

平成 24 年度 修士論文

# 高酸素吸入や高気圧環境が身体に及ぼす影響

—酸素動態、酸化ストレスの面から—

三重大学大学院 教育学研究科  
教科教育専攻 保健体育専修

萩原 誠

平成 25 年 2 月 13 日

## 目次

序章	本研究の目的	1
第 I 章	酸素ローディングが酸素動態、酸化ストレスおよび自律神経機能に与える影響	5
1.	本章の目的	5
2.	対象者の身体的特性	6
3.	測定方法	7
1)	酸素ローディング	9
2)	動脈血酸素飽和度, 脈拍	12
3)	頭部および大腿部ヘモグロビン	12
4)	尿中 8-OHdG 値	14
5)	自律神経機能	15
4.	統計処理	16
5.	結果	17
1)	酸素ローディングにおける生理的応答	17
(1)	酸素動態について	17
①	動脈血酸素飽和度	17
②	頭部酸素化ヘモグロビン	20
③	頭部脱酸素化ヘモグロビン	23
④	頭部総ヘモグロビン	26
⑤	大腿部酸素化ヘモグロビン	29
⑥	大腿部脱酸素化ヘモグロビン	32
⑦	大腿部総ヘモグロビン	35
(2)	脈拍について	38
(3)	酸化ストレスについて	41
①	尿中 8-OHdG 値	41
②	尿中 8-OHdG 値の変化率	43
(4)	自律神経機能について	44
①	活動の大きさ	44
②	バランス	46
③	回復力	48
④	切替力	50
⑤	反応力	52
⑥	総合点	54
(5)	動脈血酸素飽和度と脈拍の関係	55

(6) 酸素ローディングと酸化ストレスの関係	56
① 動脈血酸素飽和度と尿中 8-OHdG 値の関係	56
② 頭部ヘモグロビンと尿中 8-OHdG 値の関係	59
③ 大腿部ヘモグロビンと尿中 8-OHdG 値の関係	68
6. 考察	77
1) 酸素動態について	77
2) 酸化ストレスについて	78
3) 自律神経機能について	80
7. 本章のまとめ	82
<b>第 II 章 酸素ローディングが運動パフォーマンスに与える影響</b>	<b>84</b>
1. 本章の目的	84
2. 対象者の身体的特性	85
3. 測定方法	86
1) 酸素ローディング	88
2) Exercise Test	90
3) 動脈血酸素飽和度	92
4) 心拍数	92
5) 頭部および大腿部ヘモグロビン	92
6) ガス分析	92
7) 酸化ストレス度, 抗酸化力	94
8) 尿中 8-OHdG 値	96
9) 血中乳酸濃度	96
4. 統計処理	97
5. 結果	98
1) 対象者のコンディションについて	98
2) 酸素ローディングによる生理的応答	101
(1) 酸素動態について	101
① 動脈血酸素飽和度	101
② 頭部酸素化ヘモグロビン	104
③ 頭部脱酸素化ヘモグロビン	106
④ 頭部総ヘモグロビン	108
⑤ 大腿部酸素化ヘモグロビン	110
⑥ 大腿部脱酸素化ヘモグロビン	112
⑦ 大腿部総ヘモグロビン	114
(2) 脈拍について	116
(3) 酸化ストレス度、抗酸化力について	118

①	酸化ストレス度(d-ROMs 値)	118
②	抗酸化力(BAP 値)	121
③	潜在的抗酸化能(BAP/d-ROMs)	124
3)	Exercise Test による生理的応答	126
(1)	運動パフォーマンスに関する項目	126
①	最大酸素摂取量	126
②	運動時間	128
(2)	ガス分析に関する項目	129
①	酸素摂取量	129
②	二酸化炭素排出量	131
③	換気量	133
④	呼吸交換比	135
(3)	酸素動態に関する項目	137
①	動脈血酸素飽和度	137
②	頭部酸素化ヘモグロビン	139
③	頭部脱酸素化ヘモグロビン	141
④	頭部総ヘモグロビン	143
⑤	大腿部酸素化ヘモグロビン	145
⑥	大腿部脱酸素化ヘモグロビン	147
⑦	大腿部総ヘモグロビン	149
(4)	心拍数	151
(5)	血中乳酸濃度	153
(6)	酸化ストレス度, 抗酸化力について	154
①	酸化ストレス度(d-ROM 値)	154
②	抗酸化力(BAP 値)	156
③	潜在的抗酸化能(BAP/d-ROM)	158
④	尿中 8-OHdG 値	160
(7)	最大酸素摂取量と酸素ローディング中の酸素動態の関係	163
①	最大酸素摂取量と酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度の関係	163
②	最大酸素摂取量と酸素ローディング中の頭部ヘモグロビンの関係	165
③	最大酸素摂取量と酸素ローディング中の大腿部ヘモグロビンの関係	168
(8)	最大酸素摂取量と Exercise Test 中の酸素動態の関係	

.....	171
① 最大酸素摂取量と Exercise Test 中の動脈血酸素飽和度の関係 .....	171
② 最大酸素摂取量と Exercise Test 中の頭部ヘモグロビンの関係 .....	173
③ 最大酸素摂取量と Exercise Test 中の大腿部ヘモグロビンの関係 .....	176
(9) 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の酸化ストレス、抗酸化力の関係 .....	179
① 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の酸化ストレス度 (d-ROM 値) の関係 .....	179
② 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の抗酸化力 (BAP 値) の関係 .....	181
③ 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROM 値) の関係 .....	183
④ 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の尿中 8-OHdG 値の関係 .....	185
(10) 酸化ストレスと抗酸化力の関係 .....	187
① 酸化ストレス度 (d-ROMs 値) と尿中 8-OHdG 値の関係 .....	187
② 酸化ストレス度と抗酸化力の関係 .....	188
③ 尿中 8-OHdG 値と抗酸化力の関係 .....	190
6. 考察 .....	192
1) 酸素ローディングと運動パフォーマンスについて .....	192
2) 運動と酸化ストレス、抗酸化力について .....	194
7. 本章のまとめ .....	198
終章 本研究のまとめ .....	201
引用参考文献 .....	204
謝辞	

## 序 章

### 1. 研究目的

酸素はエネルギー産生に重要な役割を果たしている。1日に摂取する酸素の約4分の1は脳で消費され、脳への酸素供給を数分遮断するだけで脳細胞が損傷を受けるともいわれており、生命を維持していくためにも酸素は不可欠であるといえる。

運動中では酸素摂取量が安静時に比べ10~15倍になる<sup>29)37)44)</sup>といわれており、運動においても酸素は不可欠であるといえる。そのため、運動パフォーマンスを向上させるために、運動中により多くの酸素を摂取する必要があると考えられる。運動中の酸素摂取量を増やすために高酸素環境下や高気圧環境下で運動を行った研究が多く報告されている<sup>2)8)9)10)14)17)24)26)40)45)55)56)64)65)</sup>。これまでの報告によれば、高酸素環境下や高気圧環境下での運動は常酸素環境下での運動に比べ、最大酸素摂取量の増加<sup>8)26)56)</sup>、運動時間の延長<sup>2)17)65)</sup>や筋グリコーゲンが利用抑制<sup>55)</sup>するといわれている。つまり、運動中に体内に多くの酸素が取り込まれることで、運動パフォーマンスが向上すると考えられる。

高酸素環境や高気圧環境では運動パフォーマンスが向上する理由として、血中の酸素量の増加と細胞への酸素供給量の増加の2点が挙げられる。

血中の酸素には結合型酸素と溶解型酸素がある。平地環境では、「ヘモグロビン・酸素解離曲線」より、約98%の血中のヘモグロビンが酸素と結合しているとされる。血中のヘモグロビンが酸素と結合する割合は酸素分圧によって左右されており、高酸素環境では酸素分圧が高くなることにより、ヘモグロビンと結合する酸素(結合型酸素)が増加するといわれている<sup>21)</sup>。また、「ヘンリーの法則」によれば、「気体はその気体の分圧に比例して液体に

溶解する」性質がある。ヘンリーの法則より、通常環境に比べて酸素分圧が高くなる高酸素環境や高気圧環境では、血液や体液に溶解する酸素(溶解型酸素)が増加するといわれている<sup>21)</sup>。つまり、高酸素環境や高気圧環境では血中の酸素量は増加するといえる。

細胞への酸素供給量について「フィックの法則」がある。フィックの法則では「単位時間あたりに形質膜を拡散で通過する酸素の量は、形質膜の内外の酸素濃度に比例する」とされる。つまり、血中の酸素(結合型酸素や溶解型酸素)が増加することで、各細胞内の酸素濃度に比べ血中の酸素濃度が高まり、各細胞への酸素供給量も増加するといわれている<sup>21)</sup>。

このような作用により、高酸素環境や高気圧環境では体内に多くの酸素が取り込まれ、運動パフォーマンスが向上すると考えられる。しかし、実際の競技場面では高酸素環境や高気圧環境を運動パフォーマンス向上のために利用することは不可能である。そのため、スポーツ現場では高酸素環境や高気圧環境の活用はトレーニング場面や疲労回復やコンディショニングの手段に限られている。

2010年に世界アンチ・ドーピング機構(WADA)は禁止事項の酸素運搬能の強化の項目に「但し、酸素自体の補給は除く」と追加明記した。つまり、高酸素環境や高気圧環境を利用して、競技前に酸素を取り込むことはドーピングではないとされた。そこで、高酸素環境や高気圧環境を利用して、運動前に酸素を体内に蓄えることによって運動パフォーマンスを向上させられるのではないかと考えられる。このような考えを「酸素ローディング」という<sup>23)</sup>。近年、スポーツ現場では疲労回復やコンディショニングのための手段として簡易の高酸素発生装置や高気圧エアー・チャンバーが利用されている。スポーツ現場で利用されているこれらのツールを用いて「酸素ロー

ディング」を行うことで，運動パフォーマンス向上させることができると考えられる．酸素ローディングと運動パフォーマンスについて，Cabric et al.(1993)<sup>5)</sup>は，成人女性 18 名を対象者とし，高圧高酸素環境(2.8 絶対気圧，酸素濃度 100%)下に 60 分間曝露させた 30 分後と 3 時間後に運動したとき，最大酸素摂取量は増加したと報告している．一方で，酸素ローディングは運動パフォーマンスを向上させないという報告<sup>13)32)</sup>もなされており，酸素ローディングの運動パフォーマンスへの効果については一定の見解が得られていない．

高酸素環境や高気圧環境を利用した先行研究の多くは 2 気圧以上で 100%に近い酸素濃度で検討されているため，スポーツ現場で普及している簡易の高酸素発生装置(酸素濃度 30・40%程度)や高気圧エアー・チャンバー(1.3 気圧)によってどの程度の酸素が体内に取り込まれているかについては明らかとなっておらず，また，酸素ローディング後の運動への効果についても検討する必要があると考えられる．

酸素ローディングによって多くの酸素を体内に取り込むことができると考えられるが，酸素には毒性があるとされており，過剰な酸素摂取はめまい，吐き気や痙攣といった症状を引き起こすとされている<sup>57)</sup>．また，体内でエネルギーを産生する過程で数%の酸素は活性酸素に変化する<sup>29)</sup>といわれている．

安静時と比べ，運動中は酸素摂取量が増加するため，活性酸素が多く発生するとされ，酸化ストレスが高まるといわれている<sup>18)25)29)34)38)41)42)44)46)50)</sup>．酸化ストレスとは，活性酸素による生体の酸化と活性酸素に対する防御機構のバランスが崩れ，前者が上回ることである<sup>29)</sup>．体内の活性酸素の増加は組織を損傷させ，ガン，炎症や動脈硬化など様々な疾患を発生，促進させるといわれている<sup>29)</sup>．酸素ローディングによって多くの酸素が体内に

取り込まれることによって活性酸素が多く発生し，酸化ストレスが高まる可能性が考えられる．酸素ローディングと酸化ストレスについての報告<sup>39)</sup>によれば，高圧高酸素環境（酸素濃度 95% 2.7 絶対気圧）下に滞在したときフリーラジカルは増加するとされている．しかし，これまでに高酸素環境や高気圧環境による酸化ストレスへの影響についての報告はほとんど見受けられない．高酸素環境や高気圧環境をスポーツ現場で活かすためにも，酸化ストレスというリスクについて確認する必要があると考えられる．

そこで，本研究では，スポーツ現場で普及している簡易の高酸素発生装置や高気圧エアー・チャンバーを用いた酸素ローディングを行うことによって，身体にどのような影響を与えるかについて，酸素動態と酸化ストレスの面から検討することを目的とする．

第Ⅰ章では，酸素ローディングによる酸素動態，酸化ストレスと自律神経機能への影響について明らかにする．また，酸素ローディングの時間の違いについても併せて検討する．

第Ⅱ章では，運動前に酸素ローディングを行うことで，その後に行う運動にどのような影響を与えるかについて検討する．また，酸素ローディングや運動が酸化ストレスと抗酸化力に与える影響について併せて検討する．

## 第 I 章 酸素ローディングが酸素動態，酸化ストレスおよび自律神経機能に与える影響

### 1. 本章の目的

本章では，高酸素発生装置や高気圧エアー・チャンバーを利用した酸素ローディングを行うことで，酸素動態，酸化ストレスおよび自律神経機能に与える影響について検討することを目的とした．また，酸素ローディングの時間の違いによる影響についても併せて検討した．

## 2. 対象者の身体的特性

本章における対象者は健常な男子学生 8 名とした。対象者の身体的特性は年齢 22.6(±1.3)歳，身長 170.1(±6.0)cm，体重 63.4(±8.8)kg であった(表 1)。対象者には実験の趣旨を口頭で説明し，承諾を得た上で実験を行った。

飲酒，喫煙やビタミン剤などのサプリメントの摂取や激しい運動が実験に影響すると考えられるため，対象者には実験開始 24 時間前から実験終了時までを禁止させた。また，実験期間中，対象者にはなるべく規則正しい生活を送るように指示をした。

実験は 1 週間以上の間隔を空け，同時刻に開始した。

表 1 対象者の身体的特性 (Mean ± SD)

	Mean	±	SD
年齢(歳)	22.6	±	1.3
身長(cm)	170.0	±	6.0
体重(kg)	63.4	±	8.8

### 3. 測定方法

本実験では，高酸素吸入と高気圧エアー・チャンバーに滞在する2種の酸素ローディングを60分，90分，120分間の3つの時間的条件で行った．酸素ローディング中の酸素動態，脈拍，頭部および大腿部ヘモグロビン測定を行った．また，酸素ローディング前後において，尿中8-OHdG値および自律神経機能の測定を行った．実験の主な流れを図1に示した．詳細な測定方法は以下に示した．

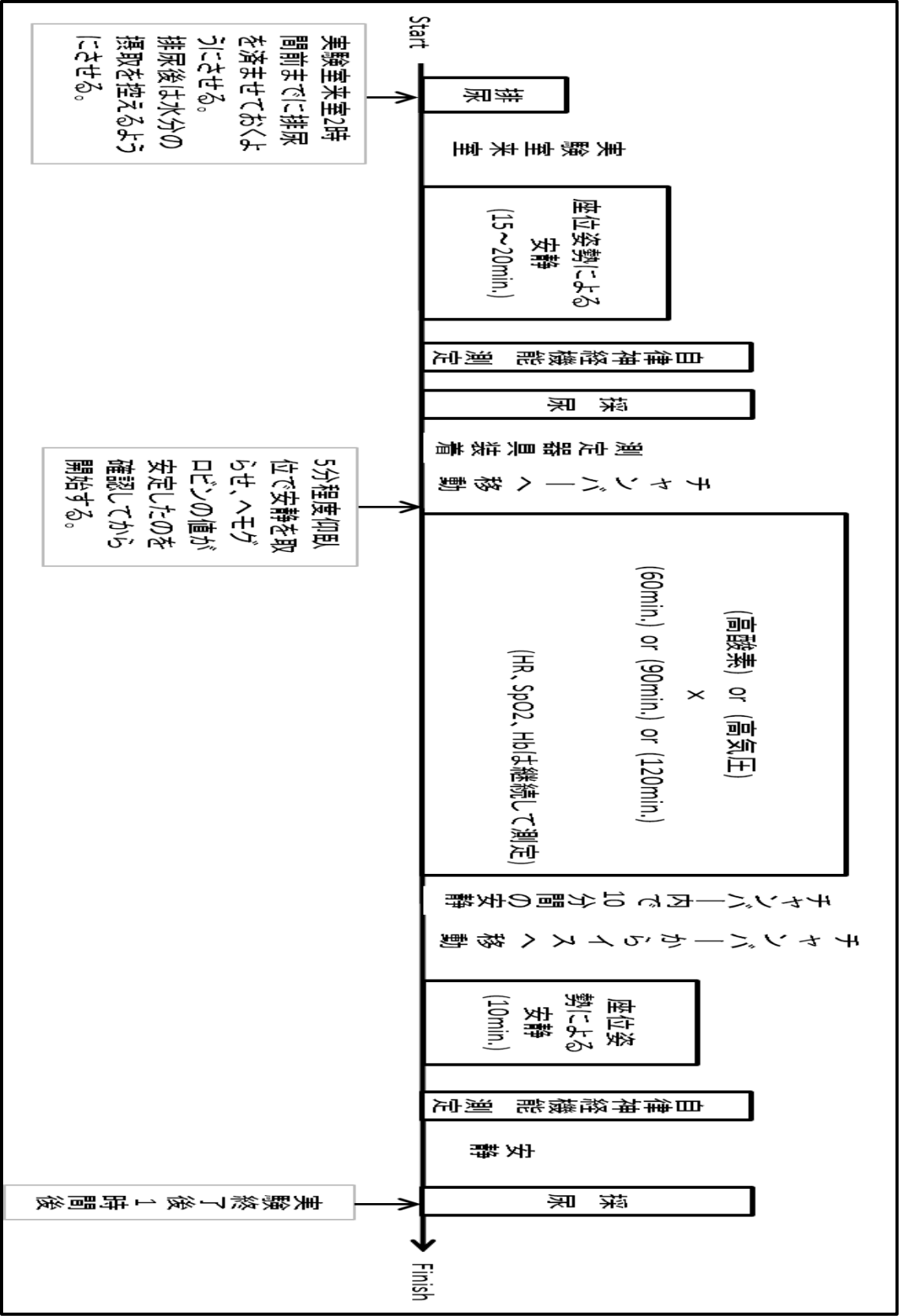


図 1 実験の流れ

#### 1) 酸素ローディング

酸素ローディングは高酸素発生装置と高気圧エアー・チャンバーを用いた 2 種の酸素ローディングを，60 分，90 分，120 分間の 3 つの時間的条件で行った．全 6 条件の酸素ローディングを 8 名の対象者がそれぞれ無作為の順序で行った．

高酸素発生装置（有限会社ワイ・ケー・エス社製 低酸素制御装置 YHS-A03）（写真 1）を用いて約 40%の酸素を吸入させた．高酸素発生装置からは毎分 7～9L で高酸素が生成される．

高酸素吸入の様子を写真 2 に示す．高酸素吸入では右脚を伸展させた座位姿勢で高酸素発生器から約 40%の酸素を鼻より吸入させた．高酸素発生装置から生成される速度を考慮し高酸素を吸入する際は鼻から吸引し，深く呼吸せず通常の呼吸をするように指示した．

また，高気圧エアー・チャンバー（日本ライトサービス株式会社製 HBA-SPACE 80H）（写真 3）を用いて 1.3 気圧の環境に滞在させた．

高気圧エアー・チャンバー内には仰臥位姿勢で滞在させた（写真 4）．本実験で用いた高気圧エアー・チャンバーは加圧と減圧にそれぞれ約 6 分間要し，加圧と減圧速度は 12 秒 / 1kPa に設定した．滞在中はできるだけ姿勢を維持するように指示をした．



酸素濃度：約 40%

流量：7-9 L/min.

写真 1 高酸素発生装置（有限会社ワイ・ケー・エス製  
低酸素制御装置 YHS-A03）

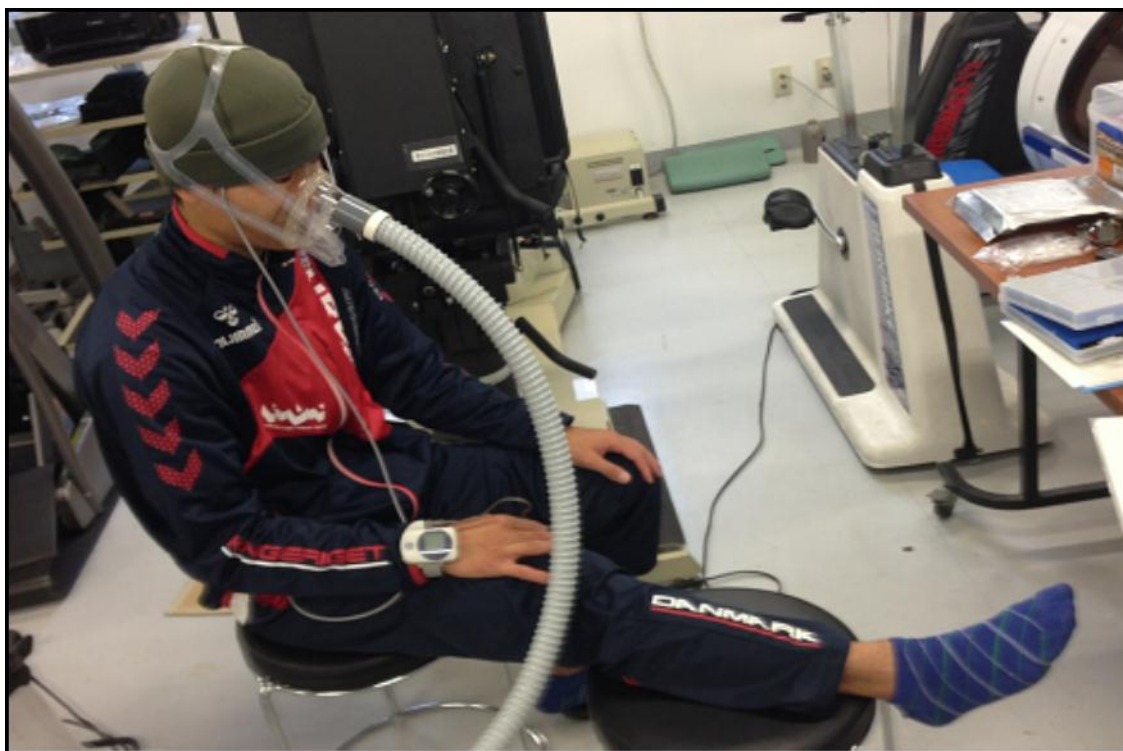


写真 2 高酸素吸入中の様子



写真 3 高気圧エアー・チャンバー（日本ライトサービス株式会社製 HBA-SPACE 80H）



写真 4 高気圧エアー・チャンバー滞在中の様子

## 2) 動脈血酸素飽和度，脈拍

動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ ) と脈拍は対象者の右手人差し指に装着したパルスオキシメータ (コニカミノルタ社製 PULSOX-3001I) を用いて 1 秒ごとに測定した。測定したデータはデータ解析ソフトウェア (コニカミノルタ社製 DS-5) を用いてパーソナルコンピュータに取り込み、酸素ローディング中および開始前 3 分間と終了後 10 分間の平均値を算出した。

## 3) 頭部および大腿部ヘモグロビン

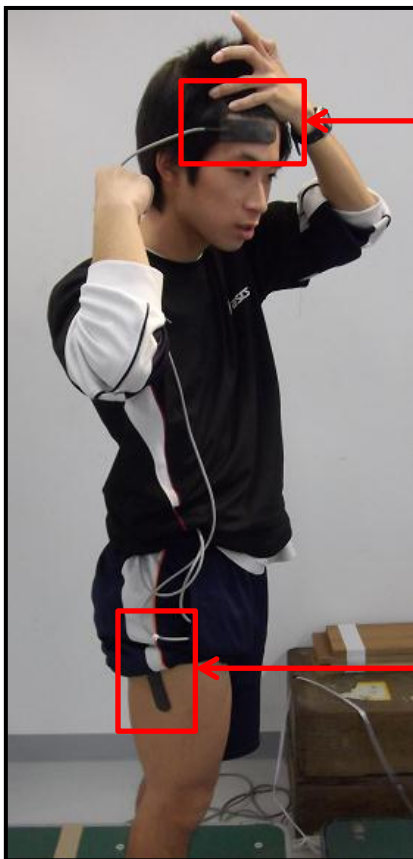
ヘモグロビン濃度は携帯型近赤外線組織酸素モニタ装置 (株式会社ダイナセンス社製 PocketNIRS Duo) (写真 5) を用いて近赤外分光法によって 1 秒ごと測定した。測定プローブは前頭骨右前部 (頭部) と右脚大腿部に装着した (写真 6)。近赤外分光法によって、酸素と結合しているヘモグロビン (酸素化ヘモグロビン)、酸素を解離したヘモグロビン (脱酸素化ヘモグロビン)、酸素化ヘモグロビンと脱酸素化ヘモグロビンの総和である総ヘモグロビンを頭部と大腿部のそれぞれで測定した。

測定データより酸素ローディング中と終了後 10 分間の平均値を算出した。

本実験において近赤外分光法によって得られるデータは絶対値となるため、酸素ローディング開始直前の値を基準値 0 とした。したがって、対象者には開始前に測定姿勢にて十分に安静状態を保たせ、測定値が安定していることを検者が確認してから酸素ローディングを開始した。また、姿勢の変化による測定値の変動を最小限にするため、対象者には測定中はできる限り同一姿勢を保つように指示をした。



写真 5 携帯型近赤外線組織酸素モニタ装置（株式会社ダイナセンス社製 PocketNIRS Duo）



前頭骨右前部（頭部）

右大腿部（大腿部）

写真 6 携帯型近赤外線組織酸素モニタ装置 測定プローブの装着位置

#### 4) 尿 中 8-OHdG

尿 中 8-OHdG 値 は 尿 中 酸 化 ス ト レ ス マ ー カ ー 測 定 シ ス テ ム (株 式 会 社 テ ク ノ メ デ ィ カ 社 製 ICR-001) (写 真 7)を 用 い て , 酸 素 ロ ー デ ィ ン グ 前 と 終 了 1 時 間 後 に 採 尿 し 測 定 を 行 っ た . 測 定 は 採 取 し た 尿 を 純 水 に て 2 倍 に 希 釈 し , 200 $\mu$ L を 使 用 し た . 希 釈 し た 尿 は 付 属 の 測 定 プ レ ー ト の 所 定 の 箇 所 に 100 $\mu$ L ず つ 滴 下 し , 8-OHdG と ク レ ア チ ニ ン の 濃 度 を 測 定 し た . 尿 は 蓄 積 時 間 に よ っ て 尿 の 濃 度 が 異 な る た め , 尿 の 濃 度 を 補 正 す る た め 8-OHdG 値 を ク レ ア チ ニ ン 値 で 除 し た 値 を 用 い た (以 下 , 8OHdG 値 と は ク レ ア チ ニ ン で 補 正 し た 値 と す る ) .

実 験 前 の 酸 化 ス ト レ ス の 影 響 を 排 除 す る た め に , 対 象 者 に は 実 験 開 始 2 時 間 前 に 排 尿 を さ せ た .



写 真 7 尿 中 酸 化 ス ト レ ス マ ー カ ー 測 定 シ ス テ ム (株 式 会 社 テ ク ノ メ デ ィ カ 社 製 ICR-001)

## 5) 自律神経機能

自律神経機能は自律神経機能測定装置(株式会社クロスウェル社製 きりつ名人)を用いて能動的起立負荷により, 交感神経および副交感神経の機能を評価した. 測定原理は, 安静座位姿勢から起立負荷をかけることによる交感神経および副交感神経の亢進と抑制のバランスを測定される. 心電図は心拍数計(アームエレクトロニクス株式会社製 メモリー心拍計 LRR-03)を用いて電極を両手首に装着し心電図を測定し, R-R 間隔を 1/1000 秒で採取した. 採取された R-R 間隔のグラフを自律神経機能測定装置によって時間領域解析と周波数領域解析を行い, 自律神経の大きさと自律神経の成分を算出した. これらの解析より, 自律神経機能を回復力, 反応力, 切替力, 活動の大きさ, バランスの項目でそれぞれ評価した. また, 5つの項目を総合的に評価した総合値も評価した.

活動の大きさは, 安静時における自律神経機能の大きさを表し, HF 成分と LF 成分の総和であるトータルパワーによって評価する.

バランスは, 安静時の自律神経機能を交感神経と副交感神経のバランスを LF/HF で評価する.

回復力は, 起立時の HF 成分の低下によって副交感神経の機能を評価する.

反応力は, 起立時のトータルパワーの変化の大きさによって評価される.

切替力は, 安静時と起立時の交感神経指標である LF/HF の差で評価される.

