF normalized unit (%)	Ln LF/HF比
2014/10/8	61.9 ± 12.0 *	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2014/10/15	59.9 ± 13.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2014/10/22	49.4 ± 16.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2014/10/27	43.8 ± 5.6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2014/11/7	46.3 ± 8.8	—	—	400.0 ± 27.0	—	—	—	—	—	—
2014/11/13	47.7 ± 9.4	—	—	415.0 ± 29.4	—	—	—	—	—	—
2014/11/21	39.0 ± 12.8	—	—	396.3 ± 31.9	—	—	—	—	—	—
2014/12/5	46.3 ± 12.9	—	—	348.2 ± 57.6 **	—	—	—	—	—	—
2014/12/9	44.0 ± 10.3	—	—	385.0 ± 27.7	—	—	—	—	—	—
2014/12/24	38.9 ± 12.5	—	—	406.2 ± 28.2	—	—	—	—	—	—
2014/1/13	40.3 ± 8.9	—	—	399.6 ± 38.6	—	—	—	—	—	—
2014/1/21	39.9 ± 14.6	—	—	396.9 ± 29.3	—	—	—	—	—	—
2015/1/26	49.3 ± 10.2	—	—	403.5 ± 29.7	—	—	—	—	—	—
2015/2/10	49.2 ± 15.6	49.3 ± 15.8	45.3 ± 18.0	393.8 ± 38.5	—	—	—	—	—	—
2015/2/17	45.8 ± 13.9	44.6 ± 14.9	46.4 ± 14.6	375.0 ± 35.5	—	—	—	—	—	—
2015/3/3	38.4 ± 14.7	41.4 ± 14.3	35.5 ± 10.6	385.5 ± 18.6	—	—	—	—	—	—
2015/4/10	46.4 ± 12.4	44.5 ± 12.5	45.2 ± 8.0	392.0 ± 14.0	—	—	—	—	—	—
2015/5/8	45.4 ± 13.2	51.5 ± 17.4	42.6 ± 12.5	417.3 ± 24.5	—	—	—	—	—	—
2015/5/15	42.7 ± 12.4	42.1 ± 11.4	36.5 ± 12.5	410.0 ± 41.5	—	—	—	—	—	—
2015/5/27	43.1 ± 16.2	49.2 ± 11.3	38.4 ± 14.8	395.4 ± 22.3	—	—	—	—	—	—
2015/6/18	38.6 ± 12.7	45.4 ± 13.6	41.5 ± 13.7	396.0 ± 25.4	—	—	—	—	—	—
2015/8/22	40.0 ± 10.7	39.0 ± 9.8	41.3 ± 11.2	386.7 ± 24.6	—	—	—	—	—	—
2015/9/23	38.7 ± 14.4	42.6 ± 14.0	38.8 ± 12.8	403.9 ± 26.5	80.2 ± 17.7	84.8 ± 25.0	7.91 ± 0.39	7.10 ± 0.52	68.4 ± 25.8	0.87 ± 0.19
2015/10/16	43.3 ± 11.3	46.7 ± 11.5	42.0 ± 9.8	395.4 ± 37.0	80.6 ± 31.2	89.1 ± 52.0	7.80 ± 0.62	6.84 ± 1.16	68.1 ± 19.9	0.89 ± 0.17
2015/10/23	50.2 ± 15.1	47.9 ± 15.7	37.8 ± 14.4	404.6 ± 29.6	85.1 ± 23.9	85.2 ± 40.7	7.95 ± 0.49	7.10 ± 0.79	65.7 ± 23.1	0.91 ± 0.19
2015/11/6	46.0 ± 9.5	43.1 ± 11.5	46.7 ± 12.3	386.8 ± 44.0	71.7 ± 25.7	68.9 ± 24.9	7.63 ± 0.56	6.45 ± 0.86	64.0 ± 22.8	0.90 ± 0.18
2015/11/12	51.6 ± 7.7	49.1 ± 9.7	51.0 ± 7.6	399.6 ± 28.2	67.4 ± 20.6	67.8 ± 36.1	7.61 ± 0.69	6.54 ± 1.06	63.8 ± 22.1	0.94 ± 0.25
2015/11/20	50.5 ± 10.0	48.5 ± 10.6	46.6 ± 10.3	390.5 ± 25.8	76.1 ± 36.0	75.2 ± 39.7	7.63 ± 0.77	6.31 ± 1.31	65.0 ± 26.9	0.89 ± 0.24
2015/12/5	49.1 ± 12.9	43.9 ± 11.7	43.4 ± 13.9	362.5 ± 31.6	89.1 ± 23.0	105.4 ± 42.5 *	8.13 ± 0.56	7.30 ± 0.89	72.1 ± 25.1	0.87 ± 0.21
2015/12/8	47.1 ± 14.1	47.5 ± 11.4	44.0 ± 14.7	393.1 ± 35.5	65.9 ± 17.8	60.8 ± 26.6	7.49 ± 0.70	6.19 ± 0.95	57.5 ± 26.1	0.97 ± 0.29
Average	46.0 ± 7.1	46.1 ± 9.1	42.5 ± 8.7	394.9 ± 17.7	75.7 ± 18.6	76.6 ± 27.7	7.73 ± 0.45	6.68 ± 0.66	64.5 ± 19.9	0.91 ± 0.18

* : p<0.05, ** : p<0.01 (vs Average)

表 2-2 酸化ストレスと主観的コンディション、睡眠時間及び自律神経活動との関係

	主観的な 体調	目覚めの 体調	脚の筋肉の 状態	睡眠時間	SDNN	RMSSD	Total Power	HF	HF normalized unit	LF/HF比
d-ROMs	-0.069	-0.056	-0.084	-0.004	0.052	-0.111	-0.029	-0.012	0.057	-0.090
BAP	-0.050	-0.015	-0.098	0.101	0.116	-0.053	0.047	-0.038	-0.217 *	0.232 *
BAP/d-ROMs	0.031	0.030	0.013	0.081	0.064	0.090	0.091	0.019	-0.199	0.256 *
	(n=302)	(n=170)	(n=169)	(n=268)	(n=86)	(n=86)	(n=86)	(n=86)	(n=86)	(n=86)

* : p<0.05
いずれの項目も各選手の偏差値を用いて分析している



ベストタイムとの割合：測定日から競技会前2日以内の5000m走の記録と
ベストタイムとの割合を示している

図 2-4 BAP (偏差値) とベストタイムとの割合 (5000m 走) の関係

2. 4 考察

2014年10月8日から2015年12月8日までの期間において、定期的にd-ROMs、BAP及びBAP/d-ROMsの測定を行ったところ、選手14名のd-ROMsの平均値の推移は、2014年10月27日と2015年9月23日の測定日を除いて、200U.CARR~300U.CARRの正常な酸化ストレス度を示す範囲での推移であった。正常な酸化ストレスレベルもしくはボーダーライン上で推移する選手が大半であったが、一方で、400U.CARR以上を示す選手も2名見受けられた。この選手の中には、d-ROMsが高値を示していた期間に疾患を患っていたことから、他の選手と異なり、かなりの酸化ストレスダメージを受けていたことが考えられる。個人の平均値の最高値は、Sub.12が 333.7 ± 47.4 U.CARRを示したのに対して、最低値は、Sub.5で 262.7 ± 19.7 U.CARRであった。このように選手ごとに数値の大きさが異なっていることが明らかとなった。

一方、BAPの平均値の推移は、ボーダーラインである $2000 \mu\text{mol/L}$ 以上の値を示すことがほとんどであったが、このような推移を示す中でも、2015年2月10日、2015年4月10日、2015年5月8日、2015年10月16日、2015年11月6日、2015年12月5日の測定日においては $2000 \mu\text{mol/L}$ 以下で、抗酸化力がやや低下を示す値であった。その中でも、2015年10月16日、2015年11月6日、2015年12月5日の測定値に関しては、全体の平均値と比較すると、有意($p < 0.05 \sim 0.01$)に低い値であることが認められた(図2-2)。これらの測定日に関しては、どの日程においても合宿後の計測であったことから、抗酸化力の低下を引き起こした要因として、合宿後という疲労が蓄積されている状態が原因ではないかと推測される。生体の酸化ストレス反応を月単位で調査したデータによると、月間走行距離の最も多かった月のBAPは他の月と比べて、ボーダーラインまで低下していることを報告している(琉子ら、2014)。今回、チーム合宿は、主に高地環境(中国昆明、標高1895m)において実施された。高地、すなわち低圧・低酸素環境における運動では、酸化ストレスが高まるとの報告(長澤ら、2010)や低酸素環境への曝露は、生体内に酸素不足を引き起こし、その後、再酸素化した際に活性酸素種の生成を高めるとの報告(Risomら、2007)がなされている。したがって、トレーニング量の増大と付随する形で、酸化ストレス度を示すd-ROMsが高まることが合宿中あるいは合宿後の推移としては予想される。ここで、ある選手の推移をみると、Sub.14の合宿後(2015年11月6日)のd-ROMsが296U.CARRを示している。この選手の合宿前(2015年10月23日)の測定値は、237U.CARRであり、全体を通しての平均値は

273.7±20.5U. CARRであったことから、合宿によって練習量が増大し、疲労が蓄積された結果、酸化ストレスレベルの上昇が引き起こされたのではないかと考えられる。しかしながら、合宿参加者のうち全選手がこのように酸化ストレスレベルの大きな変化を示すわけではなく、全体的な d-ROMs の推移に関しても平均値との間には、有意な差は認められなかった。このような d-ROMs の変化を示したのは、この選手が初めての高地合宿であったことが影響している可能性も考えられる。高地トレーニングを何度も経験している者ほど順応性が高いことがこれまでに示されている（杉田・川原，2004）ことから、高地でのトレーニングが他の選手よりも大きな負荷として加わっていた可能性がある。しかしながら、本研究では、合宿中における酸化ストレスや順化の程度を反映する起床時の酸素飽和度の測定は行っていないため、詳細な部分は分からないが、酸化ストレスレベルの上昇と高地トレーニングの経験の有無や練習量の増大との関係から、d-ROMs が選手の疲労度を反映している可能性が示唆される。

一方、他の選手においては d-ROMs よりも BAP の方が、高地合宿後の変動としては大きかった。このような傾向は、BAP が d-ROMs を抑制するスカベンジャーとして働いていること（Nagasawa ら，2010）、さらには、BAP が運動やトレーニング後の時間経過とともに低下すること（丸岡ら，2005）が関係していると推察される。このことから合宿などによるトレーニング量の増大や環境の変化に伴い、抗酸化力の低下が生じることが考えられ、一過性には d-ROMs の上昇が引き起こされるが、身体の抗酸化防御機構の働きにより、酸化を還元していく過程が進むにつれて、結果的に BAP の低下が引き起こされるのだと推測される。したがって、コンディションの状態を表す指標として、酸化ストレスの評価を行うためには、酸化ストレス度のみならず、抗酸化力についても評価することにより、複合的に把握することが重要であると考えられる。さらに、その変化の度合いや傾向は、選手によっても異なることから、トレーニングの状況などを考慮しながら評価していくことも必要であるだろう。

琉子ら（2014）によれば、箱根駅伝の予選会における成績と d-ROMs との関係を個人レベルで調査した結果、鍛錬期の9月と試合調整期の10月に強い酸化ストレスを受けていた選手の予選会の順位は、チーム内で最下位という結果を示し、酸化ストレスがその後の競技成績にも影響を及ぼすことを示している。また、30秒間の自転車全力駆動を行ったところ d-ROMs が低く、潜在的抗酸化能の高い選手は体重当たりの平均パワーが高いこと（杉田，2014）や、ロンドンオリンピックにおいて活躍した短距離走選手の潜在的抗酸化能は、高値を示していたことがこれまでに報告されている（川本，2013）。これらの先行研究から、今回計測

した酸化ストレス指標と競技会における成績との関係について、5000m 走の記録を元に検討を行った。その結果、抗酸化力を表す BAP と競技会の記録とベストの記録から算出した割合との間に、有意な負の相関関係が認められた (図 2-4)。実際にその競技会でベストの記録を出した 2 名の選手の BAP は、それぞれ $2263.5 \mu\text{mol/L}$ (Sub. 2), $2241.5 \mu\text{mol/L}$ (Sub. 13) を示し、最適値 ($2200 \mu\text{mol/L}$ 以上) を上回る水準であった。先行研究と同様に d-ROMs や潜在的抗酸化能との間には、有意な関係性を見出せなかったものの、各選手における抗酸化力の状態は、試合での競技成績を推測させることが今回明らかとなり、大変興味深い結果であった。コンディショニングとは、現在のコンディションと目標とするコンディションとの間のギャップを最小化するプロセス (西嶋ら, 1999) であり、コンディションとは、スポーツにおいて変動する競技的状态を構成する心身の状態、及びアスリートのパフォーマンスに影響を与える全ての要因と定義される (西嶋ら, 1999)。したがって、選手のパフォーマンスに影響を与える客観的な指標を、より明確に提示することができれば、目標とした競技会に対するコンディショニングを行ううえで、重要な手がかりとなってくると考えられる。これらの結果は、選手のコンディションの状態として、酸化ストレスを低く維持し、抗酸化能力を高めた状態であることが、競技成績やパフォーマンスに良い影響を及ぼすことを示唆している。一方、主観的コンディションの 3 項目については、競技成績との間に関係性を見出すことはできなかったが、主観的な体調の項目においては、競技会前までの期間を 4 日以内として検討すると、抗酸化力と同様にベストタイムとの間に負相関の傾向がみられた ($n=25$, $r=-0.349$, $p<0.1$)。自律神経活動については、今回、データ数の関係から分析対象から除くこととしたが、これまでの自律神経活動や競技成績との関係を検討した研究によると、SDNN の低下や RMSSD の低下は、副交感神経活性の低下 (Malik, 1996) とされており、また、競技会前の調整期には、HFnu の数値が高く副交感神経活動優位であることが競技パフォーマンスの向上に繋がると報告されている (両角ら, 2014)。コンディション評価のためには、特に副交感神経活性の評価が重要であると考えられている。本研究においては、HFnu と BAP との間には負の相関関係が認められ、調整期に調査を行った両角ら (2014) の報告とは相違がみられた。本研究は鍛錬期や調整期も含まれている期間であったことがこのような結果となった原因であるとも考えられ、結果の解釈には注意が必要であろう。本研究とこれまでの研究結果から、選手が本来持っている能力を十分に発揮するためには、抗酸化能力を高めた状態を作り出すことがコンディショニングを高めるうえでは重要であり、酸化ストレスの状態の評価だけではなく、他の側面として自律神経活動や主観的な状態の

評価など、従来のコンディション指標とともに照らし合わせていくことも必要であると考えられる。

今回、競技成績との検討を行ったこれらの項目は、各選手間の偏差値を求め、検討している。本研究では、長期的なモニタリングを実施することで、選手ごとに数値のばらつきがみられることを考慮し、このように検討を行った。個人内での変動を捉えてコンディショニングに活かすためには、定期的なモニタリングと客観的な数値の照らし合わせを行っていくことや、適切な栄養や睡眠時間の確保、抗酸化サプリメントの摂取など、数値を高める方策を今後検討していくことが必要であろう。

2. 5 結論

本研究の目的は、実業団女子長距離走選手 14 名を対象に、酸化ストレスというコンディション指標を定期的に測定し、指標間の関連性や競技成績との関係などを調査することによって、コンディショニングのための客観的指標として有用であるかを明らかにすることであった。

酸化ストレスの評価は疲労度を反映していると考えられ、選手のコンディションとして、酸化ストレスを低く維持し、抗酸化能力を高めた状態であることが、選手が本来持っている能力を十分に発揮するためには重要であることが示唆された。コンディショニングのための客観的指標として、酸化ストレス状態、特に抗酸化力（BAP）を測定することでパフォーマンスやコンディションを評価できる可能性が示された。

第3章

高校男子長距離走選手の試合期における酸化ストレス,
心理的状态及び主観的コンディションに関する研究

3. 1 研究目的

コンディションとは、スポーツにおいて変動する競技的状态を構成する心身の状態、及びアスリートのパフォーマンスに影響を与える全ての要因と定義され（西嶋ら，1999），現在のコンディションと目標とするコンディションとの間のギャップを最小化するプロセスがコンディショニングと考えられている（西嶋ら，1999）．選手のパフォーマンスに影響を与える客観的な指標を，より明確に提示することができれば，目標とした競技会に対するコンディショニングを行ううえで，重要な手がかりとなってくると考えられる．

これまでのコンディション評価に関する研究は，選手自身によるセルフモニタリングとして心拍数，体重，自覚的コンディションなどがあり，これらを起床・就寝時に継続的に記録することでコンディションの変化を捉えることが有効であるとする研究（松村，2009；白倉・河野，1990）や，尿検査や血液検査によってトレーニング負荷が適正であるかや選手の疲労を把握する研究（松生・永富，2006；新畑，2000；和久ら，1995）などが行われてきている．尿や血液から得られる様々な指標が存在するが，選手のコンディションをより精度を高く評価することができれば，コンディショニングに対してより良い効果を得ることができると期待される．また，ベストコンディションを維持するためには，選手自身の主観的指標のみならず，的確にチェックできる客観的指標も必要であろう．

近年，少量の血液サンプルを対象に酸化ストレス度（Reactive Oxygen Metabolites, d-ROMs）と抗酸化力（Biological Anti-Oxidant Potential, BAP）が測定できる機器が開発されたことによって，トレーニング現場での酸化ストレスを比較的簡便に調査することが可能となった（Albeti ら，2000）．酸化ストレス状態の評価がその後の運動パフォーマンスを推測できる可能性が示唆されている（杉田，2014）．第2章においては，これらの指標を用いた実業団女子選手を対象とした定期的なモニタリングを行い，コンディション評価のための指標としての有用性を示した．しかしながら，高校生競技者に対する情報は少なく，大会までの一定期間において，酸化ストレス状態の変化や心理的状态との関連，大会結果や競技レベルの違いなどから検討を行うことは，コンディション評価のために酸化ストレス指標をよりの確に利活用するための観点からも意義深いと言える．

そこで本研究では，高校男子長距離走選手を対象に，酸化ストレス指標を大会に向けた期間において定期的に測定し，心理的状态，主観的コンディションとの関係からコンディショニングのための客観的指標として有用であるかを検討し，コンディションチェックのため

の指標として利活用するための知見を得ることを目的とした。

3. 2 研究方法

(1) 対象者

高校男子長距離走選手10名(平均値±標準偏差, 年齢:17.5±0.8歳, 身長:173.4±3.9cm, 体重:54.2±3.2kg)を対象とした。2016年11月16日の時点での5000m走の平均ベスト記録は, 14分31.9±15.1秒である。選手及び保護者には事前に今回の測定の内容及び危険性を口頭及び書面で十分に説明し, 本調査の参加の承諾を得た。本実験において不利益なことが起こった場合には, いつでも実験を中止できることを説明し, インフォームドコンセントの手続きを行い, ヘルシンキ宣言に遵守した。なお, 選手10名のうち7名が2016年12月の全国高等学校駅伝競走大会に出場した選手であった。

(2) 測定期間及び測定回数

測定期間は2016年11月16日から2016年12月20日の大会5日前までの5週間の期間であった(図3-1)。測定は, 選手に昼食前のAM12時にトレーニングルームに来室してもらい, 週1回の間隔にて計6回実施した。どの測定日においても前日の練習は実施しており, 当日の早朝練習は実施していない状態での測定であった。また, 対象者は期間中サプリメントや薬の服用はしていなかった。なお, 主観的体調などを聞き取るコンディションアンケート(図3-2)については, 期間中毎日実施した。

● 酸化ストレス指標 (d-ROMs, BAP)

● 気分プロフィール検査 (POMS)

● 主観的コンディション

(練習, 睡眠・体調・入浴, 食事, 自由記述など)

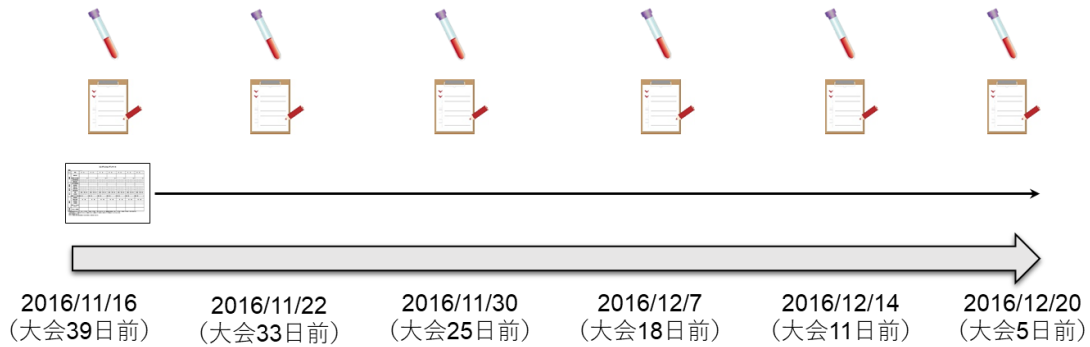


図 3-1 測定期間及び測定項目

コンディションアンケート

氏名 _____

カテゴリ	項目	月 日 ()	月 日 ()	月 日 ()	月 日 ()	月 日 ()	月 日 ()
練習	練習内容						
	練習量(走行距離)	km	km	km	km	km	km
	主観的練習強度	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1
	練習達成度	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1
睡眠・ 体調・ 入浴	前日の就寝時刻						
	起床時刻						
	睡眠の質	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1
	主観的体調	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1
	主観的疲労度	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1
	排便	快便・下痢・無	快便・下痢・無	快便・下痢・無	快便・下痢・無	快便・下痢・無	快便・下痢・無
	入浴状況	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1	5・4・3・2・1
食事	治療(セルフケア含む)	無・有()	無・有()	無・有()	無・有()	無・有()	無・有()
	朝食時間						
	朝食の有無	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無	有・無
	昼食時間						
	夕食時間						
感想	食事について気を付けたこと						
	今日の一言感想						

※5段階評価は数字の大きい方から、5(良い)・4(やや良い)・3(普通)・2(やや悪い)・1(悪い)を記入する。ただし、練習強度と疲労度は、5(強い)・4(やや強い)・3(普通)・2(やや弱い)・1(弱い)を記入する。
 入浴状況は目安として、5(湯船にゆっくりつかった)・4(湯船につかった)・3(普通にシャワーを浴びた)・2(軽くシャワーで汗を流した)・1(入っていない)とする。
 時間は24時間表記で記入する。
 カテゴリの「睡眠」に関する項目は起床時、それ以外の項目は一日を振り返って記入する。

図 3-2 コンディションアンケート

(3) 測定方法及び測定項目

I. 酸化ストレス度及び抗酸化力の測定

酸化ストレス度及び抗酸化力の測定は、第2章と同様の方法を用いた (p17~18)。

II. 気分プロフィール検査

気分検査として、気分プロフィール検査 (Profile of Mood States : POMS) 日本語版 (成人用・短縮版) を用いた。この検査は、35 個の質問項目からなる質問紙法による検査であり、6 つの尺度「緊張-不安 (TA : Tention-Anxiety)」, 「抑うつ-落込み (D : Depression-Dejection)」, 「怒り-敵意 (AH: Anger-Hostility)」, 「活気 (V: Vigor)」, 「疲労 (F: Fatigue)」, 「混乱 (C : Confusion)」から調査を行うことができる (横山・荒記, 1994)。記入後の質問紙から結果票を用いて採点し、各項目の T 得点を算出した。また、ネガティブな尺度である「緊張-不安」, 「抑うつ-落込み」, 「怒り-敵意」, 「疲労」, 「混乱」の得点の合計からポジティブな尺度である「活気」の得点を引き、ネガティブな気分状態を示すとされる「総合的気分状態」の TMD (Total Mood Disturbance) 得点を算出した (横山, 2005)。

III. コンディションアンケート

測定期間中の主観的な状態の聞き取りとして、図 3-2 のコンディションアンケートを実施した。コンディションアンケートは、主に「練習」, 「睡眠・体調・入浴」, 「食事」の項目についての 5 段階評価及び自由記述とした。

IV. 統計処理

測定値は全て平均値 (±標準偏差) で示した。各測定日における諸変量の比較は線形混合モデルを用い、有意差が認められた項目については、Bonferroni の多重比較を用いて検討を行った。また、相関分析は Pearson の積率相関係数によって分析した。統計処理には、統計処理ソフト (IBM SPSS Statistics 21) を用いた。いずれの場合も危険率 5%未満を有意とした。

3. 3 測定結果

(1) 測定期間中の経時的変化について

I. 酸化ストレス (d-ROMs, BAP, BAP/d-ROMs)

測定開始日の2016年11月16日から2016年12月20日(大会5日前)までの5週間の経時的な推移を図3-3~3-5に示した。d-ROMsの平均値は、各測定日とも300U.CARR以上を示す推移であった。大会約3週間前までの期間において、d-ROMsは有意に高く推移し、大会を控えた第5,6週(2016年12月14日,12月20日)の測定日にかけては有意な低下($p < 0.05 \sim 0.01$)を示した(図3-3)。一方、BAPはどの測定日との間にも有意な差は認められなかった。BAPの平均値は、各測定日とも $2000 \mu\text{mol/L}$ 以上を示し、ボーダーラインよりも高い抗酸化力を表す値であった(図3-4)。BAP/d-ROMsの平均値は、第2,3週目(2016年11月22日,11月30日)がそれぞれ6.67,6.64と測定期間中においては、最も低値を示したが、有意な差は認められなかった(図3-5)。

II. 気分プロフィール検査

測定開始日の2016年11月16日から2016年12月20日(大会5日前)までの5週間の経時的な推移を表3-1に示した。TMD得点の平均値は、第4週目(2016年12月7日)測定期間中においては、最も高値を示したが、有意な差は認められなかった。(表3-1)。また、TA, D, AH, V, F, Cの項目に関してもTMDと同様にどの測定日との間にも有意な差は認められなかった(表3-1)。

III. コンディションアンケート

測定開始日の2016年11月16日から2016年12月24日(大会1日前)までの5週間の経時的な推移を表3-2に示した。なお、コンディションアンケート結果の推移に関しては、測定期間中の平均値との差を検討した。走行距離は2016年11月18日,12月10日,11日の測定値が平均値よりも有意に高値を示し、2016年11月20日,27日,12月3日,4日,5日,18日の測定値は、平均値よりも有意に低値を示した($p < 0.05 \sim 0.01$)。練習強度は、2016年11月18日,23日,25日,12月1日,4日,8日,16日の測定値が平均値よりも高値を示し、2016年11月20日,28日,12月5日,18日の測定値は、平均値よりも有意に低値を示した($p < 0.05 \sim 0.01$)。練習達成度は2016年12月5日の測定値のみ平均値よりも低値を示した($p < 0.01$)。睡眠時間は2016年11月20日,12月3日,4日,18日の測定値が平均値よりも有意に高値を示し、2016年12月5日の測定値は、平均値よりも有意に低値を

示した ($p < 0.05 \sim 0.01$). 睡眠の質と体調の項目に関しては、睡眠時間で有意に短い結果となった 2016 年 12 月 5 日の測定値のみが有意に低値を示した ($p < 0.05 \sim 0.01$). 一方、疲労感や入浴状況は、どの測定日とも有意な差は認められなかった.

(2) 酸化ストレスと抗酸化力及び気分プロフィール検査との関係

酸化ストレス指標と気分プロフィール検査との関係については、各指標について個人差が大きく、散布図上のプロットに偏りがみられることから、全体としての傾向を検討するために以下の分析を行った. 各対象者の全期間中の平均値を指標ごとに求め、各測定日の値との変化率を算出することで、指標間の関係性について検討した.

d-ROMs, BAP/d-ROMs と気分プロフィール検査との関係についてみると、どの項目間とも有意な相関関係は認められなかった (表 3-3). BAP については、ネガティブな気分状態と抗酸化力の状態との間に弱い負の相関があることが示された (表 3-3, 図 3-6). 一方、その他の項目との間には有意な相関関係は認められなかった (表 3-3).

(3) 大会結果との関係

大会結果との関係を検討するために、2016 年 12 月 25 日の全国高等学校駅伝競走大会に出場した選手 7 名の記録 (区間順位) と酸化ストレス指標の平均値や大会 5 日前の測定値 (2016 年 12 月 20 日) について一覧表で示した (表 3-4). A 選手の大会 5 日前の d-ROMs は、平均値よりも 11.6% 低値を示し、BAP や BAP/d-ROMs についても平均値よりも高値を示した. 特に BAP/d-ROMs は、平均値を 16.1% 上回り顕著に高い値であった. BAP/d-ROMs について、測定開始日の 2016 年 11 月 16 日から大会 5 日前の 2016 年 12 月 20 日までの経時的な推移を各選手の最大値を 100% とした相対値として推移を検討したところ、A 選手の推移は、大会 5 日前にかけて徐々に右肩上がり (27% の増加) を示す結果であった (図 3-7).

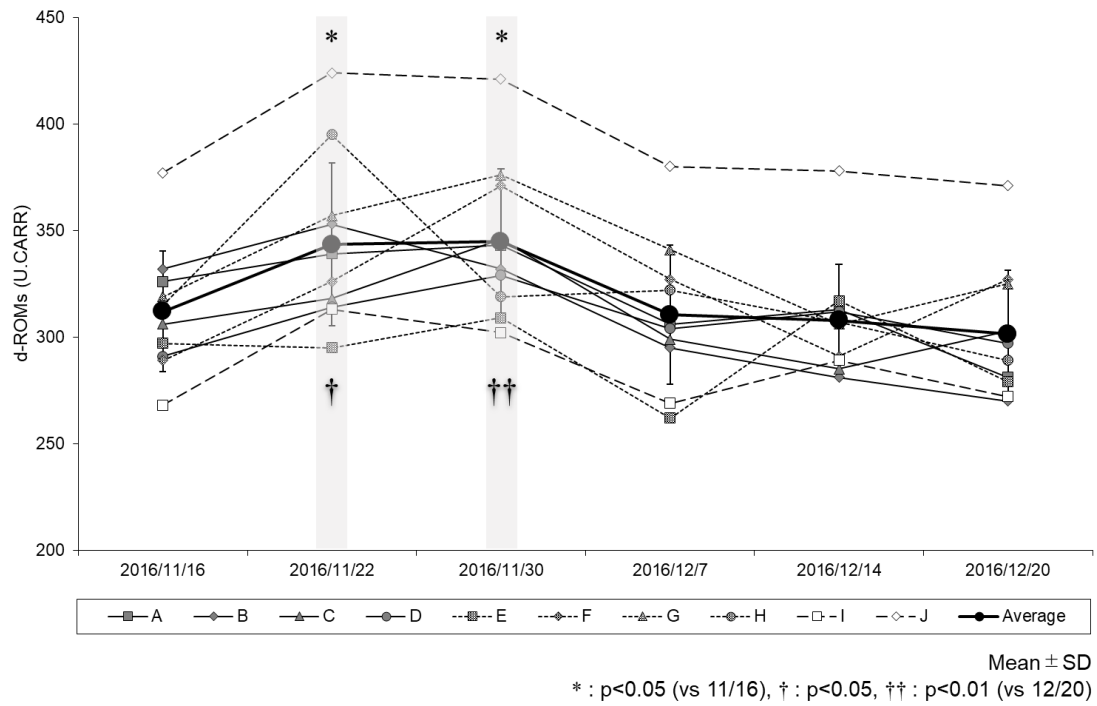


図 3-3 酸化ストレス度 (d-ROMs) の推移

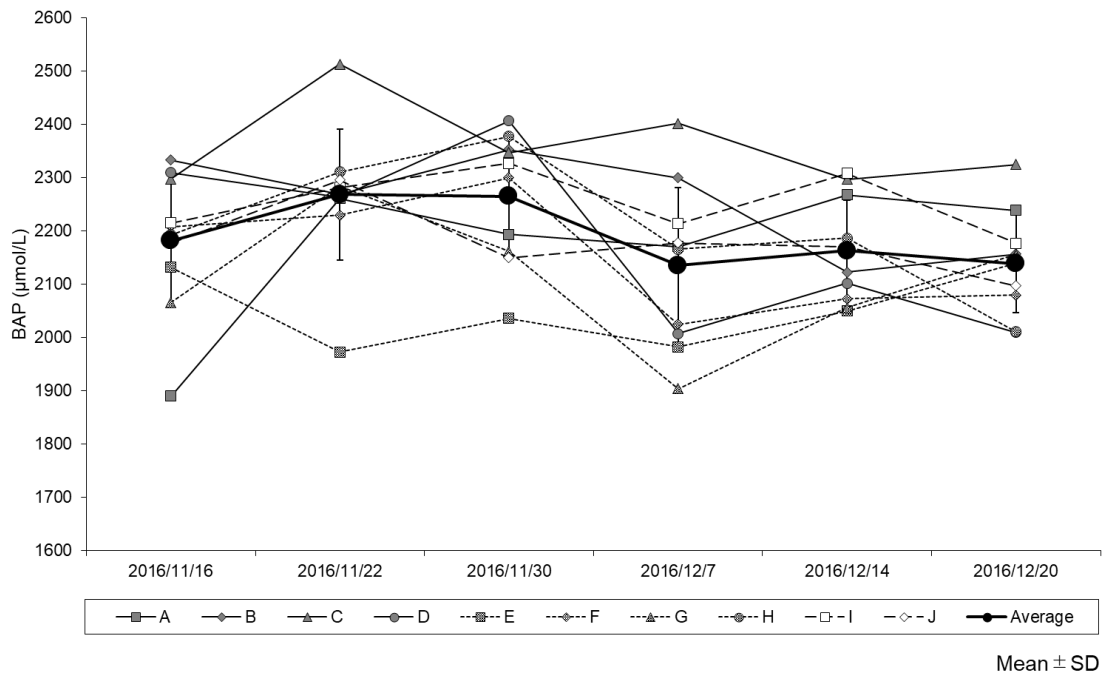


図 3-4 抗酸化力 (BAP) の推移

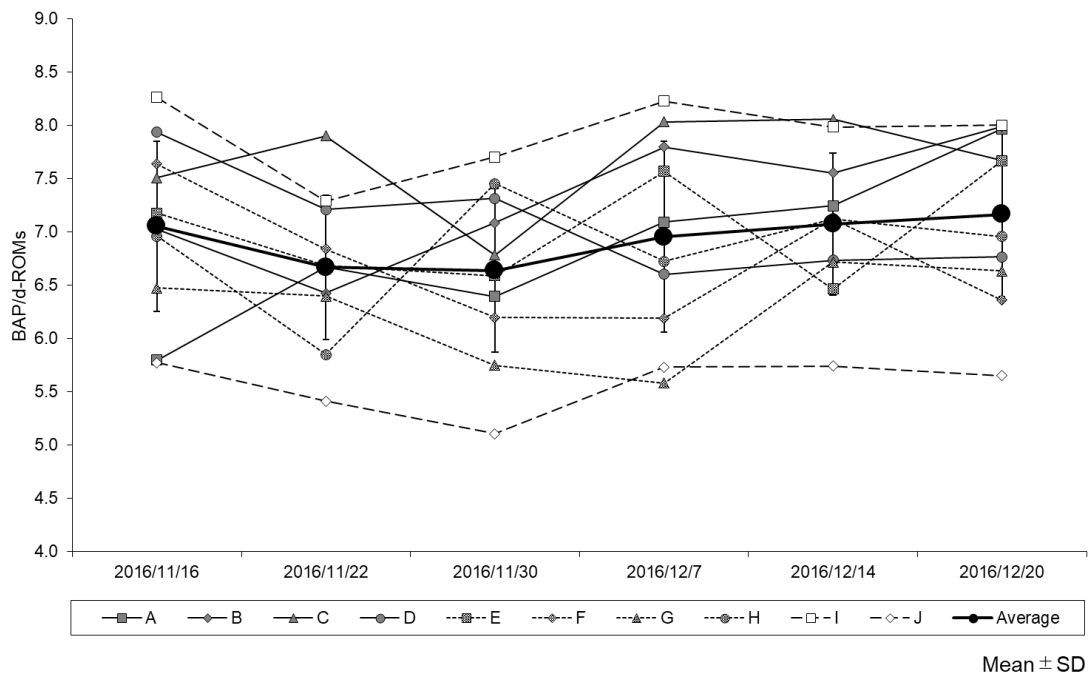


図 3-5 潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs) の推移

表 3-1 気分プロフィール検査 (POMS) の推移

	総合的気分状態 【TMD】	緊張-不安 【TA】	抑うつ-落込み 【D】	怒り-敵意 【AH】	活気 【V】	疲労 【F】	混乱 【C】
2016/11/16	19.5 ± 7.8	50.6 ± 5.0	49.7 ± 6.3	44.7 ± 5.8	43.9 ± 5.4	50.5 ± 5.9	50.5 ± 6.7
2016/11/22	13.8 ± 6.0	46.5 ± 7.2	45.6 ± 4.0	43.4 ± 4.9	43.4 ± 5.1	48.0 ± 4.7	47.1 ± 5.5
2016/11/30	16.9 ± 6.0	48.5 ± 6.3	44.8 ± 4.5	44.5 ± 6.0	43.5 ± 6.3	49.7 ± 6.5	51.7 ± 4.3
2016/12/7	22.1 ± 10.5	48.7 ± 6.9	46.7 ± 7.1	44.7 ± 7.3	42.8 ± 7.8	48.4 ± 6.5	50.7 ± 5.8
2016/12/14	18.3 ± 9.6	44.5 ± 5.4	43.8 ± 5.0	46.5 ± 7.4	41.0 ± 5.8	45.4 ± 8.0	48.3 ± 4.9
2016/12/20	18.2 ± 8.9	48.8 ± 4.4	48.1 ± 7.1	45.2 ± 8.9	42.8 ± 7.9	48.4 ± 5.1	51.7 ± 7.6
Average	18.1 ± 8.1	47.9 ± 5.9	46.5 ± 5.7	44.8 ± 6.7	42.9 ± 6.4	48.4 ± 6.1	50.0 ± 5.8

Mean ±SD
N.S.

表 3-2 コンディションアンケート結果の推移

	走行距離 (km)	練習強度 (弱い1~強い5)	練習達成度 (良い1~悪い5)	睡眠時間 (min)	睡眠の質 (良い1~悪い5)	体調 (良い1~悪い5)	疲労感 (弱い1~強い5)	入浴状況
2016/11/16	14.5 ± 1.8	3.6 ± 1.3	3.2 ± 0.8	427.2 ± 26.2	3.7 ± 0.7	3.6 ± 0.8	3.4 ± 1.0	4.6 ± 0.5
2016/11/17	15.5 ± 2.2	2.6 ± 0.5	3.3 ± 1.0	419.1 ± 39.2	3.6 ± 0.8	3.1 ± 0.5	3.6 ± 1.1	4.3 ± 0.7
2016/11/18	16.4 ± 1.9 *	4.4 ± 0.8 **	3.6 ± 0.8	430.0 ± 30.1	4.0 ± 0.8	3.6 ± 0.7	3.4 ± 1.0	4.4 ± 0.7
2016/11/19	13.3 ± 1.5	3.9 ± 0.7	3.7 ± 0.9	416.5 ± 32.4	3.8 ± 0.6	3.3 ± 0.6	3.7 ± 1.1	4.4 ± 0.7
2016/11/20	5.2 ± 3.7 **	1.4 ± 0.7 **	3.0 ± 1.1	495.0 ± 52.0 *	3.8 ± 0.9	3.6 ± 0.9	2.9 ± 0.8	4.6 ± 0.7
2016/11/21	14.2 ± 0.7	2.5 ± 0.5	3.2 ± 0.9	421.5 ± 35.2	3.4 ± 0.7	3.6 ± 0.8	2.5 ± 0.9	4.1 ± 0.7
2016/11/22	13.8 ± 2.1	3.5 ± 0.5	3.6 ± 0.5	430.6 ± 36.4	3.4 ± 0.5	3.1 ± 0.6	3.3 ± 1.0	4.4 ± 0.5
2016/11/23	12.1 ± 3.1	4.3 ± 0.7 **	4.1 ± 0.6	427.0 ± 33.8	3.6 ± 1.1	3.4 ± 0.7	3.6 ± 0.9	4.2 ± 0.9
2016/11/24	13.8 ± 1.3	2.4 ± 0.7	3.2 ± 1.0	420.5 ± 35.8	3.2 ± 0.6	3.2 ± 0.6	3.4 ± 0.8	4.5 ± 0.7
2016/11/25	13.7 ± 3.1	4.1 ± 0.5 *	3.8 ± 0.7	423.5 ± 28.5	3.6 ± 0.5	3.2 ± 0.4	2.9 ± 0.7	4.1 ± 0.8
2016/11/26	13.3 ± 4.7	2.2 ± 0.4	3.6 ± 1.1	465.0 ± 64.2	3.6 ± 0.7	3.4 ± 0.5	2.9 ± 0.6	4.0 ± 0.7
2016/11/27	8.6 ± 1.9 **	2.0 ± 1.3	2.9 ± 1.4	429.0 ± 42.1	3.7 ± 0.9	3.5 ± 0.5	3.4 ± 1.0	4.3 ± 0.9
2016/11/28	13.2 ± 4.7	2.0 ± 1.0 *	3.4 ± 0.7	444.5 ± 54.6	3.9 ± 0.9	3.1 ± 0.5	3.4 ± 1.0	4.3 ± 0.5
2016/11/29	9.0 ± 2.4	3.5 ± 0.5	4.0 ± 1.0	426.7 ± 55.6	3.7 ± 0.9	3.3 ± 0.5	3.7 ± 0.9	4.3 ± 0.5
2016/11/30	13.6 ± 1.8	2.4 ± 0.5	3.2 ± 0.9	400.0 ± 52.1	3.4 ± 0.8	3.0 ± 0.4	3.5 ± 0.7	4.3 ± 0.5
2016/12/1	11.0 ± 3.6	4.2 ± 0.6 **	4.1 ± 0.9	413.0 ± 50.2	3.5 ± 0.8	3.1 ± 0.5	3.6 ± 1.0	4.4 ± 0.5
2016/12/2	11.6 ± 1.2	2.3 ± 0.5	3.3 ± 0.9	427.5 ± 50.7	3.1 ± 0.6	3.1 ± 0.6	3.4 ± 0.8	4.7 ± 0.5
2016/12/3	9.6 ± 1.6 *	2.7 ± 0.5	3.8 ± 1.0	519.0 ± 27.0 **	4.0 ± 0.8	3.5 ± 0.7	3.0 ± 0.4	4.2 ± 0.6
2016/12/4	5.9 ± 1.3 **	5.0 ± 0.0 **	3.0 ± 1.2	518.0 ± 33.4 **	4.0 ± 1.2	3.5 ± 1.1	2.4 ± 0.5	3.7 ± 1.1
2016/12/5	5.9 ± 2.8 **	1.6 ± 0.7 **	2.1 ± 1.3 **	319.0 ± 114.9 **	2.5 ± 0.7 **	2.4 ± 0.5 *	4.0 ± 0.6	4.6 ± 0.5
2016/12/6	14.9 ± 0.9	2.6 ± 0.5	3.4 ± 1.0	439.5 ± 50.8	3.8 ± 0.8	2.8 ± 0.4	3.4 ± 0.7	4.6 ± 0.5
2016/12/7	12.5 ± 1.4	3.2 ± 0.4	3.2 ± 0.9	417.5 ± 31.6	3.7 ± 0.8	3.0 ± 0.4	3.3 ± 0.8	4.6 ± 0.5
2016/12/8	14.3 ± 2.7	4.5 ± 0.9 **	3.6 ± 1.2	424.5 ± 25.5	3.6 ± 0.8	3.3 ± 0.6	3.4 ± 1.1	4.5 ± 0.5
2016/12/9	12.7 ± 1.2	2.6 ± 0.7	3.1 ± 0.8	430.0 ± 34.6	3.7 ± 0.6	3.1 ± 0.7	3.7 ± 0.6	4.4 ± 0.5
2016/12/10	18.1 ± 2.4 **	2.8 ± 0.7	3.4 ± 1.0	493.5 ± 29.2	3.7 ± 0.9	3.3 ± 0.5	3.3 ± 0.9	4.0 ± 0.8
2016/12/11	19.4 ± 1.3 **	2.7 ± 0.5	3.3 ± 0.8	436.5 ± 23.1	3.5 ± 0.5	3.3 ± 0.5	3.2 ± 0.7	3.9 ± 0.8
2016/12/12	13.7 ± 1.3	3.7 ± 0.5	3.8 ± 0.6	441.5 ± 41.0	3.6 ± 0.9	3.3 ± 0.5	3.4 ± 0.9	4.5 ± 0.5
2016/12/13	14.1 ± 2.4	2.3 ± 0.5	3.3 ± 0.8	436.5 ± 32.2	3.7 ± 0.8	3.4 ± 0.5	3.6 ± 0.7	4.5 ± 0.5
2016/12/14	14.0 ± 1.3	3.3 ± 0.7	3.7 ± 0.7	435.0 ± 25.8	3.7 ± 0.6	3.5 ± 0.5	3.0 ± 0.6	4.5 ± 0.5
2016/12/15	14.0 ± 1.7	2.7 ± 0.7	3.6 ± 0.8	426.5 ± 25.8	3.4 ± 0.5	3.6 ± 0.7	3.3 ± 0.9	4.4 ± 0.5
2016/12/16	12.8 ± 4.0	4.3 ± 0.8 **	4.0 ± 0.7	442.0 ± 38.9	3.5 ± 0.5	3.4 ± 0.8	3.4 ± 0.8	4.5 ± 0.5
2016/12/17	14.1 ± 4.1	3.1 ± 0.8	3.5 ± 1.1	436.0 ± 56.1	3.5 ± 0.7	3.4 ± 0.8	3.8 ± 0.9	4.5 ± 0.5
2016/12/18	8.6 ± 2.2 **	1.8 ± 0.7 **	3.1 ± 0.8	528.0 ± 50.6 **	4.0 ± 0.8	3.2 ± 0.6	3.5 ± 0.9	4.6 ± 0.5
2016/12/19	13.3 ± 2.1	2.8 ± 0.4	3.1 ± 1.0	417.0 ± 31.6	3.5 ± 0.7	3.5 ± 0.7	2.6 ± 0.5	4.5 ± 0.5
2016/12/20	15.4 ± 1.8	3.5 ± 0.8	4.2 ± 0.7	425.0 ± 26.9	3.9 ± 0.6	4.0 ± 0.8	2.9 ± 0.8	4.4 ± 0.7
2016/12/21	15.4 ± 1.8	2.5 ± 0.5	3.7 ± 0.7	424.3 ± 20.8	3.9 ± 0.6	3.9 ± 0.8	3.0 ± 0.5	4.4 ± 0.7
2016/12/22	10.9 ± 0.5	3.5 ± 0.8	4.0 ± 0.8	437.9 ± 42.9	3.9 ± 0.6	4.1 ± 0.6	3.1 ± 0.6	4.4 ± 0.7
2016/12/23	12.8 ± 0.1	2.6 ± 0.5	4.0 ± 0.6	452.9 ± 40.2	3.7 ± 1.2	3.9 ± 1.4	2.9 ± 0.6	4.3 ± 0.9
2016/12/24	10.8 ± 0.6	3.2 ± 0.7	4.0 ± 0.6	497.1 ± 21.9	4.0 ± 0.8	4.0 ± 1.1	3.0 ± 0.9	4.4 ± 0.9
Average	12.7 ± 3.0	3.0 ± 0.9	3.5 ± 0.4	438.8 ± 36.5	3.6 ± 0.3	3.4 ± 0.3	3.3 ± 0.4	4.4 ± 0.2