#### 4. 統計処理

統計処理には統計処理ソフト (IBM SPSS Statistics 20) を用いた。測定結果は全て平均値 (±標準偏差) で示した。全ての測定項目で二要因 (酸素ローディング時間 × 測定時期) の分散分析を行った。また、尿中 8-OHdG 値の酸素ローディング前での変化率は一要因の分散分析を行った。主効果が有意であった場合、多重比較を行った。有意水準は 5%未満とした。

## 5 結 果

### 1) 酸素ローディングにおける生理的応答

#### (1) 酸素動態について

動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ )，頭部および大腿部ヘモグロビンについて，酸素ローディング中の推移と酸素ローディング前，酸素ローディング中および酸素ローディング後の測定値の平均値について検討した．

#### ① 動脈血酸素飽和度

酸素ローディング中の  $SpO_2$  の推移を図 2 に示す．酸素ローディング中の  $SpO_2$  の平均値について検討した(図 3)．高酸素吸入前，高酸素吸入中，高酸素吸入後の  $SpO_2$  の平均値は高酸素 60 分群では順に  $97.6(\pm 1.43)\%$ ， $98.8(\pm 1.32)\%$ ， $98.1(\pm 1.72)\%$ であった．高酸素 90 分群では順に  $97.2(\pm 0.69)\%$ ， $98.6(\pm 0.90)\%$ ， $97.9(\pm 0.90)\%$ であった．高酸素 120 分では順に  $97.6(\pm 0.62)\%$ ， $98.9(\pm 0.79)\%$ ， $97.9(\pm 0.90)\%$ であった．高酸素吸入中の  $SpO_2$  は高酸素吸入前に比べ有意 ( $p < 0.01$ ) に高くなることが認められた．しかし，吸入時間の違いによる差は認められなかった．

高気圧滞在前，高気圧滞在中，高気圧滞在後の  $SpO_2$  の平均値は高気圧 60 分群では順に  $97.2(\pm 0.89)\%$ ， $98.7(\pm 0.92)\%$ ， $97.6(\pm 1.40)\%$ であった．高気圧 90 分群では順に  $97.8(\pm 0.90)\%$ ， $98.8(\pm 0.66)\%$ ， $97.8(\pm 0.97)\%$ であった．高気圧 120 分では順に  $97.4(\pm 1.03)\%$ ， $98.7(\pm 0.90)\%$ ， $98.3(\pm 0.77)\%$ であった．高気圧滞在中の  $SpO_2$  は高気圧滞在前に比べ有意 ( $p < 0.01$ ) に高くなることが認められた．しかし，滞在時間の違いによる差は認められなかった．

高酸素と高気圧の両条件において酸素ローディング終了後では開始前と比べ有意な差は認められなかった．

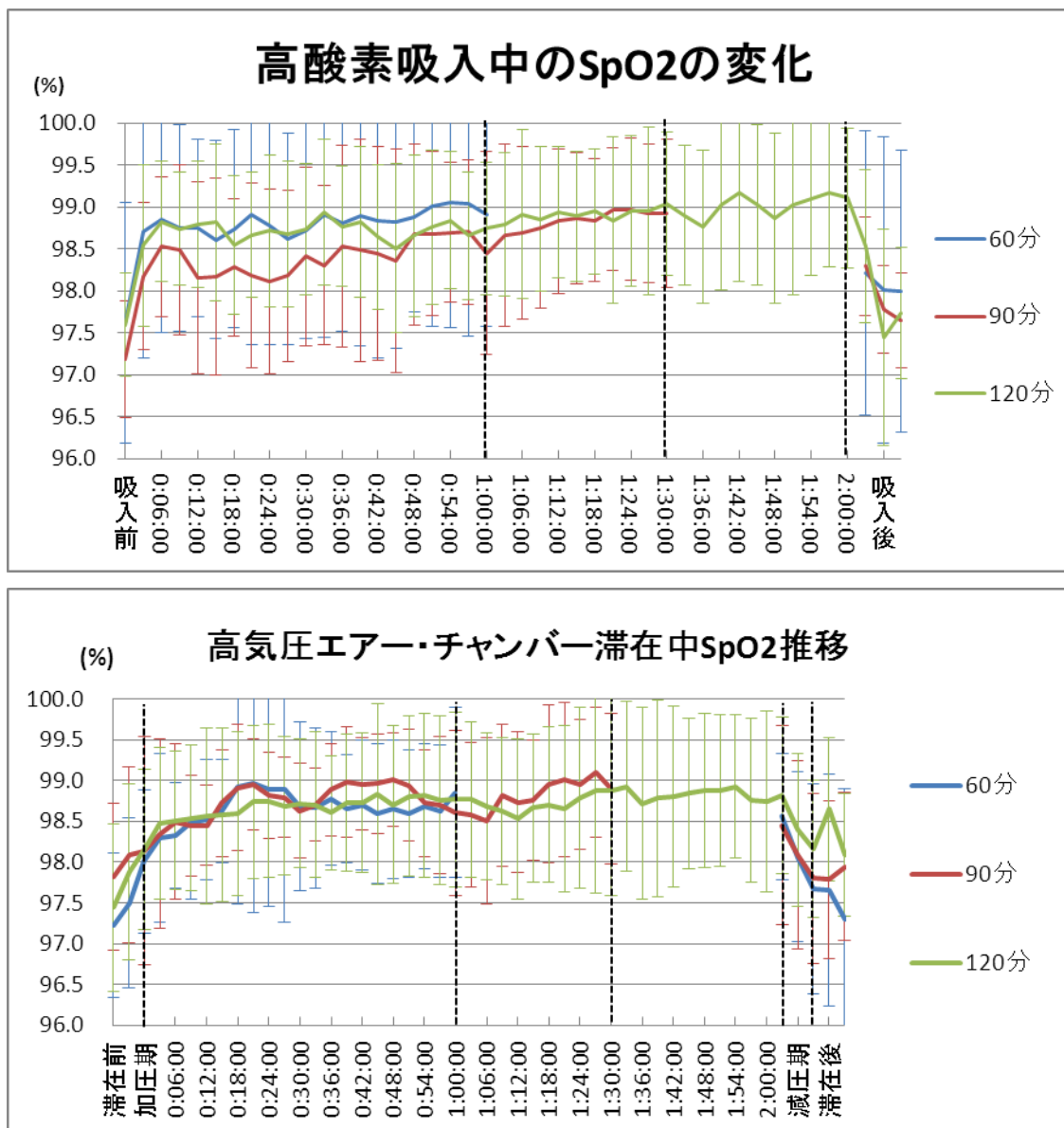


図 2 酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度 (SpO<sub>2</sub>) の推移 (Mean ± SD) (上)高酸素条件, (下)高気圧条件

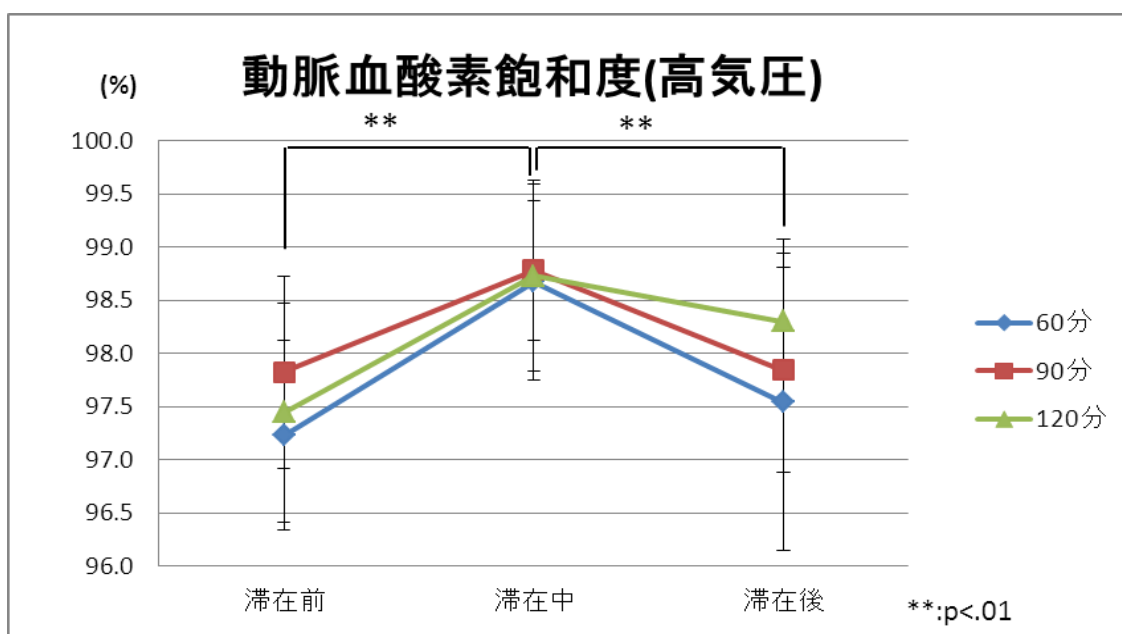
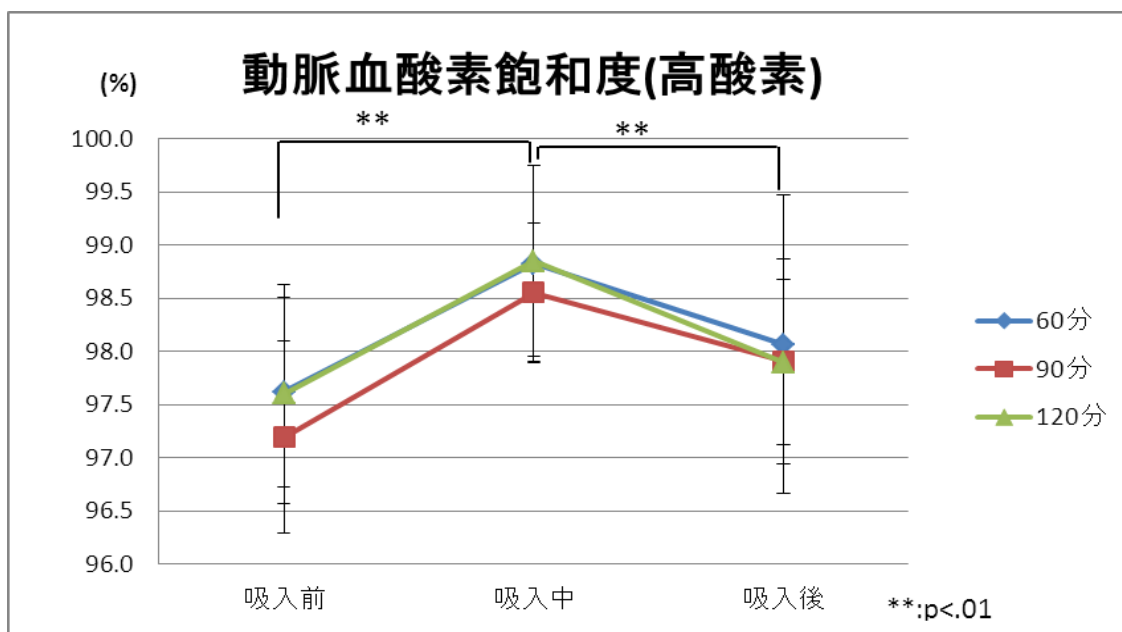


図 3 酸素ローディングの各時間における動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ ) ( $Mean \pm SD$ ) (上) 高酸素条件, (下) 高気圧条件

## ② 頭部酸素化ヘモグロビン

酸素ローディング中の酸素化ヘモグロビンの推移と各時期における平均値について検討した(図 4, 図 5). 高酸素吸入中, 高酸素吸入後の酸素化ヘモグロビンの平均値は高酸素 60 分群では順に  $0.047(\pm 0.038)\text{a.u.}$ ,  $0.010(\pm 0.051)\text{a.u.}$ , であった. 高酸素 90 分群では順に  $0.043(\pm 0.064)\text{a.u.}$ ,  $0.013(\pm 0.068)\text{a.u.}$  であった. 高酸素 120 分では順に  $0.057(\pm 0.059)\text{a.u.}$ ,  $0.032(\pm 0.076)\text{a.u.}$  であった. 高酸素吸入による頭部酸素化ヘモグロビンの有意な変化は認められなかった.

高気圧滞在中, 高気圧滞在後の酸素化ヘモグロビンの平均値は高気圧 60 分群では順に  $-0.029(\pm 0.047)\text{a.u.}$ ,  $-0.022(\pm 0.035)\text{a.u.}$  であった. 高気圧 90 分群では順に  $0.028(\pm 0.064)\text{a.u.}$ ,  $0.015(\pm 0.046)\text{a.u.}$  であった. 高気圧 120 分では順に  $0.040(\pm 0.041)\text{a.u.}$ ,  $0.020(\pm 0.051)\text{a.u.}$  であった. 高気圧滞在による頭部酸素化ヘモグロビンの有意な変化は認められなかった. しかし, 高気圧滞在中の酸素化ヘモグロビンにおいて 120 分群は 60 分群に比べ有意 ( $p < 0.05$ ) に高い値を示すことが認められた.

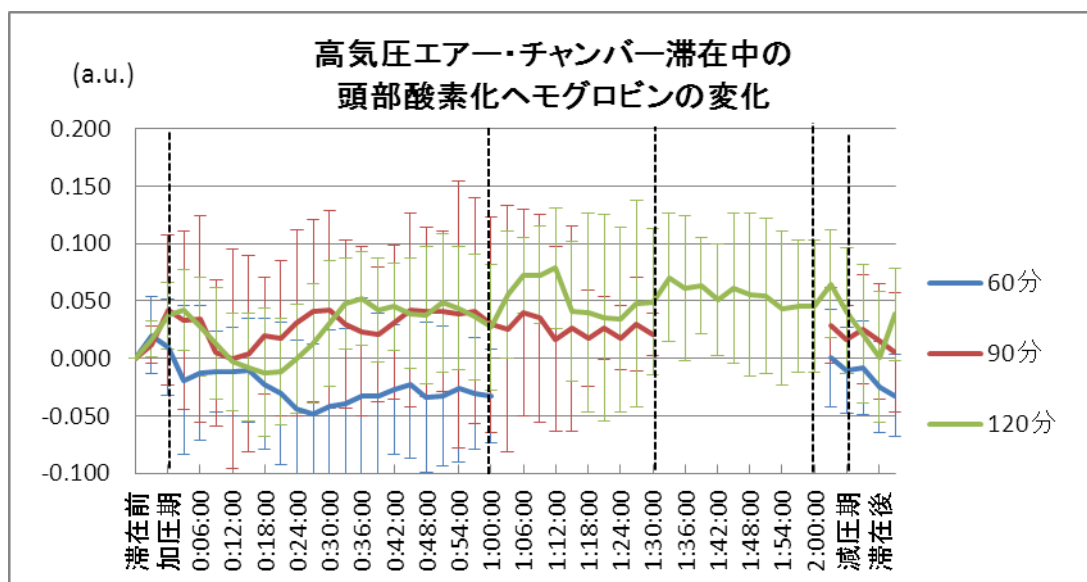
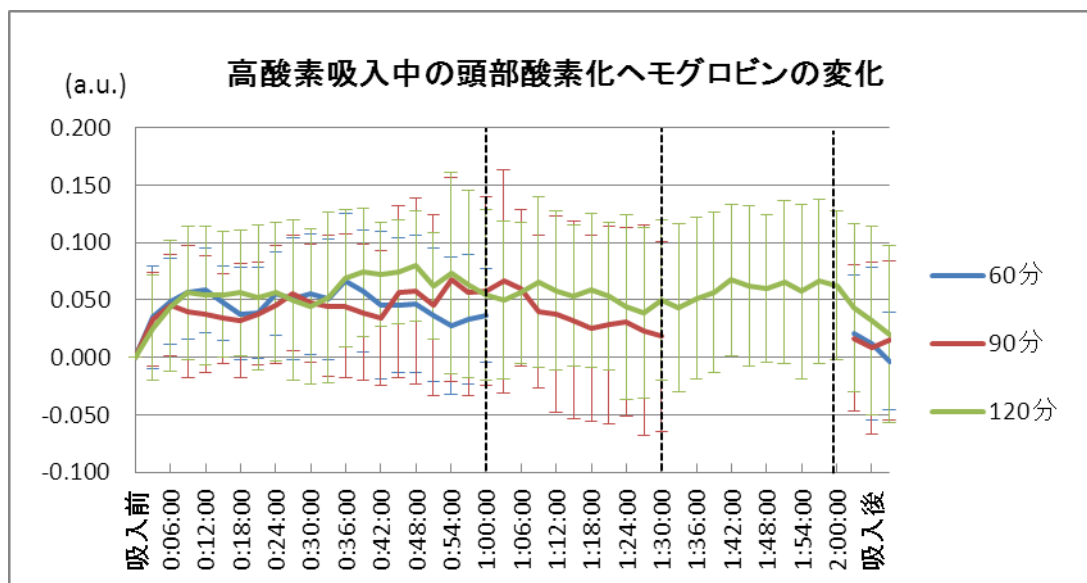


図 4 酸素ローディング中の頭部酸素化ヘモグロビンの推移 (Mean  $\pm$  SD) (上)高酸素条件, (下)高気圧条件

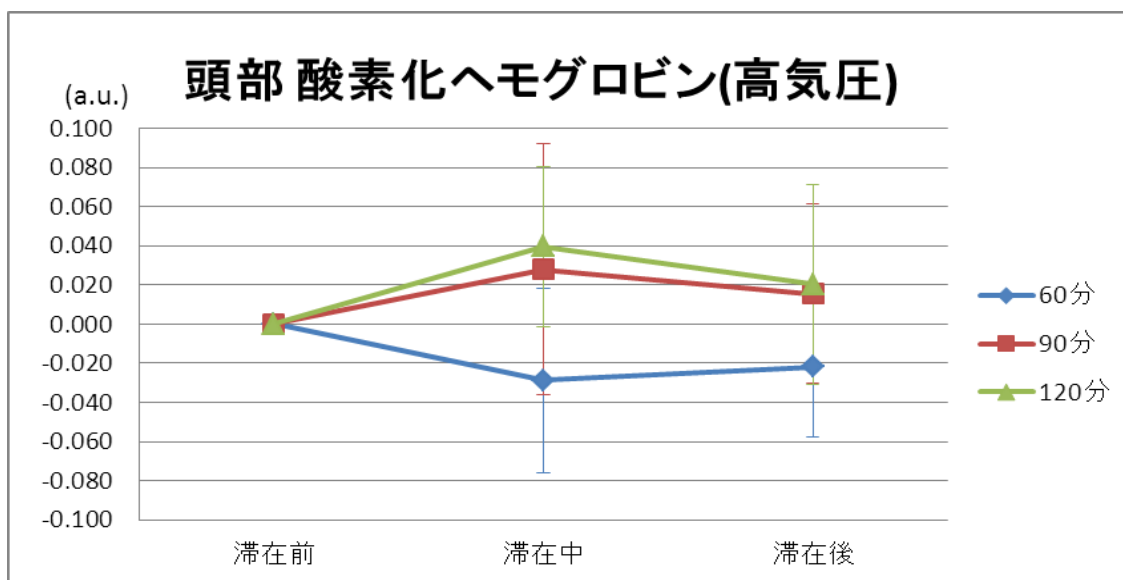
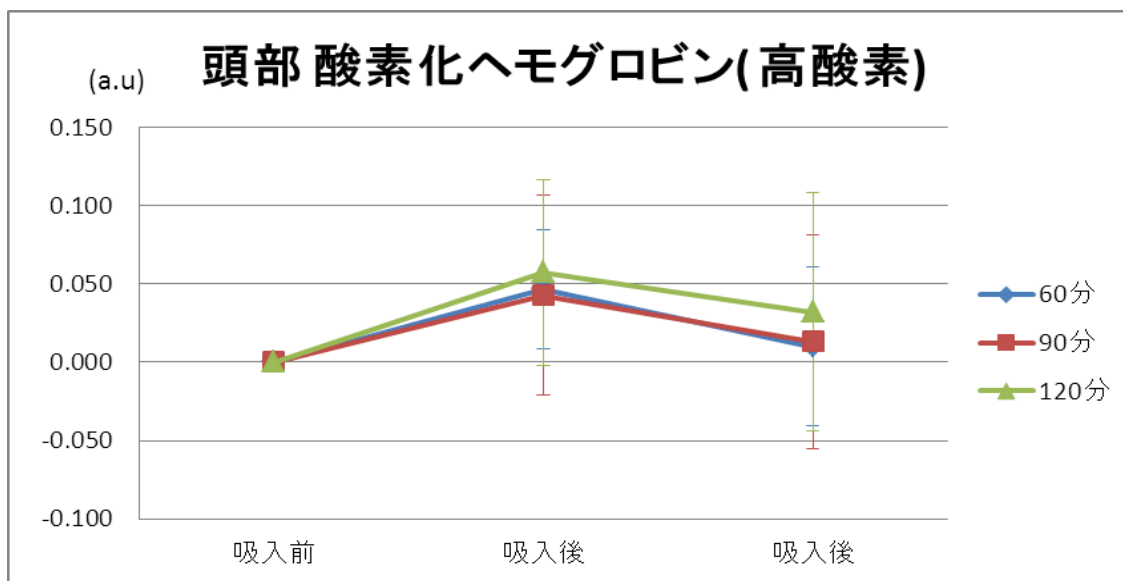


図 5 酸素ローディングの各時間における頭部酸素化ヘモグロビン (Mean±SD)(上)高酸素条件,(下)高気圧条件

### ③ 頭部脱酸素化ヘモグロビン

酸素ローディング中の脱酸素化ヘモグロビンの推移と各時期における平均値について検討する(図 6, 図 7). 高酸素吸入中, 高酸素吸入後の脱酸素化ヘモグロビンの平均値は高酸素 60 分群では順に  $-0.014(\pm 0.018)\text{a.u.}$ ,  $-0.014(\pm 0.031)\text{a.u.}$ であった. 高酸素 90 分群では順に  $-0.041(\pm 0.077)\text{a.u.}$ ,  $-0.049(\pm 0.054)\text{a.u.}$ であった. 高酸素 120 分では順に  $-0.040(\pm 0.039)\text{a.u.}$ ,  $-0.028(\pm 0.033)\text{a.u.}$ であった. 高酸素吸入による頭部脱酸素化ヘモグロビンの有意な変化は認められなかった。

高気圧滞在中, 高気圧滞在後の脱酸素化ヘモグロビンは高気圧 60 分群では順に  $-0.012(\pm 0.049)\text{a.u.}$ ,  $0.002(\pm 0.058)\text{a.u.}$ であった. 高気圧 90 分群では順に  $-0.013(\pm 0.041)\text{a.u.}$ ,  $0.004(\pm 0.045)\text{a.u.}$ であった. 高気圧 120 分では順に  $-0.034(\pm 0.034)\text{a.u.}$ ,  $-0.038(\pm 0.032)\text{a.u.}$ であった. 高気圧滞在による頭部脱酸素化ヘモグロビンの有意な変化は認められなかった。

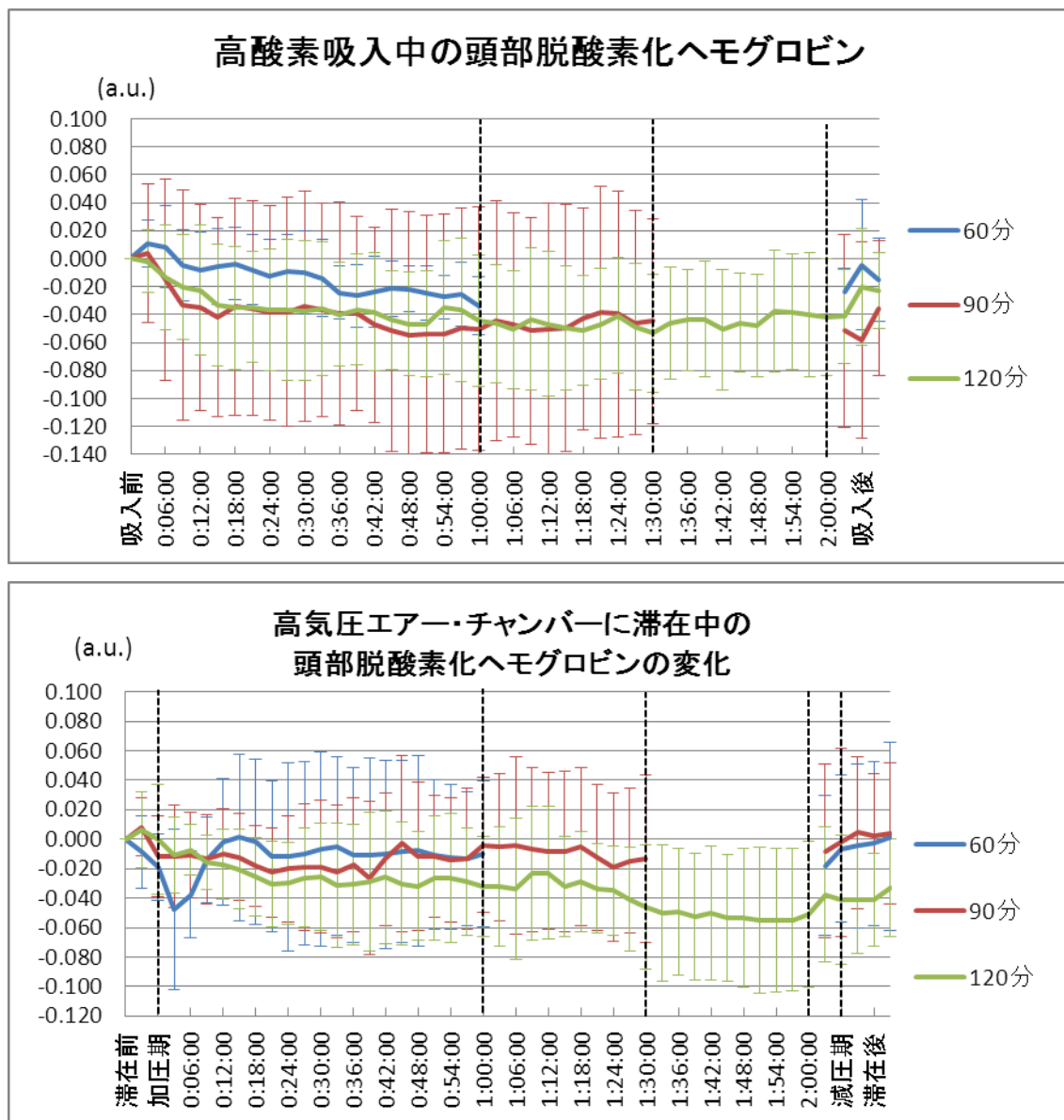


図 6 酸素ローディング中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの推移 (Mean±SD) (上)高酸素条件, (下)高気圧条件

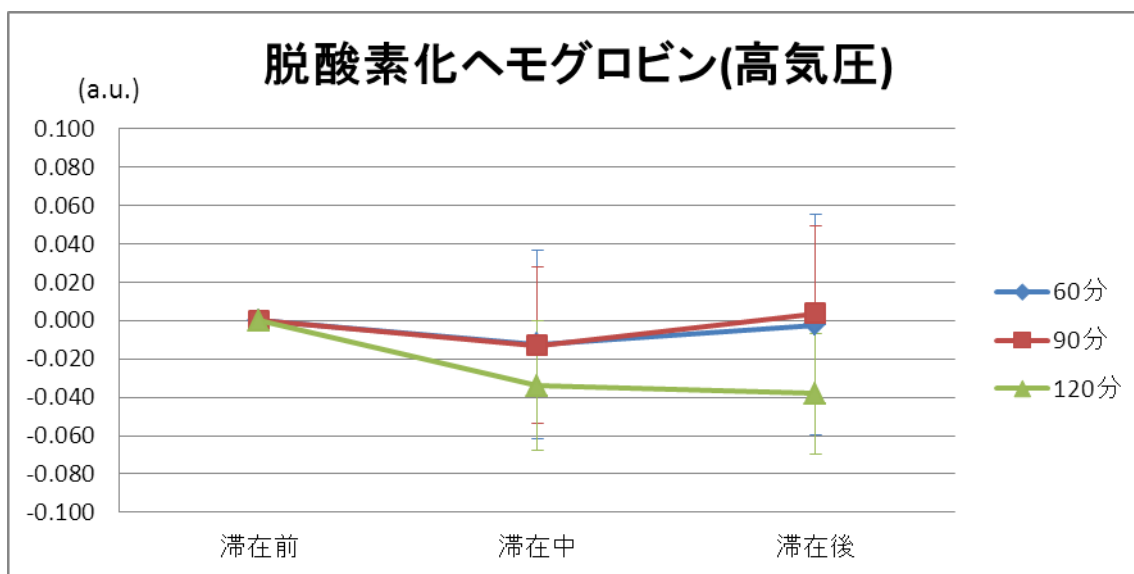
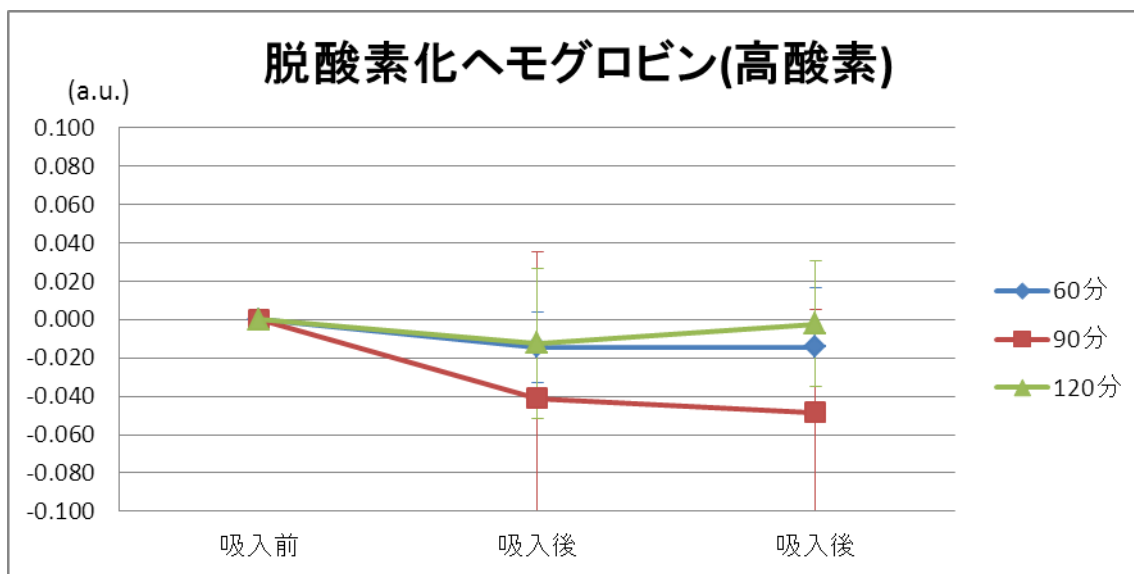


図 7 酸素ローディングの各時間における頭部脱酸素化ヘモグロビン(Mean±SD)(上)高酸素条件，(下)高気圧条件

#### ④ 頭 部 総 ヘ モ グ ロ ビ ン

酸素ローディング中の総ヘモグロビンの推移と各時期における平均値について検討した(図 8, 図 9). 高酸素吸入中, 高酸素吸入後の総ヘモグロビンは高酸素 60 分群では順に  $0.033(\pm 0.042)\text{a.u.}$ ,  $-0.004(\pm 0.076)\text{a.u.}$ であった. 高酸素 90 分群では順に  $0.002(\pm 0.090)\text{a.u.}$ ,  $-0.035(\pm)\text{a.u.}$ であった. 高酸素 120 分では順に  $0.017(\pm 0.066)\text{a.u.}$ ,  $0.004(\pm 0.083)\text{a.u.}$ であった. 高酸素吸入によって頭部総ヘモグロビンの有意な変化は認められなかった。

高気圧滞在中, 高気圧滞在後の総ヘモグロビンは高気圧 60 分群では順に  $-0.041(\pm 0.061)\text{a.u.}$ ,  $-0.024(\pm 0.048)\text{a.u.}$ であった. 高気圧 90 分群では順に  $0.015(\pm 0.077)\text{a.u.}$ ,  $0.019(\pm 0.081)\text{a.u.}$ であった. 高気圧 120 分では順に  $0.006(\pm 0.058)\text{a.u.}$ ,  $-0.019(\pm 0.069)\text{a.u.}$ であった. 高気圧滞在による総ヘモグロビンの有意な変化は認められなかった。

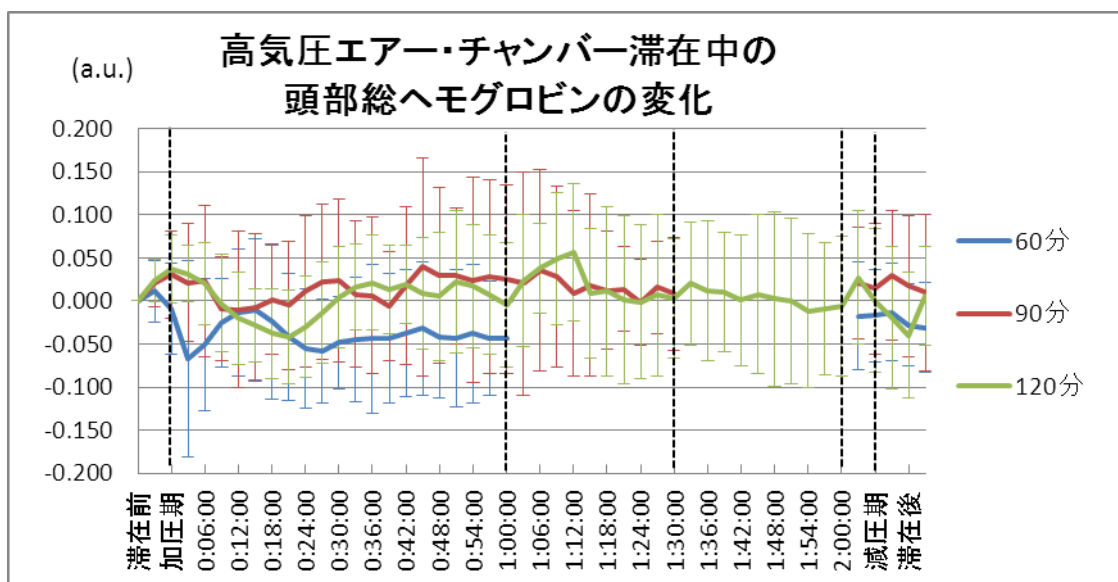
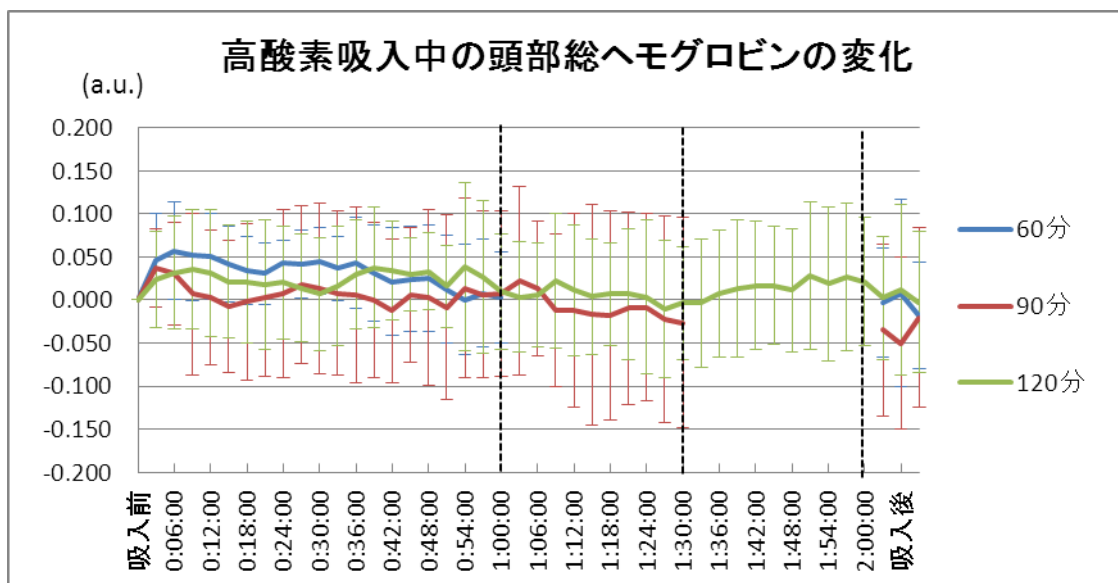


図 8 酸素ローディング中の頭部総ヘモグロビンの推移 (Mean  $\pm$  SD) (上)高酸素条件, (下)高気圧条件

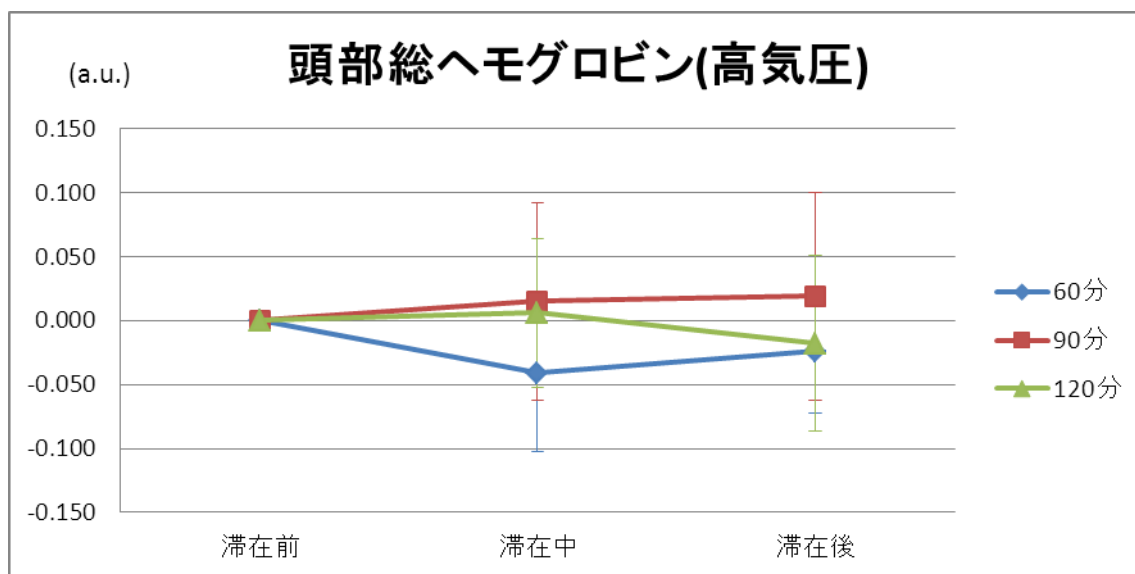
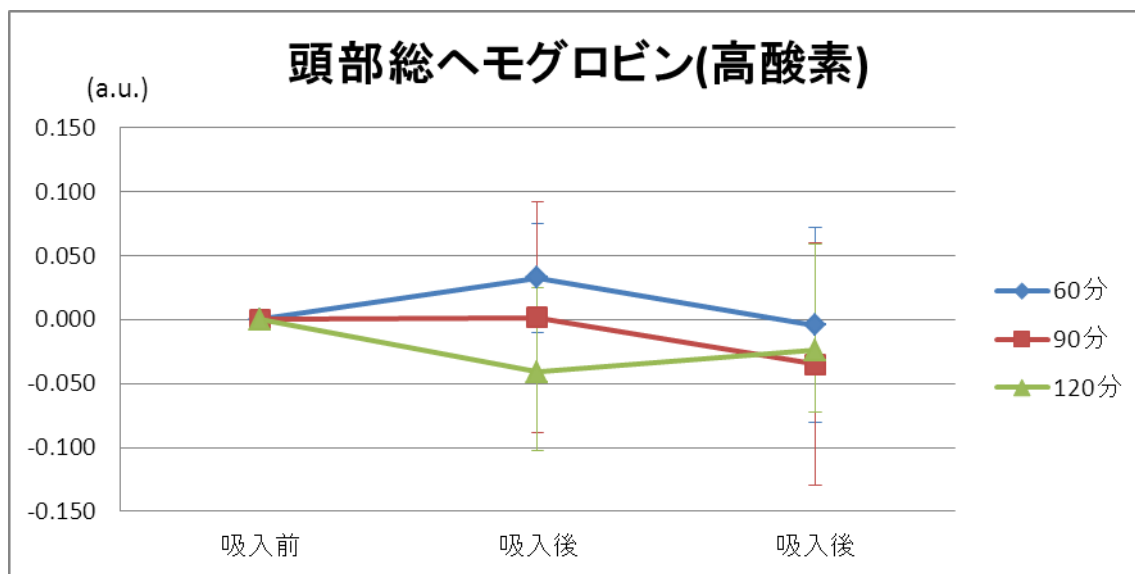


図 9 酸素ローディングの各時間における頭部総ヘモグロビン (Mean $\pm$ SD)(上)高酸素条件, (下)高気圧条件

#### ⑤ 大腿部酸素化ヘモグロビン

酸素ローディング中の酸素化ヘモグロビンの推移と各時期における平均値について検討した(図 10, 図 11). 高酸素吸入前, 高酸素吸入中, 高酸素吸入後の酸素化ヘモグロビンの平均値は高酸素 60 分群では順に  $0.019(\pm 0.021)\text{a.u.}$ ,  $0.020(\pm 0.036)\text{a.u.}$ であった. 高酸素 90 分群では順に  $0.025(\pm 0.044)\text{a.u.}$ ,  $0.005(\pm 0.037)\text{a.u.}$ であった. 高酸素 120 分では順に  $0.017(\pm 0.044)\text{a.u.}$ ,  $-0.007(\pm 0.079)\text{a.u.}$ であった. 高酸素吸入中の酸素化ヘモグロビンは高酸素吸入前に比べ有意( $p<0.05$ )に高くなることが認められた. しかし, 滞在時間の違いによる差は認められなかった.

高気圧滞在中, 高気圧滞在後の酸素化ヘモグロビンは高気圧 60 分群では順に  $0.040(\pm 0.030)\text{a.u.}$ ,  $0.054(\pm 0.036)\text{a.u.}$ であった. 高気圧 90 分群では順に  $0.049(\pm 0.031)\text{a.u.}$ ,  $0.050(\pm 0.057)\text{a.u.}$ であった. 高気圧 120 分では順に  $0.071(\pm 0.029)\text{a.u.}$ ,  $0.074(\pm 0.027)\text{a.u.}$ であった. 高気圧滞在中と滞在終了後の酸素化ヘモグロビンは高気圧滞在前に比べ有意( $p<0.01$ )に高くなることが認められた. しかし, 滞在時間の違いによる差は認められなかった.

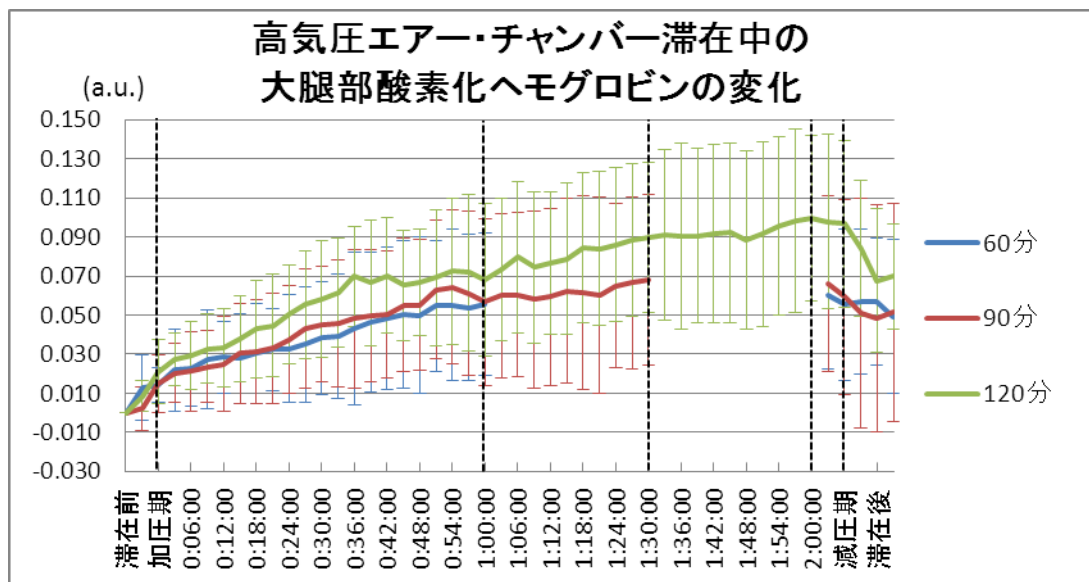
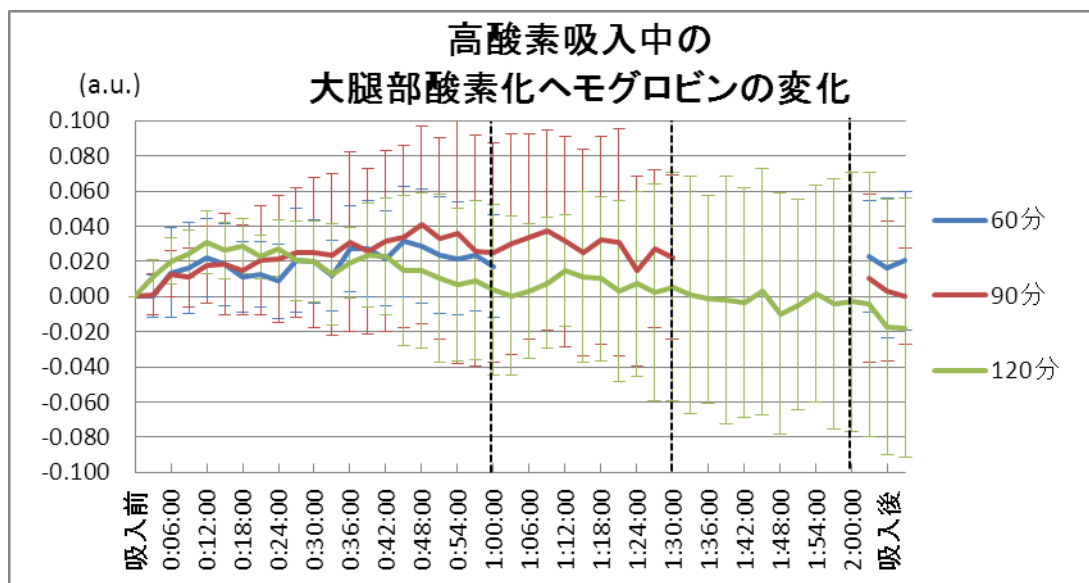


図 10 酸素ローディング中の大腿部酸素化ヘモグロビンの推移 (Mean±SD) (上)高酸素条件, (下)高気圧条件

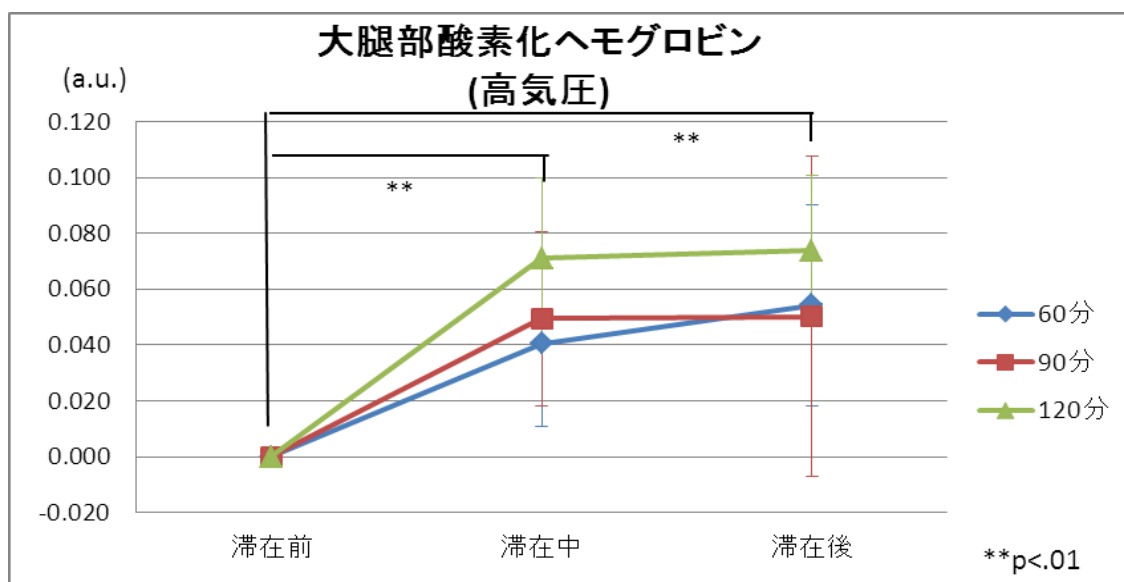
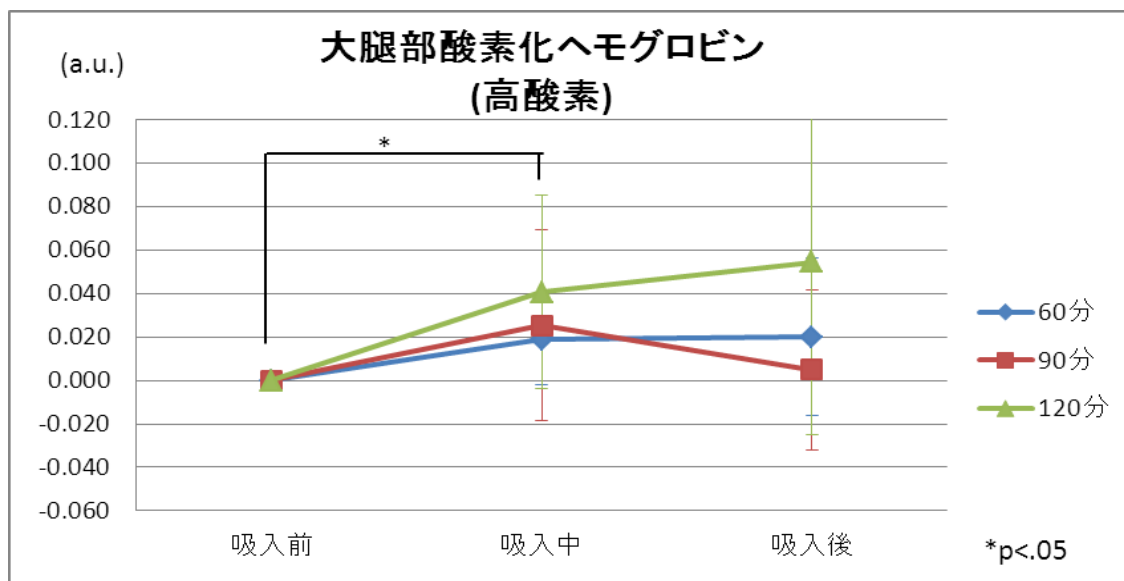


図 11 酸素ローディングの各時間における頭部総ヘモグロビン (Mean±SD)(上)高酸素条件, (下)高気圧条件

#### ⑥ 大腿部脱酸素化ヘモグロビン

酸素ローディング中の脱酸素化ヘモグロビンの推移と各時期における平均値について検討する(図 12, 図 13). 高酸素吸入前, 高酸素吸入中, 高酸素吸入後の脱酸素化ヘモグロビンの平均値は高酸素 60 分群では順に  $-0.016(\pm 0.028)\text{a.u.}$ ,  $-0.015(\pm 0.036)\text{a.u.}$ であった. 高酸素 90 分群では順に  $-0.010(\pm 0.044)\text{a.u.}$ ,  $-0.020(\pm 0.075)\text{a.u.}$ であった. 高酸素 120 分では順に  $-0.024(\pm 0.31)\text{a.u.}$ ,  $-0.002(\pm 0.038)\text{a.u.}$ であった. 高酸素吸入による大腿部脱酸素化ヘモグロビンの有意な変化は認められなかった.

高気圧滞在中, 高気圧滞在後の脱酸素化ヘモグロビンの平均値は高気圧 60 分群では順に  $0.025(\pm 0.038)\text{a.u.}$ ,  $0.026(\pm 0.046)\text{a.u.}$ であった. 高気圧 90 分群では順に  $0.003(\pm 0.024)\text{a.u.}$ ,  $-0.003(\pm 0.028)\text{a.u.}$ であった. 高気圧 120 分では順に  $0.004(\pm 0.027)\text{a.u.}$ ,  $-0.004(\pm 0.034)\text{a.u.}$ であった. 高気圧滞在による脱酸素化ヘモグロビンの有意な変化は認められなかった.

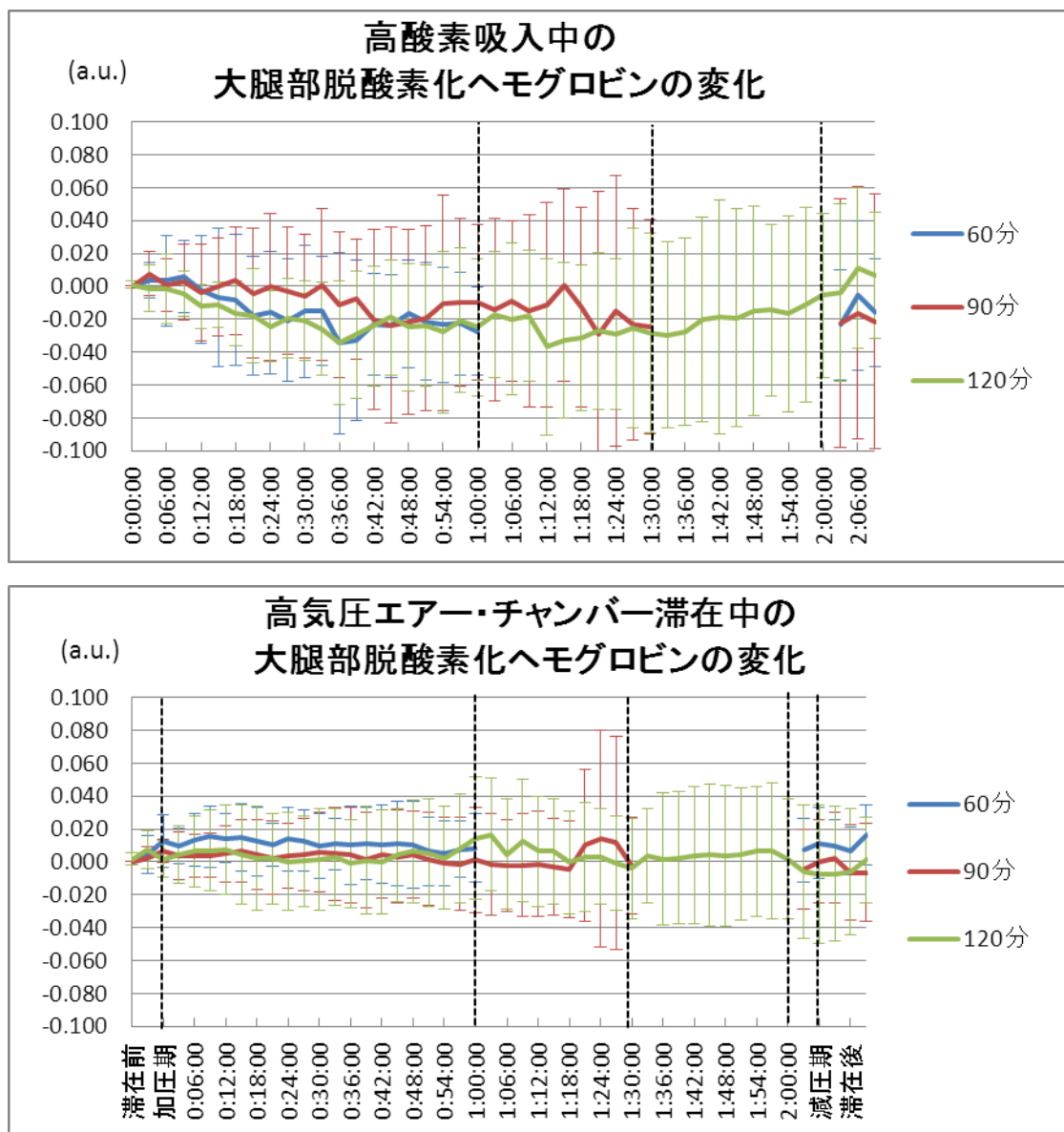


図 12 酸素ローディング中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンの推移 (Mean±SD) (上)高酸素条件, (下)高気圧条件

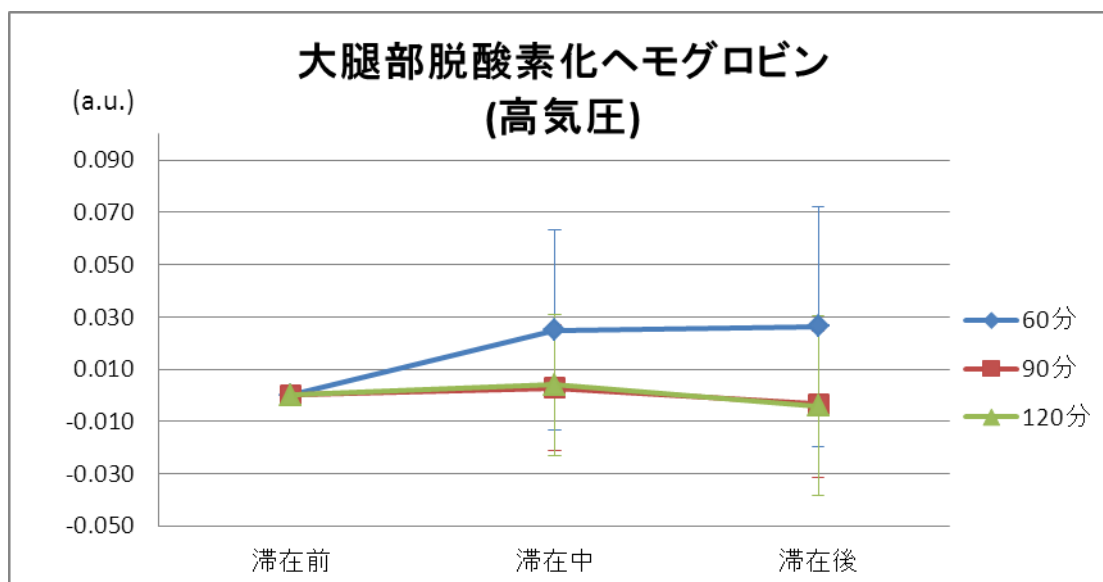
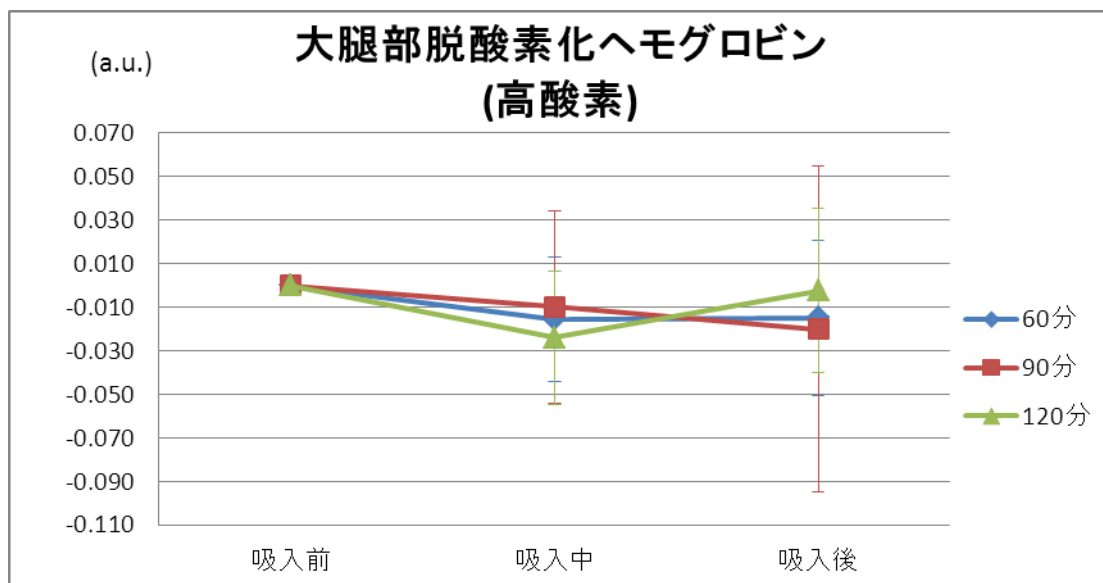


図 13 酸素ローディングの各時間における大腿部脱酸素化ヘモグロビン (Mean  $\pm$  SD) (上) 高酸素条件, (下) 高気圧条件

⑦ 大腿部総ヘモグロビン

酸素ローディング中の総ヘモグロビンの推移と各時期における平均値について検討した(図 14, 図 15). 高酸素吸入前, 高酸素吸入中, 高酸素吸入後の総ヘモグロビンの平均値は高酸素 60 分群では順に  $0.003(\pm 0.032)\text{a.u.}$ ,  $0.000(\pm 0.037)\text{a.u.}$ であった. 高酸素 90 分群では順に  $0.016(\pm 0.031)\text{a.u.}$ ,  $-0.015(\pm 0.066)\text{a.u.}$ であった. 高酸素 120 分では順に  $-0.007(\pm 0.057)\text{a.u.}$ ,  $-0.011(\pm 0.081)\text{a.u.}$ であった. 高酸素吸入中の総ヘモグロビンに有意な変化は認められなかった. また, 吸入時間の違いによる差も認められなかった.

高気圧滞在前, 高気圧滞在中, 高気圧滞在後の総ヘモグロビンの平均値は高気圧 60 分群では順に  $0.051(\pm 0.028)\text{a.u.}$ ,  $0.065(\pm 0.032)\text{a.u.}$ であった. 高気圧 90 分群では順に  $0.052(\pm 0.024)\text{a.u.}$ ,  $0.047(\pm 0.056)\text{a.u.}$ であった. 高気圧 120 分では順に  $0.075(\pm 0.034)\text{a.u.}$ ,  $0.070(\pm 0.026)\text{a.u.}$ であった. 高気圧滞在中と滞在終了後の総ヘモグロビンは高気圧滞在前に比べ有意 ( $p < 0.001$ ) に高くなることが認められた. しかし, 滞在時間の違いによる差は認められなかった.