Mean±SD

*: p<0.05, **: p<0.01 (vs Average)

入浴状況
 5 (湯船にゆっくりつかった)
 4 (湯船につかった)
 3 (普通にシャワーを浴びた)
 2 (軽くシャワーを浴びた)
 1 (入っていない)

表 3-3 酸化ストレスと気分プロフィール検査の関係

	総合的気分 状態 【TMD】	緊張-不安 【TA】	抑うつ-落込み 【D】	怒り-敵意 【AH】	活気 【V】	疲労 【F】	混乱 【C】
d-ROMs	-0.644	-0.132	-0.408	-0.624	0.498	0.237	-0.243
BAP	-0.744 $p<0.1$	-0.132	-0.348	-0.551	0.517	0.238	-0.294
BAP/d-ROMs	0.506	0.123	0.440	0.650	-0.453	-0.224	0.186

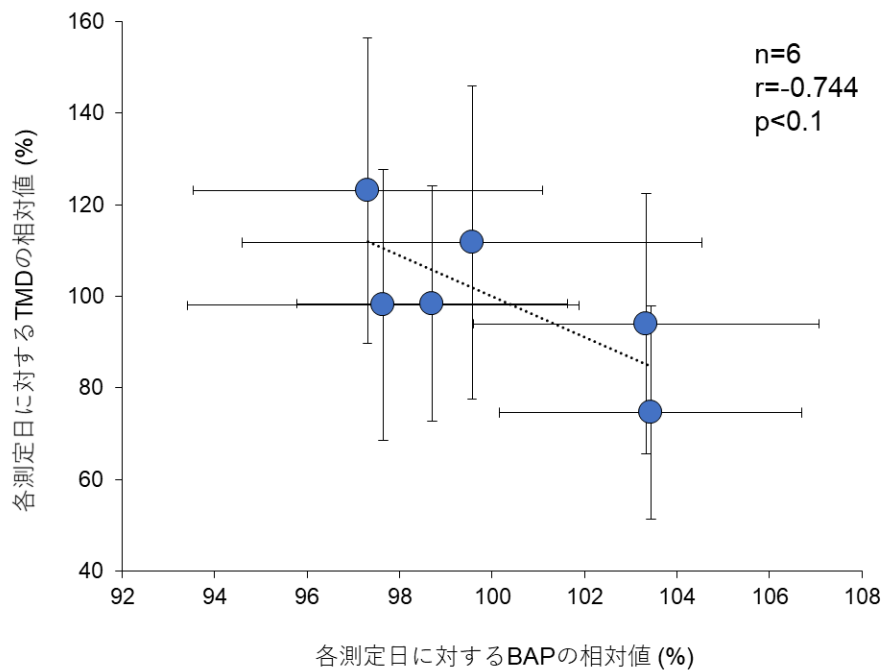


図 3-6 測定期間中の BAP と TMD の関係

表 3-4 酸化ストレス指標と駅伝競走大会走者の結果一覧

	A選手	F選手	C選手	B選手	E選手	I選手	D選手	
	1区 (10.0km)	2区 (3.0km)	3区 (8.1075km)	4区 (8.0875km)	5区 (3.0km)	6区 (5.0km)	7区 (5.0km)	
記録	0:29:27	0:08:21	0:24:33	0:24:20	0:08:55	0:15:09	0:14:46	
区間順位 (通過順位)	2位 (2位)	10位 (3位)	11位 (5位)	12位 (7位)	6位 (7位)	15位 (6位)	7位 (5位)	
平均値	d-ROMs (U.CARR)	318.0	321.8	309.5	310.5	293.2	285.5	307.8
	BAP ($\mu\text{mol/L}$)	2170.5	2152.7	2363.7	2255.8	2052.3	2253.8	2183.5
	BAP/d-ROMs	6.86	6.73	7.66	7.31	7.03	7.91	7.10
測定値 (12月20日)	d-ROMs (U.CARR)	281 ↓	327 ↑	303 ↓	270 ↓	279 ↓	272 ↓	297 ↓
	BAP ($\mu\text{mol/L}$)	2239 ↑	2080 ↓	2325 ↓	2157 ↓	2140 ↑	2177 ↓	2010 ↓
	BAP/d-ROMs	7.97 ↑	6.36 ↓	7.67 ↑	7.99 ↑	7.67 ↑	8.00 ↑	6.77 ↓
変化率 (%)	d-ROMs	88.4	101.6	97.9	87.0	95.2	95.3	96.5
	BAP	103.2	96.6	98.4	95.6	104.3	96.6	92.1
	BAP/d-ROMs	116.1	94.6	100.2	109.2	109.2	101.1	95.4

※変化率は平均値と12月20日測定値との変化を表す。↑：平均値よりも増加していることを示す。↓：平均値よりも低下していることを示す。

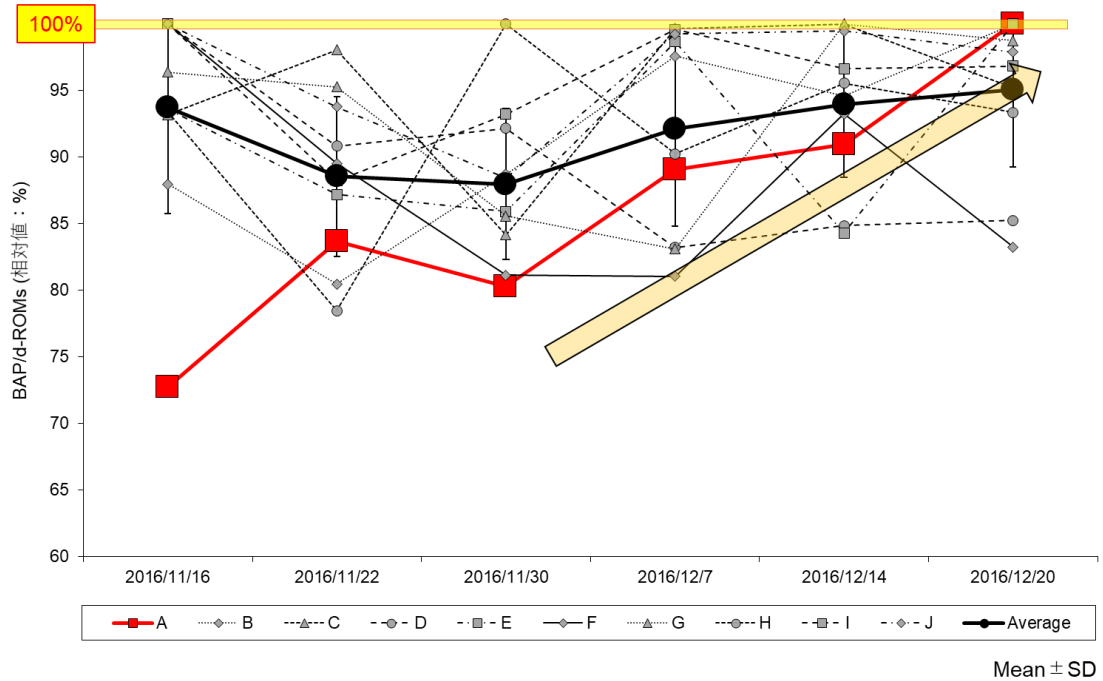


図 3-7 測定期間中のBAP/d-ROMsの相対値の推移

3. 4 考察

高校男子長距離走選手 10 名における大会 5 日前までの 5 週間の経時的な推移をみると、d-ROMs の平均値が各測定日とも 300U. CARR 以上を示す結果であった。これまでに陸上長距離走選手を対象に酸化ストレス指標を調査した研究によると、大学男子駅伝選手における月ごと（4 ヶ月間）の d-ROMs の推移は、290～340U. CARR 程度であることが示されており、月間走行距離と d-ROMs の変動パターンがほぼ同一であったことが報告されている（琉子ら、2014）。今回の高校男子長距離走選手の d-ROMs においても同程度の酸化度を示しており、その程度としては軽度から中程度の酸化ストレス度を示す範囲での推移であった（関、2009）。一方で、J 選手の d-ROMs は 400U. CARR 以上の高値を示す期間も見受けられ、かなり強度の酸化ストレスダメージを受けていた。実業団女子長距離走選手を対象とした研究において、疾患を患っていた選手の d-ROMs は 400U. CARR 以上の高値であったことがこれまでに示されている（谷口・杉田、2017）。J 選手は大会後に疲労骨折していることが発覚し、高い酸化ストレスダメージを受けている場合には、疾患や怪我などの影響を受けている可能性が考えられる。また J 選手のコンディションアンケートからは、主観的疲労度は比較的高い傾向はあるものの体調などに関しては主観的な状態に顕著な変化を捉えることはできなかった。このように J 選手の主観と客観（酸化ストレス度）との間には、少なからずズレがあったものと考えられ、客観的数値として d-ROMs を把握することがコンディション管理として有用である一例であったといえよう。

d-ROMs の変動に関しては、2016 年 11 月 22 日、11 月 30 日において高値を示す結果となったが、この期間は 12 月 4 日の記録会に向けた強化期間に当たる期間であったことから、週単位の変動としても先行研究（琉子ら、2014）と同様な傾向を示していたことが考えられる。一方で、週ごとにおける主観的なアンケートの集計結果との関係は見出せず、琉子ら（2014）の報告とは異なる結果を示した。このことは授業がある中で練習スケジュールが組み立てられており、1 週間の期間中に強度の高い練習（ポイント練習）や JOG のみの日など、週ごとにトレーニングが構成されていたことが要因としてあげられるであろう。また、大会 5 日前の測定日（2016 年 12 月 20 日）に向けて、d-ROMs が低下していく傾向が示されたが、前述のように週ごとの走行距離や練習強度との関連はみられなかった。練習スケジュールにおいては、前半 2 週間の期間はポイント練習を週に 3 日程度、その後大会 3 週間までは週に 2 日程度組み込まれていた。ポイント練習の回数は減ってもその代わり JOG の時間が設

けられており、走行距離については1日ごとの変動はあるものの、週ごとには大きく変化しなかったものと考えられる。さらに、練習強度の聞き取りも5段階評価であったことも今回の結果に影響したものと考えられ、トレーニング時の生理的指標（心拍数や血中乳酸濃度等）を調査し、より詳細に検討することも今後必要であろう。

BAPの推移における変動は、d-ROMsとほぼ同一のパターンを示していることが観察されたものの、その変化については有意な差を認めなかった。BAPの平均値の推移としてはボーダーラインより高値を示していたが、今回の結果においては変動パターンに選手間のばらつきが見受けられたことやBAPの変動はd-ROMsよりも大きいことが影響としたものと考えられる。内分泌系と酸化ストレス指標との関係において、d-ROMsはコルチゾールやノルアドレナリンのような生体への攻撃的因子との相関が強く、BAPはDHEA-Sのような生体防御的因子との相関関係が認められたことが報告されている（永田ら、2014）。また、永田ら（2014）によれば、酸化ストレスが増加すると抗酸化力も増加を示すことが示唆されている。今回のBAPの変動はd-ROMsとほぼ同一パターンを示しており、トレーニング負荷によって増大した酸化ダメージに対して、抗酸化力が防御的に高まる傾向であった可能性も考えられる。一方で、抗酸化力は食事内容など外因的要素をよく反映しており（永田ら、2008）、本調査内容からは食事内容までは把握できないことから、BAPの変動に影響を与えた要因については、トレーニングや食事内容を基に更なる検討が必要であると考えられる。

これまでにトレーニング量の増加とパフォーマンスや生理学的及び心理学的な指標の変化を検討した研究においては、POMSの疲労数値（F）がトレーニング量の変化とともに増減を示すことが報告されている（Kagetaら、2015）。本研究においても、心理的状态が大会までの期間中に変動を示すことが予想されたが、先行研究のような傾向は認められなかった。大会には対象選手10名の内7名が大会に出場できることになっており、測定期間中においてはレギュラー争いの中で心理的状态に大きな相違があったものと考えられる。実際にメンバーから外れてしまったG・H・J選手は、POMSの疲労の数値が高く、活気の数値が低い傾向があった。POMS所見と血液検査所見との関連性については、コルチゾールやテストステロンとコルチゾール比とV・Fの間に相関を示すことが報告されており、長距離走競技選手としての良い自覚的コンディション状態が客観的に裏づけられていると考えられている（鳥居、2003）。したがって、今回の対象選手においてもPOMSから示される自覚的状態には、ある程度コンディションの状態を指し示していたことが推測される。POMS指標の推移と酸化ストレス指標の推移との関連性を検討したところ、ネガティブな気分状態（TMD）と

抗酸化力の状態との間に関係性があることが示された。鳥居 (2003) の研究においては、TMD との関連については検討されていないことや本研究においても前述の血液検査を実施しておらず、単純に比較することはできないが、POMS 検査結果のそれぞれの項目から算出される総合的な気分状態とテストステロンやコルチゾール、抗酸化力との間には相互関係が存在するものと考えられる。オーバートレーニング症候群の前兆となる自覚症状と生化学的な指標とを組み合わせることで評価することができれば、より詳細な選手のコンディション把握に繋がるものと考えられる。

BAP と d-ROMs との比である潜在的抗酸化能の推移に関しても BAP と同様に変動パターンには有意な差は示されなかったが、特徴的な推移を示す選手 (A 選手) が確認された。今回の測定結果と大会結果との関係をみるために、2016 年 12 月 25 日の全国高等学校駅伝競走大会に出場した選手 7 名の記録 (区間順位) と酸化ストレス指標の平均値や大会 5 日前の測定値 (2016 年 12 月 20 日) について一覧表で示した。特徴的な変動パターンを示した A 選手においては、大会 5 日前の d-ROMs が平均値よりも 11.6% 低値を示し、BAP や BAP/d-ROMs についても平均値より高値を示し、特に BAP/d-ROMs は、16.1% と平均値よりもかなり高い値であった。また、測定期間中の潜在的抗酸化能の相対値は、大会 5 日前にかけて 27% の増加を示し、酸化還元バランスが良好に推移していく変動であったと考えられる。実際にこの選手は、最長区間の 1 区において区間 2 位の成績を収め、本来の力通りのパフォーマンスを発揮することができたといえる。測定期間中の A 選手のコンディションアンケートをみると、主観的体調の値は 3 または 4 を示しており、練習コメントでは“余裕を持ってできた”等の記載が多く見受けられた。POMS の各項目との関連は見受けられなかったが、このように主観的な状態として安定したコンディションの状態であったことも A 選手の特記すべき点であろう。前述した J 選手は、主観的な状態と酸化ストレスの間には相違が見受けられたが、A 選手においては練習コメントからも大会に向けてコンディションが上向きであったことが伺えた。酸化ストレス指標はコンディション管理に有用であることが示唆されるとともに、J 選手の事例のように主観と客観のズレを少なくしてコンディショニングに役立てていく視点も必要であると考えられる。潜在的抗酸化能とパフォーマンスとの関係を調査した研究によると、30 秒間の自転車全力駆動においては d-ROMs が低く、潜在的抗酸化能の高い選手の体重当たりの平均パワーが高いこと (杉田, 2014) や、ロンドンオリンピックにおいて活躍した短距離走選手の潜在的抗酸化能は、高値を示していたことが報告されている (川本, 2013)。A 選手の結果についても先行研究を支持する結果であり、酸化スト

レスと抗酸化力のバランスが競技成績に影響を与えることが推察される。しかしながら、他の選手においては、A選手のような特徴的な推移を示さず、同様な傾向を見出すことはできなかった。A選手の測定期間前までの5000m走の平均ベスト記録は、14分01.80秒であり、高校生競技者において高い競技力を保持しており、他の選手よりも20秒近くも速い記録であった。実業団女子長距離走選手を対象とした研究においては、抗酸化能力の状態が5000m走の記録と関連することが報告されている（谷口・杉田，2017）。一方で、星川ら（1994）の報告においては、POMSの結果が長距離走の記録と関連することを示しているが、今回のPOMS結果と大会結果との間には、一定の関係性はみられなかった。これらのことから、性差の違いこそあるが、高い競技力を保持した選手においては、酸化還元バランスの客観的指標がその後の競技パフォーマンスの予測に繋がる可能性が推察された。

以上の結果から、高校男子長距離走選手において、自覚的コンディション状態を把握するためには、気分プロフィール検査などから定期的に心理的状态を把握することが有用であることが示された。さらに、酸化還元バランスを評価する潜在的抗酸化能がコンディショニングや競技パフォーマンスを予測する観点からも最も重要な指標となることが示唆された。このような客観的指標については、競技レベルや個人内での変動を捉えて、定期的なモニタリングと他の客観的な数値を照らし合わせいくことが、よりの確にコンディション評価するためには、重要な視点であると考えられる。

3. 5 結論

本研究の目的は、高校男子長距離走選手 10 名を対象に、酸化ストレスというコンディション指標を、大会に向けた期間、定期的に測定し、心理的状态、主観的コンディションとの変化からコンディショニングのための客観的指標として有用であるかを検討し、高校男子長距離走選手のコンディションチェックのための指標として利活用するための知見を得ることであった。

酸化ストレスの評価は、トレーニング状況や怪我などの影響を反映していることが示され、心理的状态とともに評価することで、より詳細にコンディション状態を把握することが可能であることが示された。また、酸化還元バランスを評価する潜在的抗酸化能が最もコンディショニングや競技パフォーマンスを予測する指標として有用であるとともに、その評価については、競技レベルを考慮することが必要であることが示唆された。

第4章

安静時における一過性の高濃度酸素吸入が心拍変動及び
酸化ストレスに与える影響

4. 1 研究目的

スポーツ現場におけるコンディショニングに対する重要性が高まっている。高度なトレーニングを必要とするスポーツ選手は、トレーニングにより生じた生理的な疲労が、十分に回復の過程をとられることなく、その結果として慢性疲労の状態であるオーバートレーニング症候群に陥る可能性がある。このような状態においては、機能的な自律神経系（交感神経系と副交感神経系）の活動レベルが、失調を引き起こしている状態であるとの報告がなされている（Lehmann ら, 1998）。自律神経機能の低下の原因としては、副交感神経活性の低下が大きな原因の一つとして考えられる。また自律神経活動に対する交感神経・副交感神経のバランスは、これまでに運動選手のコンディションや競技成績との関連がみられるとの報告がなされている（飯塚, 2011；両角ら, 2014；両角ら, 2015）。