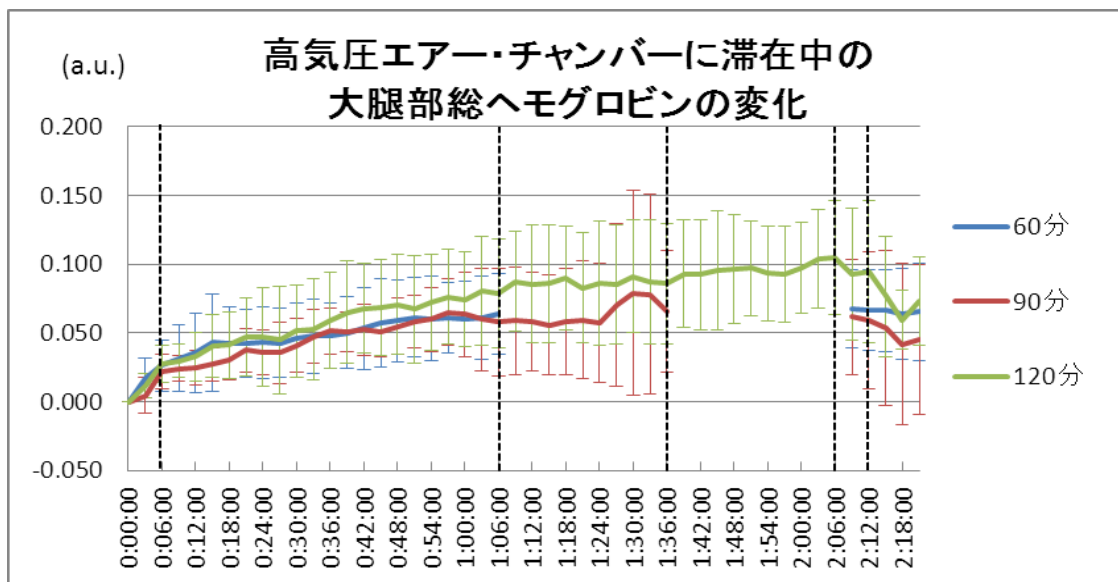
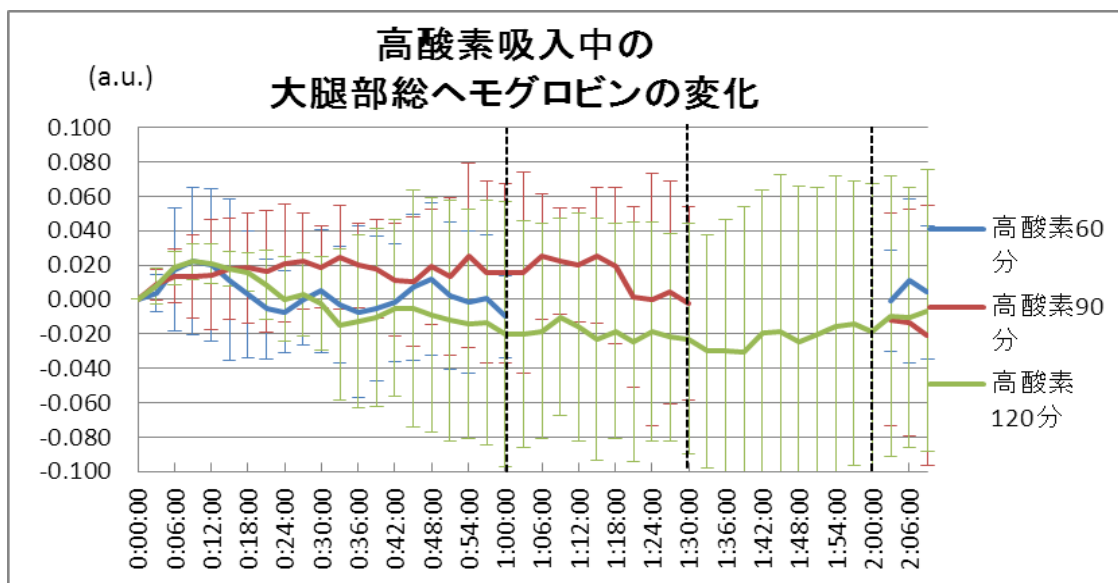


図 14 酸素ローディング中の大腿部総ヘモグロビンの推移 (Mean  $\pm$  SD) (上)高酸素条件, (下)高気圧条件

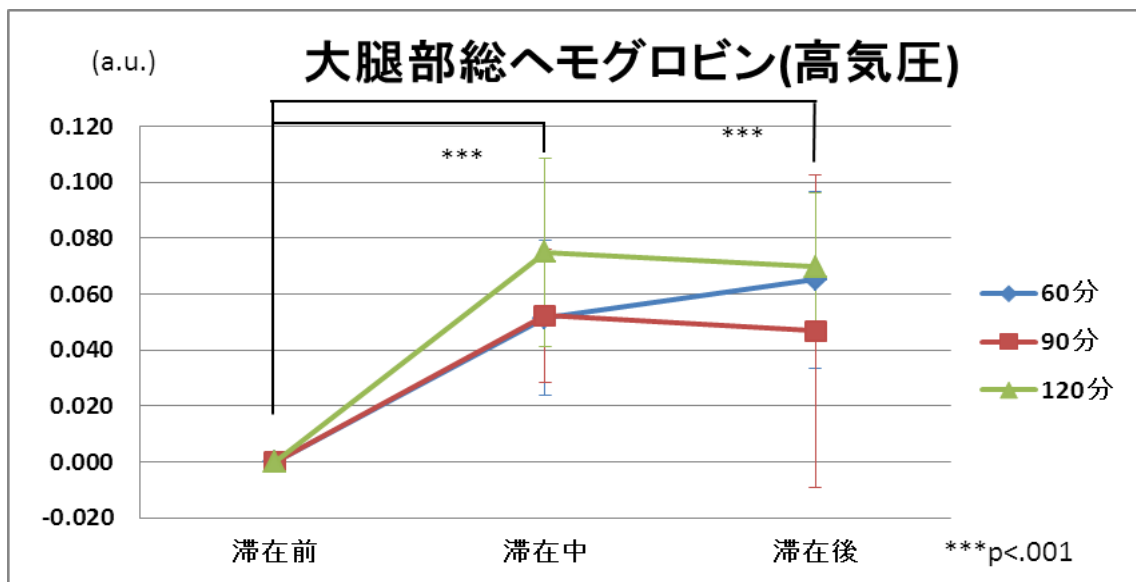
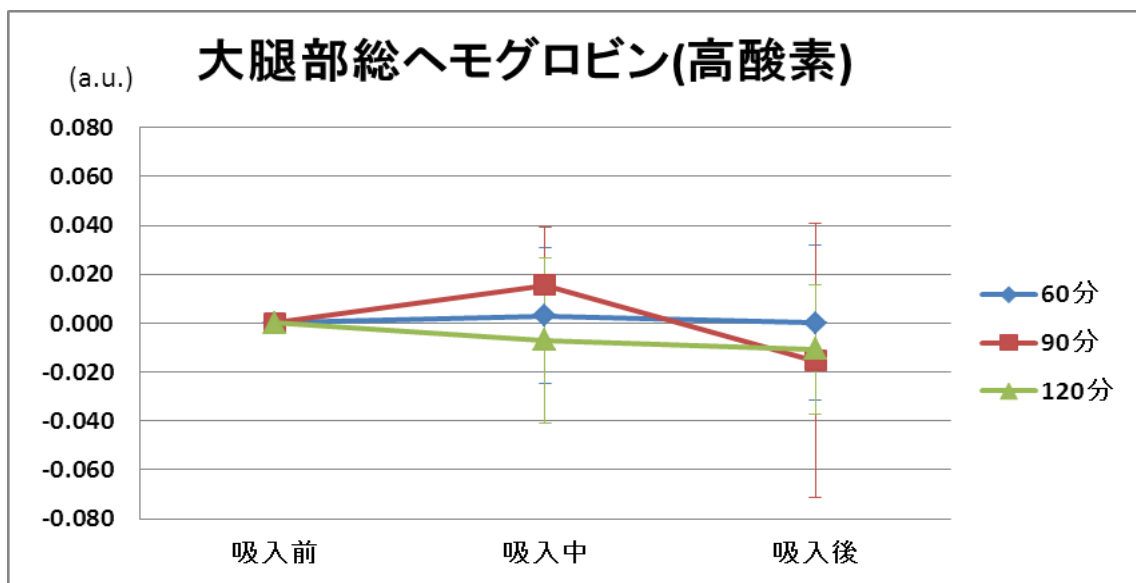


図 15 酸素ローディングの各時間における総ヘモグロビン (Mean±SD)(上)高酸素条件, (下)高気圧条件

## (2) 脈拍について

酸素ローディング中の脈拍の推移と各時期における平均値について検討した(図 16, 図 17). 高酸素吸入前, 高酸素吸入中, 高酸素吸入後の脈拍の平均値は高酸素 60 分群では順に  $67.4(\pm 9.64)\text{bpm}$ ,  $63.2(\pm 6.49)\text{bpm}$ ,  $64.9(\pm 8.59)\text{bpm}$  であった. 高酸素 90 分群では順に  $68.1(\pm 8.28)\text{bpm}$ ,  $63.0(\pm 6.17)\text{bpm}$ ,  $64.6(\pm 7.50)\text{bpm}$  であった. 高酸素 120 分では順に  $67.3(\pm 10.6)\text{bpm}$ ,  $61.6(\pm 6.60)\text{bpm}$ ,  $63.5(\pm 6.10)\text{bpm}$  であった. 高酸素吸入中の脈拍は高酸素吸入前に比べ有意( $p<0.05$ )に低くなることが認められた. しかし, 吸入時間の違いによる差は認められなかった.

高気圧滞在前, 高気圧滞在中, 高気圧滞在後の脈拍の平均値は高気圧 60 分群では順に  $63.1(\pm 11.98)\text{bpm}$ ,  $57.5(\pm 6.36)\text{bpm}$ ,  $60.5(\pm 6.15)\text{bpm}$  であった. 高気圧 90 分群では順に  $62.1(\pm 1.90)\text{bpm}$ ,  $57.7(\pm 2.30)\text{bpm}$ ,  $61.0(\pm 3.20)\text{bpm}$  であった. 高気圧 120 分では順に  $60.5(\pm 6.10)\text{bpm}$ ,  $56.6(\pm 5.30)\text{bpm}$ ,  $59.2(\pm 6.50)\text{bpm}$  であった. 高気圧滞在中の脈拍は高気圧滞在前と滞在後に比べ有意( $p<0.01$ )に低くなることが認められた. しかし, 滞在時間の違いによる差は認められなかった.

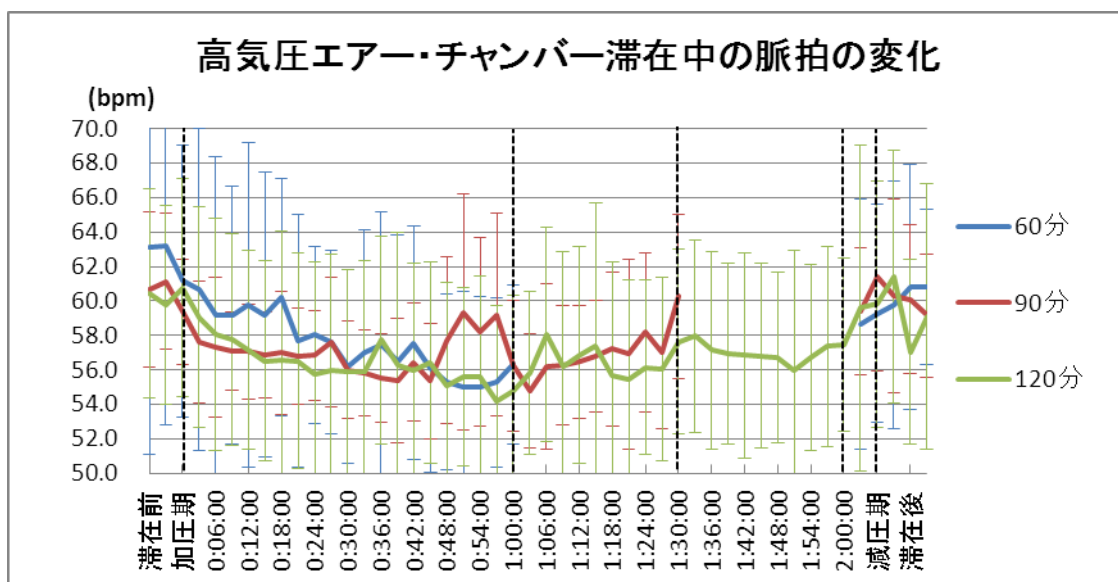
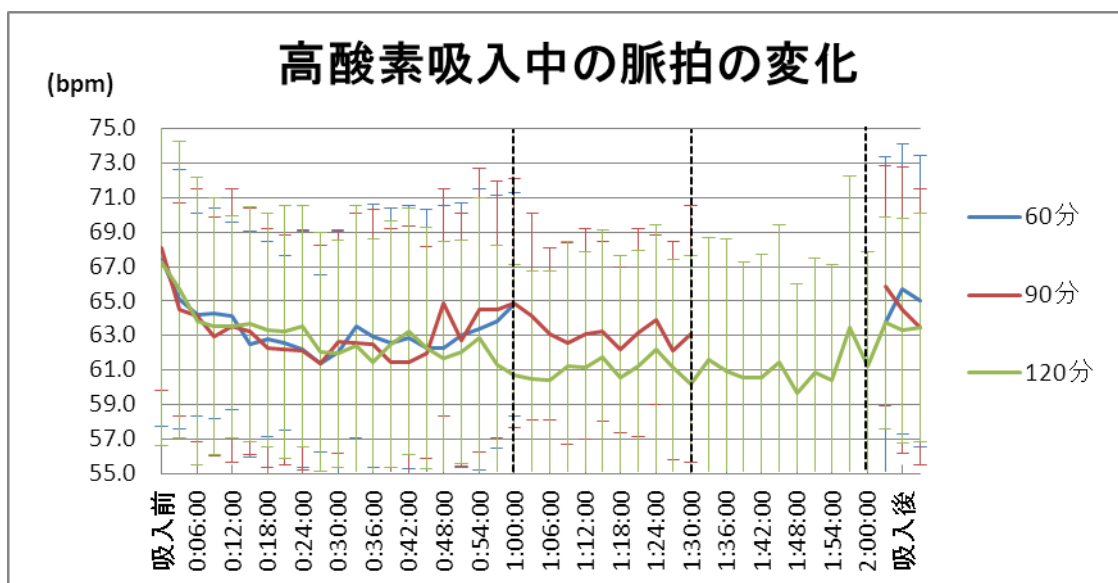


図 16 酸素ローディング中の脈拍の推移 (Mean  $\pm$  SD)  
(上)高酸素条件, (下)高気圧条件

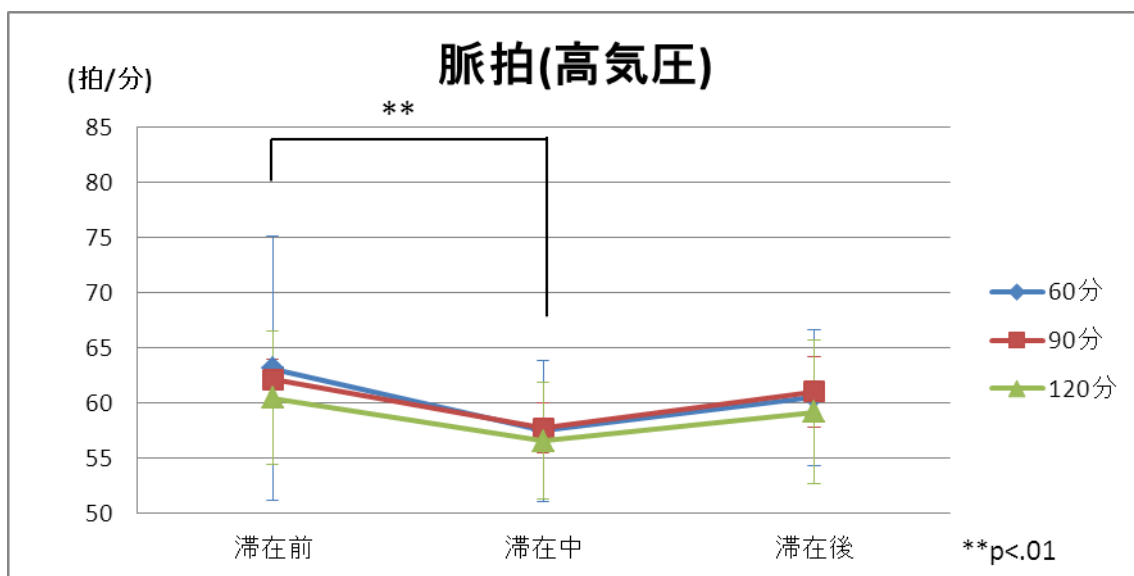
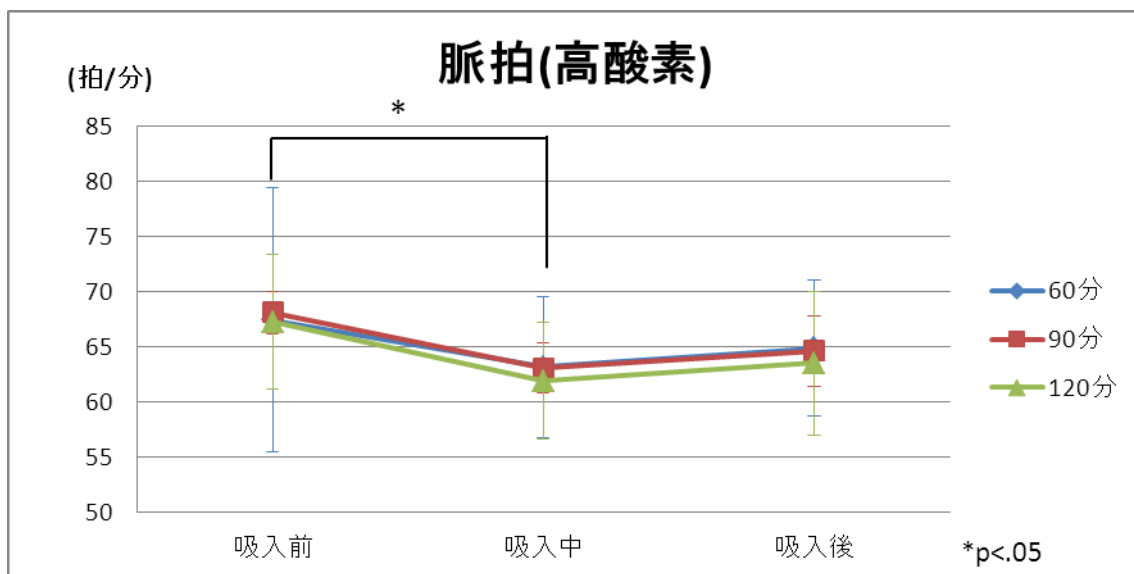


図 17 酸素ローディングの各時間における脈拍 (Mean ± SD)(上)高酸素条件, (下)高気圧条件

### (3) 酸化ストレスについて

細胞内の DNA の酸化ストレスマーカーである尿中 8-OHdG 値について，酸素ローディング前後での測定値と変化率について検討を行った．

#### ① 尿中 8-OHdG 値

酸素ローディング前後での尿中 8-OHdG 値の平均値について検討した(図 18)．酸素ローディング前後での尿中 8-OHdG 値の平均値は高酸素 60 分群では順に  $14.85(\pm 5.13)\text{ng/mgCRE}$ ， $23.47(\pm 15.15)\text{ng/mgCRE}$  であった．高酸素 90 分群では 1 順に  $3.59(\pm 5.30)\text{ng/mgCRE}$ ， $18.63(\pm 5.10)\text{ng/mgCRE}$  であった．高酸素 120 分群では順に  $14.90(\pm 6.69)\text{ng/mgCRE}$ ， $23.48(\pm 8.76)\text{ng/mgCRE}$  であった．高気圧 60 分群では順に  $12.68(\pm 2.28)\text{ng/mgCRE}$ ， $17.19(\pm 4.47)\text{ng/mgCRE}$  であった．高気圧 90 分群では順に  $14.76(\pm 3.37)\text{ng/mgCRE}$ ， $13.23(\pm 2.52)\text{ng/mgCRE}$  であった．高気圧 120 分群では順に  $16.43(\pm 7.59)\text{ng/mgCRE}$ ， $19.20(\pm 11.12)\text{ng/mgCRE}$  であった．

高酸素 60 分群，高酸素 90 分群，高気圧 60 分群では酸素ローディング後において有意( $p<0.05$ )な増加が認められた．

酸素ローディング後における尿中 8-OHdG 値について，高酸素 60 分群と高酸素 120 分群は  $20\text{ng/mgCRE}$  以上の強度の DNA 酸化ダメージとされる水準であった．また高酸素 90 分群と高気圧 120 分群では  $18\sim 20\text{ng/mgCRE}$  の中程度の DNA 酸化ダメージとされる水準であった．さらに，高気圧 60 分群と高気圧 90 分群では  $15\sim 17\text{ng/mgCRE}$  の軽度の DNA 酸化ダメージとされる水準であった(表 2)

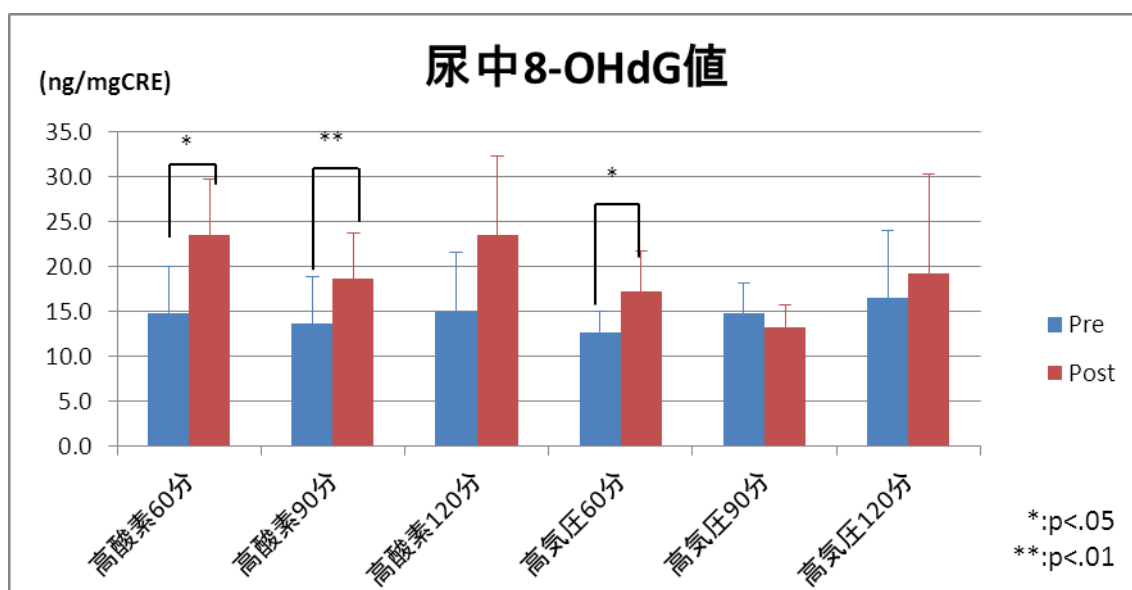


図 18 酸素ローディングの各条件における尿中8-OHdG値 (Mean±SD)

表 2 尿中8-OHdG値の評価基準

強度のDNA酸化ダメージ	20ng/mgCRE以上
中程度のDNA酸化ダメージ	18～20ng/mgCRE
軽度のDNAの酸化ダメージ	15～17ng/mgCRE
注意ゾーン	12～14ng/mgCRE
良好ゾーン	11ng/mgCRE以下

(セリスタ株式会社資料より筆者が作成)

## ② 尿中 8-OHdG 変化率

次に酸素ローディングの前後での尿中 8-OHdG の変化率について検討した(図 19). 酸素ローディング後の尿中 8-OHdG 値の変化率は酸素ローディング前の測定値を 100%として算出した. 高酸素 60 分群では 133(±43)%, 高酸素 90 分群では 144(±33)%, 高酸素 120 分群では 135(±41)%であった. 高気圧 60 分群では 126(±40)%, 高気圧 90 分群では 85(±20)%, 高気圧 120 分群では 102(±24)%であった. 酸素ローディング前後での尿中 8-OHdG 値に変化率について各条件間に有意な差は認められなかった.

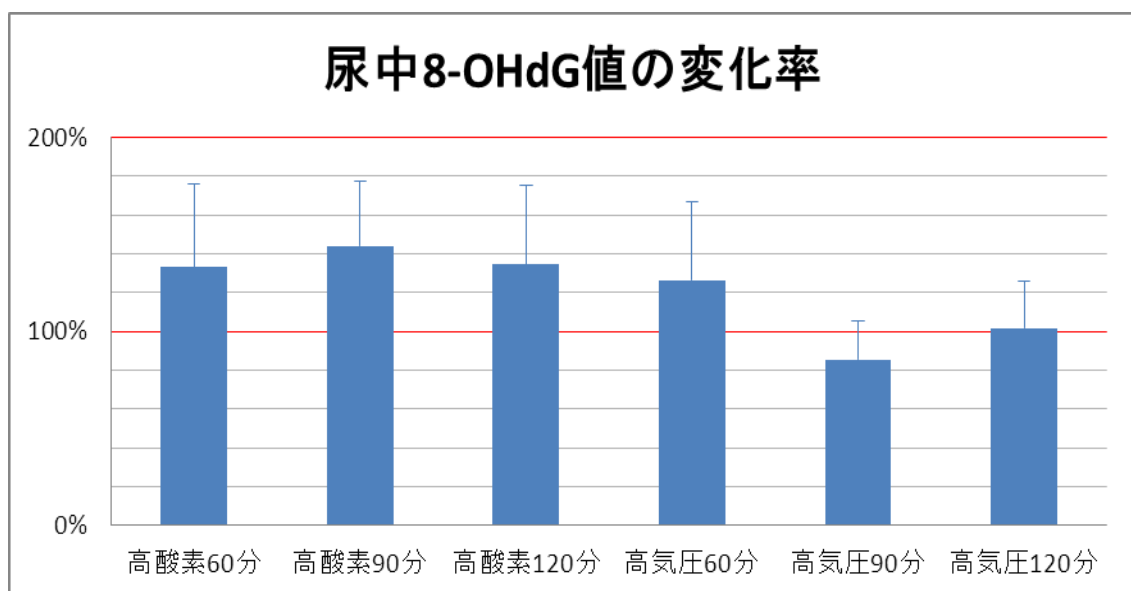


図 19 酸素ローディング前後での尿中 8-OHdG 値の変化率 (Mean ± SD)

#### (4) 自律神経機能

自律神経機能の5項目(活動の大きさ, バランス, 回復力, 切替力, 反応力)について, 酸素ローディング前後での測定値について検討を行った.

##### ① 活動の大きさ

酸素ローディング前後での自律神経機能における活動の大きさの平均値について検討した(図 20). 高酸素 60 分群では順に  $4.47 (\pm 2.41)$ ,  $4.58 (\pm 2.09)$ であった. 高酸素 90 分群では順に  $4.70 (\pm 1.20)$ ,  $1.20 (\pm 1.95)$ であった. 高酸素 120 分群では順に  $5.08 (\pm 1.87)$ ,  $5.34 (\pm 1.94)$ であった. 高気圧 60 分群では順位  $4.61 (\pm 1.76)$ ,  $4.71 (\pm 1.54)$ であった. 高気圧 90 分群では順に  $4.18 (\pm 1.75)$ ,  $4.32 (\pm 1.95)$ であった. 高気圧 120 分群では順に  $4.96 (\pm 1.84)$ ,  $5.06 (\pm 1.90)$ であった. 酸素ローディング前後で自律神経機能における活動の大きさに有意な変化は認められなかった.

自律神経機能における活動の大きさの正常範囲は 2.58-7.15 である. 活動の大きさの平均値は全ての条件において正常範囲内での変化であった.

また, 酸素ローディング前に正常範囲であったのは 40 例であり, その内 33 例は酸素ローディング後において正常範囲内での変化であった. また, 酸素ローディング前に正常範囲外であった 8 例について, 酸素ローディング後では 3 例が正常範囲内へと変化した(表 3).

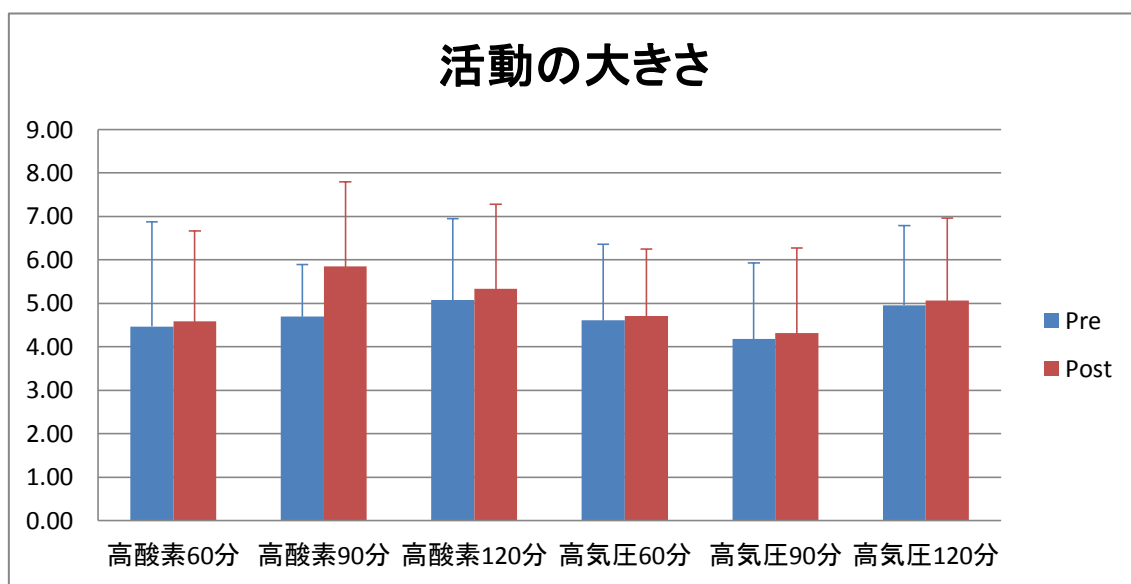


図 20 酸素ローディング前後での自律神経機能の活動の大きさ (Mean ± SD)

表 3 酸素ローディング前後での自律神経機能の活動の大きさの変化の内訳 (全 48 例)

酸素ローディング前	酸素ローディング後
正常範囲内 (2.58-7.15) 40 例	正常範囲内 (2.58-7.15) 33 例
	正常範囲外 7 例
正常範囲外 8 例	正常範囲内 (2.58-7.15) 3 例
	正常範囲外 5 例

## ② バランス

酸素ローディング前後での自律神経機能におけるバランスの平均値について検討した(図 21). 高酸素 60 分群では順に  $3.52 (\pm 2.86)$ ,  $3.94 (\pm 2.73)$ であった. 高酸素 90 分群では順に  $3.45 (\pm 1.21)$ ,  $5.47 (\pm 7.17)$ であった. 高酸素 120 分群では順に  $2.79 (\pm 2.68)$ ,  $1.67 (\pm 1.51)$ であった. 高気圧 60 分群では順に  $1.96 (\pm 1.11)$ ,  $1.11 (\pm 3.09)$ であった. 高気圧 90 分群では順に  $3.89 (\pm 4.39)$ ,  $4.35 (\pm 6.78)$ であった. 高気圧 120 分群では順に  $2.40 (\pm 2.05)$ ,  $3.61 (\pm 2.16)$ であった. 酸素ローディング前後で自律神経機能におけるバランスに有意な変化は認められなかった.

自律神経機能のバランスの正常範囲は 0.2-2 である. バランスの平均値は高酸素 120 分群で正常範囲外から正常範囲内へと変化した. また, 高気圧 60 分群では正常範囲内での変化であった.

酸素ローディング前において全 48 例中 23 例が正常範囲内であり, その内 11 例は正常範囲内での変化であった. また, 酸素ローディング前において 25 例は正常範囲外であり, その内 8 例は正常範囲内への変化であった. さらに, 正常範囲外での変化であった 17 例のうち 10 例は正常範囲に近づいた(表 4).

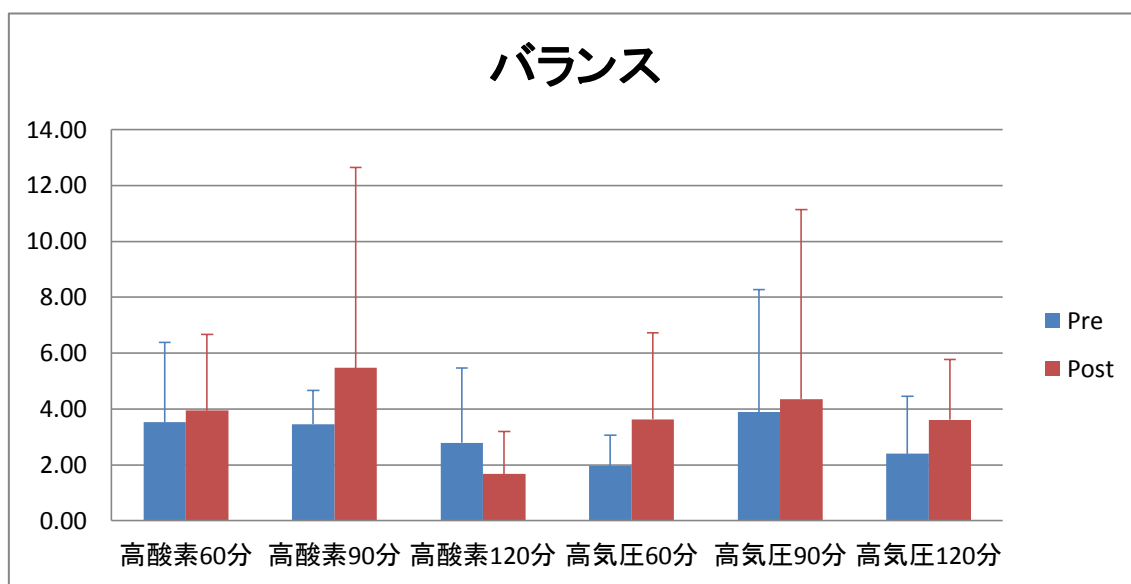


図 21 酸素ローディング前後での自律神経機能のバランス (Mean ± SD)

表 4 酸素ローディング前後での自律神経機能のバランスの変化の内訳 (全 48 例)

酸素ローディング前	酸素ローディング後
正 常 範 囲 内 (0.2 - 2.0) 23 例	正 常 範 囲 内 (0.2 - 2.0) 11 例
	正 常 範 囲 外 12 例
正 常 範 囲 外 25 例	正 常 範 囲 内 (0.2 - 2.0) 8 例
	正 常 範 囲 外 17 例 (10 例は正常範囲へ近づいた)

### ③ 回復力

酸素ローディング前後での自律神経機能における回復力の平均値について検討した(図 22). 高酸素 60 分群では順に  $-1.21 (\pm 10.43)$ ,  $4.18 (\pm 5.23)$  であった. 高酸素 90 分群では順に  $7.53 (\pm 4.89)$ ,  $9.55 (\pm 6.40)$  であった. 高酸素 120 分群では順に  $2.36 (\pm 6.67)$ ,  $5.14 (9.28 \pm)$  であった. 高気圧 60 分群では順に  $-2.85 (\pm 15.69)$ ,  $4.45 (\pm 6.71)$  であった. 高気圧 90 分群では順に  $-0.87 (\pm 1.75)$ ,  $5.22 (\pm 1.95)$  であった. 高気圧 120 分群では順に  $11.50 (\pm 1.84)$ ,  $13.21 (\pm 1.90)$  であった. 酸素ローディング前後で自律神経機能における回復力に有意な変化は認められなかった.

自律神経機能の回復力の正常範囲は 0-20 である. 回復力の平均値は酸素ローディング前が適正值である高酸素 90 分群, 高酸素 120 分群, 高気圧 60 分群, 高気圧 120 分群では酸素ローディング後で正常範囲内での変化であった. また, 酸素ローディング前で正常範囲外であった高酸素 60 分群と高気圧 90 分群ではどちらも正常範囲内へと変化した.

酸素ローディング前において正常範囲内であった 23 例のうち 19 例は正常範囲内での変化であった. また, 酸素ローディング前において正常範囲外であった 25 例のうち 15 例は正常範囲内へと変化した(表 5).

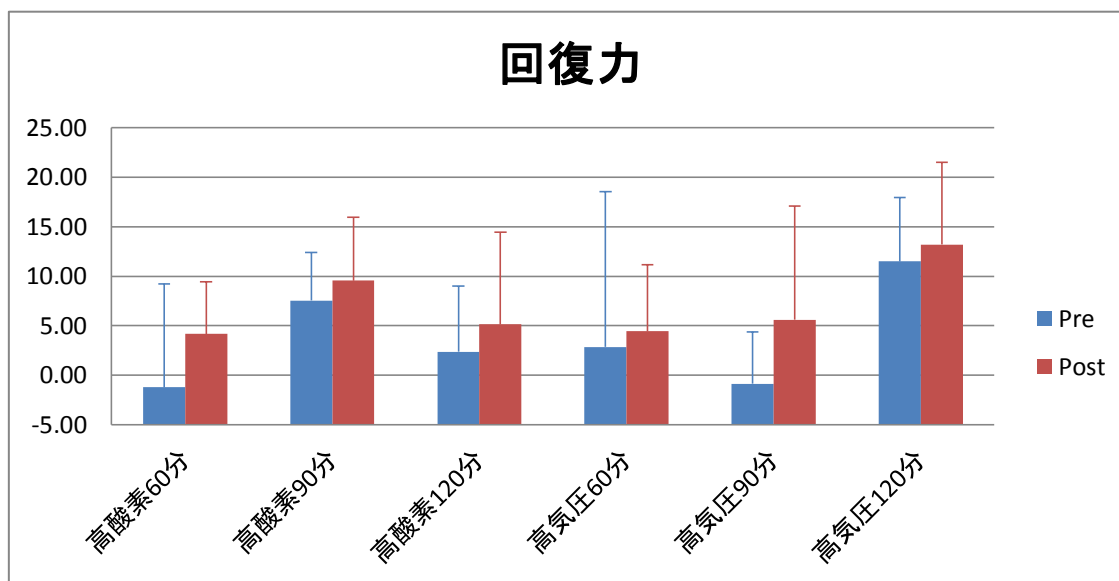


図 22 酸素ローディング前後での自律神経機能の回復力 (Mean ± SD)

表 5 酸素ローディング前後での自律神経機能の回復力の変化の内訳 (全 48 例)

酸素ローディング前	酸素ローディング後
正常範囲内 (0-20.0) 23 例	正常範囲内 (0-20.0) 19 例
	正常範囲外 4 例
正常範囲外 25 例	正常範囲内 (0-20.0) 15 例
	正常範囲外 10 例

#### ④ 切替力

酸素ローディング前後での自律神経機能における切替力の平均値について検討した(図 23). 高酸素 60 分群では順に  $11.53(\pm 12.54)$ ,  $12.54(\pm 11.48)$ であった. 高酸素 90 分群では順に  $11.33(\pm 11.86)$ ,  $8.03(\pm 8.80)$ であった. 高酸素 120 分群では順に  $8.77(\pm 11.43)$ ,  $7.51(\pm 5.07)$ であった. 高気圧 60 分群では順に  $9.30(\pm 8.99)$ ,  $8.88(\pm 6.85)$ であった. 高気圧 90 分群では順に  $5.54(\pm 7.28)$ ,  $12.72(\pm 5.98)$ であった. 高気圧 120 分群では順に  $14.44(\pm 10.52)$ ,  $15.29(\pm 18.42)$ であった. 酸素ローディング後で高酸素 90 分群は自律神経機能における切替力が有意に高まることが認められた.

自律神経機能の切替力の正常範囲は 0.5-5.0 である. 切替力の各条件の平均値は酸素ローディング前では正常範囲外であり, 酸素ローディング後においても正常範囲外への変化であった.

酸素ローディング前に正常範囲内であった 16 例のうち, 酸素ローディング後では 6 例が正常範囲内での変化であった. また, 酸素ローディング前に正常範囲外であった 32 例のうち, 9 例が酸素ローディング後に正常範囲内へと変化した. さらに, 正常範囲外での変化であった 21 例のうち 18 例は酸素ローディング前に比べ高値への変化であった(表 6).

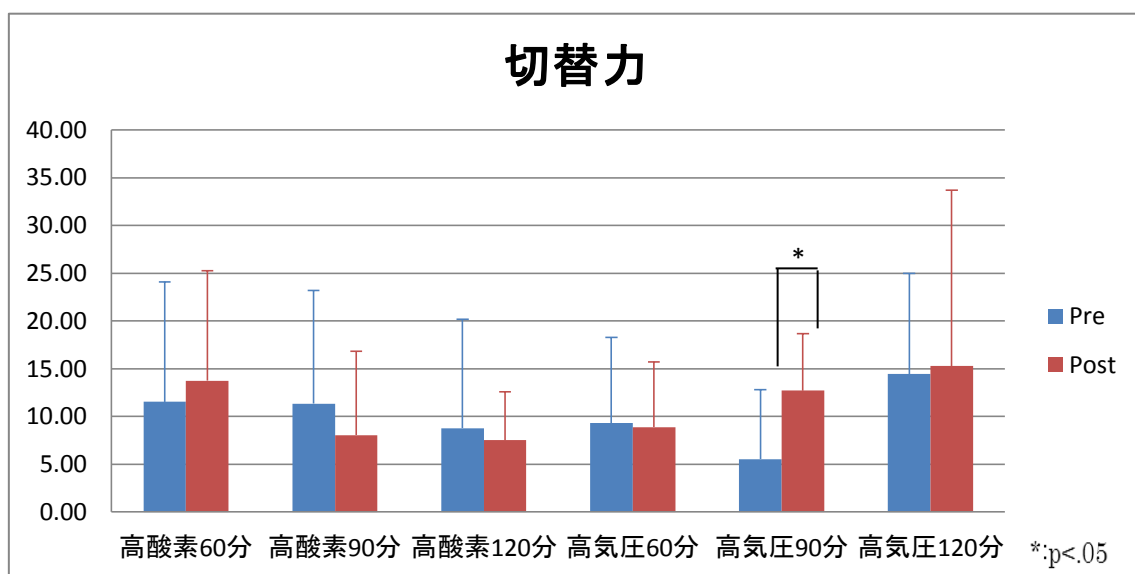


図 23 酸素ローディング前後での自律神経機能の切替力 (Mean ± SD)

表 6 酸素ローディング前後での自律神経機能の切替力の変化の内訳 (全 48 例)

酸素ローディング前	酸素ローディング後
正 常 範 囲 内 (0.5-5.0) 16 例	正 常 範 囲 内 (0.5-5.0) 6 例
	正 常 範 囲 外 10 例 (全 て 5.0 以 上 へ の 変 化 で あ っ た )
正 常 範 囲 外 32 例	正 常 範 囲 内 (0.5-5.0) 9 例
	正 常 範 囲 外 21 例 (18 例 が 5.0 以 上 へ の 変 化 で あ っ た )

#### ⑤ 反 応 力

酸素ローディング前後での自律神経機能における反応力について検討した(図 24). 高酸素 60 分群では順に 3.88 ( $\pm 2.00$ ), 5.60 ( $2.95 \pm$ )であった. 高酸素 90 分群では順に 4.45 ( $\pm 2.23$ ), 6.10 ( $\pm 4.17$ )であった. 高酸素 120 分群では順に 2.67 ( $\pm 2.23$ ), 5.28 ( $\pm 1.90$ )であった. 高気圧 60 分群では順に 3.84 ( $\pm 1.68$ ), 5.52 ( $\pm 2.11$ )であった. 高気圧 90 分群では順に 4.20 ( $\pm 2.11$ ), 5.23 ( $\pm 2.27$ )であった. 高気圧 120 分群では順に 3.97 ( $\pm 3.11$ ), 5.39 ( $\pm 1.21$ )であった. 高酸素 120 分群と高気圧 60 分群において酸素ローディング後で有意 ( $p < 0.05$ )に自律神経機能における反応力が高まることが認められた.

自律神経機能の反応力の正常範囲は 0.1-5.0 である. 反応力の各条件の平均値は酸素ローディング前において正常範囲内であったが, 酸素ローディング後では正常範囲外へと変化した.

酸素ローディング前において正常範囲内であった 28 例のうち 11 例は正常範囲内での変化であった. また, 酸素ローディング前に正常範囲外であった 20 例のうち酸素ローディング後に正常範囲内へと変化したのは 2 例であった(表 7).

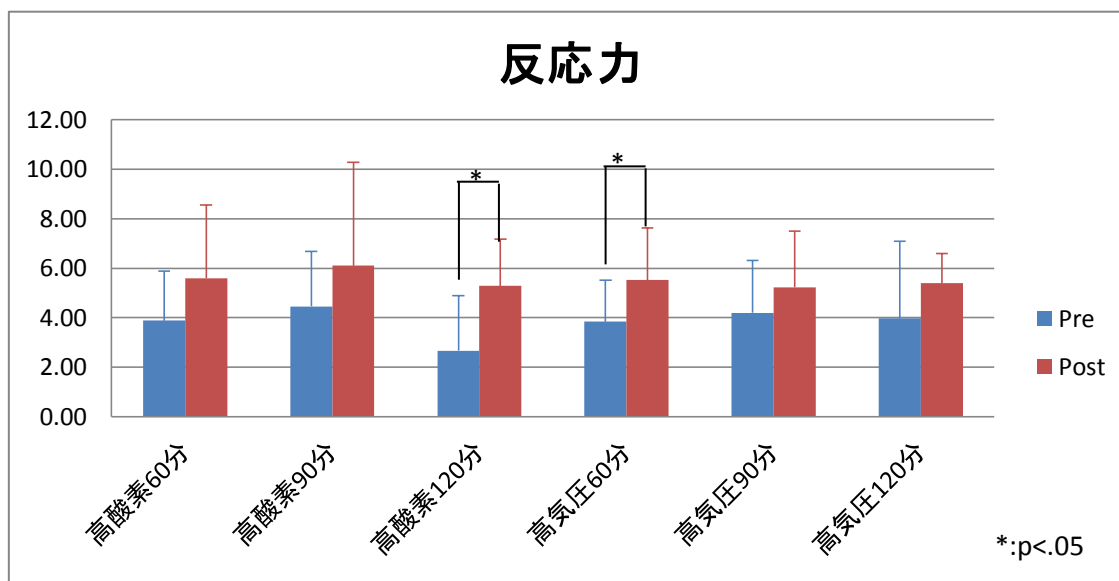


図 24 酸素ローディング前後での自律神経機能の反応力 (Mean ± SD)

表 7 酸素ローディング前後での自律神経機能の反応力の変化の内訳 (全 48 例)

酸素ローディング前	酸素ローディング後
正常範囲内 (0.1-5.0) 28 例	正常範囲内 (0.1-5.0) 11 例
	正常範囲外 17 例 (全て 5.0 以上への変化であった)
正常範囲外 20 例	正常範囲内 (0.1-5.0) 2 例
	正常範囲外 18 例 (全て 5.0 以上への変化であった)

## ⑥ 総 合 値

酸素ローディング前後での自律神経機能における総合点の平均値について検討した(図 25)．高酸素 60 分群では順に 5.44(±1.72), 5.81(±1.93)であった．高酸素 90 分群では順に 6.69(±1.46), 6.38(±2.00)であった．高酸素 120 分群では順に 5.19(±1.96), 6.56(±1.32)であった．高気圧 60 分群では順に 6.06(±1.32), 6.19(±1.03)であった．高気圧 90 分群では順に 5.44(±2.19), 5.75(±2.10)であった．高気圧 120 分群では順に 6.81(±1.58), 6.06(±2.18)であった．酸素ローディング前後で自律神経機能における総合点に有意な変化は認められなかった．

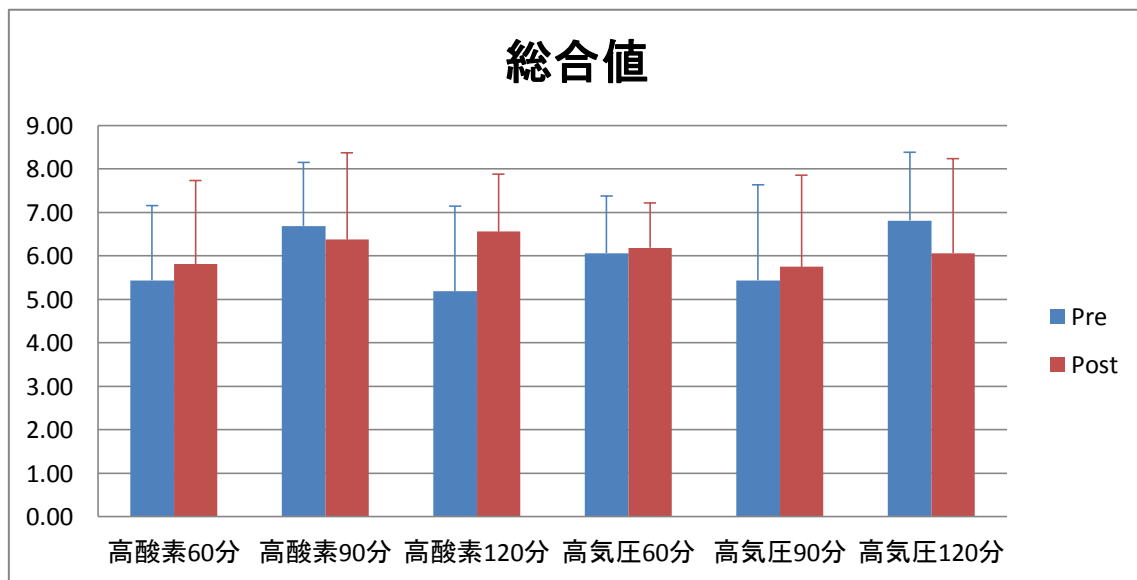


図 25 酸素ローディング前後での自律神経機能の総合点 (Mean ± SD)

#### (5) 動脈血酸素飽和度と脈拍の関係

本実験においての動脈血酸素飽和度と脈拍の関係について検討した(図 26)。

酸素ローディング前，酸素ローディング中および酸素ローディング後の  $SpO_2$  と脈拍について，相関係数  $r=-0.567$  であり，有意 ( $p<0.05$ ) な相関関係が認められた。

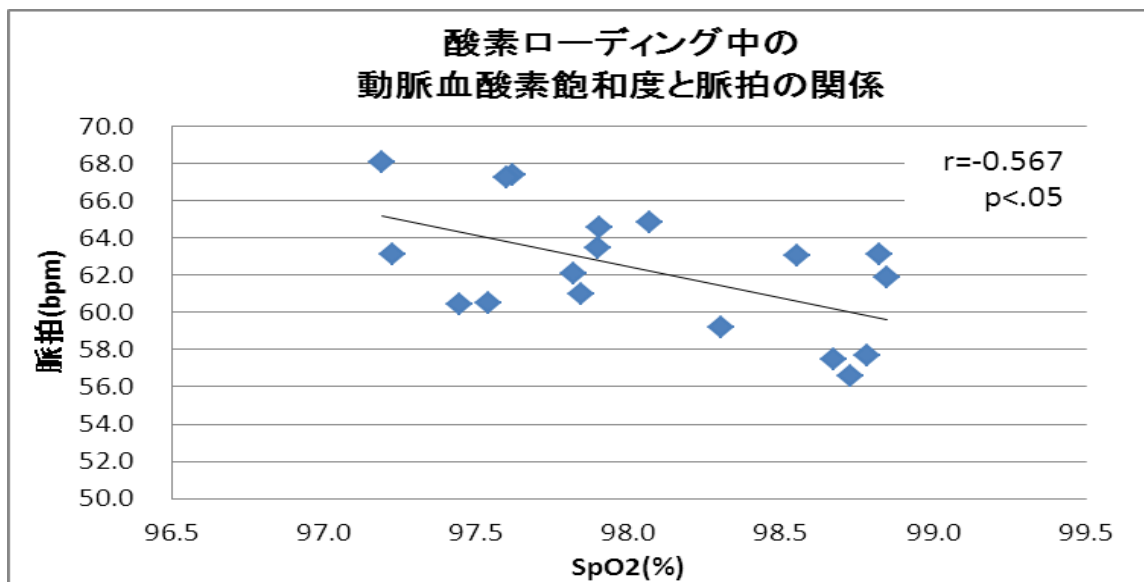


図 26 動脈血酸素飽和度と脈拍の関係 (Mean  $\pm$  SD)

## (6) 酸素ローディングと酸化ストレスの関係

酸素ローディングと酸化ストレスの関係について、酸素動態と尿中 8-OHdG 値から検討した。

### ① 動脈血酸素飽和度と尿中 8-OHdG 値の関係

酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ ) の平均値と酸素ローディング後の尿中 8-OHdG 値の関係について検討した。高酸素条件では相関係数  $r = -0.125$  であり、有意な相関関係は認められなかった。また、高気圧条件では相関係数  $r = 0.053$  であり、有意な相関関係は認められなかった (図 27)。

次に酸素ローディング中の  $SpO_2$  の平均値と酸素ローディング前後での尿中 8-OHdG 値の変化率の関係について検討した。高酸素条件では相関係数  $r = -0.247$  であり、有意な相関関係は認められなかった。高気圧条件では相関係数  $r = 0.112$  であり、有意な相関関係は認められなかった (図 28)。

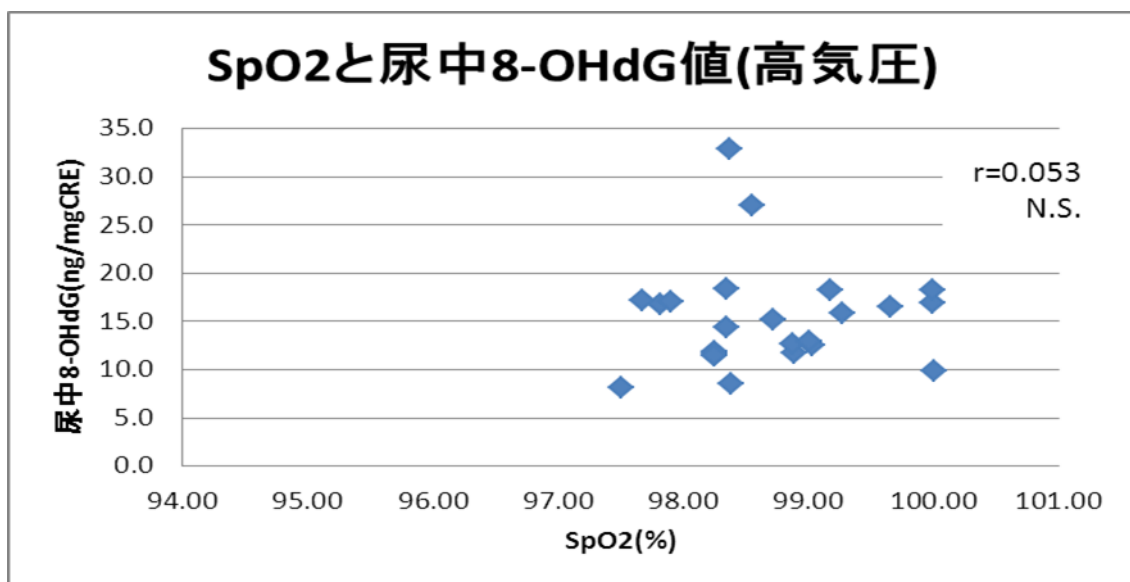
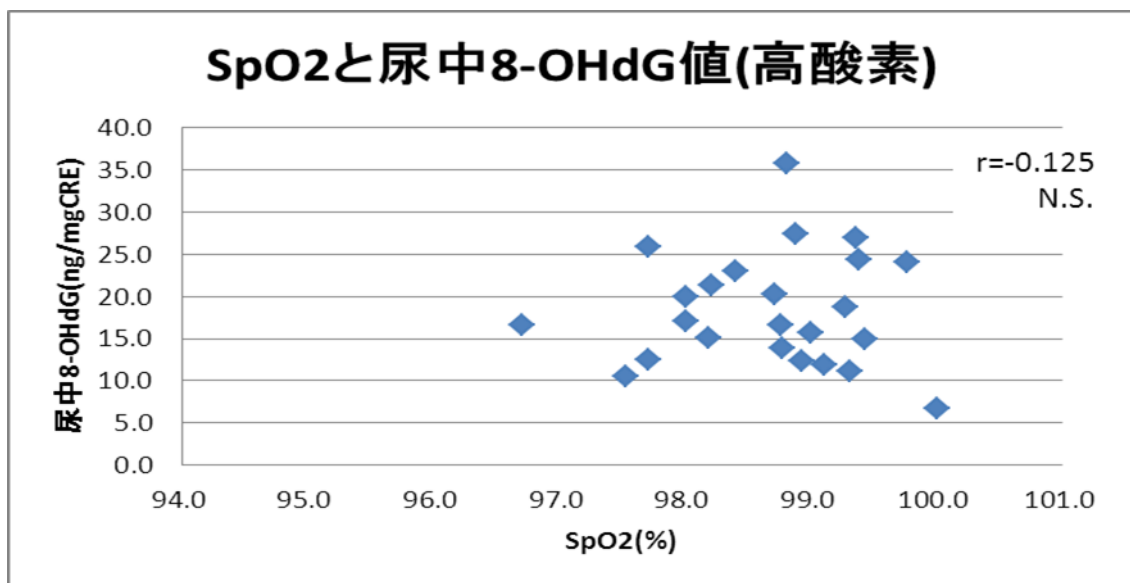


図 27 酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度 (SpO2) と酸素ローディング後の尿中 8-OHdG 値の関係  
(上)高酸素条件, (下)高気圧条件

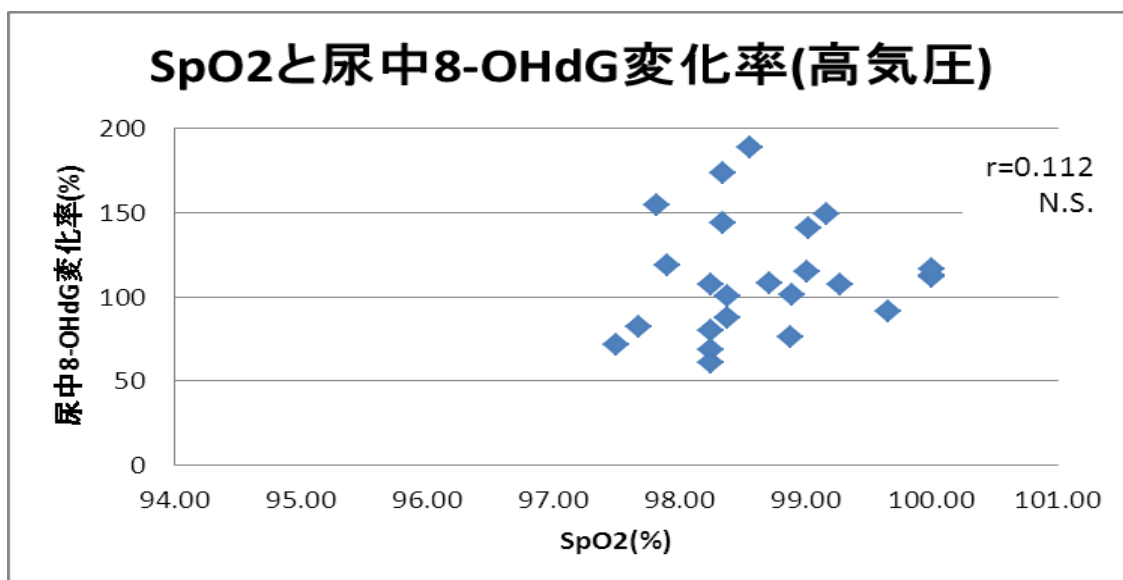
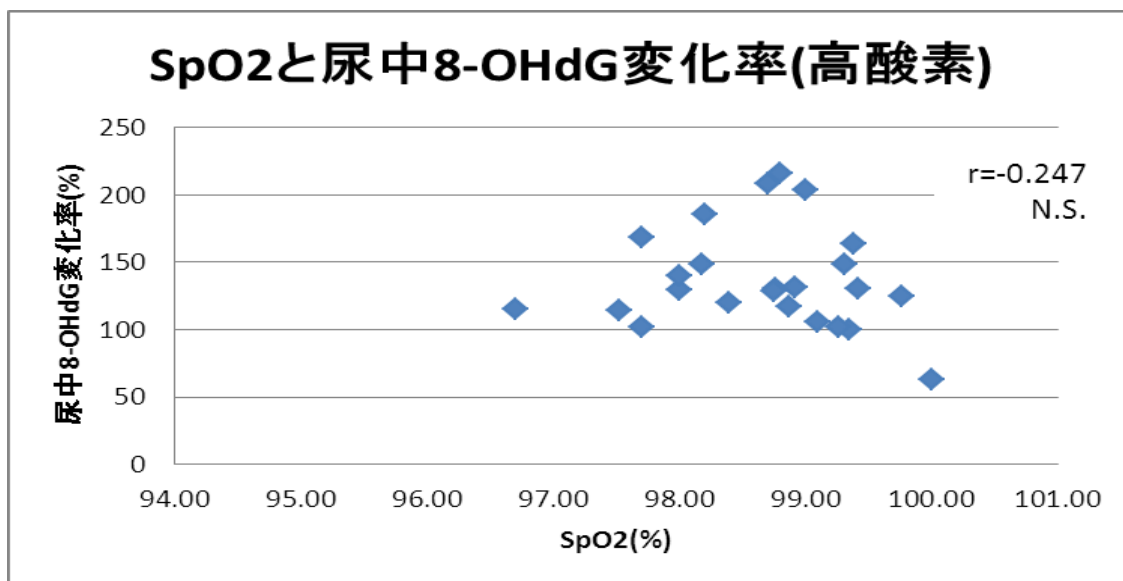


図 28 酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度 (SpO2) と酸素ローディング前後の尿中 8-OHdG 値の変化率の関係  
(上)高酸素条件, (下)高気圧条件

## ② 頭部ヘモグロビンと尿中 8-OHdG 値の関係

酸素ローディング中の頭部酸素化ヘモグロビンの平均値と尿中 8-OHdG 値の関係について検討した。高酸素条件では相関係数  $r = -0.091$  であり、有意な相関関係は認められなかった。高気圧条件では相関係数  $r = 0.028$  であり、有意な相関関係は認められなかった(図 29)。

次に酸素ローディング中の頭部酸素化ヘモグロビンの平均値と酸素ローディング前後での尿中 8-OHdH 値の変化率の関係について検討した。高酸素条件では相関係数  $r = -0.000$  であり、有意な相関関係は認められなかった。高気圧条件では相関係数  $r = -0.209$  であり、有意な相関関係は認められなかった(図 30)。