自律神経活動の機能を整える処方としては、食事、入浴、睡眠、運動など様々な方法があり、高濃度酸素吸入もその一つとしてあげられる。これまでに高濃度酸素吸入は、疲労回復のための一処方や精神性作業中のストレスの緩和や回復効果を期待した利用がなされてきている（垣鏑, 2015；浜岡, 2009；杉田・早川, 2010）。高濃度酸素の疲労回復効果については、これまでの報告によれば、高気圧環境下を除き（石井ら, 1995）、通常大気圧においては否定的な報告が多く見受けられる。運動後の心拍数の回復や乳酸除去の速さに着目した研究によると、常酸素と高濃度酸素との間には違いがみられないことが多く報告されている（村松ら, 2004；Nummela ら, 2002；Robbins ら, 1992；Titlow, 1982；Weltman ら, 1977）。しかしながら、プロスポーツの現場のみならず、一般の人々の中にも高濃度酸素を吸入することによる心身の疲労回復効果を期待する処方が行われている（朝日新聞, 2004）。村松ら（2006）は、呼吸数及び心拍変動に及ぼす運動後の高濃度酸素吸入の影響を常酸素吸入と比較し、その心理的效果を検証しているが、呼吸数及び自律神経活動には違いがみられなかったと報告している。また、家庭用の高濃度酸素発生器（酸素濃度：30%）を用いた検討では、運動後の生理学的な疲労回復効果は認められなかったとの報告もある（村松ら, 2004）。高濃度酸素の疲労回復効果に関する報告については、運動後における回復過程に着目した検討が多く見受けられるが（Peeling ら, 2012；Zinner ら, 2015）、安静状態での使用に対し、自律神経活動を評価し、効果的な吸入時間を検討する視点を持った研究は見受けられない。自律神経活動の評価は、体力や疲労感などの体調の変化、あるいは生体のホメオスタシスの評価に役立つことから、高濃度酸素吸入を効果的に利活用する際の知見として、

自律神経活動の変化からより高い効果が得られるであろう最適な吸入時間を検討することは、重要であると考えられる。

通常、呼吸により取り入れた酸素は体内に取り込まれた後、ミトコンドリア内のエネルギー産生系で利用される。しかし酸素が必要なATP産生に利用される過程において、数パーセントの酸素が活性酸素に変化してしまう（Senら、1995）。活性酸素は大気中に存在する安定な酸素と比べて反応性が非常に高いため、生体内で過剰な状態になると、生体組織へ様々な障害を引き起こすとされている（Clarkら、1985；Daviesら、1982；Jenkins、1988；Sjödinら、1990）。活性酸素種の生成が何らかの要因で増加することに対して、生体では抗酸化防御機構が存在しているが、このような防御機構を上回った場合に酸化ストレスが生じるのである。酸化ストレスとは「生体の酸化反応と抗酸化反応のバランスが崩れ、酸化状態に傾き、生体が酸化的障害を起こすこと」（関、2009）と定義されており、酸化ストレスの強弱（酸化ストレス度）は、「生体にどれだけ酸化的障害を起こす可能性があるか」を活性酸素種などの濃度により測定することが可能であると考えられている（高野ら、2009）。これまでも運動後の回復過程に高濃度酸素を吸入することによる、酸化ストレスへの影響を検討した報告は見受けられる（Whiteら、2013）。したがって、高濃度酸素吸入によるコンディショニングに対する効果を期待する上で、活性酸素種による酸化ストレスへの影響を吸入時間などから検討することは、酸素吸入によるデメリットを引き起こす要因を検討する上で重要である。

そこで、本研究では、運動選手に対する疲労回復のための一処方として利用されている高濃度酸素発生器を使用した酸素吸入に着目し、家庭用高濃度酸素発生器を使用した安静時の高濃度酸素吸入と常酸素吸入における、心拍変動や酸化ストレスへ及ぼす影響について検討することを目的とした。

4. 2 研究方法

(1) 対象者

対象者は健常な男子学生 10 名 (平均値±標準偏差, 年齢: 22.6 ± 1.8 歳, 身長: 173.6 ± 6.6 cm, 体重: 70.9 ± 10.4 kg) であった. 対象者には事前に今回の測定の内容及び危険性を口頭及び書面で十分に説明し, 本実験の参加の承諾を得た. 本実験において不利益なことが起こった場合には, いつでも実験を中止できることを説明した. なお, 実験結果に影響が考えられるアルコール類などの摂取は実験開始 24 時間前から禁止し, 実験前に激しい運動を行っていないことを確認した. 実験は 1 週間の間隔を空け, 同じ曜日, 同じ時刻に開始できるよう調節した.

(2) 測定方法及び測定項目

I. 高濃度酸素吸入の方法

本研究の実験では, 高濃度酸素発生器 (小型高濃度酸素発生器: ビーゴ社製) を用いて高濃度酸素条件 (酸素濃度: 40%, 流量: 2L/分), 常酸素条件 (酸素濃度: 20.9%, 流量: 2L/分) の 2 条件での単盲検試験をクロスオーバーにて実施した. 試験ガスの吸入方法は, 付属のヘッドセットを装着し, 鼻孔を介してマウス (送風口) から放出される空気を吸う方法とした. その際の鼻孔とノズルとの位置は, 約 1cm 離れた状態とし, 通常と同様な呼吸を意識させた (写真 4-1). 5 分間の安静後, 60 分間の試験ガス吸入を座位による安静状態にて実施した. なお, 実験を行った実験室は, 他の実験室から隔離された場所にあり, 騒音が少なく, 両条件ともに室温は $18^{\circ}\text{C} \sim 23^{\circ}\text{C}$ の状態において吸入を実施した.

II. 試験ガス吸入前後及び吸入中の測定項目

実験の流れは図 4-1 に示す通りである. 対象者は実験室に来室後, 指尖より採血を行い, 主観的な体調の聞き取りを Visual Analog Scale (VAS) にて行った. VAS は体調が最も悪い状態を 0mm, 最も良い状態を 100mm として評価した. その後, 安静座位を十分にとらせた後に, 体位変換テストを実施した. 再度, 安静座位をとらせた後, 試験ガス吸入を開始した. 60 分間の試験ガス吸入後, 2 回目の体位変換テストを実施し, 採血を行った. 試験ガス吸入中の動脈血酸素飽和度 (SpO_2) と脈拍数は, パルスオキシメータ (PULSOX-301i: コニカミノルタ社製) を用いて測定を行った. 脳内酸素動態は, 近赤外分光法 (NIRS) による携帯型近赤外線組織酸素モニタ装置 (Pocket NIRS Duo: ダイナセンス社製) を用いて, 前頭葉前頭

前野をねらって前額部より測定した。この測定装置は、様々なノイズの影響を受けにくいとされる3波長（735nm, 810nm, 850nm）の吸光度から、Modified Beer-Lambert法を用いて、安静時の計測開始時点を基準とした相対的な酸素化ヘモグロビン量（oxygenated hemoglobin : oxy-Hb）と脱酸素化ヘモグロビン量（deoxygenated hemoglobin : deoxy-Hb）を算出する方式である（Delpyら, 1988）。本研究では、安静時の吸光度（optical density）を基準（0）とし、その変化量（arbitrary unit : A.U.）を用いて酸素吸入中の脳内酸素動態を経時的に評価した。測定プローブは右前頭葉部に粘着シートで固定し、NIRSの測定は、酸素吸入の前の安静時から吸入終了まで継続的に行った。



写真 4-1 高濃度酸素吸入実験時の様子

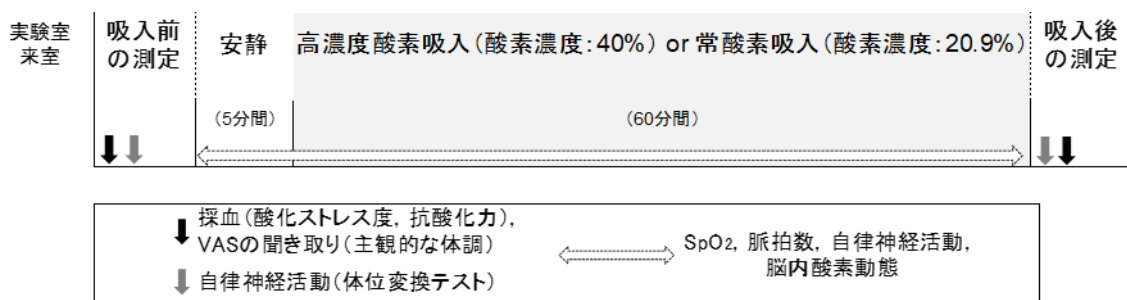


図 4-1 高濃度酸素吸入実験の方法

Ⅲ. 酸化ストレス度及び抗酸化力の測定

60 分間の試験ガス吸入前後における酸化ストレス度及び抗酸化力の測定は、第 2 章と同様の方法を用いた (p17~18).

Ⅳ. 自律神経活動の測定

60 分間の試験ガス吸入中の自律神経活動の測定及び試験ガス吸入前後に実施した体位変換テストの評価は、リアルタイム自律神経機能検査装置 (きりつ名人: クロスウェル社製) を用いて分析した. 体位変換テストは 2 分間の座位安静後, 起立し 2 分間立位をとるといふ姿勢変化に対する心拍の周期変動を, Memcalc 法による周波数成分のパワースペクトル解析にて連続的に解析することができる (Ohtomo ら, 1996). 解析可能な項目は, R-R 間隔のばらつきを心拍変動として捉えた R-R 変動係数 (Coefficient of Variation of R-R intervals: CVRR), 0.04~0.15 Hz の低周波成分 (Low Frequency: LF), 0.15~0.40 Hz の高周波成分 (High Frequency: HF) である. これらの数値を基に, 交感神経活動指標 (LF/HF) と副交感神経活動指標 (HF) を算出し, 交感神経・副交感神経の活動度, 起立による自律神経活動の変化率 (Δ CVRR, Δ LF/HF, Δ HF normalized unit) を分析した. 体位変換テストによって, 安静座位, 起立, 立位 (起立維持) の心拍変動を評価することが可能である. 安静時 CVRR は活動の大きさ, 安静時 LF/HF はバランス, 起立時 Δ CVRR は反応力, 起立時 Δ LF/HF は切替力, 立位時 Δ HF normalized unit は回復力をそれぞれ評価している. 測定の際, 心電図電極 (ブルーセンサー T-00-S: メッツ社製) を対象者の胸部に取り付け, 酸素吸入の前の安静時から吸入終了まで継続的に行った. なお, ECG 信号は 1000 Hz でコンピューターに取り込み, 分析を行った. 吸入中の自律神経活動のバランスを推定するために, HF normalized unit (以下, HFnu, $\text{HFnu} = \text{HF} / (\text{LF} + \text{HF}) \times 100$) を求めた. LF に対する HF の大きさを算出することで自律神経活動における副交感神経活動の指標とした (飯塚, 2011).

Ⅴ. 統計処理

測定値は全て平均値 (±標準偏差) で示した. 酸素吸入前後の 2 変量の比較は, 対応のある 2 群の平均値の差の検定を用い, 吸入中の各変数における経時的な変化の違いについては, 対応のある 2 要因の分散分析を用いた. さらに, 交互作用が有意となった場合については, Bonferroni の多重比較を用いて検討を行った. 統計処理には, 統計処理ソフト (IBM SPSS Statistics 21) を用いた. いずれの場合も危険率 5%未満を有意とした.

4. 3 測定結果

(1) 試験ガス吸入前後の項目について

表 4-1 に試験ガス吸入前後の酸化ストレス指標 (d-ROMs, BAP, BAP/d-ROMs), 主観的な体調及び体位変換テストについて示した.

I. 酸化ストレス指標, 主観的な体調

酸化ストレス指標における d-ROMs, BAP 及び BAP/d-ROMs については両条件において, 試験ガス吸入前後で有意な差は認められなかった (表 4-1). また, 主観的な体調に関しても試験ガス吸入前後での有意な差は認められなかった (表 4-1).

II. 体位変換テスト

体位変換テストについては, 高濃度酸素と常酸素吸入の両条件を比較するため, 試験ガス吸入前後での変化率を求めた. 体位変換テストのどの項目においても両条件間に, 有意な差は認められなかった (図 4-2).

(2) 試験ガス吸入中の項目について

安静時から試験ガス吸入中 60 分間における SpO₂, 脈拍数, 脳内酸素動態及び自律神経活動の変化率については, 表 4-2 に示した.

I. SpO₂, 脈拍数

SpO₂ と脈拍数の試験ガス吸入中の推移に関しては, SpO₂ においては高濃度酸素吸入条件のみに吸入 5 分の時点で, 安静時よりも有意 ($p < 0.05$) に高い値を示した. また, 1 %水準で有意な交互作用 ($p = 0.003$, F 値: 2.719, df: 1/12) が認められ, 条件間では吸入 20 分から吸入 50 分の時点で, 高濃度酸素条件の方が有意 ($p < 0.05 \sim 0.01$) に高い値を示した. 脈拍数においては, 5 %水準で有意な交互作用 ($p = 0.047$, F 値: 1.866, df: 1/12) が認められ, 条件間では吸入 20 分, 吸入 40 分から吸入 50 分, 吸入 60 分の時点で, 高濃度酸素条件の方が有意 ($p < 0.05$) に高い値を示した (表 4-2).

II. 脳内酸素動態

脳内酸素動態の各項目 (oxy-Hb, deoxy-Hb, total-Hb) については, 両条件において, 試験ガス吸入中での有意な差は認められなかった (表 4-2).

III. 自律神経活動

試験ガス吸入中における HF 成分の推移は, 両条件において, 試験ガス吸入中の有意な差

は認められなかった (表 4-2). LF/HF について, 常酸素条件では吸入 60 分の時点でのみ, 安静 5 分と比較して有意 ($p < 0.05$) に高い値を示した (表 4-2). また HF, LF/HF 及び HFnu において, 60 分間の平均値について検討してみると, HFnu のみ高濃度酸素条件の方が有意 ($p < 0.05$) に高い値を示し (図 4-3~4-5), HFnu の安静時からの変化率については, 吸入 25 分以降から条件間で有意 ($p < 0.05 \sim 0.01$) な差が認められた (図 4-6). CVRR については, 常酸素条件では吸入 50 分, 吸入 55 分時点で安静時と比較して有意 ($p < 0.05$) に高い値が認められたが, 条件間においては有意な差は認められなかった (表 4-2).

表 4-1 高濃度酸素, 常酸素吸入における吸入前後の酸化ストレス及び主観的な体調

測定項目	高濃度酸素吸入 (40%)					常酸素吸入 (20.9%)					
	Pre		Post		Pre vs Post	Pre		Post		Pre vs Post	
	mean	SD	mean	SD		mean	SD	mean	SD		
酸化ストレス											
d-ROMs	U.CARR	280.1	41.9	276.6	45.0	n.s.	277.0	43.6	273.8	47.2	n.s.
BAP	μmol/L	2118.9	108.9	2129.4	118.3	n.s.	2131.1	172.6	2145.7	147.6	n.s.
BAP/d-ROMs		7.72	1.2	7.86	1.2	n.s.	7.92	1.6	8.04	1.4	n.s.
主観的な体調	mm	72.7	9.9	68.4	17.3	n.s.	71.5	16.6	65.0	17.2	n.s.

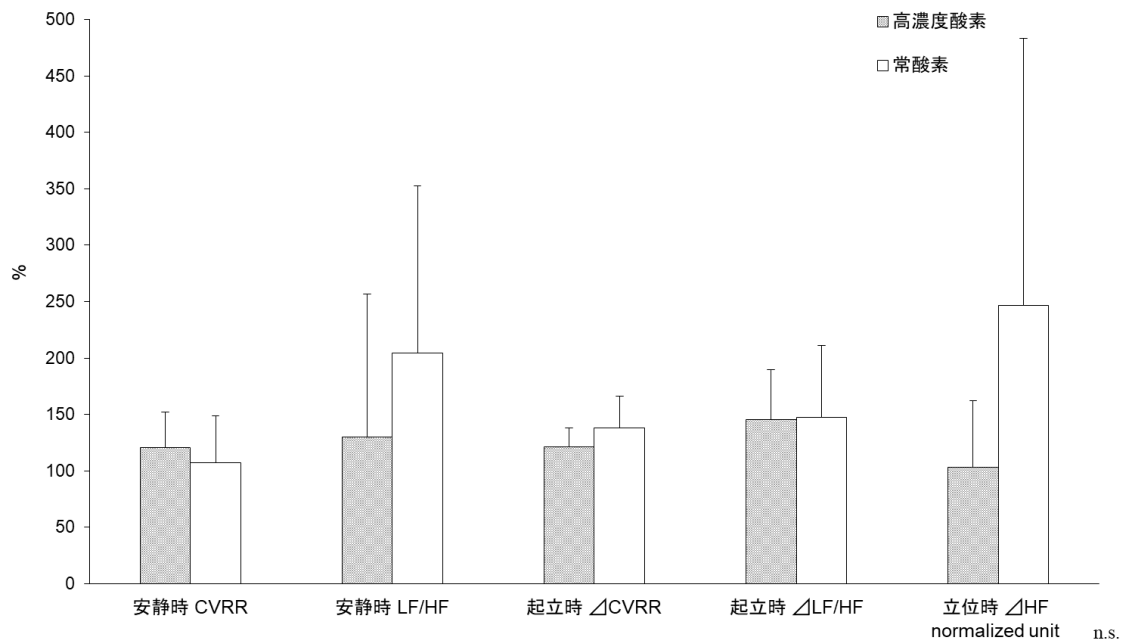


図 4-2 高濃度酸素, 常酸素吸入前後における自律神経活動 (体位変換テスト) の変化率 (平均値±標準偏差) (吸入前の測定値を 100%として比較)

表 4-2 安静時から吸入中 60 分間における SpO₂、脈拍数、脳内酸素動態及び自律神経活動の変化率の推移

	SpO ₂ (%)		脈拍数 (%)		oxy-Hb (%)		deoxy-Hb (%)		total-Hb (%)		HF (%)		LF/HF (%)		HF normalized nuIt (%)		CVRr (%)		
	高濃度酸素	常酸素	高濃度酸素	常酸素	高濃度酸素	常酸素	高濃度酸素	常酸素	高濃度酸素	常酸素	高濃度酸素	常酸素	高濃度酸素	常酸素	高濃度酸素	常酸素	高濃度酸素	常酸素	
安静5分	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
吸入5分	100.4**	100.0	97.7	99.4	101.1	99.8	99.5	99.7	100.7	100.7	125.1	136.3	212.3	69.8	125.8	127.2	95.3	95.8	95.8
	0.2	0.3	2.6	2.5	2.3	0.9	0.8	1.0	2.1	2.1	39.6	30.8	435.7	22.8	43.2	25.9	11.5	14.9	14.9
吸入10分	100.4	100.0	97.4	100.2	102.0	100.4	99.3	99.5	101.4	99.9	111.5	111.5	344.5	125.2	98.4	93.7	113.6	96.6	96.6
	0.4	0.4	5.1	5.9	3.1	1.7	1.6	1.5	2.8	2.8	88.2	21.8	690.9	58.0	41.8	24.7	22.1	21.1	21.1
吸入15分	100.3	99.9	96.2	100.6	102.6	101.0	99.2	99.2	101.8	100.2	175.0	107.5	167.3	131.6	118.0	92.0	109.7	99.3	99.3
	0.4	0.6	4.7	5.1	3.5	2.8	1.8	1.3	3.2	2.6	126.8	32.0	244.9	71.5	43.3	23.5	24.0	19.0	19.0
吸入20分	100.3††	99.6	96.0†	102.0	102.9	101.6	99.1	99.4	102.1	101.0	187.3	104.9	191.4	198.5	97.9	76.2	114.4	111.2	111.2
	0.4	0.6	5.1	7.0	4.3	4.3	1.9	1.5	3.9	3.7	158.4	35.5	194.0	143.8	34.3	28.0	26.1	33.5	33.5
吸入25分	100.4†	99.7	97.4	101.0	102.5	101.8	99.2	99.5	101.7	101.3	154.6	96.7	249.4	231.7	100.6†	69.5	119.1	110.2	110.2
	0.5	0.7	5.0	3.8	3.1	3.6	1.5	1.9	3.4	3.8	90.1	43.9	394.1	205.4	30.8	24.7	32.7	17.0	17.0
吸入30分	100.3††	99.5	97.0	101.7	103.6	102.4	99.0	99.4	102.7	101.8	180.3	103.5	110.9	263.8	103.2	76.3	119.9	114.7	114.7
	0.7	0.7	5.4	4.7	3.5	3.6	1.3	2.3	3.8	3.9	125.0	59.0	27.8	314.2	18.0	34.6	26.6	32.1	32.1
吸入35分	100.5††	99.6	97.9	103.5	105.4	102.4	98.8	99.6	104.2	102.0	172.1	96.1	127.6	266.9	106.7††	70.7	124.4	117.6	117.6
	0.7	0.7	6.9	4.8	3.9	3.7	1.4	2.3	4.1	3.9	141.0	40.4	95.1	243.1	35.7	26.8	25.7	29.1	29.1
吸入40分	100.5†	99.8	97.4†	103.6	104.5	103.0	98.7	99.1	103.3	102.1	173.9	94.7	113.4	215.6	108.7†	72.3	122.4	120.4	120.4
	0.8	0.7	7.0	4.8	4.2	3.5	1.8	2.3	4.3	4.3	113.3	31.0	56.9	124.8	34.3	20.4	33.2	21.3	21.3
吸入45分	100.5†	99.8	97.9†	105.3	105.3	102.8	98.5	99.1	105.8	101.9	160.2	102.9	114.7	237.5	108.6†	66.4	116.9	137.3	137.3
	0.8	0.7	7.1	5.3	4.4	3.4	1.8	2.3	4.7	4.7	85.2	35.6	64.3	108.2	35.7	25.0	39.4	24.5	24.5
吸入50分	100.6†	100.1	99.8†	106.9	105.1	102.4	98.4	99.3	105.5	101.7	115.7	113.0	218.8	283.6	86.9	58.7*	120.2	145.7*	145.7*
	0.8	0.7	5.8	7.5	3.9	3.7	1.5	2.3	4.7	4.8	42.5	41.1	176.7	123.1	38.9	21.1	32.3	25.6	25.6
吸入55分	100.7	100.0	100.4	106.3	104.5	102.9	98.5	99.2	105.0	102.1	126.8	85.1	194.4	325.0	83.6†	53.3*	119.0	130.3*	130.3*
	1.1	0.7	5.9	9.2	3.9	4.0	1.4	2.3	4.9	5.4	57.5	27.9	165.3	172.0	29.0	23.5	29.0	17.5	17.5
吸入60分	100.8	100.2	99.8†	105.4	104.4	103.0	98.4	99.7	102.8	102.7	122.3	92.6	137.6	268.3*	104.3†	54.2**	116.9	134.7	134.7
	1.1	0.6	5.9	8.3	5.4	4.6	1.5	2.7	5.8	6.2	54.4	29.3	106.7	79.8	50.0	11.9	28.8	29.7	29.7

*: p<0.05, **: p<0.01 (vs 安静5分)
†: p<0.05, ††: p<0.01 (高濃度酸素 vs 常酸素)

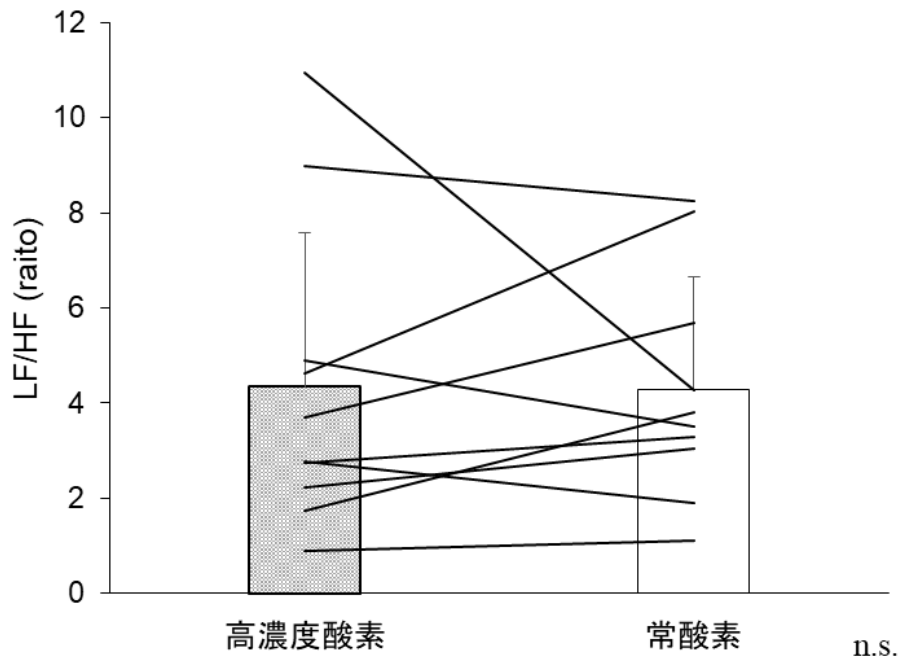


図 4-3 LF/HF の高濃度酸素, 常酸素吸入 60 分間の平均値の比較

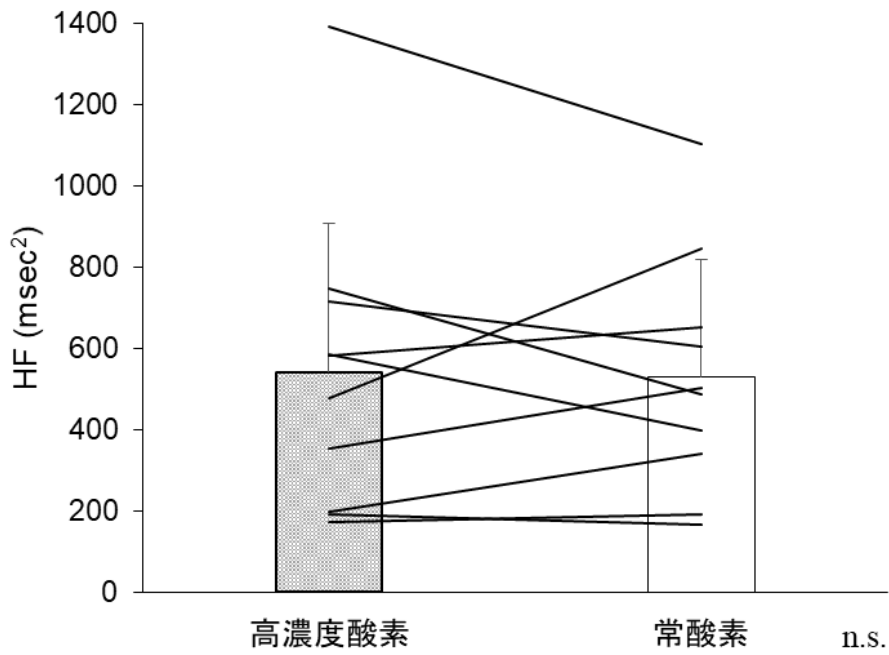


図 4-4 HF の高濃度酸素, 常酸素吸入 60 分間の平均値の比較

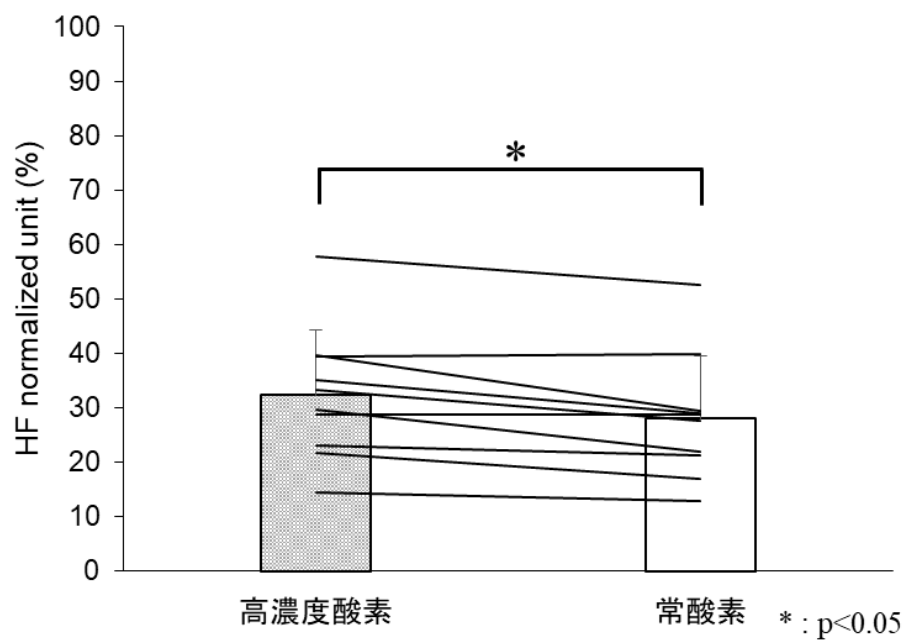


図 4-5 HF normalized unit の高濃度酸素, 常酸素吸入 60 分間の平均値の比較

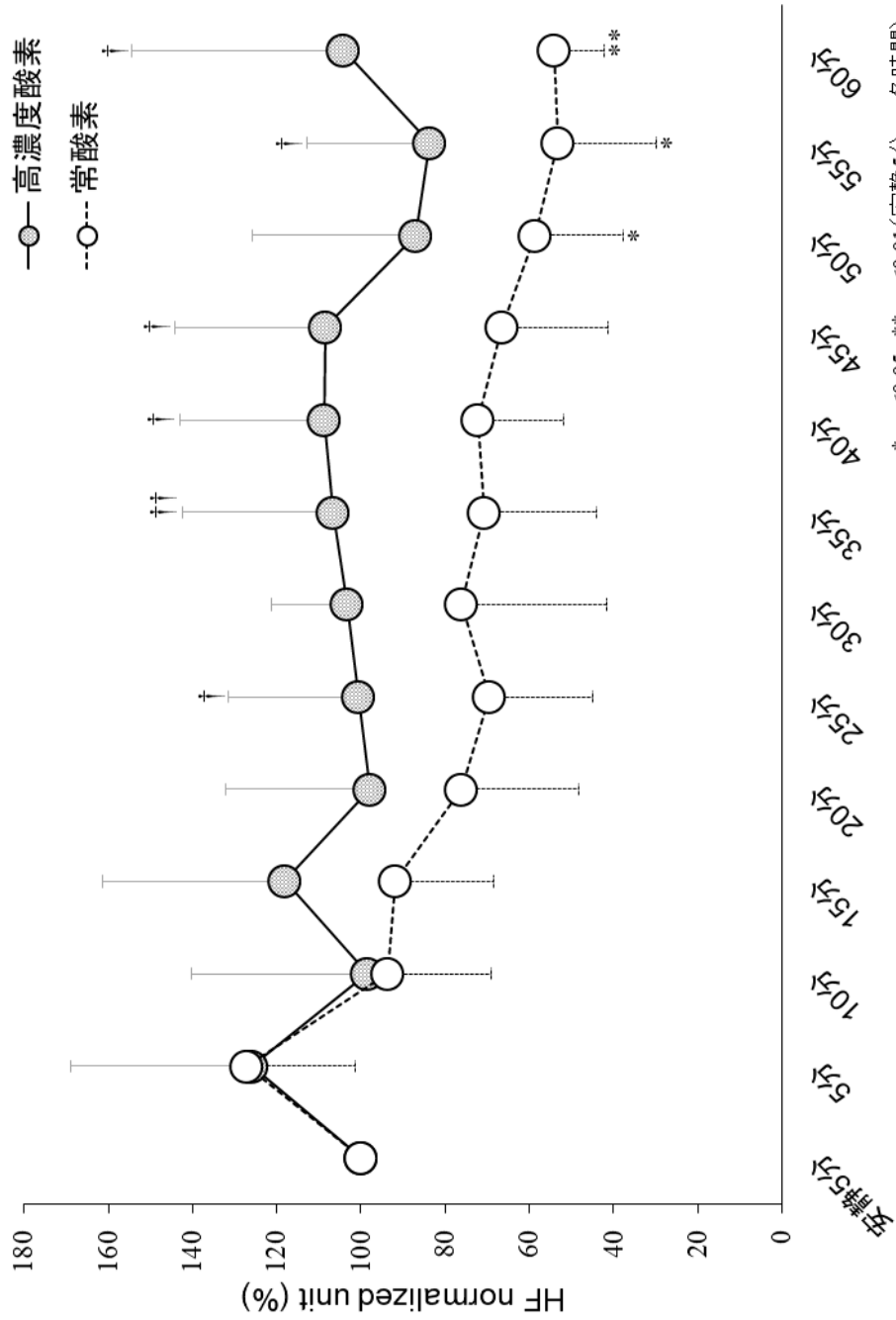


図 4-6 安静時から吸入中 60 分間における HF normalized unit の変化率の推移 (平均値±標準偏差)

4. 4 考察

本研究の目的は、スポーツ現場におけるコンディショニングのための一処方として利用されている高濃度酸素発生器を使用した酸素吸入に着目し、吸入前後及び吸入中の身体での心拍変動や酸化ストレスへの影響について検討することであった。本実験では安静 5 分間の後、60 分間の酸素吸入を高濃度酸素条件、常酸素条件の 2 条件での検討を行った。

今回使用した高濃度酸素発生器は、家庭においても使用することが可能であり、疲労回復効果を期待するものであった（朝日新聞，2004）。また、杉田・早川（2010）によれば、サッカー日本代表選手における高地合宿中のリカバリー対策として、簡易型の高濃度酸素発生器を用いた就寝前の 30 分間の吸入を実施したことを報告している。就寝前に体内へ高濃度の酸素を送り込むことによって、血流を良くし疲労回復を促進するとともに質の高い睡眠を取ることを期待して使用しており、選手からの内省報告では、大変有益であったことを報告している。さらに、石原（2005）の報告によれば、このような高濃度酸素の暴露により、血液量が増大し、代謝が亢進することで迅速な回復が促されることが効果の要因であるとしている。これまでの先行研究では、高濃度酸素吸入を運動後の回復期において使用し、その効果を検討する研究が多く見受けられる。しかしながら、その効果については、様々な条件で検討されているが、換気量や心拍数など呼吸循環系に及ぼす影響に関して、否定的な報告が多い（村松ら，2004；Nummela ら，2002；Robbins ら，1992；Titlow，1982；Weltman ら，1977）。今回は、安静時における高濃度酸素吸入の影響についての検討であり、コンディショニングツールとして使用する際の方法についての情報を得ることであった。SpO₂ や脈拍数の酸素吸入中の変化率をみると、高濃度酸素条件の SpO₂ が安静時と比較して吸入 5 分で高く推移し、条件間を比較すると、高濃度酸素の SpO₂ が高く、脈拍数は低い傾向を示した。一方で脳内酸素動態については、oxy-Hb, deoxy-Hb, total-Hb の数値に変化はみられなかった。このように高濃度酸素吸入によって、動脈血酸素飽和度や脈拍数には高濃度酸素吸入の効果が示される結果となったが、脳内酸素動態については条件間で大きな差を示すまでには至らなかった。石井ら（1995）の報告では、高濃度酸素を吸入し、肺胞内の酸素濃度が高まったとしても、動脈血中のヘモグロビンはほとんど酸素と飽和しているため、ヘモグロビンの酸素運搬能力には大きな変化はなく、血漿中の溶解型酸素も増えないと推察している。このような理由から本実験における酸素吸入中の脳内酸素動態においても大きく影響を及ぼさない結果となったと考えられる。

また、今回使用した家庭用高濃度酸素発生器による吸入方法は、鼻孔より約 1cm 離れたノズルから放出される空気を吸う方法であったが、この方法の場合、室内より高い濃度の酸素は鼻孔に入るまでに拡散され、その濃度は低下してしまう可能性が考えられる。同様の方法にて吸入を行った村松ら (2004) によると、鼻孔内での呼気の酸素濃度は噴出口よりも 3% 以上低くなっていることを報告している。本研究においてはスポーツ現場での使用の利便性を考慮し、マスク等ではなくノズルを介しての酸素吸入を採用したが、本実験の実際の酸素吸入濃度についても 3% 以上低下している可能性があり、この濃度低下が今回の結果に影響を与えている一因であることが推察される。

高濃度酸素吸入による酸化ストレスへの影響をみると、吸入前後での酸化ストレス度、抗酸化力及び潜在的抗酸化能に変化はみられなかった。これまでの研究をみると、曝露時間の違いによって酸化ストレスへ及ぼす影響は異なっている。本研究と同様に、1 気圧環境下における安静状態で健常者を対象とした酸素吸入の影響に関する報告は限られている (金丸・小野沢, 2005 ; Loiseaux-meunier ら, 2001)。Loiseaux-meunier ら (2001) は、100% の高濃度酸素を 125 分間吸入した直後における血清過酸化脂質濃度の増加を報告している。一方、金丸・小野沢 (2005) によると、男性 4 名を対象に 34 分間、通常空気吸入と 100% の高濃度酸素を吸入させた結果、血清過酸化脂質濃度に顕著な変化はみられなかったことを報告している。また、丸岡・高柳 (2010) は、高濃度酸素吸入による酸化ストレスへの影響を本研究と同様の酸化ストレスマーカーを用いて検討している。健常者を対象とし、高気圧 (1.3 気圧)・高濃度酸素 (50%) に 60 分間曝露し、安静時、曝露終了時、曝露終了 30 分後の酸化ストレスの評価をしている。対象者を潜在的抗酸化能の高い群 (7.541 以上)、低い群 (7.541 未満) の 2 群に分けて検討した結果、高い群の d-ROMs は安静時と比較して有意な変化は認められず、低い群に関しては、曝露終了 30 分後まで減少することを報告している (丸岡・高柳, 2010)。このことは、高気圧・高濃度酸素曝露によって自律神経系や酸化ストレス防御系などの生体のホメオスタシス機構を改善させる可能性を示唆すると筆者らは述べている。本研究においては、同様の結果は認められなかったが、先行研究の結果は高濃度酸素吸入のメリットを示していると考えられ、今後の利用方法を考えていく上では、さらなる検討が必要である。これまでの先行研究から検討すると、60 分間の曝露時間を越えるような場合では、酸化ストレスの上昇が報告されている (Loiseaux ら, 2001) が、それ未満の時間においては、本研究結果や先行研究 (金丸・小野沢, 2005 ; 丸岡・高柳, 2010) からも顕著な変化は認められていない。したがって、酸素濃度や検討している酸化ストレスマーカーの違

いこそあるが、60 分間、単回の高濃度酸素吸入による酸化ストレスへの影響は、常酸素条件と同等であり、酸化ストレスの観点からはデメリットを引き起こさないことが示唆された。

自律神経活動についてみると、心拍変動のスペクトル解析における HF 成分が副交感神経活動の働きを示しており、心理的なリラクゼーションと関係していると考えられている（加賀谷・中村，2001）。しかしながら、HF 成分の主な要素は、呼吸性不整脈であるため、呼吸数の変化が心拍の変動に影響を与えているのか、呼吸の変化が影響を与えているのか分からない。また、一回換気量の影響も受けるために、対象者の呼吸を一定のパターンに統制することが望まれる（石橋ら，1997）。今回は呼吸数の測定を実施しておらず、通常の呼吸を意識させ、一定のリズムで吸入を行うことを意識させて酸素吸入を実施させたが、60 分間呼吸を一定のパターンに統制させることができていたかを詳細に分析することは今回の測定内容からでは把握できない。本研究の結果をみると、交感神経活動を示す LF/HF 成分と副交感神経活動を示す HF 成分に試験ガス吸入中の顕著な変化や、吸入前後での体位変換テストには条件間での違いは認められなかった。この結果は、LF 成分や HF 成分の対象間のばらつきが多くみられることや、呼吸数を一定のパターンに統制することができなかったことが要因となったのかもしれない。一方でスポーツ現場での活用場面を考えると、60 分間という長時間に及ぶ吸入中に呼吸統制を行うことは想定されにくく、本研究の方法によってもスポーツ現場での酸素吸入に対する影響をある程度検討できると考えられる。そこで、LF に対する HF の大きさを算出することで自律神経活動における副交感神経活動の指標とし、自律神経活動のバランスを推定した HFnu をみると、60 分間の吸入中の平均値は高濃度酸素吸入の方が有意に高い値を示した。また、その変化の推移については吸入 25 分後から顕著な差を示していたが、このことは常酸素条件による HFnu の低下が引き起こした結果であるとも考えられる。60 分間の座位安静は長時間に及ぶことから、かなりのストレスが生じると思われる。この条件が常酸素の副交感神経活動の低下に関係していたのではないかと推察される。HFnu については、これまでに運動選手のコンディションの把握や競技成績との関連がみられる報告がなされている（飯塚，2011；両角ら，2014；両角ら，2015）。両角ら（2014，2015）によれば、起床時 HFnu とコンディション状態には関連がみられることや競技会前の調整期においては HFnu の数値が高く副交感神経活動優位であることが競技パフォーマンス、さらには競技成績の向上にも繋がることを報告している。スポーツ現場においては、遠征時による長時間移動や合宿期間中、試合の調整期（飯塚，2011）など、自律神経活

動における交感神経活動が優位となることが多くの場面であると考えられる。高濃度酸素吸入によるコンディショニングのため的一处方としての利活用を考えると、このようにストレスが生じる場面でのHFnuに対する高濃度酸素吸入のメリットを示しているのではないかと考えられる。本研究で用いた吸入の条件においては、最適な吸入時間までの検討までは至らないが、両条件を比較すると、60分間の高濃度酸素吸入は副交感神経活動を低下させないことが示唆された。

以上のことから、高濃度酸素吸入は常酸素吸入と比較して、自律神経活動における副交感神経活動を低下させないことが示唆された。また、60分間、単回の高濃度酸素吸入については、少なくとも生体内レドックス（酸化還元）反応の観点からはデメリットを引き起こさないことが明らかとなった。本研究では一過性の高濃度酸素吸入による影響を検討したものであったが、吸入後における自律神経活動に対する持続的な影響や習慣的な高濃度酸素吸入の酸化ストレスへの影響、最適な吸入時間、吸入後の睡眠の質などに関する検討については、高濃度酸素吸入をコンディショニングとして利活用していく上では重要であり、今後の検討課題である。

4. 5 結論

本研究の目的は、運動選手に対する疲労回復のための一処方として利用されている高濃度酸素発生器を使用した酸素吸入に着目し、家庭用高濃度酸素発生器を使用した安静時の高濃度酸素吸入と常酸素吸入における、自律神経活動や酸化ストレスへ及ぼす影響について検討することであった。

高濃度酸素吸入（60 分間，酸素濃度：40 %）が生体に及ぼす酸化ストレスへの影響は、常酸素と同等であり、60 分間の単回の曝露では、生体内レドックス（酸化還元）反応の観点からはデメリットを引き起こさないことが明らかとなった。また、高濃度酸素吸入は常酸素吸入と比較して、自律神経活動における副交感神経活動を低下させないことが示唆された。

第5章
総括

5. 1 総合的考察

本博士論文では、アスリートのコンディション評価のための客観的指標として、酸化ストレス指標を用いることの有用性や利活用について、第2章では実業団女子長距離走選手、第3章では高校男子長距離走選手を対象に事例的に検討し、第4章では疲労回復のために活用されている高濃度酸素吸入による効果と酸化ストレスに対するデメリットについての検討を行った。本章においては、これらの研究と実際に筆者が競技現場において酸化ストレス指標を活用している事例も踏まえ、総合的に考察を行うこととする。