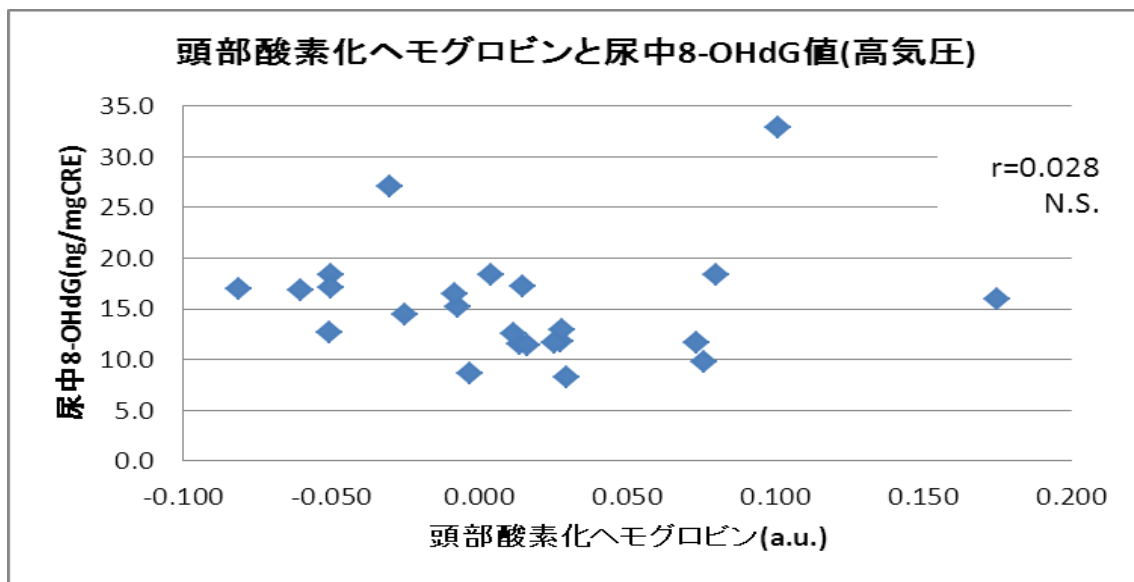
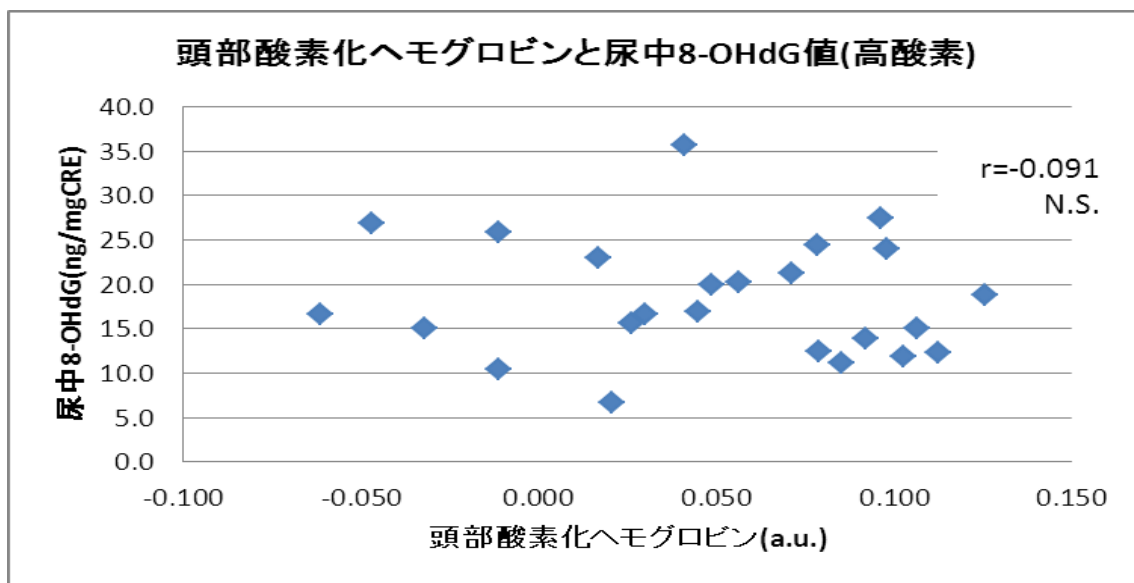


図 29 酸素ローディング中の頭部酸素化ヘモグロビンと酸素ローディング後の尿中8-OHdG値の関係  
(上)高酸素条件，(下)高気圧条件

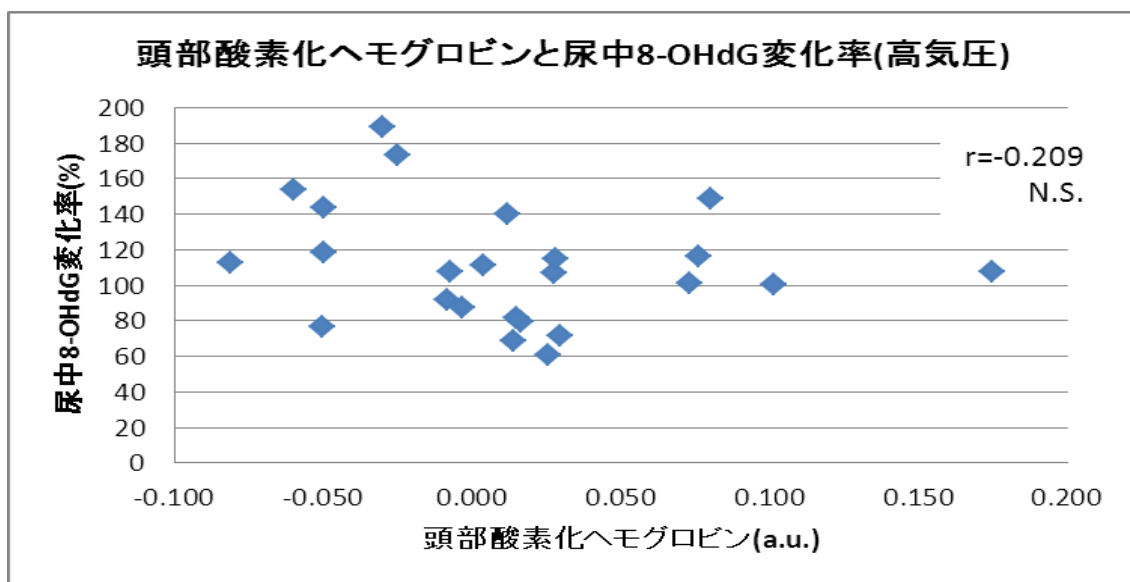
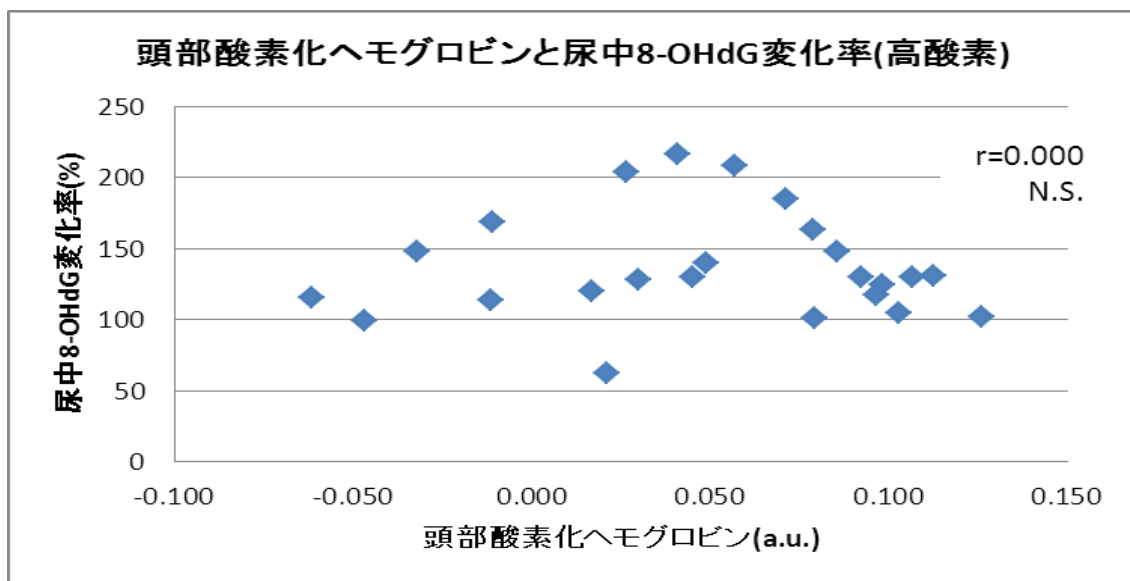


図 30 酸素ローディング中の頭部酸素化ヘモグロビンと酸素ローディング前後の尿中 8-OHdG 値の変化率の関係

(上)高酸素条件，(下)高気圧条件

酸素ローディング中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの平均値と酸素ローディング後の尿中 8-OHdG 値の関係について検討した。高酸素条件では相関係数  $r = -0.043$  であり、有意な相関関係は認められなかった。高気圧条件では相関係数  $r = 0.173$  であり、有意な相関関係は認められなかった(図 31)。

次に酸素ローディング中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの平均値と酸素ローディング前後での尿中 8-OHdG 値の平均値の関係について検討した。高酸素条件では相関係数  $r = 0.093$  であり、有意な相関関係は認められなかった。高気圧条件では相関関係  $r = 0.146$  であり、有意な相関関係は認められなかった(図 32)。

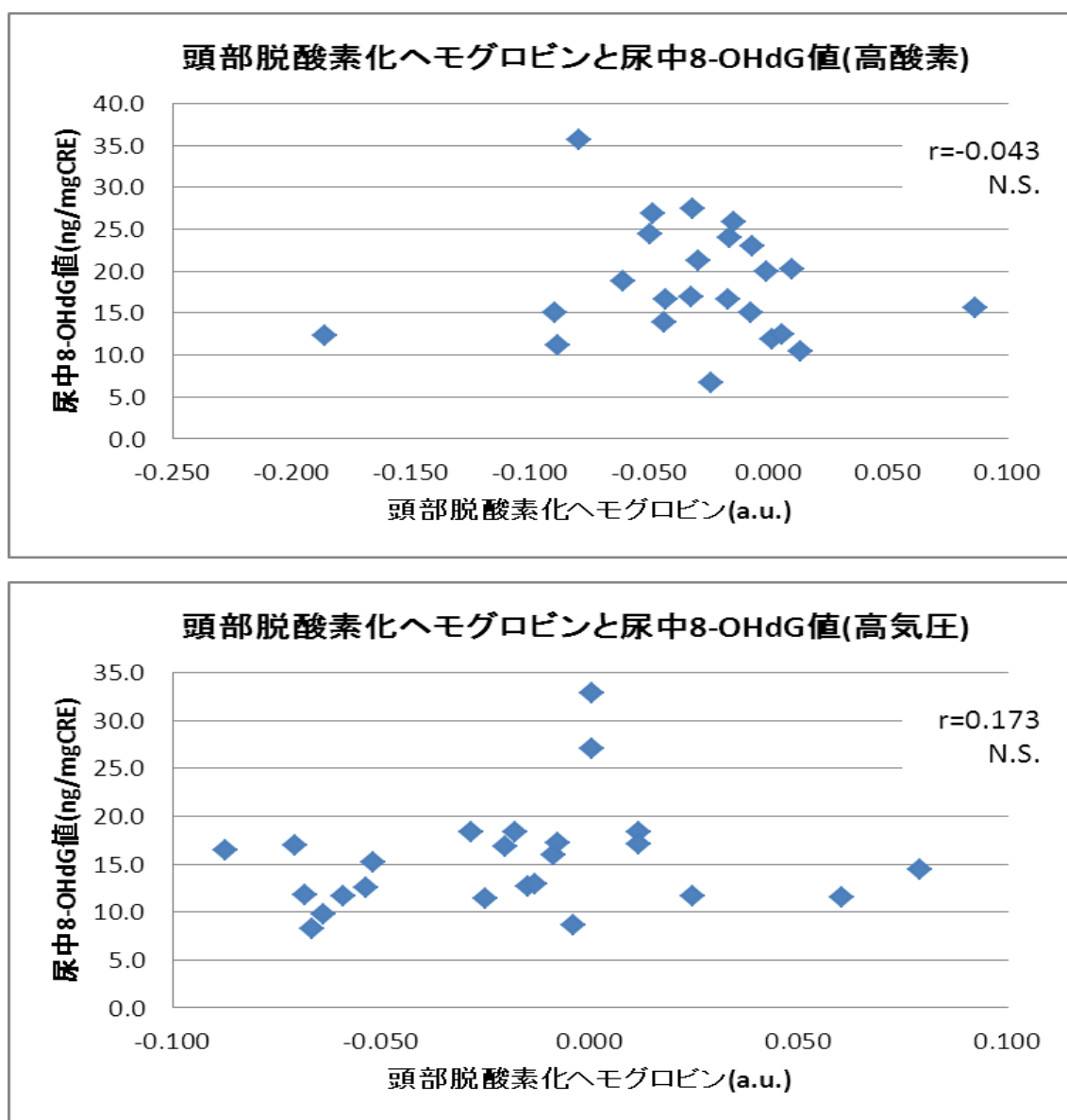


図 31 酸素ローディング中の頭部脱酸素化ヘモグロビンと酸素ローディング後の尿中8-OHdG値の関係  
(上)高酸素条件，(下)高気圧条件

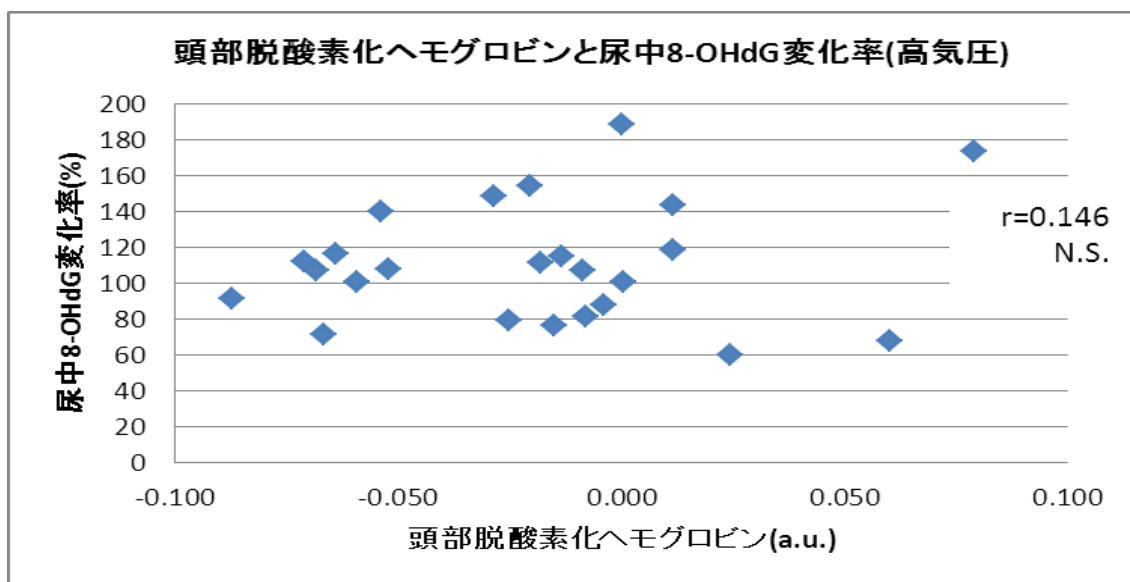
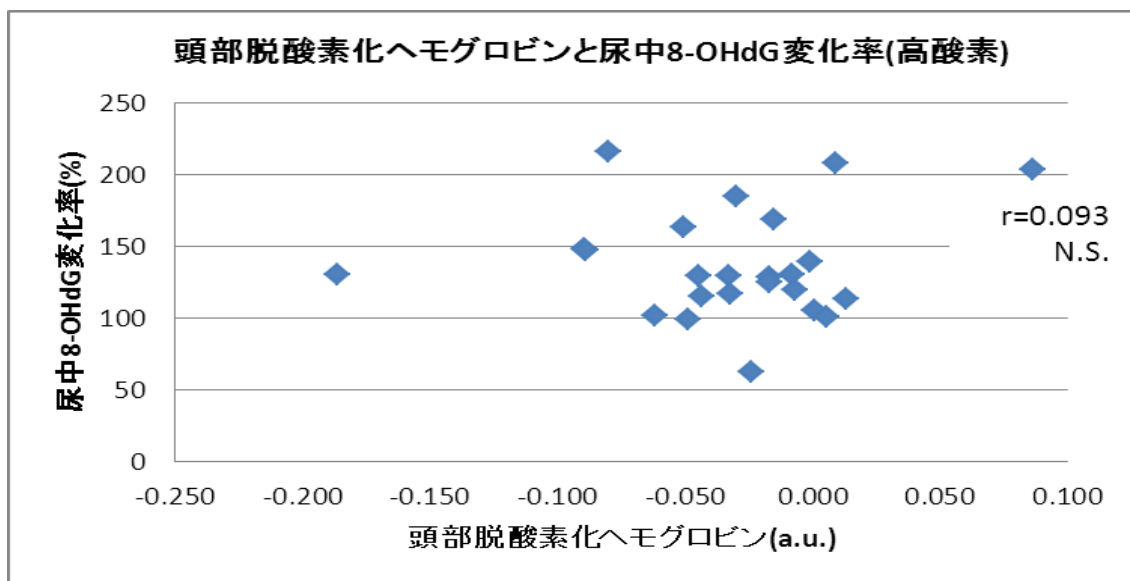


図 32 酸素ローディング中の頭部脱酸素化ヘモグロビンと酸素ローディング前後の尿中8-OHdG値の変化率の関係

(上)高酸素条件，(下)高気圧条件

酸素ローディング中の頭部総ヘモグロビンの平均値と酸素ローディング後の尿中 8-OHdG 値の関係について検討した。高酸素条件では相関係数  $r = -0.108$  であり，有意な相関関係は認められなかった。高気圧条件では相関係数  $r = 0.130$  であり，有意な相関関係は認められなかった（図 33）。

次に酸素ローディング中の頭部総ヘモグロビンの平均値と酸素ローディング前後での尿中 8-OHdG 値の変化率について検討した。高酸素条件では相関係数  $r = 0.070$  であり，有意な相関関係は認められなかった。高気圧条件では相関係数  $r = -0.092$  であり，有意な相関関係は認められなかった（図 34）。

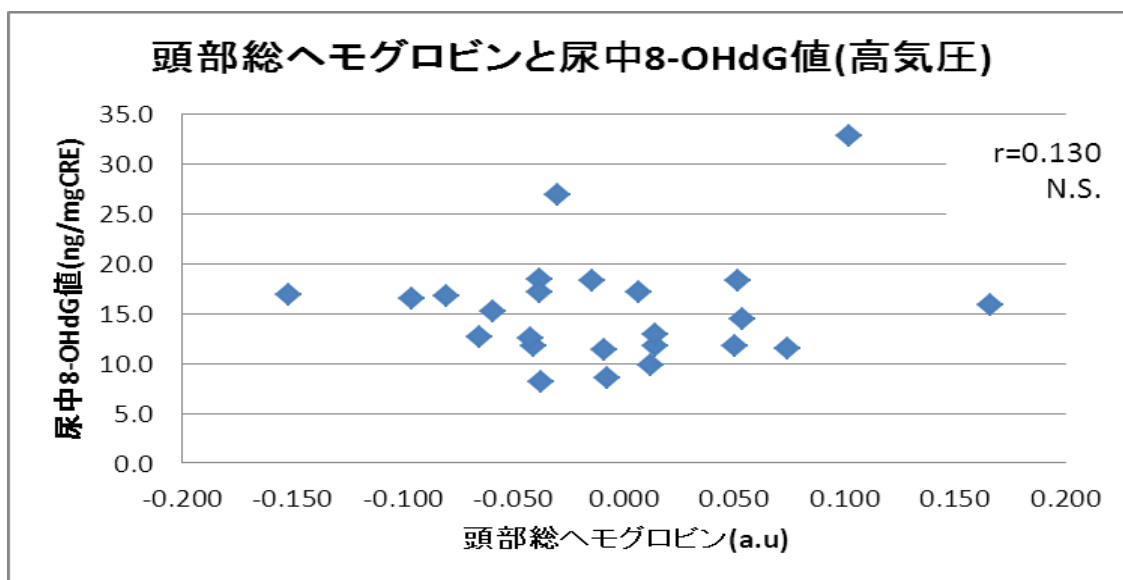
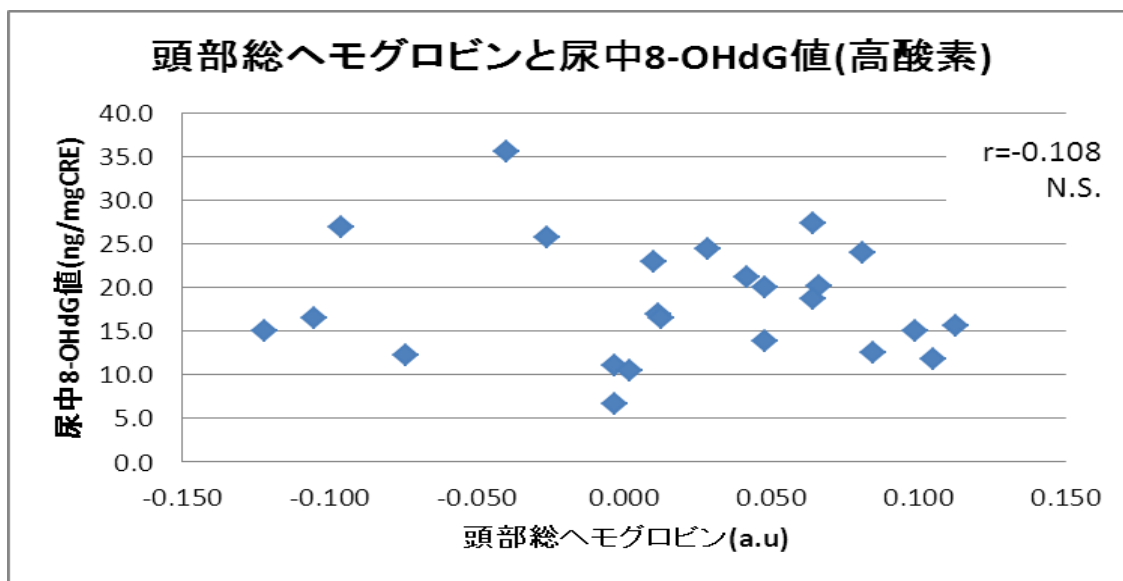


図 33 酸素ローディング中の頭部総ヘモグロビンと酸素ローディング後の尿中8-OHdG値の関係  
(上)高酸素条件，(下)高気圧条件

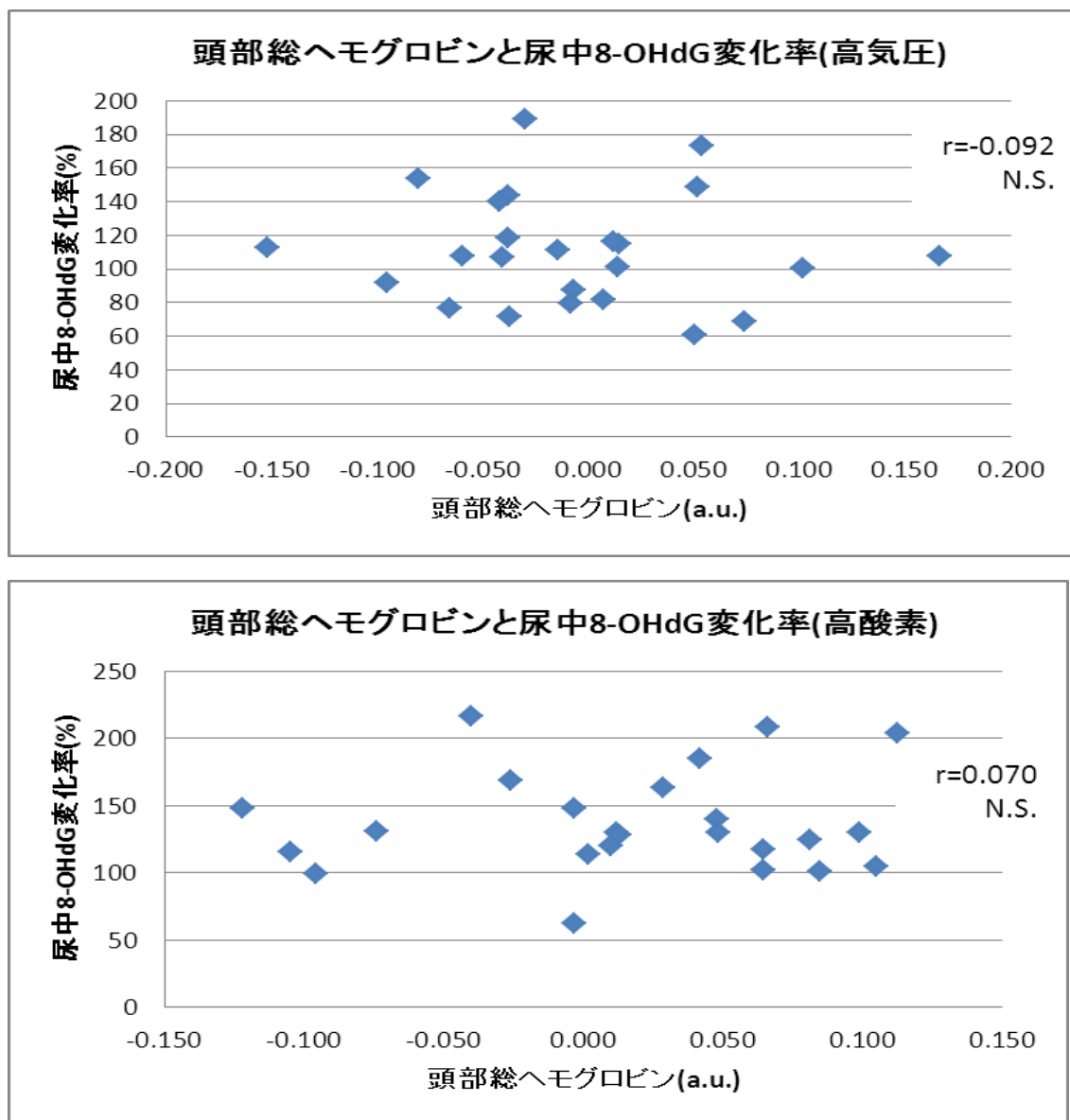


図 34 酸素ローディング中の頭部総ヘモグロビンと酸素ローディング前後の尿中 8-OHdG 値の変化率の関係 (上)高酸素条件, (下)高気圧条件

### ③ 大腿部ヘモグロビンと尿中 8-OHdG 値の関係

酸素ローディング中の大腿部酸素化ヘモグロビンの平均値と尿中 8-OHdG 値の関係について検討した。高酸素条件では相関係数  $r=0.176$  であり、有意な相関関係は認められなかった。高気圧条件では相関係数  $r=-0.255$  であり、有意な相関関係は認められなかった(図 35)。

次に酸素ローディング中の大腿部酸素化ヘモグロビンの平均値と酸素ローディング前後での尿中 8-OHdG 値の変化率について検討した。高酸素条件では相関係数  $r=-0.015$  であり、有意な相関関係は認められなかった。高気圧条件では相関係数  $r=-0.320$  であり、有意な相関関係は認められなかった(図 36)。

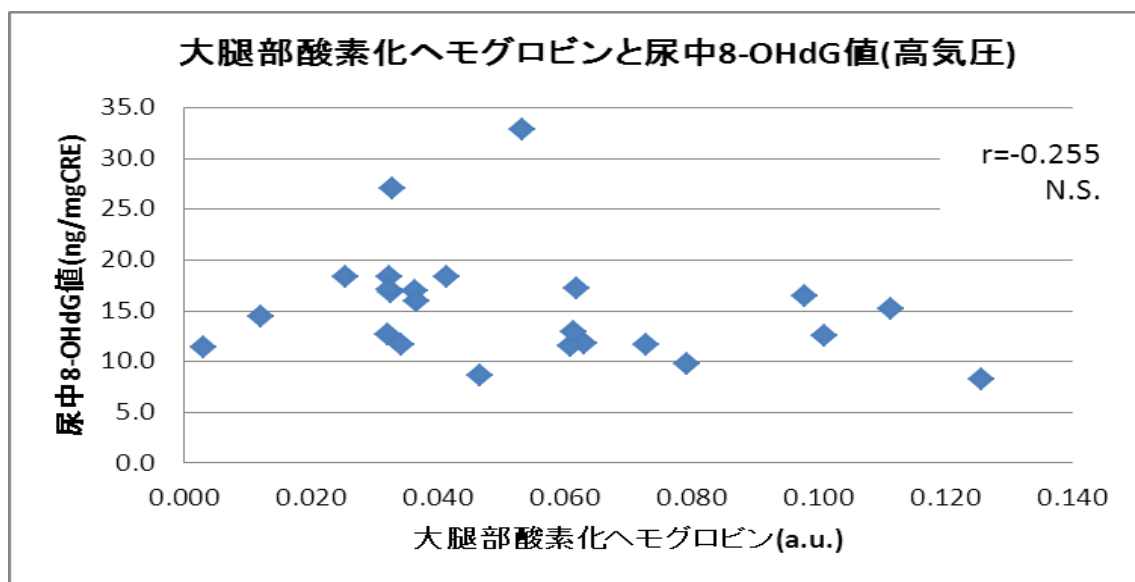
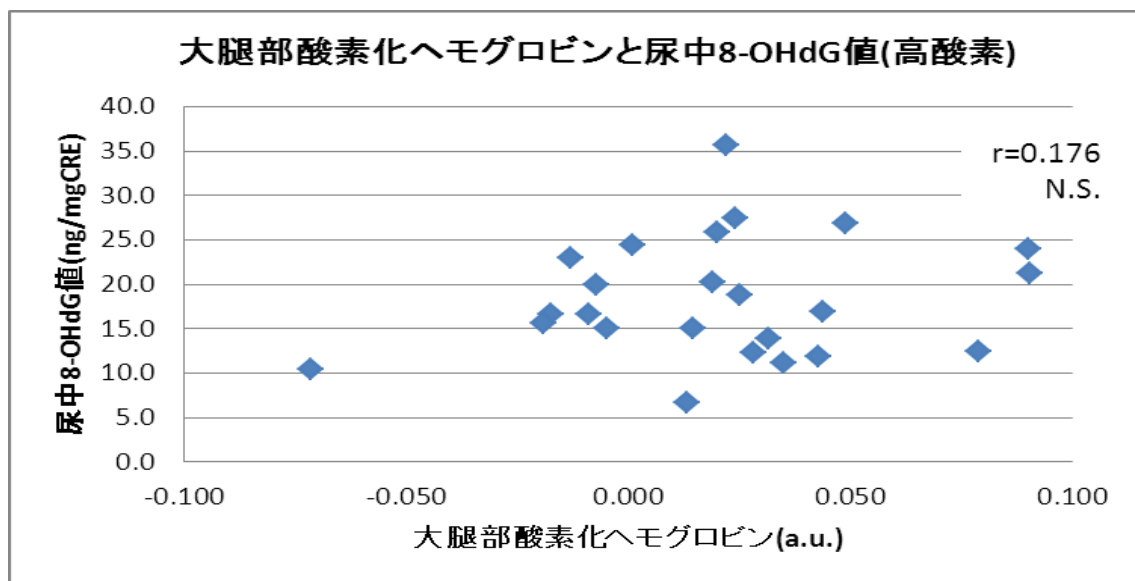