筆者は現在、「飛騨御嶽高原高地トレーニングエリア（図5-1）」における医・科学サポート業務を担当し、実際に標高1708mに位置する御嶽濁河高地トレーニングセンターに常駐しながら、様々なアスリートに対する科学的支援を行っている。医・科学サポートの実施内容としては、高地トレーニングを行う事前・滞在中・事後の期間において、事前の相談から滞在中のコンディション測定、事後の運動測定などを一つのパッケージとして提供している（図5-2）。本博士論文中においては、コンディション評価のための酸化ストレス指標の有用性を論じてきたが、実際に高地滞在中のコンディション測定の一つとして、酸化ストレスの評価を行い、アスリートへのコンディション支援を実施している。



図 5-1 飛騨御嶽高原高地トレーニングエリアの全体図

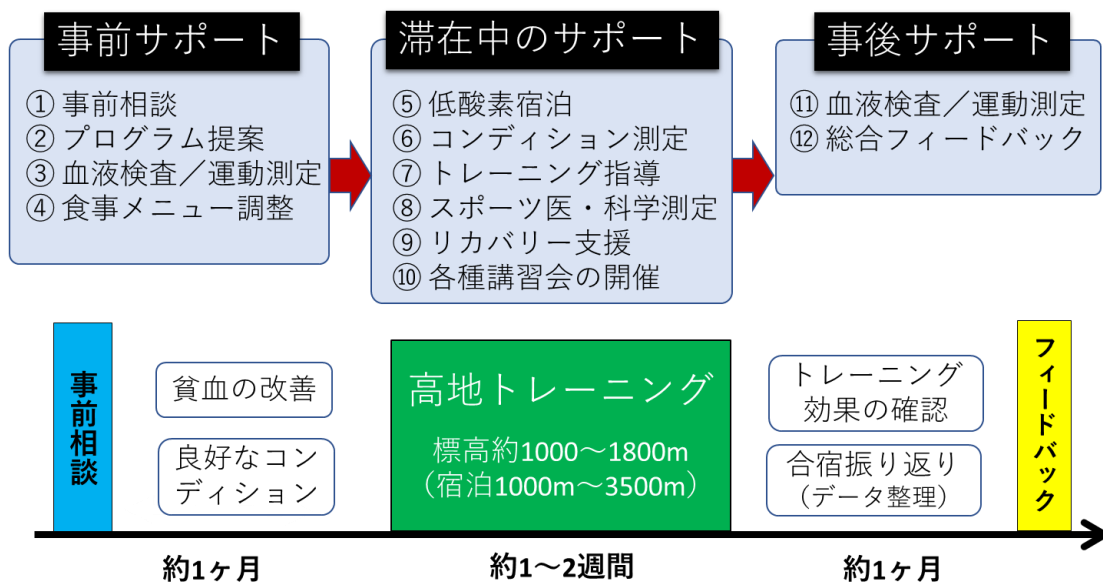


図 5-2 国内高地拠点（飛騨御嶽および蔵王防平）における医・科学サポート実施内容

飛騨御嶽高原高地トレーニングエリアにて高地合宿中（期間：2018年5月23日～6月20日，対象者：実業団男子長距離走選手），及び下山後の相対的な潜在的抗酸化能（BAP/d-ROMs）の推移を図 5-3 に示す．これは特徴的な推移を示した A 選手と B 選手の事例である．A 選手は大会前日の値が競技会（5000m）に向けて 13.3%の上昇を示した一方で，B 選手は下降する傾向を示した．両選手の競技会での成績は A 選手が 1 位，B 選手は 6 位という結果であり，第 3 章で特徴的な変動を示した選手と同様に相対的な値で示された潜在的抗酸化能が競技パフォーマンスに関連する可能性を示した事例であると考えられる．また，上記の選手は，日本選手権に出場するような国内トップの選手であり，第 3 章の結果と同様に高い競技力を保持していることが酸化ストレス指標による競技パフォーマンスの予測に繋がる一因であると推測され，第 3 章を支持する事例であった．

両選手（A・B 選手）の d-ROMs と BAP の関係を図 5-3，5-4 に示す．d-ROMs と BAP の相互の関係性について相関分析を用いて検討を行ったところ，両者には有意な相関関係は認められなかった（図 5-4，5-5）．金剛寺ら（2007）の報告によれば，BAP が増加することは，抗酸化酵素や抗酸化物質の動員が高まった状態であると予測している（金剛寺ら，2007）．一方で，BAP と d-ROMs とともに減少するケースもあり，このことは酸化ストレスを消去するために抗酸化酵素や抗酸化物質が消費されたことが影響していると考えられている（金剛寺ら，2007）．酸化ストレスと抗酸化力が相関関係を示す研究も報告されているが，この報

告は同一被験者を対象とした検討ではない（永田ら，2014）．また，第2章の対象選手においても A・B 選手同様に同一選手内での指標間の関係性は示されなかった．これらのことから，d-ROMs と BAP の関係性は，d-ROMs が高値を示せば，BAP も高い値を示すことや，もしくは負の相関を示すような関係ではなく，その両者の値はバランスが重要であり，それゆえに注意深い解釈が必要であるといえる．

酸化・抗酸化のバランスを捉えるために，両選手（A・B 選手）の d-ROMs と BAP の関係を偏差値で示したところ，A 選手の合宿中及び下山後の値は，主に右上にプロット（酸化度が低く・抗酸化が高い，良好な状態）されていたが，一方で B 選手は，A 選手とは異なるプロットを示した（図 5-6，5-7）．偏差値ではなく，測定値によって判断すると，B 選手は良好な酸化・抗酸化バランス（BAP/d-ROMs が 7.51 以上）を示しているが，上記のように偏差値や相対値で示した場合を加味すると，個人内においては良好な状態であるかを判断するには注意が必要であると考えられる．このように事例的な検討ではあるが，個人内でのデータが蓄積できれば，練習調整のための客観的指標として活用することも可能であり，その評価には第2章や第3章で明らかとなったように，相対値やさらには偏差値として酸化ストレス指標（d-ROMs・BAP）を用いることが望ましいであろう．また，少なくとも偏差値として示すには，第2章で示したデータ数を収集することや，得られた数値が正規分布しているかを確認し，分析を行うことが必要であると考えられる．

飛騨御嶽高原高地トレーニングエリアでのサポート活動においては，表 5-1 に示すように多岐に渡る選手に対して酸化ストレス指標を用いたコンディション評価を行ってきた．この集団の平均値は，永田ら（2014）が報告している絶対的健常者の値よりも d-ROMs は高く，BAP は低い傾向であった（永田ら，2014，図 5-8）．また，第2章と第3章の実業団女子長距離走選手と高校男子長距離走選手のデータも加え，競技種目ごとの酸化ストレス指標の数値を算出したところ，測定値にはばらつきがあることや，女子パラアスリートは d-ROMs が顕著に高い値であることが示された（図 5-9～5-11）．このように顕著に高い酸化ストレス度を示したパラアスリート（692，505U.CARR）は，2名とも欠損の選手であったが，高地合宿中は，両選手ともコンディションを崩すことはなく，内科的疾患も見受けられない状態であった．データ数も限られており，数値が高い原因までの言及はできないが，女子パラアスリート（欠損）の酸化ストレス度は，顕著に高い傾向を示すことや，選手ごとに測定値にはばらつきが多く見受けられることが示唆された．

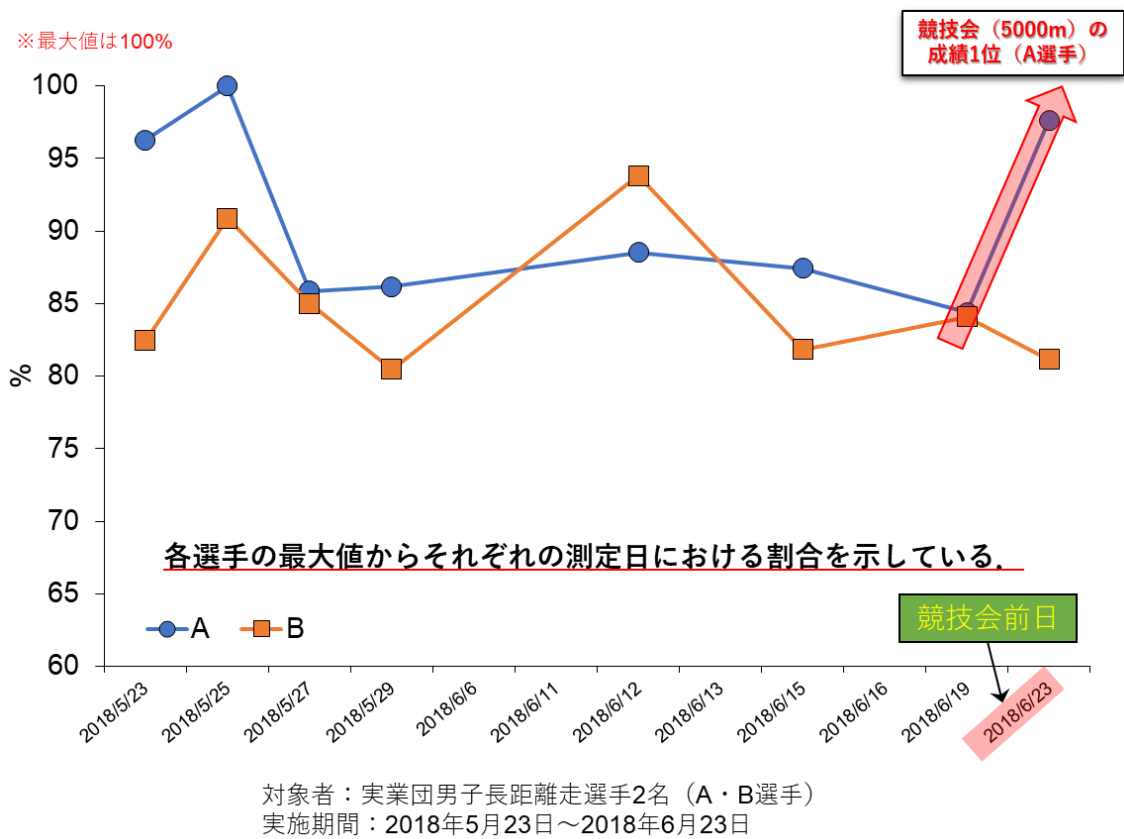
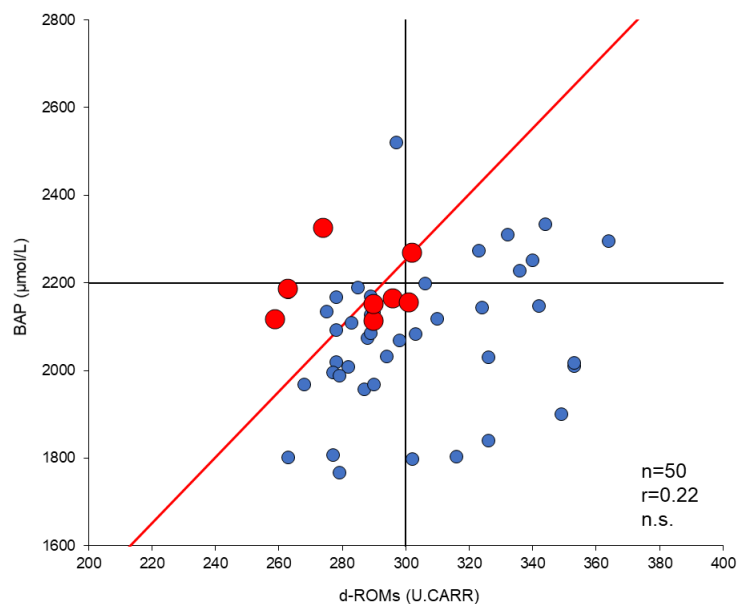
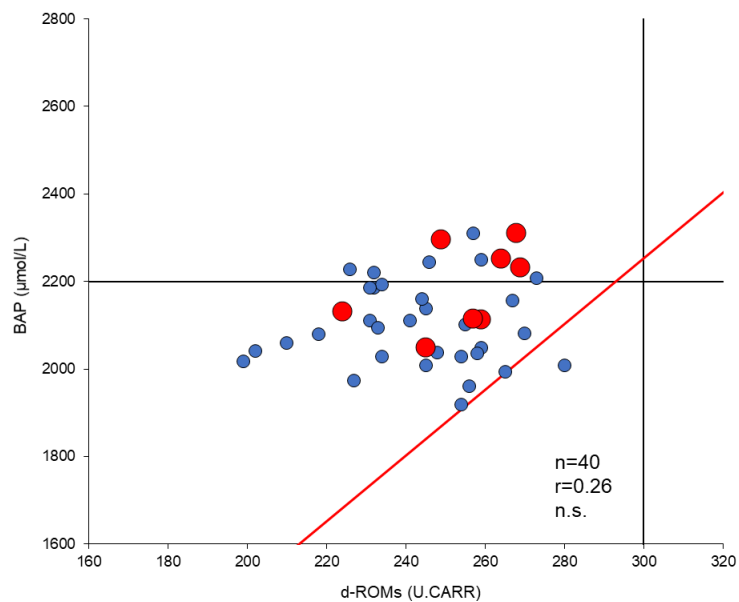


図 5-3 高地合宿中、及び下山後の相対的な潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs) の推移



対象者：実業団男子長距離走選手1名（A選手）
 実施期間（回数）：2017年6月28日～2019年9月13日（計50回）
 ※斜線の左上は、潜在的抗酸化能が7.51以上であることを示す
 赤色マーカーは、2018年5月23日～2018年6月23日の測定値を示す

図 5-4 d-ROMs と BAP の関係（A 選手）



対象者：実業団男子長距離走選手1名（B選手）
 実施期間（回数）：2017年6月28日～2019年4月10日（計40回）
 ※斜線の左上は、潜在的抗酸化能が7.51以上であることを示す
 赤色マーカーは、2018年5月23日～2018年6月23日の測定値を示す

図 5-5 d-ROMs と BAP の関係（B 選手）

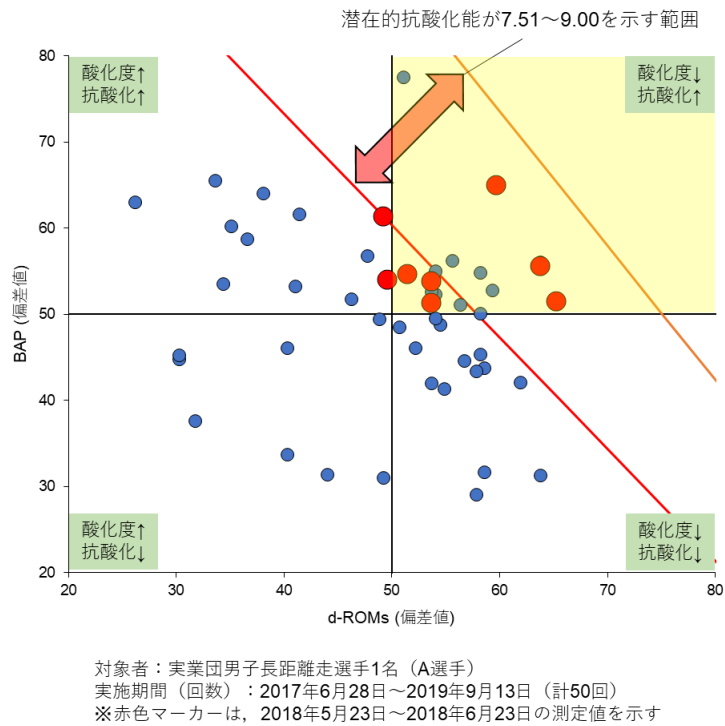


図 5-6 d-ROMs と BAP の関係（偏差値）（A 選手）

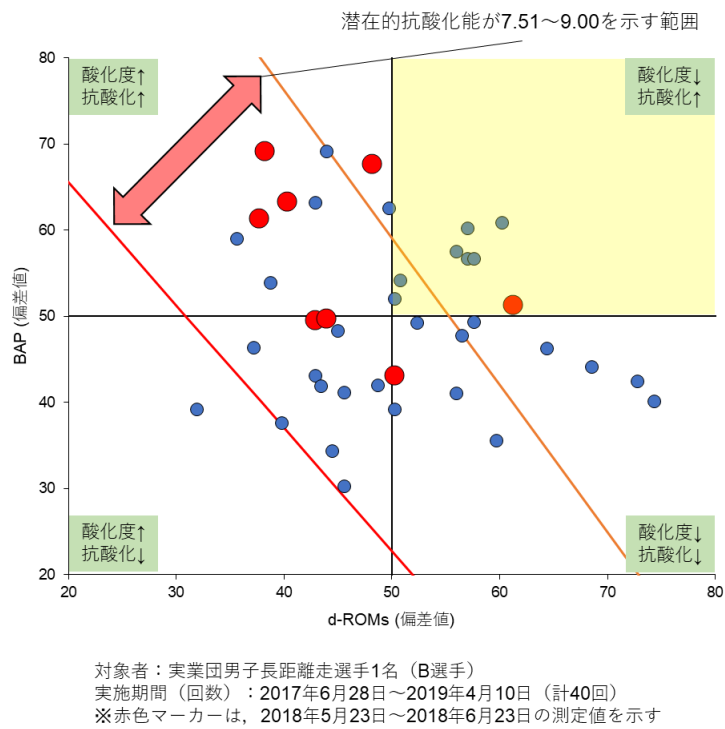


図 5-7 d-ROMs と BAP の関係（偏差値）（B 選手）

表 5-1 対象選手の一覧表

性別	種別	人数	性別	種別	人数
男性	実業団長距離	35	女性	実業団長距離	3
男性	実業団中距離	2	女性	大学生長距離	5
男性	大学生長距離	12	女性	テコンドー	2
男性	テコンドー	5	女性	柔道	2
男性	レスリング	21	女性	パラサイクリング	3
男性	パラサイクリング	3	女性	パラサイクリング (パイロット：健常者)	1
男性	パラサイクリング (パイロット：健常者)	1	女性	パラテコンドー	1
男性	パラテコンドー	3			
男性	パラ陸上車いす (短距離)	1			

対象者：高地トレーニング合宿参加者100名
 (男性：83名，女性：17名，男性パラアスリート：7名，女性パラアスリート：4名)
 実施期間：2017年4月～2019年10月
 測定のタイミング：起床後空腹時および朝食後2時間以上経過後の安静時
 (合宿開始2日以内の計測データ)

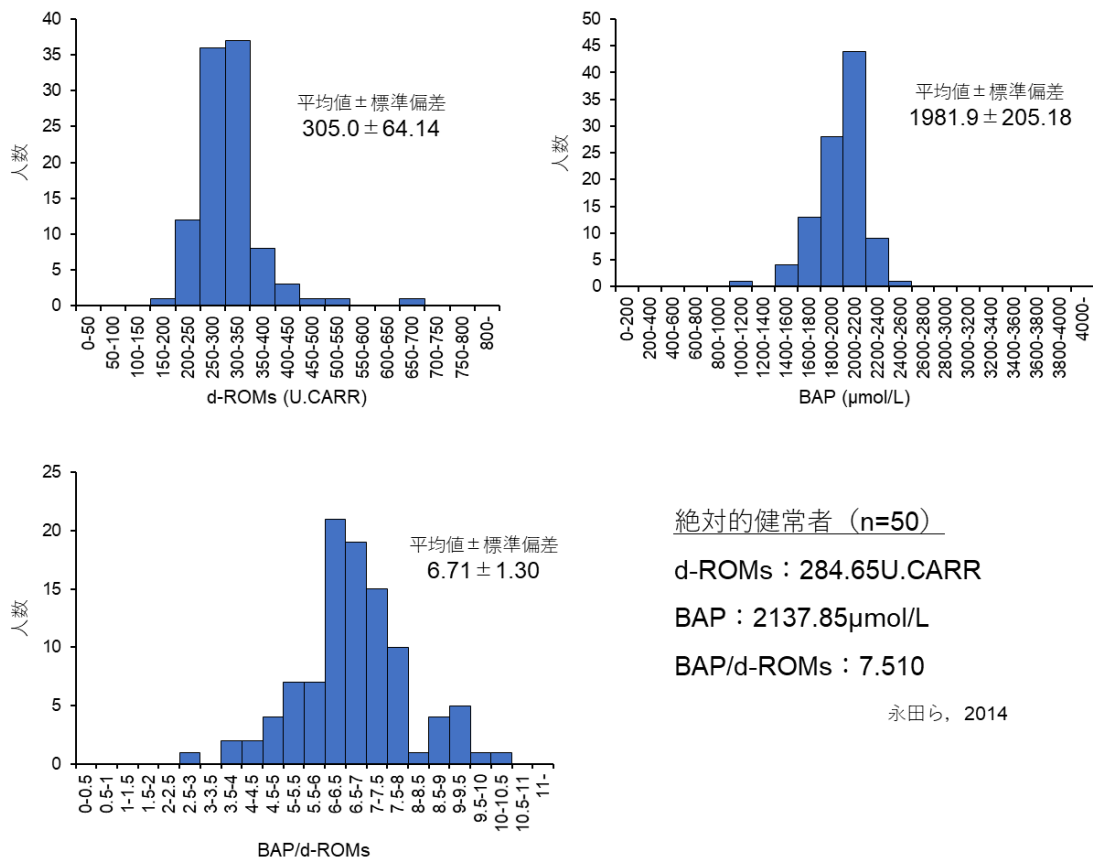


図 5-8 高地トレーニング合宿参加者の酸化ストレス指標の平均値と度数分布

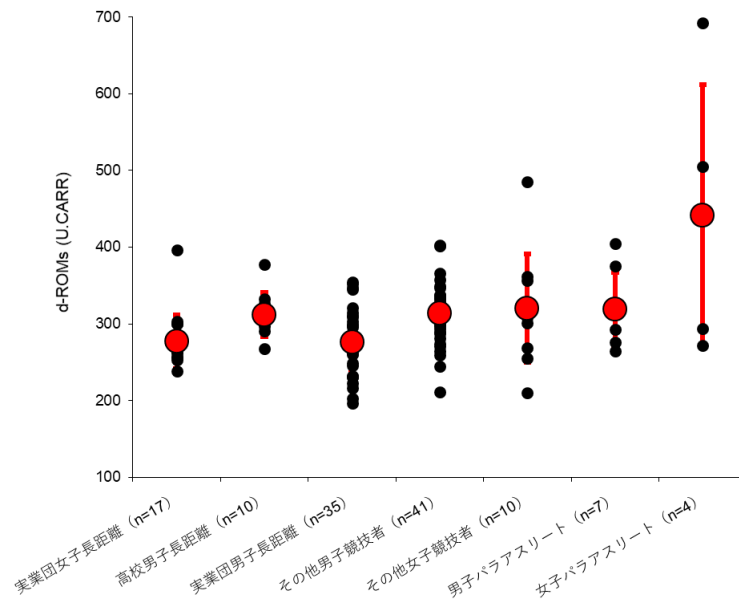


図 5-9 競技種目ごとの酸化ストレス指標 (d-ROMs)

※赤色マーカーは、平均値を示す

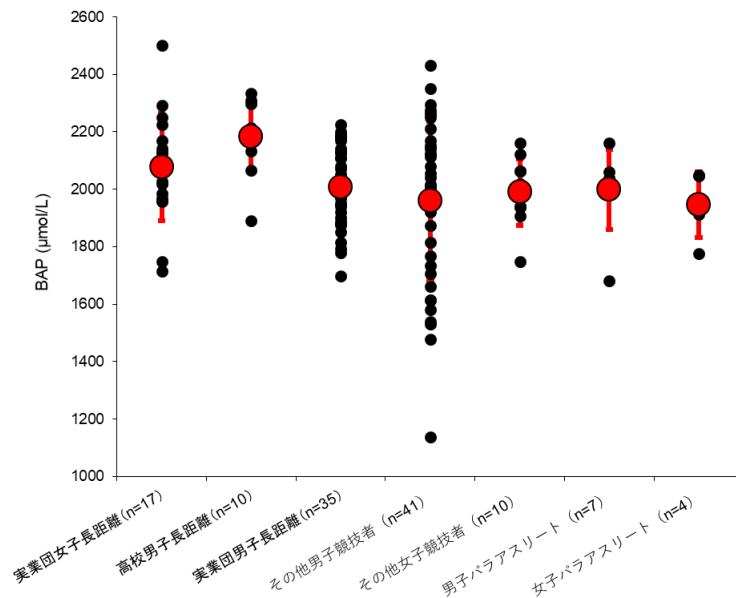


図 5-10 競技種目ごとの酸化ストレス指標 (BAP)

※赤色マーカーは、平均値を示す

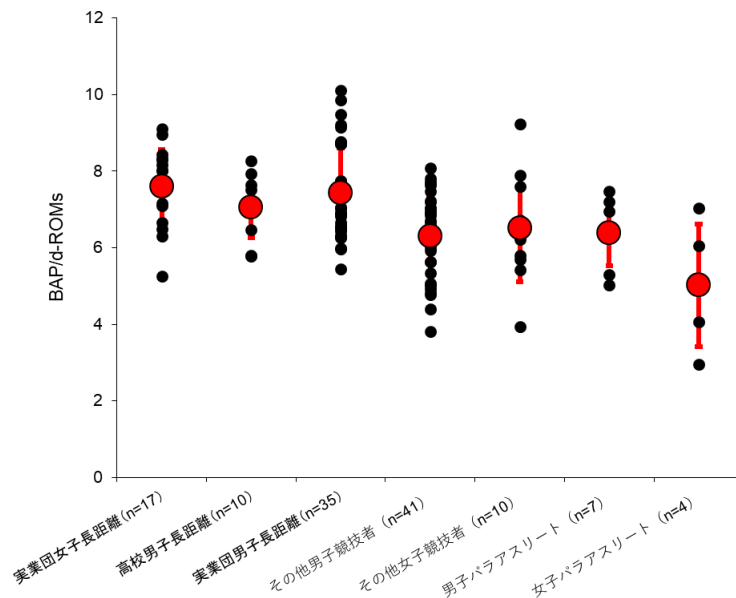


図 5-11 競技種目ごとの酸化ストレス指標 (BAP/d-ROMs)

※赤色マーカーは、平均値を示す

本博士論文においては、酸化ストレス指標として d-ROMs, BAP, BAP/d-ROMs の有用性について論じてきた。ここでは、本研究での結果を踏まえて、3つの酸化ストレス指標の考え方についての考察を行う。

第2章や第3章で対象とした選手は、性差や競技レベルの差異こそあるが、陸上競技長距離走選手であり、持久系アスリートにおける事例検討であったといえる。第2章では、競技パフォーマンス (5000m 走) と抗酸化力 (BAP) との相関関係が示され、d-ROMs や BAP/d-ROMs との関係性は認められなかった。一方、第3章での高校男子長距離走選手を対象とした検討では、潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs) が最も重要な指標であると示唆された。先行研究によ

れば、30秒間の自転車全力駆動においてはd-ROMsが低く、潜在的抗酸化能の高い選手の体重当たりの平均パワーが高いこと（杉田，2014）や、ロンドンオリンピックにおいて活躍した短距離走選手の潜在的抗酸化能は、高値を示していたことが報告されている（川本，2013）。このように短距離走や自転車全力駆動のような短時間高強度の運動においても、潜在的抗酸化能がパフォーマンスと関連していることが示されている。以上の先行研究も踏まえて検討すると、酸化ストレス指標として、潜在的抗酸化能が3つの指標の中では最も重要であると考えられる。本研究で用いた酸化ストレスマーカーとは異なるが、神林ら（2015）は、高強度間欠的運動の発揮パワー低下率と尿中8-OHdGとの関係から、ROSによる酸化ストレスがこのような短時間高強度運動の発揮パワー低下と関連することを示唆している（神林ら，2015）。酸化ストレスによる筋機能低下の関与が推察されており、酸化ストレスマーカーとして酸化生成物（Oxidation products；8-OHdGやd-ROMs）をモニタリングすることが、短時間高強度運動の場合は、有用である可能性が高いといえる。その一方で、本研究で対象とした持久系アスリートのパフォーマンスを予測する観点からは、BAPがd-ROMsよりも関係性が高いことが示唆され、抗酸化力を高めるための処方やソリューションがコンディショニングのためにも必要であると考えられる。以上のことから、本研究や先行研究を概観すると、酸化ストレス指標としては、潜在的抗酸化能が最も重要な指標であるとともに、d-ROMsは短時間高強度運動、BAPは持久的パフォーマンスに関して有用な指標であることが推察された。

本論文中では、様々なコンディション指標を用いて検討を行ってきた。その結果、酸化ストレス指標（d-ROMs・BAP）が、コンディション評価に関して有用性が高い指標であることが考えられた。その他のコンディション指標については、第2章では主観的な体調の項目において、競技会前までの期間を4日以内として検討すると、抗酸化力と同様にベストタイムとの間に負相関の傾向がみられたことや、両角ら（2014）によると、競技会前の調整期にはHFnuの数值が高く副交感神経活動優位であることが競技パフォーマンスの向上に繋がると報告している（両角ら，2014）。鈴木（2018）はコンディションの概念としては、メンタルコンディションや起床時心拍数や睡眠時間などの生理学的コンディション、内科的疾患や外科的疾患などのメディカルコンディションなどとともに多角的、包括的に考える必要があるとしている（鈴木，2018）。したがって、本研究で用いた酸化ストレス指標のみを評価すれば、コンディションをすべて捉えられるわけではなく、他の指標（和久・河野，2007，表1-2）とも照らし合わせながら、評価する必要があるといえよう。その中でも酸化スト

レス指標は、有用性が高い指標の一つであると考えられる。

これまで論じてきたように、酸化・抗酸化のバランスを整えるためにも抗酸化力を高める処方やソリューションは重要な視点であると考えられる。第4章で用いた高濃度酸素については、本研究では抗酸化力に対するポジティブな効果を示すまでは至らなかったが、先行研究においては、このような酸素の利活用が生体のホメオスタシス機構を改善させる一つのツールとなる可能性も示唆している（丸岡・高柳，2010）。その他にも水素を用いた検討（河村ら，2016）などが行われてきている。抗酸化力を高めるための主な抗酸化物質としては、ビタミンE、ビタミンC、コエンザイムQ10、グルタチオンなどのネットワーク系抗酸化物質があり、その他にもカロテノイド類、ポリフェノール類、ミネラル（微量元素）類などがあげられる（下村ら，2013）。本研究では、このような抗酸化力を高めるための処方を用いて、パフォーマンスを向上させるためのコンディショニングへの取り組みは検討できておらず、今後の検討課題である。

本研究で明らかとなったコンディション評価に関する知見をより幅広く、一般化するためには、本研究で用いた酸化ストレス指標がより手軽に簡単に、そして安価に測定できるようになることが望まれる。実際に従来の酸化ストレス指標よりも比較的簡便に測定は可能ではあるが、侵襲性（微量採血）が伴うことや1回の測定にかかる費用も少なくないことから、今後、より手軽で安価に測定できるツールの開発が期待される。合わせて、コンディションを高めるための処方やソリューションを明らかとしていくことは、第4章で用いた小型高濃度酸素発生器のように、家庭用として利便性があることだけではなく、健康増進に対してより付加価値を加えることとなり、産業の発展にも繋がるものと考えられる。本研究の今後の発展を考えると、抗酸化物質が多く含まれる食品を活用し、コンディションを高めるための食品として高付加価値化を行うことができれば、地域農産物（飛騨御嶽高原高地トレーニングエリア周辺の特産物である赤かぶやえごまなど）を用いた産業の発展に対して、本研究成果が還元できる可能性があり、地域経済により良いイノベーションを生むことに寄与することができるといえよう（石川ら，2010）。

5. 2 結論

スポーツ現場におけるコンディショニングに対する重要性が高まっている中、選手のコンディションをより精度を高く評価することが可能となれば、コンディショニングに対しより良い効果を得ることができると期待される。また、ベストコンディションを維持するためには、選手自身の主観的指標のみならず、的確にチェックできる客観的指標も必要であろう。このような客観的指標が競技パフォーマンスの予測・推測にも役立つことが示されれば、コンディショニングが競技力向上に貢献しうる可能性を広げることになると考えられる。

近年、少量の血液サンプルを対象に酸化ストレス度 (Reactive Oxygen Metabolites, d-ROMs) と抗酸化力 (Biological Anti-Oxidant Potential, BAP) が測定できる機器が開発されたことによって、トレーニング現場での酸化ストレスを比較的簡便に調査することが可能となった。そこで本研究では、コンディション評価のための客観的指標として、酸化ストレス指標を用いることの有用性や利活用について事例的に検討し、疲労回復のために活用されている高濃度酸素吸入による効果と酸化ストレスに対するデメリットについての検討を行った。

第2章では、実業団女子長距離走選手14名を対象に、酸化ストレスというコンディション指標を定期的に測定し、指標間の関連性や競技成績との関係などを調査することによって、コンディショニングのための客観的指標として有用であることを明らかにすることを目的とし、約2年間の事例研究を実施した。

その結果、酸化ストレスの評価は疲労度を反映していることが示され、選手のコンディションの状態として、酸化ストレスを低く維持し、抗酸化能力を高めた状態であることが、選手が本来持っている能力を十分に発揮するためには重要であることが示唆された。コンディショニングのための客観的指標として、酸化ストレス状態、特に抗酸化力 (BAP) を測定することでパフォーマンスやコンディションを評価できる可能性が示された。

第3章では、高校男子長距離走選手10名を対象に、酸化ストレス指標を大会に向けた期間において定期的に測定を実施し、心理的状态、主観的コンディションとの関連からコンディショニングのための客観的指標として有用であるかを検討し、コンディションチェックのための指標として利活用するための知見を得ることを目的として研究を実施した。

その結果、酸化ストレスの評価は、トレーニング状況や怪我などの影響を反映しているこ

とが示され、第2章における結論を支持するものであった。さらに心理的状态とともに評価することで、より詳細にコンディション状態を把握することが可能であることも示された。また、酸化ストレス指標の中でも、酸化還元バランスを評価する潜在的抗酸化能が最もコンディショニング状態や競技パフォーマンスを予測する指標として有用であることが示唆され、その評価については、競技レベルを考慮することの必要性も本研究で明らかとなったことである。

第4章は、運動選手に対する疲労回復のために活用されている高濃度酸素発生器を使用した酸素吸入が、自律神経機能や酸化ストレスにどのような影響を与えるのかを検討することで、コンディショニング手法としての有用性についての知見を得た。

60分間の酸素濃度が40%となる高濃度酸素吸入において、生体に及ぼす酸化ストレスへの影響は、常酸素と同等であり、60分間の単回の曝露では、生体内レドックス（酸化還元）反応の観点からはデメリットを引き起こさないことが本研究によって明らかとなった。また、高濃度酸素吸入は常酸素吸入と比較して、自律神経活動における副交感神経活動を低下させないことが示唆され、高濃度酸素吸入によるコンディショニングのための一処方としての利活用についての提案を示すことができたことも成果としてあげられる。

第5章では、これまでの取り組んできた研究と実際に筆者が競技現場において酸化ストレス指標を活用している事例も踏まえ、総合的に考察を行った。

酸化ストレス指標としての3つの指標（d-ROMs, BAP, BAP/d-ROMs）の考え方について検討したところ、個人内でのデータが蓄積できれば、相対値やさらには偏差値として評価することが望ましいことや、酸化ストレス指標としては、潜在的抗酸化能（BAP/d-ROMs）が最も重要な指標であるとともに、d-ROMsは短時間高強度運動、BAPは持久的パフォーマンスに関して有用な指標であることが推察された。さらに、本研究成果が産業や地域経済に還元できる可能性について論じた。

以上のことから、本研究では、酸化ストレス指標は競技選手に対するコンディション評価に関して、有用な客観的指標となることを明らかとした。酸化ストレス指標が競技パフォーマンスを予測・推測できる可能性を示し、各指標の評価の観点についても提案できた。さらに、高濃度酸素吸入の利活用の観点からも検討することで、コンディショニングに寄与する知見が得られたといえる。本研究成果が産業や地域経済により良いイノベーションの一助となることを期待したい。

謝辞

本博士論文は、筆者が三重大学大学院地域イノベーション学研究科博士後期課程在学中の研究成果及び、飛騨御嶽高原高地トレーニングエリアでのサポート活動事例をまとめたものです。

本研究の遂行にあたり、大学3年生から修士課程、博士後期課程そして、スポーツ現場への就職後に渡り、10年間という長い期間、終始懇切なる御指導ならびに、御助言を賜りました日本体育大学体育学部の杉田正明教授に深甚の誠意を表します。杉田先生には、スポーツ現場での科学的手法を用いたサポート活動のイロハのイから御指導賜りました。スポーツ現場での事象を本質的に、そして深く掘りさげて考えることの重要性や、スポーツ現場をフィールドに持つ研究者としての大切な哲学を教えていただきました。心より感謝申し上げます。

本博士論文提出にあたり、懇切丁寧な御指導・御助言を賜りましたR&D指導教員である三宅秀人教授、PM指導教員である西村訓弘教授に厚く御礼申し上げます。主査の労をお取りいただきました小林一成教授、副査を御担当いただきました狩野幹人准教授、地域イノベーション学研究科の皆様には大変お世話になり、深く感謝いたします。

本研究を実施するにあたり御協力いただいた、デンソー女子陸上長距離部、伊賀白鳳高校陸上競技部の選手及びスタッフの皆様、ならびに飛騨御嶽高原高地トレーニングエリアでのサポート活動に参加いただいた皆様に御礼申し上げます。

また、研究活動を通じて、お互いに励まし合い、多くのアドバイスをいただいた日本体育大学の橋本峻研究員ならびに、杉田研究室の先輩、後輩、被験者や測定検者として御協力いただいたすべての方々に心より感謝いたします。

最後に、私の進む道を温かく見守っていただいた両親はじめ家族の皆様我心より深く感謝申し上げます。

関連論文

第2章

谷口耕輔, 杉田正明: 実業団女子長距離走選手における酸化ストレス評価を用いたコンディション評価に関する研究, トレーニング科学, 29 (1): 43-54, 2017.

【査読有り】

第3章

谷口耕輔, 杉田正明: 高校男子長距離走選手の試合期における酸化ストレス, 心理的状态及び主観的コンディションに関する研究, スポーツパフォーマンス研究, 12: 57-72, 2020.

【査読有り】

第4章

谷口耕輔, 杉田正明: 安静時における一過性の高濃度酸素吸入が心拍変動及び酸化ストレスに与える影響, 運動とスポーツの科学, ※印刷中

【査読有り】

引用文献

第1章

- Albeti, A., Bolognini, L., Macciantelli, D., Caratelli, M : The radical cation of N,N-diethyl-para-phenylendiamine : A possible indicator of oxidative stress in biological samples, *Research on Chemical Intermediates*, 26 (3) : 253-267, 2000.
- Azizbeigi, K., Azarbayjani, M. A., Peeri, M., Agha-alinejad, H., Stannard, S : The effect of progressive resistance training on oxidative stress and antioxidant enzyme activity in erythrocytes in untrained men, *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 23 (3) : 230-238, 2013.
- Betten, A., Dahlgren, C., Mellqvist, H., Hermodsson, S : Oxygen radical-induced natural killer cell dysfunction: role of myeloperoxidase and regulation by serotonin, *Journal of Leukocyte Biology*, 75 (6) : 1111-1115, 2004.
- Clark, IA., Cowden, WB., Hunt, NH : Free radical-induced pathology, *Medicinal Research Reviews*, 5 (3) : 297-332, 1985.
- Davies, KJA., Quintanilha, AT., Brooks, GA., Packer, L : Free radicals and tissue damage produced by exercise, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 107 : 1198-1205, 1982.
- Halliwell, B., John M. C. G : *Free Radicals in Biology and Medicine*, Oxford University Press, 2015.
- Huang, Y., Liu, D., Sun, S : Mechanism of free radical on the molecular fluidity and chemical structure of the red cell membrane damage, *Clinical Hemorheology and Microcirculation*, 23 (2-4) : 287-290, 2000.
- Iorio, E.L : The BAP test and the global assessment of oxidative stress in 24 clinical practice, *The President of International Observatory of Oxidative Stress*. : 4-19, 2010.
- Jenkins, RR : Free radical chemistry, *Sports Medicine*, 5 (3) : 156-170, 1988.
- 松村勲 : 陸上競技女子長距離選手の体調確認の実践事例－VAS 法の活用－, *スポーツパフォーマンス研究*, 1 : 110-124, 2009.
- 松生香里, 永富良一 : 長距離ランナーのコンディショニング指標としての免疫, *ランニン*

- グ学研究, 18 (2) : 33-40, 2006.
- Meeus, M., J, Nijs., L, Hermans., D, Goubert., P, Calders : The role of mitochondrial dysfunctions due to oxidative and nitrosative stress in the chronic pain or chronic fatigue syndromes and fibromyalgia patients: peripheral and central mechanisms as therapeutic targets?, *Expert Opinion on Therapeutic Targets*, 17 (9): 1081-1089, 2013.
- 永田勝太郎, 長谷川拓也, 広門靖正, 喜山克彦, 大槻千佳 : 生活習慣病と酸化ストレス防御系, *心身医学*, 48 (3) : 177-183, 2008.
- Nikolaidis, M. G., Antonios K., Chrysoula S., Vassilis P., Anastasios A. T., Ioannis S. V : Redox biology of exercise: an integrative and comparative consideration of some overlooked issues, *The Journal of Experimental Biology*, 215 (Pt 10): 1615-1625, 2012.
- 新畑茂充 : 長距離選手のコンドィショニング, *体育の科学*, 50 : 792-796, 2000.
- 西嶋尚彦, 高倉亜維, 榎本恵子, 中野貴博 : 単一事例モデルを用いたコンディショニングの変動分析, *トレーニングジャーナル*, 233 : 20, 1999.
- 大石修司, 松岡健, 大野秀樹 : 運動と酸化ストレス, *日本運動生理学雑誌*, 8 (2): 73-83, 2001.
- 大石修司 : 運動と酸化ストレス—活性酸素と抗酸化防御のバランスの重要性—, *Iryo*, 69 (7): 317-324, 2015.
- Powers, Scott K., Malcolm J. Jackson : Exercise-induced oxidative stress: cellular mechanisms and impact on muscle force production, *Physiological Reviews*, 88 (4): 1243-1276, 2008.
- Schneider, B.S., Tiidus, P.M : Neutrophil infiltration in exercise-injured skeletal muscle, *Sports Medicine*, 37 (10): 837-856, 2007.
- 関泰一:d-ROMs テストによる酸化ストレス総合評価, *生物試料分析*, 32(4):301-306, 2009.
- Sen, C.K. , Rankinen, T. , Vaisanen. S. , Rauramaa, R. : Oxidative stress after human exercise : effect of N-acetylcysteine supplementaiton, *Journal of Applied Physiology*, 76 : 2570 - 2577, 1994.
- Sen, C.K : Oxidants and antioxidants in exercise, *Journal of Applied Physiology*, 79 (3) : 675-686, 1995.