図 35 酸素ローディング中の大腿部酸素化ヘモグロビンと酸素ローディング後の尿中8-OHdG値の関係  
(上)高酸素条件，(下)高気圧条件

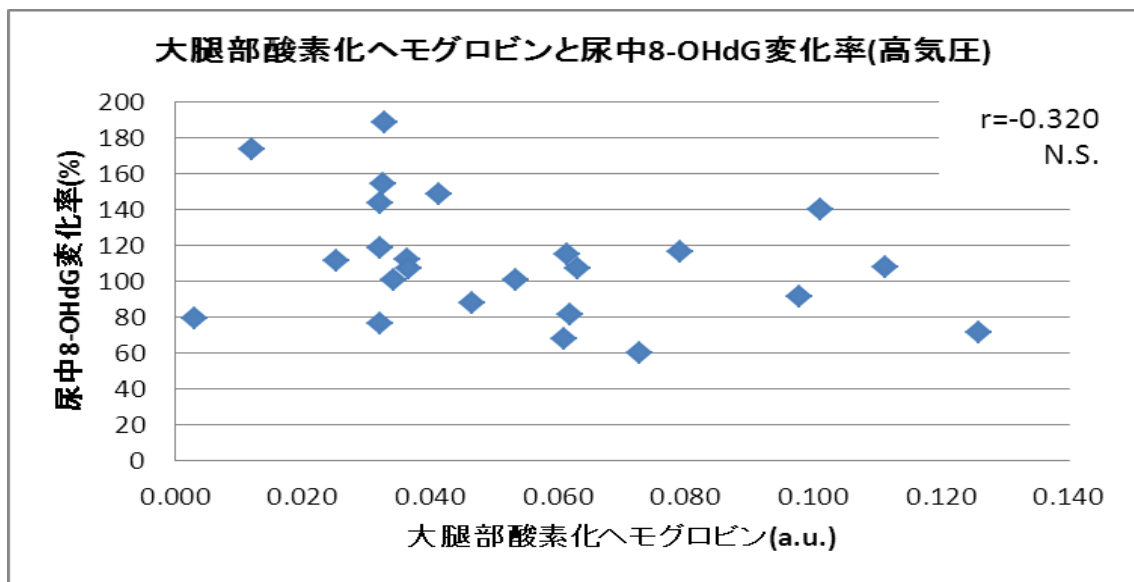
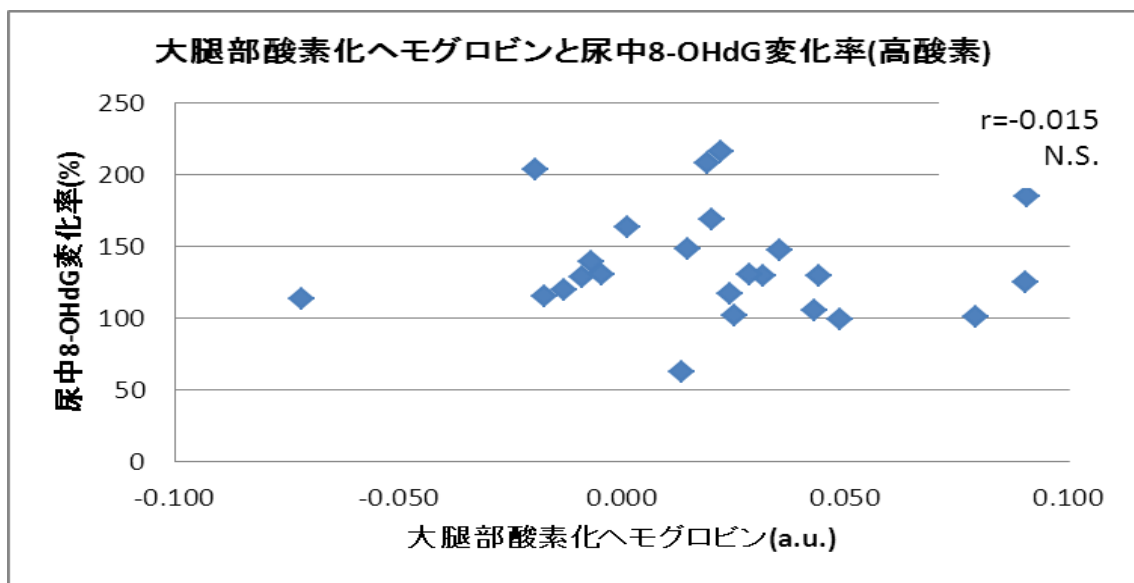


図 36 酸素ローディング中の大腿部酸素化ヘモグロビンと酸素ローディング前後の尿中8-OHdG値の変化率の関係

(上)高酸素条件，(下)高気圧条件

酸素ローディング中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンの平均値と尿中 8-OHdG 値の関係について検討した．高酸素条件では相関係数  $r=-0.216$  であり，有意な相関関係は認められなかった．高気圧条件では相関係数  $r=-0.025$  であり，有意な相関関係は認められなかった(図 37)．

次に酸素ローディング中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンの平均値と酸素ローディング前後での尿中 8-OHdG 値の変化率について検討した．高酸素条件では相関係数  $r=-0.481$  であり，有意 ( $p<0.05$ ) な負の相関関係が認められた．高気圧条件では相関係数  $r=-0.045$  であり，有意な相関関係は認められなかった(図 38)．

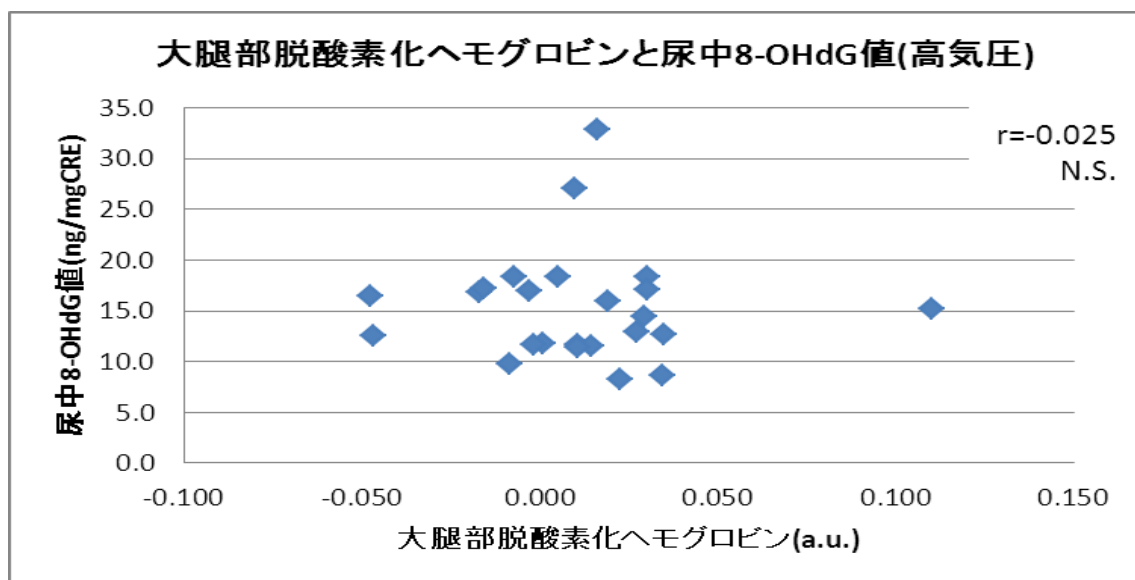
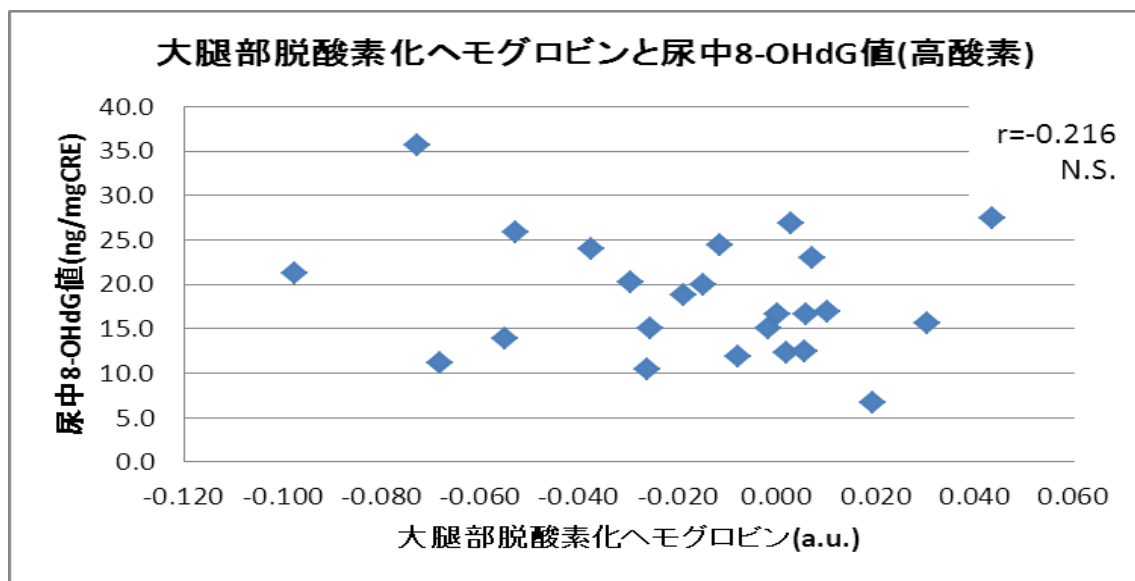


図 37 酸素ローディング中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンと酸素ローディング後の尿中8-OHdG値の関係  
(上)高酸素条件，(下)高気圧条件

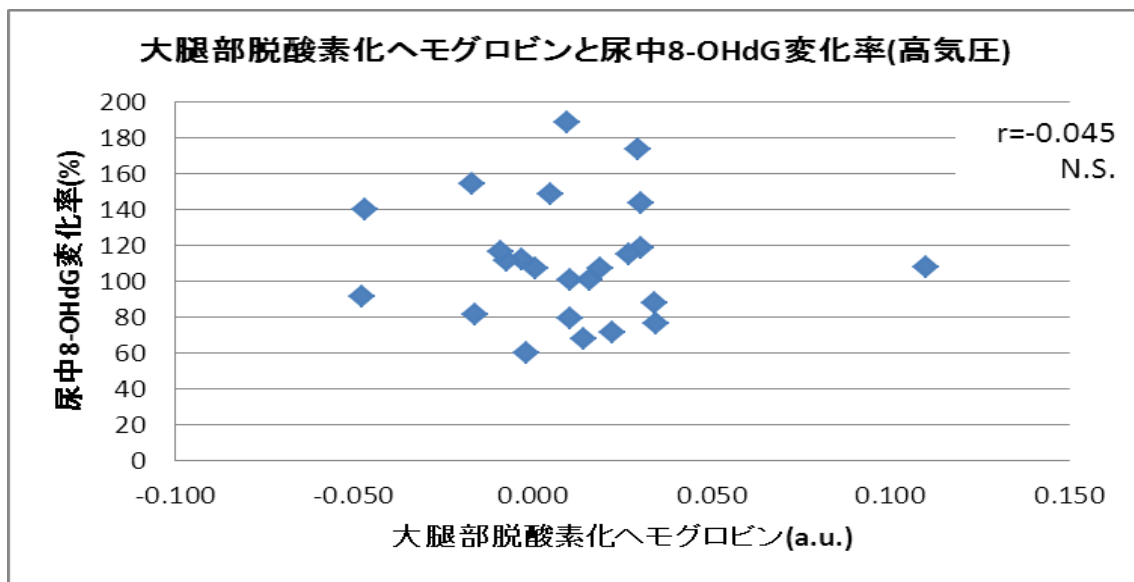
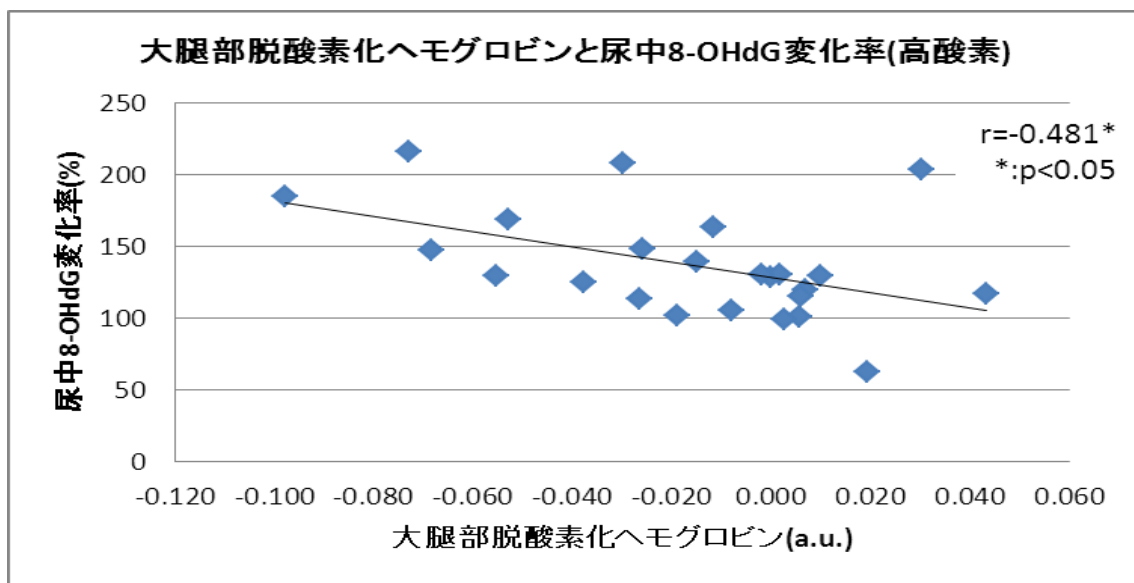


図 38 酸素ローディング中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンと酸素ローディング前後の尿中8-OHdG値の変化率の関係

(上)高酸素条件，(下)高気圧条件

酸素ローディング中の大腿部総ヘモグロビンの平均値と酸素ローディング後の尿中 8-OHdG 値の関係について検討した。高酸素条件では相関係数  $r = -0.021$  であり，有意な相関関係は認められなかった。高気圧条件では相関係数  $r = -0.292$  であり，有意な相関関係は認められなかった（図 39）。

次に酸素ローディング中の大腿部総ヘモグロビンの平均値と酸素ローディング前後の尿中 8-OHdG 値の変化率について検討した。高酸素条件では相関係数  $r = -0.412$  であり，有意 ( $p < 0.05$ ) な相関関係が認められた。高気圧条件では相関係数  $r = -0.364$  であり，有意な相関関係は認められなかった（図 40）。

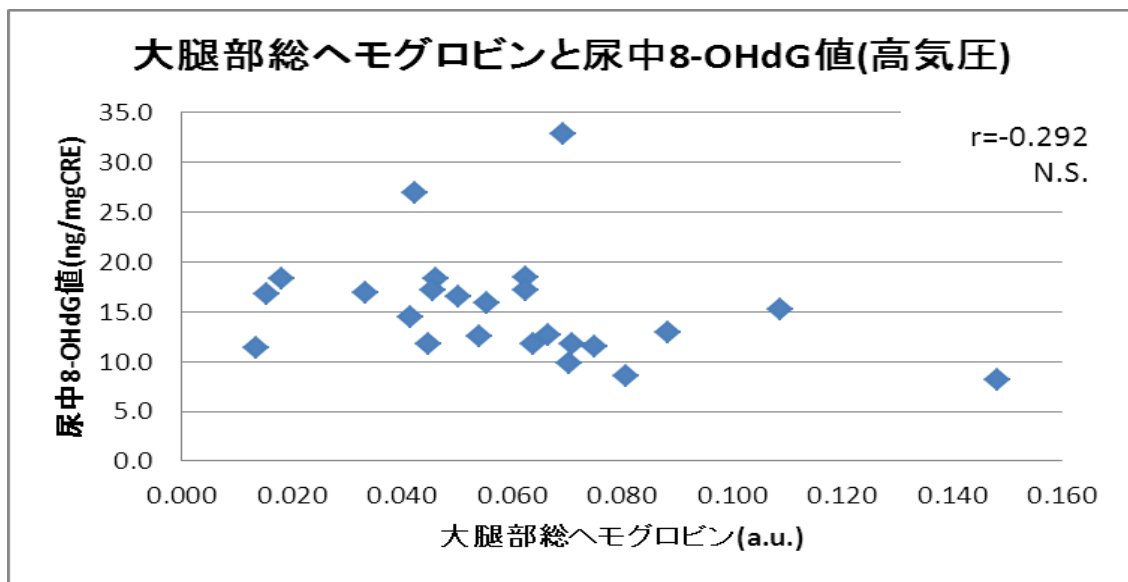
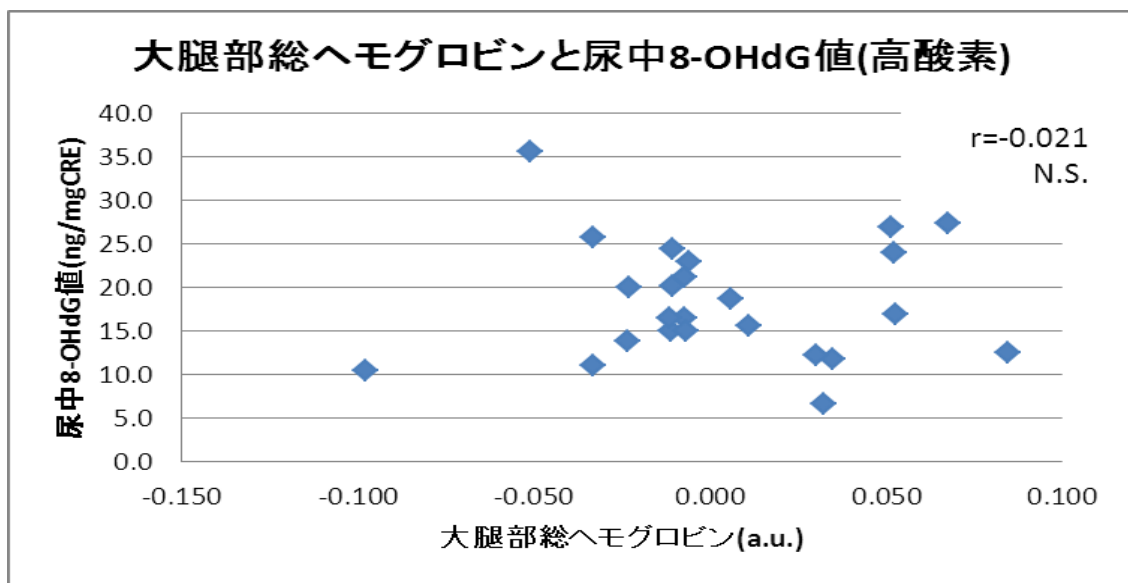


図 39 酸素ローディング中の大腿部総ヘモグロビンと酸素ローディング後の尿中8-OHdG値の関係  
(上)高酸素条件，(下)高気圧条件

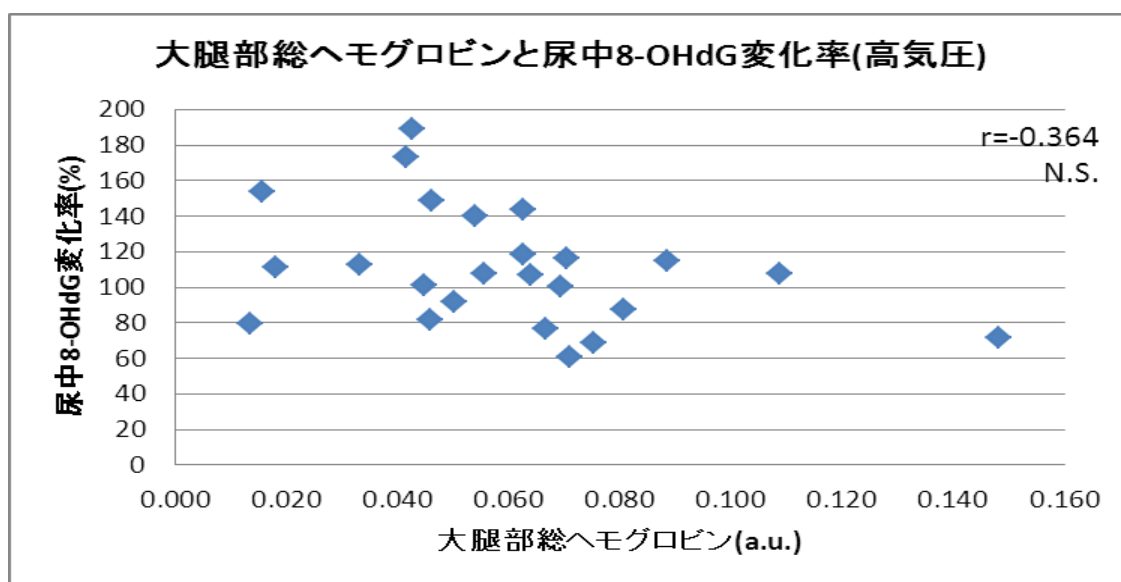
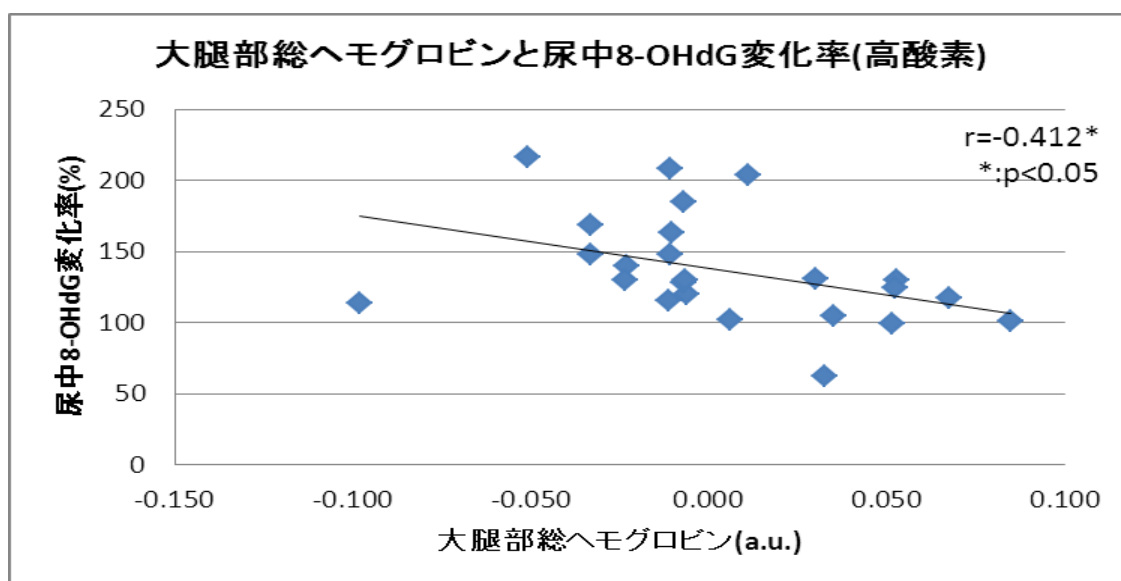


図 40 酸素ローディング中の大腿部総ヘモグロビンと酸素ローディング前後の尿中8-OHdG値の変化率の関係 (上)高酸素条件, (下)高気圧条件

## 6. 考 察

本章では，スポーツ現場で利用されている高酸素発生装置や高気圧エアー・チャンバーによる酸素ローディングを行うことによって，酸素動態，酸化ストレスおよび自律神経機能に与える影響について検討した．また，酸素ローディングの時間を60分，90分および120分の条件で行った時の違いについても併せて検討を行った．

### 1) 酸素動態について

本章では，酸素動態を動脈血酸素飽和度( $SpO_2$ )と近赤外分光法による頭部および大腿部のヘモグロビン濃度の測定より評価した．

本実験では，40%の酸素を吸入することや1.3気圧の高気圧エアー・チャンバーに滞在することによって， $SpO_2$ は1.0~1.5%程度の有意( $p<0.01$ )な増加が認められた．血中のヘモグロビンと結合する酸素の割合は，酸素分圧によって左右され，平地環境(酸素濃度:20.9%，気圧760mmHg)ではヘモグロビンの酸素飽和度は約98%であるといわれている．高地環境では酸素分圧が低下するため，酸素飽和度は低くなる．一方，高酸素環境や高気圧環境では酸素分圧が高まるため，ヘモグロビンの酸素飽和度は平地環境に比べ高くなるといわれている<sup>21)</sup>．

したがって，酸素ローディングによって， $SpO_2$ が増加したことは結合型酸素が増加したことを示唆している．また，本実験結果では，大腿部の酸素化ヘモグロビンも有意( $p<0.05\sim0.01$ )に増加したことから結合型酸素が増加したと考えられ，酸素ローディングによって体内に多くの酸素を取り込まれることが明らかとなった．

しかしながら，酸素ローディングの時間によって酸素ローディング中の酸素動態の平均値に有意な差は認められなかった．酸素ローディング前に比べ酸素ローディング中の平均値が有意( $p<0.05\sim0.01$ )に増加した $SpO_2$ や大

腿部酸素化ヘモグロビンの推移(図 2,10)についてみると, どちらの項目においても, 開始 10・20 分以降では値が一定となっていることがうかがえる. 酸素ローディング中の酸素動態の平均値には時間による差は認められなかったが, 推移をみると, 酸素ローディングの時間が長いほど酸素動態が高値である時間は長いといえる. そのため本研究では, 酸素ローディングの時間は 120 分が最も酸素を体内へ取り込むことができるのではないかと考えられる. しかしながら, 不明な点も多くあり, 酸素ローディングの様式や時間の違いによる影響については今後の検討課題である.

## 2) 酸化ストレスについて

本章では, 細胞内の DNA の酸化ストレスマーカーである尿中 8-OHdG 値から酸素ローディングによる酸化ストレスを評価した.

DNA 周辺で発生した過酸化水素( $H_2O_2$ )が鉄塩や銅塩などと反応する Fenton 反応によってヒドロキシラジカル( $HO\cdot$ )が生成され, 8-OHdG は  $HO\cdot$ によって DNA の構成成分の 1 つであるデオグアノシン(dG)が酸化することで生成される. 8-OHdG は生体内で代謝されることなく, 血液を経て尿中に排出される. そのため, DNA の酸化の度合いを尿中の 8-OHdG の濃度を測定することによって, 間接的に評価することができるとされている<sup>27)50)</sup>.

酸素ローディングによって体内に多くの酸素が取り込まれることによって, 酸化ストレスが高まると考えられる. 本実験結果では, 酸素ローディング前後の尿中 8-OHdG 値の増加率は高酸素条件では約 35%程度, 高気圧条件では約 4.5%程度であった. 高圧高酸素環境に暴露されることで, フリーラジカルが増加したという報告<sup>39)</sup>もあり, 体内に多くの酸素が取り込まれ, フリーラジカルが発生することによって酸化ストレスが高まることが

考えられる．したがって，本実験において，酸素ローディング後で尿中 8-OHdG 値が増加したことは，酸素ローディングによってフリーラジカルが増加したためではないかと考えられる．

また，これまでの報告<sup>18)25)29)34)38)41)42)44)46)50)</sup>によれば，8-OHdG は運動によって増加するとされている．そこで，酸素ローディングによる尿中 8-OHdG 値の増加はどの程度の運動と同水準であったかについて先行研究と照らし合わせてみることにする．

運動強度と尿中 8-OHdG 値をみた報告<sup>18)38)</sup>によれば運動強度が高いと運動後の尿中 8-OHdG 値の増加率も高くなるとされている．中島ら<sup>(2005)<sup>38)</sup></sup>はトレッドミルを用いて 45%  $\dot{V}O_{2max}$  と 70%  $\dot{V}O_{2max}$  の強度で 60 分間運動を行わせたとき，どちらの強度においても尿中 8-OHdG 値は運動 1 時間後では有意 ( $p < 0.05 \sim 0.01$ ) に増加したと報告している．運動前後での尿中 8-OHdG 値の増加率は 45%  $\dot{V}O_{2max}$  の強度では  $7.8 \pm 8.6\%$ ，70%  $\dot{V}O_{2max}$  では  $23.8 \pm 23.2\%$  であった．本実験において，酸素ローディング後の尿中 8-OHdG 値の増加率は高酸素条件では 70%  $\dot{V}O_{2max}$  相当の運動，高気圧条件では 40%  $\dot{V}O_{2max}$  相当の運動を行った時と同水準であったといえる．運動強度と同様に酸素分圧の高低が尿中 8-OHdG 値に影響するではないかと推察される．本実験で行った酸素ローディングは，高酸素条件では酸素濃度 40%，高気圧条件では 1.3 気圧であったことから，酸素分圧は高酸素条件の方が高いといえる．したがって，尿中 8-OHdG 値は酸素ローディングの酸素分圧が関係している可能性が示唆された．

以上のことから，高酸素環境や高気圧環境によって細胞内の DNA が酸化される可能性が示唆された．特に高い酸素分圧による酸素ローディングを行う場合では，酸化ストレスへのリスクを考慮すべきであるといえる．本実験では高酸素や加圧による酸素ローディングを 120 分

間行った場合では，どちらも酸素ローディング前後で尿中 8-OHdG 値は有意な変化を示さなかったことから，酸素ローディングでは 120 分が最も酸化ストレスによるリスクが低いのではないかと考えられる．しかし，本実験において酸素ローディングの時間の違いによる尿中 8-OHdG 値の変化に関するメカニズムについては不明であり，今後の検討課題である．

### 3) 自律神経機能について

本実験結果や先行研究から，高酸素吸入や加圧による酸素ローディングによって体内の酸素量は多くなるといえる．体内の酸素量が増加することによって，安静状態では各細胞における酸素需要量より多くの酸素が供給される．そのため，生体では心拍数を低下させることにより，酸素供給量を一定に保とうとする作用がある<sup>22)</sup>．本実験では，酸素ローディング中では酸素ローディング前と比較して脈拍が有意 ( $p < 0.05 \sim 0.01$ ) に低下することが認められた．

高酸素環境や高気圧環境に曝露された時の心拍数の変化について，Kenmure et al.(1972)<sup>24)</sup>は高酸素環境下 (100% O<sub>2</sub>)，高圧高酸素環境下 (2 気圧 100% O<sub>2</sub>) に 45 分曝露させたとき，心拍数は有意に低下したと報告している．本実験結果は Kenmure et al.と同様の結果が得られた．また，体内の酸素量と心拍数の関係について，本実験における SpO<sub>2</sub> と脈拍から検討したところ，SpO<sub>2</sub>が増加すると脈拍が低下するという関係が認められた (図 26, p.55)．したがって，本実験における脈拍の低下は，酸素ローディングによって体内の酸素量が増加することに伴い，脈拍が低下するというメカニズムによるものと示唆された．