- 清水智美, 今西昭雄, 杉本健一, 武田信彬, 平田龍三, 安藤隆, 森川征一, 鈴木良雄, 渡辺雅之, 奥田美穂, 川名孝幸, 涛川唯, 鈴木政登, 渡邊マキノ, 岡田隆夫, 太田眞: 超長時間持久的負荷(24 時間走)における炎症およびストレス反応の推移, 臨床病理, 59 (10) : 930-935, 2011.
- 白倉寛, 河野一郎: オーバートレーニングの指標に関する研究~陸上競技長距離選手における自覚的コンディションの意義~, 体力科学, 39 (6) : 509, 1990.
- 下村吉治編集: サプリメントのほんとうとウソエビデンスに基づいたサプリメントの有効性一, ナップ, 第6章: 117-133, 2013.
- Sjödin, B., Westing, YH., Apple, FS : Biochemical mechanisms for oxygen free radical formation during exercise, Sports Medicine, 10 (4) : 236-254, 1990.
- 杉田正明: 酸化ストレスと運動パフォーマンス. 第12回酸化ストレス・抗酸化セミナー~酸化ストレス評価法カラテッリ・パネルの臨床的意義と予知・予知医学への貢献~, Lecture7 : 116-117, 2014.
- 杉浦弘一, 川本和久, 吉田真希子, 二瓶秀子, 佐藤哲哉, 渡辺英綱, 赤間高雄: 陸上競技トップ選手における合宿前後の酸化ストレス環境の変化, 日本疲労学会誌, 7 (1) : 64, 2011.
- 鈴木敬一郎編集: 活性酸素の本当の姿, ナップ, 第4章: 57-79, 2014.
- 鈴木岳: コンディショニング概論, 臨床スポーツ医学, 35 (8) : 782-786, 2018.
- 高野(宮本)清子, 高田礼子, 岩立有加, 鶴見麻依, 寺中彩葉, 鳥居佳介, 戸谷忠雄, 神山宣彦, 網中雅仁, 山内博: FRAS4 を用いた簡便な酸化ストレス測定法, 臨床環境医学, 18 (1) : 50-54, 2009.
- Valko, M., Dieter L., Jan M., Mark T. D. Cronin, M. M., Joshua T : Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease, The International Journal of Biochemistry & Cell Biology, 39 (1): 44-84, 2007.
- 和久貴洋, 香田泰子, 赤間高雄, 杉浦弘一, 秋本崇之, 龍野美恵子, 河野一郎: 競技スポーツ選手のコンディション評価に関する研究, 体力科学, 44 (6) : 820, 1995.
- 和久貴洋, 河野一郎: トレーニング科学ハンドブック新装版, トレーニングとスポーツ医学, 朝倉書店: 142-165, 2007.

第2章

- Albeti, A., Bolognini, L., Macciantelli, D., Caratelli, M : The radical cation of N,N-diethyl-para-phenyldiamine : A possible indicator of oxidative stress in biological samples, *Research on Chemical Intermediates*, 26 (3) : 253-267, 2000.
- Iamele, L., Fiocchi, R., Vernocchi, A : Evaluation of an automated spectrophotometric assay for reactive oxygen metabolites in serum, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 40 (7) : 673-676, 2002.
- 飯塚太郎：心拍数・心拍変動，コンディショニングの評価とその活用—具体的な評価手法とその応用—，*臨床スポーツ医学（臨時増刊号）*，28 : 166-171, 2011.
- Iorio, E.L : The BAP test and the global assessment of oxidative stress in 24 clinical practice, *The President of International Observatory of Oxidative Stress*. : 4-19, 2010.
- 川本和久：スポーツトレーニングにおける酸化ストレス，第68回日本体力医科学会大会抄録集 : 116, 2013.
- Malik, M., Bigger, J.T., Camm, A.J., Kleiger, R.E., Malliani, A., Moss, A.J., Schwartz, P.J : Heart rate variability : Standards of measurement, physiological interpretation, and clinical use, *European Heart Journal*, 17 : 354-381, 1996.
- 丸岡弘，小牧宏一，井上和久：心配運動負荷試験が酸化ストレス度に及ぼす影響について，*日本臨床生理学会雑誌*，35 (5) : 283-288, 2005.
- 松村勲：陸上競技女子長距離選手の体調確認の実践事例—VAS法の活用—，*スポーツパフォーマンス研究*，1 : 110-124, 2009.
- 松生香里，永富良一：長距離ランナーのコンディショニング指標としての免疫，*ランニング学研究*，18 : 33-40, 2006.
- 両角速，山下泰裕，寺尾保：箱根駅伝選手における自律神経活動と競技成績に関する実践的研究，*東海大学スポーツ医科学雑誌*，26 : 53-58, 2014.
- Nagasawa, J., Kikkawa, K., Takai, T., Sakaguchi, A., Noguchi, I., Kizaki, T., Ohno, H : Exercise intensity and antioxidant ability, *Rejuvenation Research*, 13 (2-3) : 172-174, 2010.
- 長澤純一，杉山康司，内山仁，笹尾真美，高野宏二，野口いづみ，鈴木康弘，北舘健太郎，芳賀脩光，前川剛輝，櫻井拓也，小笠原準悦，木崎節子，大野秀樹：低圧・低酸素環境

- が引き起こす酸化ストレスとオリゴノールの抗酸化効果, 登山医学, 30:118-124, 2010.
- 永田勝太郎, 長谷川拓也, 広門靖正, 喜山克彦, 大槻千佳:生活習慣病と酸化ストレス防御系, 心身医学, 48 (3):177-183, 2008.
- Nakayama, K., Terawaki, H., Nakayama, M., Iwabuchi, M., Sato, T., Ito, S: Reduction of serum antioxidative capacity during hemodialysis, Clinical and Experimental Nephrology, 11:218-224, 2007.
- 新畑茂充:長距離選手のコンドィショニング, 体育の科学, 50:792-796, 2000.
- 西嶋尚彦, 高倉亜維, 榎本恵子, 中野貴博:単一事例モデルを用いたコンディショニングの変動分析, トレーニングジャーナル, 233:20, 1999.
- Risom, L., Lundby, C., Thomsen, J. J., Mikkelsen, L., Loft, S., Friis, G., Moller, P: Acute hypoxia and reoxygenation-induced DNA oxidation in human mononuclear blood cells, Mutation Research, 625 (1-2):125-133, 2007.
- 流子友男, 小松崎禎行, 田中博史, 只隈伸也:定期的な酸化ストレス測定は駅伝選手の有効なコンディショニング指標になる, 運動とスポーツの科学, 20 (1):31-39, 2014.
- 関秦一:d-ROMs テストによる酸化ストレス総合評価, 生物試料分析, 32(4):301-306, 2009.
- 白倉寛, 河野一郎:オーバートレーニングの指標に関する研究~陸上競技長距離選手における自覚的コンディショニングの意義~, 体力科学, 39 (6):509, 1990.
- 杉田正明:酸化ストレスと運動パフォーマンス. 第12回酸化ストレス・抗酸化セミナー~酸化ストレス評価法カラテッリ・パネルの臨床的意義と予知・予知医学への貢献~, Lecture7:116-117, 2014.
- 杉田正明, 川原貴:高所トレーニングにおけるコンディショニング, 高所トレーニングの科学, 浅野勝己, 小林寛道編, 杏林書院, 東京, pp. 200-206, 2004.
- 杉浦弘一, 川本和久, 吉田真希子, 二瓶秀子, 佐藤哲哉, 渡辺英綱, 赤間高雄:陸上競技トップ選手における合宿前後の酸化ストレス環境の変化, 日本疲労学会誌, 7 (1):64, 2011.
- 高野(宮本)清子, 高田礼子, 岩立有加, 鶴見麻依, 寺中彩葉, 鳥居佳介, 戸谷忠雄, 神山宣彦, 網中雅仁, 山内博:FRAS4を用いた簡便な酸化ストレス測定法, 臨床環境, 18:50-54, 2009.
- 和久貴洋, 香田泰子, 赤間高雄, 杉浦弘一, 秋本崇之, 龍野美恵子, 河野一郎:競技スポーツ選手のコンドィショニング評価に関する研究, 体力科学, 44 (6):820, 1995.

第3章

- Albeti, A., Bolognini, L., Macciantelli, D., Caratelli, M : The radical cation of N,N-diethyl-para-phenyldiamine : A possible indicator of oxidative stress in biological samples, *Research on Chemical Intermediates*, 26 (3) : 253-267, 2000.
- 星川淳人, 鳥居俊, 小林康一: 女子マラソン選手における心理的コンディションと競技成績, *日本臨床スポーツ医学会誌*, 3 (1) : 1-5, 1995.
- Iamele, L., Fiocchi, R., Vernocchi, A : Evaluation of an automated spectrophotometric assay for reactive oxygen metabolites in serum, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 40 (7) : 673-676, 2002.
- Iorio, E.L : The BAP test and the global assessment of oxidative stress in 24 clinical practice, *The President of International Observatory of Oxidative Stress*. : 4-19, 2010.
- Kageta T, Tsuchiya Y, Morishima T, Hasegawa Y, Sasaki H, Goto K : Influences of increased training volume on exercise performance, physiological and psychological parameters, *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56 (7-8) : 913-921, 2016.
- 川本和久 : スポーツトレーニングにおける酸化ストレス, 第68回日本体力医科学会大会抄録集 : 116, 2013.
- 松村勲 : 陸上競技女子長距離選手の体調確認の実践事例ーVAS法の活用ー, *スポーツパフォーマンス研究*, 1 : 110-124, 2009.
- 松生香里, 永富良一 : 長距離ランナーのコンディショニング指標としての免疫, *ランニング学研究*, 18 : 33-40, 2006.
- 永田勝太郎, 長谷川拓也, 広門靖正, 喜山克彦, 大槻千佳 : 生活習慣病と酸化ストレス防御系, *心身医学*, 48 (3) : 177-183, 2008.
- 永田勝太郎, 近藤麻乃, 藤森純子 : 新しいストレスバイオマーカーとしての d-ROMs test, BAP test, 修正 BAP/d-ROMs 値(酸化バランス防御系) (ストレスバイオマーカーの現状と新たな展開), *ストレス科学*, 29 (3) : 281-292, 2014.
- Nakayama, K., Terawaki, H., Nakayama, M., Iwabuchi, M., Sato, T., Ito, S : Reduction of serum antioxidative capacity during hemodialysis, *Clinical and Experimental Nephrology*, 11 : 218-224, 2007.

- 新畑茂充：長距離選手のコンドィショニング，*体育の科学*，50：792-796，2000.
- 西嶋尚彦，高倉亜維，榎本恵子，中野貴博：単一事例モデルを用いたコンディショニングの変動分析，*トレーニングジャーナル*，233：20，1999.
- 流子友男，小松崎禎行，田中博史，只隈伸也：定期的な酸化ストレス測定は駅伝選手の有効なコンディショニング指標になる，*運動とスポーツの科学*，20（1）：31-39，2014.
- 関秦一：d-ROMs テストによる酸化ストレス総合評価，*生物試料分析*，32(4)：301-306，2009.
- 白倉寛，河野一郎：オーバートレーニングの指標に関する研究～陸上競技長距離選手における自覚的コンディショニングの意義～，*体力科学*，39（6）：509，1990.
- 杉田正明：酸化ストレスと運動パフォーマンス．第12回酸化ストレス・抗酸化セミナー～酸化ストレス評価法カラテッリ・パネルの臨床的意義と予知・予知医学への貢献～，*Lecture7*：116-117，2014.
- 谷口耕輔，杉田正明：実業団女子長距離走選手における酸化ストレス評価を用いたコンディショニング評価に関する研究，*トレーニング科学*，29（1）：43-54，2017.
- 鳥居俊：大学生男子長距離走選手における自覚的コンディショニングとPOMS所見，血液検査所見との関連性，*日本臨床スポーツ医学会誌*，11（3）：511-517，2003.
- 和久貴洋，香田泰子，赤間高雄，杉浦弘一，秋本崇之，龍野美恵子，河野一郎：競技スポーツ選手のコンドィショニング評価に関する研究，*体力科学*，44（6）：820，1995.
- 横山和仁，荒記俊一：日本版POMS手引き，金子書房，1994.
- 横山和仁：POMS短縮版手引と事例解説，金子書房，2005.

第4章

- 朝日新聞：疲れを癒す酸素，吸って10分，頭すっきり，2004年1月26日朝刊，2004.
- Clark, IA., Cowden, WB., Hunt, NH：Free radical-induced pathology, *Medicinal Research Reviews*, 5（3）：297-332, 1985.
- Davies, KJA., Quintanilha, AT., Brooks, GA., Packer, L：Free radicals and tissue damage produced by exercise, *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 107：1198-1205, 1982.
- Delpy, DT., Cope, M., van der Zee, P., Arridge, S., Wray, S., Wyatt, J：Estimation of optical pathlength through tissue from direct time of flight measurement, *Physics in Medicine and Biology*, 33（12）：1433-1442, 1988.

- 浜岡秀勝：長距離ドライバーにおける高濃度酸素吸入による疲労軽減効果の定量分析（平成20年度高速道路関連社会貢献協議会研究助成の概要（その1）），高速道路と自動車，52：46-48，2009.
- Iamele, L., Fiocchi, R., Vernocchi, A : Evaluation of an automated spectrophotometric assay for reactive oxygen metabolites in serum, *Clinical Chemistry and Laboratory Medicine*, 40 (7) : 673-676, 2002.
- 飯塚太郎：心拍数・心拍変動，コンディショニングの評価とその活用—具体的な評価手法とその応用—，臨床スポーツ医学（臨時増刊号），28：166-171，2011.
- Iorio, E.L : The BAP test and the global assessment of oxidative stress in 24 clinical practice, *The President of International Observatory of Oxidative Stress*. : 4-19, 2010.
- 石橋圭太，小林宏光，安河内朗：呼吸統制と呼吸パターンが心拍変動に及ぼす影響，*日本生理人類学会誌*，2 (2) : 83-88，1997.
- 石原昭彦：高気圧・高濃度酸素は筋疲労および筋痛を早期に回復できるか，*デサントスポーツ科学*，26 : 16-22，2005.
- 石井良昌，宮永豊，下條仁士：高気圧酸素療法の最大運動後の乳酸濃度に及ぼす影響，*日高圧医誌*，30 (2) : 109-114，1995.
- Jenkins, RR : Free radical chemistry, *Sports Medicine*, 5 (3) : 156-170, 1988.
- 垣鏝直：我が国における高濃度酸素吸入の生理的効果に関する研究事例，*日本生気象学会雑誌*，51 (4) : 117-126，2015.
- 金丸善樹，小野沢昭彦：高濃度酸素下での血清過酸化脂質の継時的変化，*航空医学実験隊報告*，45 (4) : 47-50，2005.
- Lehmann, M.J., Lormes, W., Opitz Gress, A., Steinacker, J.M., Netzer, N., Foster, C., Gastman, U : Autonomic imbalance hypothesis and overtraining syndrome, *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30 (7) : 1140-1145, 1998.
- Loiseaux-Meunier, M.N., Bedu, M., Gentou, C., Pepin, D., Coudert, J., Caillaud, D : Oxygen toxicity: simultaneous measure of pentane and malondialdehyde in humans exposed to hyperoxia, *Biomedicine & Pharmacotherapy = Biomedecine & Pharmacotherapie*, 55 (3) : 163-169, 2001.
- 丸岡弘・高柳清美：酸素カプセルによる高気圧・高濃度酸素曝露が酸化ストレス防御系にお

- よぼす影響について, 専門リハビリテーション, 9 : 24-29, 2010.
- 両角速, 山下泰裕, 寺尾保 : 箱根駅伝選手における自律神経活動と競技成績に関する実践的研究, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 26 : 53-58, 2014.
- 両角速, 西出仁明, 山下泰裕, 寺尾保 : 箱根駅伝選手に対する常圧低酸素環境下の睡眠が自律神経活動およびコンディションに及ぼす影響. 東海大学スポーツ医科学雑誌, 27 : 43-49, 2015.
- 永田勝太郎, 長谷川拓也, 広門靖正, 喜山克彦, 大槻千佳 : 生活習慣病と酸化ストレス防御系, 心身医学, 48 (3) : 177-183, 2008.
- 中村好男 : 心拍変動を用いた自律神経活動の評価法, 加賀谷淳子・中村好男編, 運動と循環—研究の現状と課題, ナップ, pp.93-106, 2001.
- Nakayama, K., Terawaki, H., Nakayama, M., Iwabuchi, M., Sato, T., Ito, S : Reduction of serum antioxidative capacity during hemodialysis, *Clinical and Experimental Nephrology*, 11 : 218-224, 2007.
- Nummela, A., Hamalainen, I., Rusko, H : Effect of hyperoxia on metabolic responses and recovery in intermittent exercise, *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 12 (5) : 309-315, 2002.
- 村松茂, 有本守男, 木島晃 : 換気量、心拍数および血中乳酸値からみた高濃度酸素発生器の疲労回復効果, 日本生理人類学会誌, 9 (2) : 67-70, 2004.
- 村松茂, 大野政人, 有本守男 : 運動後の高濃度酸素疑似吸引が呼吸数および心拍変動に及ぼす影響, 日本生理人類学会誌, 11 (2) : 75-79, 2006.
- Ohtomo N., Sumi, A., Tnaka, Y., Tokiwano, K., Terachi, S : A Detailed Study of Power Spectral Density for Rossler System, *Journal of the Physical Society of Japan*, 65 (9) : 2811-2823, 1996.
- Peeling, P. Fulton, S. Sim, M., White, J : Recovery effects of hyperoxic gas inhalation or contrast water immersion on the postexercise cytokine response, perceptual recovery, and next day exercise performance, and next day exercise performance, *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26 (4) : 968-975, 2012.
- Robbins, M. K., Gleeson, K., Zwillich, C. W : Effect of oxygen breathing following submaximal and maximal exercise on recovery and performance, *Medicine and Science*

- in Sports and Exercise, 24 (6) : 720-725, 1992.
- 関秦一:d-ROMs テストによる酸化ストレス総合評価, 生物試料分析, 32(4):301-306, 2009.
- Sen, C.K : Oxidants and antioxidants in exercise, Journal of Applied Physiology, 79 (3) : 675-686, 1995.
- Sjödin, B., Westing, YH., Apple, FS : Biochemical mechanisms for oxygen free radical formation during exercise, Sports Medicine, 10 (4) : 236-254, 1990.
- 杉田正明, 早川直樹 : サッカーにおける高地順化とコンディショニング~2010FIFA ワールドカップ南アフリカ大会における取り組み~, トレーニング科学, 22 (4) : 287-291, 2010.
- 高野 (宮本) 清子, 高田礼子, 岩立有加, 鶴見麻依, 寺中彩葉, 鳥居佳介, 戸谷忠雄, 神山宣彦, 網中雅仁, 山内博 : FRAS4 を用いた簡便な酸化ストレス測定法, 臨床環境, 18 : 50-54, 2009.
- Titlow, L. W : The effects of oxygen administration during simulated athletic competition, The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness, 22 (3) : 323-328, 1982.
- Weltman, A., Stamford, B. A., Moffatt, R. J., Katch, V. L : Exercise recovery, lactate removal, and subsequent high intensity exercise performance, Research Quarterly, 48 (4) : 786-796, 1977.
- White, J., Dawson, B., Landers, G., Peeling, P : Effect of supplemental oxygen on post-exercise inflammatory response and oxidative stress, European Journal of Applied Physiology, 113 (4) : 1059-1067, 2013.
- Zinner, C., Hauser, A., Born, DP., Wehrin, JP., Holmberg, HC., Sperlich, B : Influence of hypoxic interval training and hyperoxic recovery on muscle activation and oxygenation in connection with double-poling exercise, PLoS. ONE, 10 (10) : e0140616, 2015.

第5章

- 石川健一, 森昭博, 西田淑男 : あいちの赤カブを利用した発酵漬物製造法について, 愛知県産業技術研究所研究報告, 9 : 76-79, 2010.
- 神林勲, 塚本未来, 木本理可, 東郷将成, 舛谷夕貴, 石村宣人, 内田英二, 武田秀勝 : 高

- 強度間欠的運動時の運動パフォーマンスと酸化ストレスとの関連, 北海道体育学研究, 50 : 43-51, 2015.
- 川本和久 : スポーツトレーニングにおける酸化ストレス, 第 68 回日本体力医科学会大会抄録集 : 116, 2013.
- 河村拓史, 丸藤祐子, 高橋将記, 原怜来, 鈴木克彦, 村岡功 : 運動後の酸化ストレスおよび遅発性筋痛に及ぼす水素入浴剤を用いた入浴の効果, 体力科学, 65 (3) : 297-305, 2016.
- 金剛寺純子, 山見信夫, 柳下和慶, 外川誠一郎, 芝山正治, 眞野喜洋 : 米軍再圧治療表 6 による Reactive Oxygen Metabolites (ROM) と Biological Antioxidant Potential (BAP) の変化, 日本高気圧環境・潜水医学会雑誌, 42 (1) : 23-29, 2007.
- 丸岡弘・高柳清美 : 酸素カプセルによる高気圧・高濃度酸素曝露が酸化ストレス防御系におよぼす影響について, 専門リハビリテーション, 9 : 24-29, 2010.
- 両角速, 山下泰裕, 寺尾保 : 箱根駅伝選手における自律神経活動と競技成績に関する実践的研究, 東海大学スポーツ医科学雑誌, 26 : 53-58, 2014.
- 下村吉治編集 : サプリメントのほんとうとウソエビデンスに基づいたサプリメントの有効性一, ナップ, 第 6 章 : 117-133, 2013.
- 杉田正明 : 酸化ストレスと運動パフォーマンス. 第 12 回酸化ストレス・抗酸化セミナー～酸化ストレス評価法カラテッリ・パネルの臨床的意義と予知・予知医学への貢献～, Lecture7 : 116-117, 2014.
- 鈴木岳 : コンディショニング概論, 臨床スポーツ医学, 35 (8) : 782-786, 2018.
- 永田勝太郎, 近藤麻乃, 藤森純子 : 新しいストレスバイオマーカーとしての d-ROMs test, BAP test, 修正 BAP/d-ROMs 値(酸化バランス防御系) (ストレスバイオマーカーの現状と新たな展開), ストレス科学, 29 (3) : 281-292, 2014.
- 和久貴洋, 河野一郎 : トレーニング科学ハンドブック新装版, トレーニングとスポーツ医学, 朝倉書店 : 142-165, 2007.