また，川田 (2011)<sup>22)</sup>は，心拍数の低下が起こることによって，副交感神経が優位になると示唆している．しか

しながら，本実験結果における自律神経機能の副交感神経の指標であるバランスや回復力に有意な変化は認められなかった．そこで，酸素ローディング前後における自律神経機能の測定値の変化についてさらに詳細に検討を行った．回復力について，酸素ローディング前に測定値が正常範囲外であった25例のうち15例が正常範囲内へと変化した．また，バランスについて，酸素ローディング前に測定値が正常範囲外であった25例のうち，酸素ローディング後に正常範囲へと変化したのは8例であった．しかし，残り17例のうち10例は測定値が正常範囲内へ近づいていた．

以上のことから酸素ローディングによって副交感神経に対して効果がある可能性が考えられる．自律神経機能の5項目のほとんどの項目において統計的に有意な変化が認められなかった背景には，測定値が正常範囲内であったためであると考えられる．回復力や活動の大きさに関して，酸素ローディング前に正常範囲内であった事例のほとんどが，酸素ローディング後における測定値が正常範囲内での変化であった．酸素ローディング前の測定値が正常範囲内である場合，その自律神経機能は正常に機能していることを意味し，正常範囲内での測定値の変動に影響を及ぼさないといえるからである．

高酸素吸入には精神ストレスが減少し，交感神経系を抑制する作用があるという報告<sup>20)</sup>もされている．本実験結果の副交感神経指標である回復力やバランスが正常値に近づいたのは，酸素ローディングによって交感神経系が抑制され，副交感神経系が優位になった可能性が考えられる．

以上のことから，回復力やバランスの測定値の変化と正常範囲を検討した結果から，高酸素または加圧による酸素ローディングによって副交感神経が優位になる可能性が明らかとなった

## 7. 本章のまとめ

本章では，高酸素発生装置や高気圧エアー・チャンバーを用いた酸素ローディングを行った時の酸素動態，酸化ストレスおよび自律神経機能について検討した．

酸素ローディングは，高酸素条件では濃度 40% の酸素を吸入させ，高気圧条件では 1.3 気圧の環境に滞在させた．それぞれの条件とも 60 分，90 分および 120 分間行った．測定項目は動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ )，脈拍，頭部および大腿部ヘモグロビン，尿中 8-OHdG 値，自律神経機能であった．

本章の結果から以下の知見が得られた．

- (1) 酸素ローディング中は酸素ローディング前と比較して， $SpO_2$  が有意 ( $p < 0.01$ ) に増加することが明らかとなった．
- (2) 酸素ローディング中は酸素ローディング前と比較して，大腿部酸素化ヘモグロビンが有意 (高酸素条件： $p < 0.05$ , 高気圧条件： $p < 0.01$ ) に増加することが明らかとなった．
- (3) 酸素動態について，60 分，90 分および 120 分間の酸素ローディングでは時間的要因による差はないことが示唆された．
- (4) 酸化ストレスについて，尿中 8-OHdG 値は高酸素条件では 60 分と 90 分で有意 ( $p < 0.05 \sim 0.01$ ) に高まり，120 分群では高値を示すことが明らかとなった．また高気圧 60 分群では有意 ( $p < 0.05$ ) に高まったが，90 分と 120 分では値に有意な変化は認められなかった．
- (5) 尿中 8-OHdG 値の変化の水準について，高酸素条件では酸素ローディング前後で約 35% 増加し，この変化は  $70\% \dot{V}O_{2max}$  の負荷で 60 分間運動したときと同程度の水準であった．また，高気圧条件では酸素ローディング前後で約 4.5% 増加し，この変化は  $45\% \dot{V}O_{2max}$  の負荷で 60 分間運動したときと同程度の水準であった．

(6) 脈拍について、酸素ローディング中では酸素ローディング前と比較して有意 ( $p < 0.01$ ) に低下することが認められた。

(7) 自律神経機能について、酸素ローディング前後で測定値に有意な変化は認められなかった。しかし、副交感神経の指標である回復力とバランスについて、酸素ローディング前に正常範囲外であった事例では酸素ローディング後に正常範囲内へと変化していたことから、酸素ローディングによって副交感神経の機能が高まる可能性が考えられた。

(8) 酸素動態と尿中 8-OHdG 値の関係性については明らかにすることができなかった。

スポーツ現場で利用されている高酸素発生装置や高気圧エアー・チャンバーによる酸素ローディングによって、体内に多くの酸素が取り込まれることが明らかとなった。また、酸素ローディング中によって体内の酸素量が増加することによって、脈拍が低下し、副交感神経機能を高める作用が示唆された。

しかし、体内に多くの酸素が取り込まれることに伴い、酸化ストレスが高まる可能性が示唆された。また、高酸素条件では中程度から強度の DNA の酸化ダメージの水準であり、高気圧条件では軽度から中程度の酸化ダメージの水準であった。

以上のことから、本章では、高酸素吸入と加圧による酸素ローディングでは 60 分～120 分間では体内の酸素動態や自律神経機能への効果に差はないが、酸化ストレスへの影響は加圧による酸素ローディングの方が低いことが示された。しかし、酸素ローディングと酸化ストレスの関係については不明な点もあり、今後の検討課題とする。

## 第Ⅱ章 酸素ローディングが運動パフォーマンスに与える影響

### 1. 本章の目的

本章では，高酸素または加圧による酸素ローディングが，その後に行う運動へ与える効果について検討することを目的とした．また，酸素ローディングが酸化ストレスや抗酸化力に与える影響についても併せて検討した．

## 2. 対象者の身体的特性

本章の対象者は，陸上競技部に所属する男子学生 8 名とした．対象者の身体的特性は年齢  $20.0 \pm 1.7$  歳，身長  $170.7 \pm 4.8$  cm，体重  $58.6 \pm 4.7$  kg であった（表 8）．対象者には事前に実験の趣旨を十分に説明し，同意を得た上で実験を行った．

実験結果に影響が考えられる飲酒，ビタミン剤などのサプリメントの摂取，激しい運動は実験開始 24 時間前から禁止した．また，事前の食事が測定値に影響すると考えられるので，実験開始 1 時間前に約 600 kcal 相当の所定の食事（おにぎり 3 つとウーロン茶 500 ml）を摂取させた．

実験開始前に体調を 5 段階で自己評価させ，さらに睡眠時間を記録した．また，血糖値の測定を行った．

実験は 1 週間以上の間隔を空け，全て同曜日の同時刻に開始した．

表 8 対象者の身体的特性 (Mean  $\pm$  SD)

	Mean	$\pm$	SD
年齢(歳)	20.00	$\pm$	1.69
身長(cm)	170.71	$\pm$	4.79
体重(kg)	58.63	$\pm$	4.69
体脂肪率(%)	12.39	$\pm$	2.61
筋肉量(kg)	48.44	$\pm$	3.65
Hb(g/dl)	14.71	$\pm$	1.25
SpO2(%)	98.63	$\pm$	1.30
PR(bpm)	68.88	$\pm$	7.99
PI(%)	6.50	$\pm$	4.70

### 3. 測定方法

実験の流れを図 .41 に示す．本章では，酸素ローディングを高酸素吸入（高酸素条件），高気圧エアー・チャンバー滞在（高気圧条件），通常環境で安静（常酸素条件）の 3 条件でいずれも 90 分間行った後，トレッドミルを用いた多段階漸増負荷法による Exercise Test を行った．Exercise Test はトレッドミルの傾斜を 8.5% に設定し，7.2km/h より 1 分毎に 0.6km/h 漸増させ，オールアウトに至るまで走らせた．

酸素ローディング中の測定項目は第 I 章と同様であった．Exercise Test では最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2\text{max}$ )，運動時間を測定した．また，Exercise Test 中の呼気ガス（酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ )，二酸化炭素排出量 ( $\dot{V}CO_2$ )，換気量 ( $\dot{V}E$ )，呼吸交換比 (R))，動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ )，心拍数 (HR) を測定し，運動中の平均値と 1 分毎の平均値を算出した．酸化ストレス度 (d-ROMs 値)，抗酸化力 (BAP 値)，尿中 8-OHdG 値および血中乳酸濃度酸素をローディング前，酸素ローディング後 (Exercise Test 前)，Exercise Test 後に測定を行った．詳細な測定方法は以下に示す

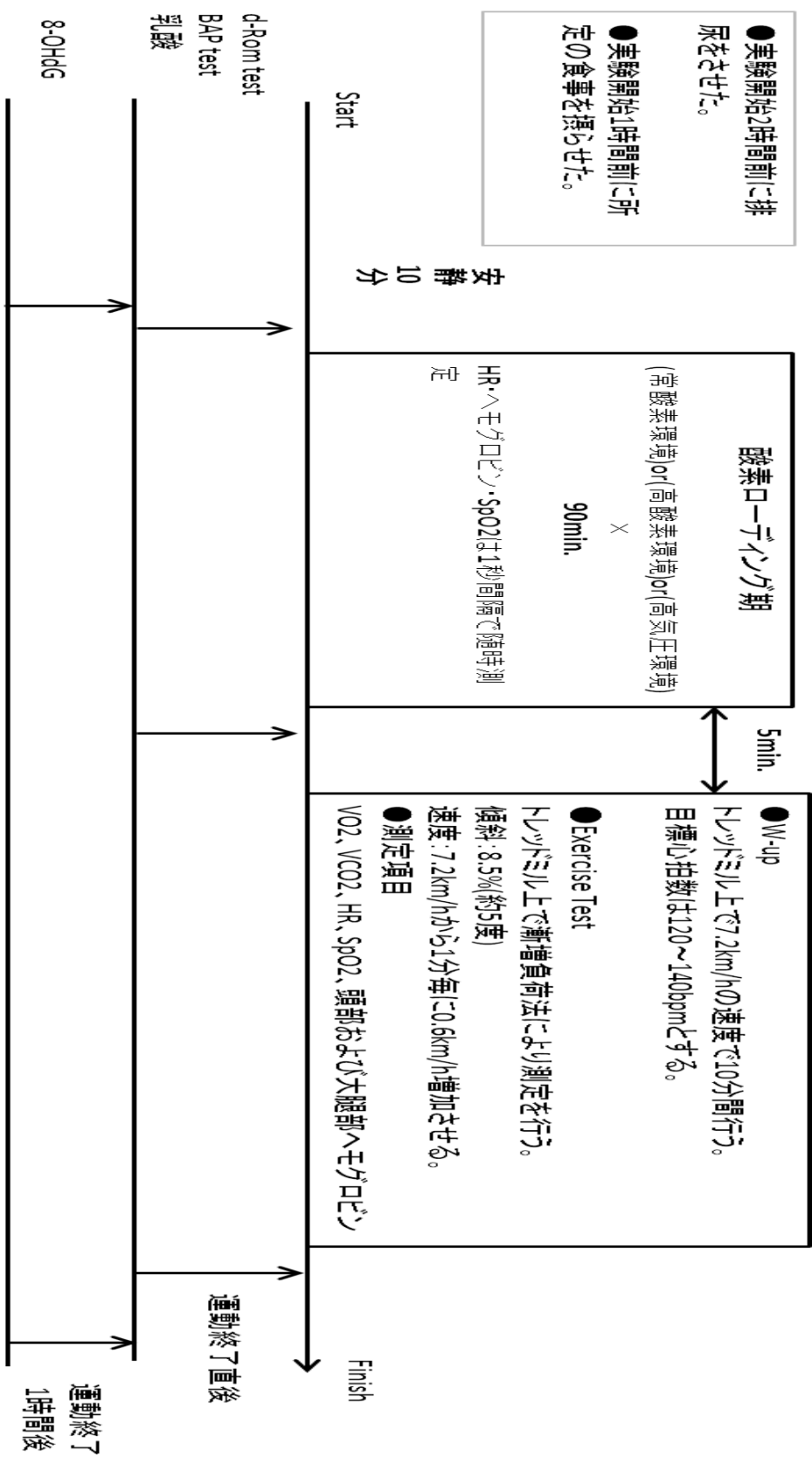


図 41 実験の流れ

#### 1) 酸素ローディング

酸素ローディングは高酸素発生装置や高気圧エアー・チャンバーを用いて行った．高酸素発生装置を用いた酸素ローディング(以下，高酸素条件)では，仰臥位姿勢にて40%の酸素をフェイスマスクより吸入させた(写真8)．高気圧エアー・チャンバーを用いた酸素ローディング(以下，高気圧条件)は第I章と同様の方法で行った．コントロール条件(以下，常酸素条件)として，通常環境(酸素濃度20.9%，大気圧)下で仰臥位姿勢にて安静状態を保たせた．酸素ローディングはそれぞれの条件で90分間行った．

酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度( $SpO_2$ )，脈拍，頭部および大腿部酸素化ヘモグロビンを1秒間隔で測定し，酸素ローディング中の平均値と3分毎の平均値を算出した．また酸素ローディングの前後で酸化ストレス度と抗酸化力を測定した．

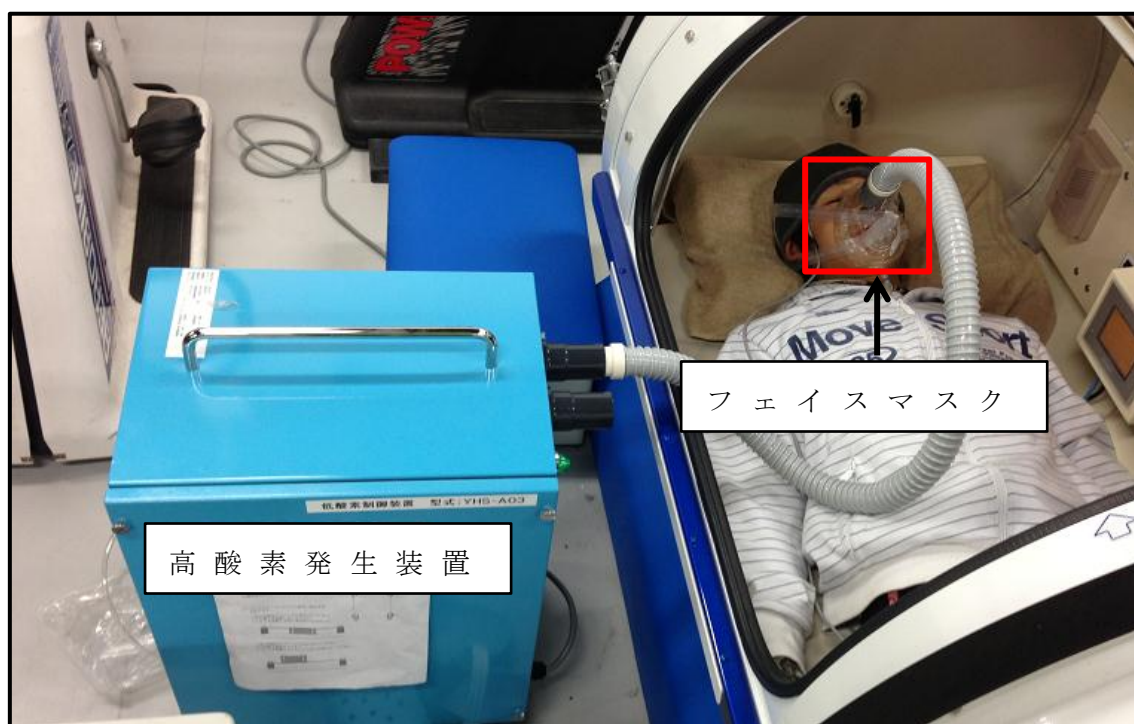


写真 8 高酸素条件の酸素ローディング中の様子

## 2) Exercise Test

Exercise Test 前にトレッドミルを用いて速度 7.2km/h で 10 分間ウォームアップを行わせた。ウォームアップ中の心拍数は 120~140 拍/分になるように傾斜を調節した。

Exercise Test はトレッドミルを傾斜 8.5%，速度は 7.2km/h から毎分 0.6km/h 漸増させ，対象者がオールアウトするまで走らせた（写真 9）。最大酸素摂取量の出現の確認は①酸素摂取量のレベリングオフ，②年齢から推定される最高心拍数（220-年齢）に達していること，③呼吸交換比が 1.10 以上であること，④運動終了時の血中乳酸濃度が 10mmol/l 以上に達すること，⑤主観的運動強度（RPE）が 19 または 20 であることの 5 項目のうち 2 項目以上を満たしていることとした。

Exercise Test 中の酸素摂取量，二酸化炭素排出量，換気量，呼吸交換比，動脈血酸素飽和度，心拍数，頭部および大腿部ヘモグロビンを随時測定した。また，速度変化時に主観的運動強度を測定した。



写真 9 Exercise Test 中の様子

### 3) 動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ )

動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ ) はパルスオキシメータ (コニカミノルタ社製 PULSOX-3001I) を用いて 1 秒毎に測定した。また、酸素ローディング中はパルスオキシメータを用いて脈拍も  $SpO_2$  と同様に測定を行った。 $SpO_2$  と脈拍は酸素ローディング中の平均と 3 分毎の推移を算出した。また、Exercise Test 中の平均値と 1 分毎の平均値を算出した。

### 4) 心拍数 (HR)

心拍数計 (ポラール社製 RS800CX) を用いて Exercise Test 中の HR を 1 秒毎に測定した。心拍数は解析ソフトウェア (ポラール社製 Polar ProTrainer5) によってパーソナルコンピュータに取り込み Exercise Test 中の平均値と 1 分毎の平均値を算出した。

### 5) 頭部および大腿部酸素化ヘモグロビン

第 I 章と同様の方法で、頭部および大腿部の酸素化ヘモグロビン、脱酸素化ヘモグロビン、総ヘモグロビンを携帯型近赤外線組織酸素モニタ装置 (株式会社ダイナセンス社製 PocketNIRS Duo) を用いて近赤外分光法によって 1 秒ごと測定した。

測定したデータは、酸素ローディング中の平均値と 3 分毎の平均値の推移を算出した。また、Exercise Test 中の平均値と 1 分毎の平均値の推移を算出した。

### 6) ガス分析

ガス分析は呼吸代謝測定装置 (有限会社エスアンドエムイー社製  $\dot{V}O_2$  2000) (写真 9) を用いて酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) と二酸化炭素排出量 ( $\dot{V}CO_2$ )、換気量 ( $\dot{V}E$ )、呼吸交換比 (R) を 10 秒間隔で測定した。測定には高流量のフローセンサを用いて測定を行い、換気量の測定範囲は

20-200L/min.であった．

測定で得られたデータは，Exercise Test 中の平均値と1分毎の平均値と最大値を算出した．また，Exercise Test によって最大酸素摂取量( $\dot{V}O_2\max$ )を測定した．



#### 7) 酸化ストレス度，抗酸化力

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(株式会社ウイスマー FREE carpe diem)(写真 11)を用いて酸素ローディング前後と Exercise Test 後に測定した．アルコール払拭後、指尖より採血を行い(写真 12),遠心分離して血清を使用した．

酸化ストレス度(d-ROMs)は，活性酸素やフリーラジカルによる初期の酸化代謝産物であるヒドロペルオキシド(R-OOH)の血中濃度を呈色液クロモゲンにより，5 分間光学測定した．抗酸化力(BAP)は，三価鉄( $\text{Fe}^{3+}$ )イオンを含む呈色液をある特定のチオシアン酸塩誘導物を含む溶液に溶解させると赤く呈色する．呈色した液と血清を混合させると三価鉄( $\text{Fe}^{3+}$ )イオンが二価鉄( $\text{Fe}^{2+}$ )イオンに還元されることで溶液が脱色する．その色の変化を光度計で計測し，抗酸化力を評価する．



写真 11 フリーラジカル解析装置（株式会社ウイスマー  
FREE carpe diem）

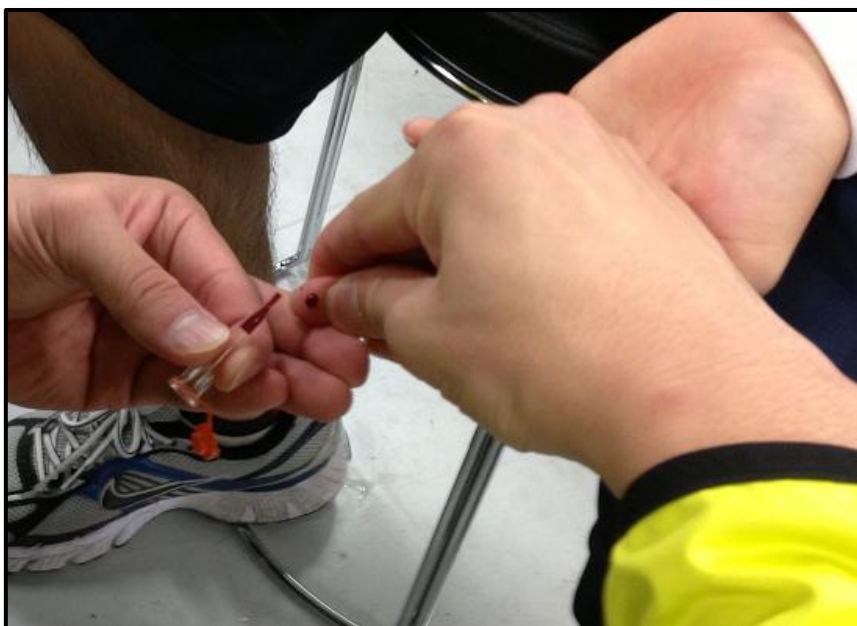


写真 12 指尖からの採血の様子

8) 尿中 8-OHdG 値

尿中 8-OHdG 値の測定は第 I 章と同様の方法で行った．測定は酸素ローディング前と Exercise Test 終了 1 時間後に採尿した．

9) 血中乳酸濃度

血中乳酸濃度は簡易血中乳酸測定器（社製 ラクテートスカウト）を用いて，指尖より採血し，酸素ローディング前後と Exercise Test 後に測定した．

#### 4. 統計処理

統計処理には統計処理ソフト (IBM SPSS Statistics 20) を用いた。また、測定値は全て平均値 (±標準偏差) で示した。酸素ローディング前と酸素ローディング中の SpO<sub>2</sub>、脈拍、頭部および大腿部ヘモグロビンの平均値は二要因 (環境 × 測定時期) の分散分析を行った。また、Exercise Test 中の呼気ガスに関する項目、 $\dot{V}O_{2max}$ 、運動時間、SpO<sub>2</sub>、HR、頭部および大腿部ヘモグロビンの平均値と最大値は一要因 (環境) の分散分析を行った。酸素ローディング前後、Exercise Test 前後での d-ROMs 値、BAP 値、尿中 8-OHdG 値、血中乳酸濃度は二要因 (環境 × 測定時期) の分散分析を行った。また相関分析は Pearson の積率相関係数によって分析した。全ての分析について有意水準は 5% 未満とした。

## 5. 結果

### 1) 対象者のコンディションについて

対象者が3条件の実験を，同一のコンディションで行うことができたかについて検討した(図42)．コンディションは実験日の体重，体調調査，睡眠時間，安静時血中乳酸濃度，安静時血糖値，安静時d-ROMs値および安静時BAP値から検討した．

Exercise Test 前の対象者の体重は常酸素条件では  $59.9 \pm 4.9 \text{ kg}$ ，高酸素条件では  $59.9 \pm 5.2 \text{ kg}$ ，高気圧条件では  $59.6 \pm 4.9 \text{ kg}$  であった．体重について，3条件間に有意な差は認められなかった．

各実験開始前に行った対象者の主観的な体調の5段階の自己評価について，常酸素条件では  $4.5 \pm 0.5$ ，高酸素条件では  $4.0 \pm 0.8$ ，高気圧条件では  $3.6 \pm 1.1$  であった．常酸素条件は高気圧条件と比較して有意( $p < 0.05$ )に高い値を示した．

実験当日の睡眠時間について，常酸素条件では  $6.6 \pm 0.7 \text{ h}$ ，高酸素条件では  $6.3 \pm 0.9 \text{ h}$ ，高気圧条件では  $6.3 \pm 0.8 \text{ h}$  であった．実験当日の睡眠時間について3条件間に有意な差は認められなかった．

酸素ローディング前の血糖値について，常酸素条件では  $103.8 \pm 27.3 \text{ mg/dl}$ ，高酸素条件では  $106.9 \pm 28.0 \text{ mg/dl}$ ，高気圧条件では  $116.1 \pm 23.1 \text{ mg/dl}$  であった．酸素ローディング前の血糖値について3条件間に有意な差は認められなかった．

酸素ローディング前の血中乳酸濃度について，常酸素条件では  $1.5 \pm 0.4 \text{ mmol/l}$ ，高酸素条件では  $1.6 \pm 0.4 \text{ mmol/l}$ ，高気圧条件では  $1.6 \pm 0.3 \text{ mmol/l}$  であった．酸素ローディング前の血中乳酸濃度について3条件間に有意な差は認められなかった．

酸素ローディング前のd-ROMs値について，常酸素条件では  $246.3 \pm 35.1 \text{ U.CARR}$ ，高酸素条件では  $239.5 \pm$

51.8 U.CARR, 高気圧条件では  $228.8 \pm 17.5$  U.CARR であった。酸素ローディング前の d-ROMs 値について 3 条件間に有意な差は認められなかった。

酸素ローディング前の BAP 値について, 常酸素条件では  $1882.2 \pm 80.6 \mu\text{mol/l}$ , 高酸素条件では  $1889.3 \pm 170.7 \mu\text{mol/l}$ , 高気圧条件では  $1886.7 \pm 126.4 \mu\text{mol/l}$  であった。酸素ローディング前の BAP 値に有意な差は認められなかった。

コンディションに関する項目について, 対象者の主観的な指標である体調では, 常酸素条件は高気圧条件に比べ有意 ( $p < 0.01$ ) に高い結果であった。しかしながら, 客観的なコンディションの指標では有意な差は認められなかったことから, ほぼ同一のコンディションで 3 条件を行うことができたといえる。また, 体調について高気圧条件においても標準である 3 よりも高値であったため, 決して不良な体調ではなかったといえる。

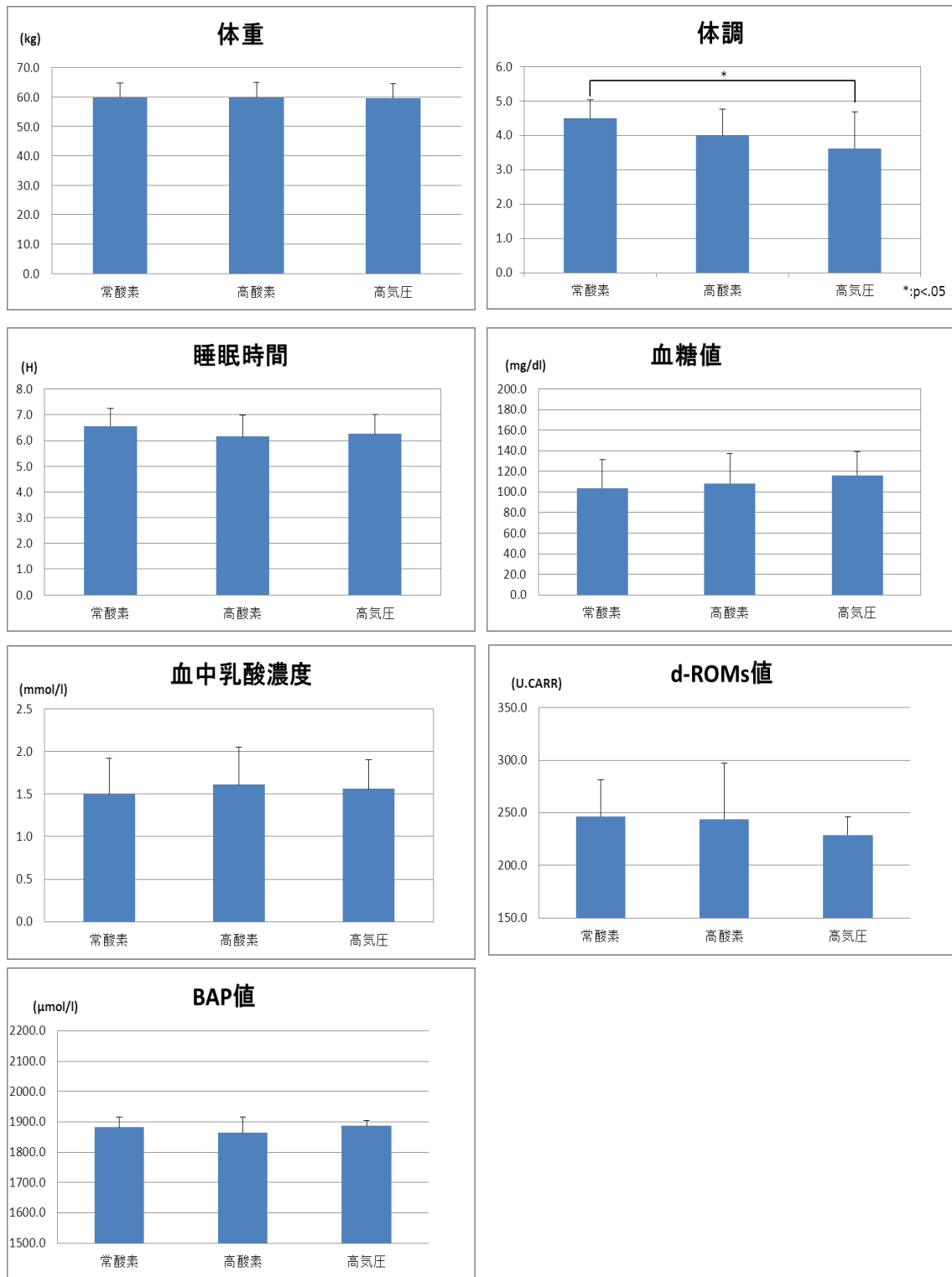


図 42 3 条件におけるコンディションの比較 (Mean ± SD)

## 2) 酸素ローディングによる生理的応答

酸素ローディング前後の酸素動態，脈拍，酸化ストレスおよび抗酸化力について検討した．

### (1) 酸素動態について

酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度，頭部および大腿部ヘモグロビンの推移と酸素ローディング前と酸素ローディング中の平均値について検討した．

#### ① 動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ )

酸素ローディングによる  $SpO_2$  の推移と平均値について検討した (図 43, 図 44)．酸素ローディング前と酸素ローディング中の  $SpO_2$  の平均値について，常酸素条件では  $98.26 \pm 0.60\%$ ， $98.14 \pm 0.14\%$ ，高酸素条件では  $97.90 \pm 1.01\%$ ， $99.59 \pm 0.43\%$ ，高気圧条件では  $98.29 \pm 0.84\%$ ， $98.91 \pm 0.70\%$ であった．環境と測定時期に交互作用が認められ ( $p < 0.05$ )，多重比較を行ったところ，高酸素条件と高気圧条件では酸素ローディング後は酸素ローディング前に比べ  $SpO_2$  は有意 (高酸素条件： $p < 0.01$ ，高気圧条件： $p < 0.05$ ) に増加することが認められた．また，高酸素条件と高気圧条件は常酸素条件に比べ，酸素ローディング後において  $SpO_2$  が有意 ( $p < 0.05$ ) に高い値を示すことが認められた．

また，本実験結果は第 I 章で行った 90 分間の高酸素吸入や加圧による酸素ローディングと同様の結果であった．酸素ローディング中の  $SpO_2$  の平均値について，本実験結果と第 I 章の結果を比較したところ，有意な差は認められなかった (図 45)．

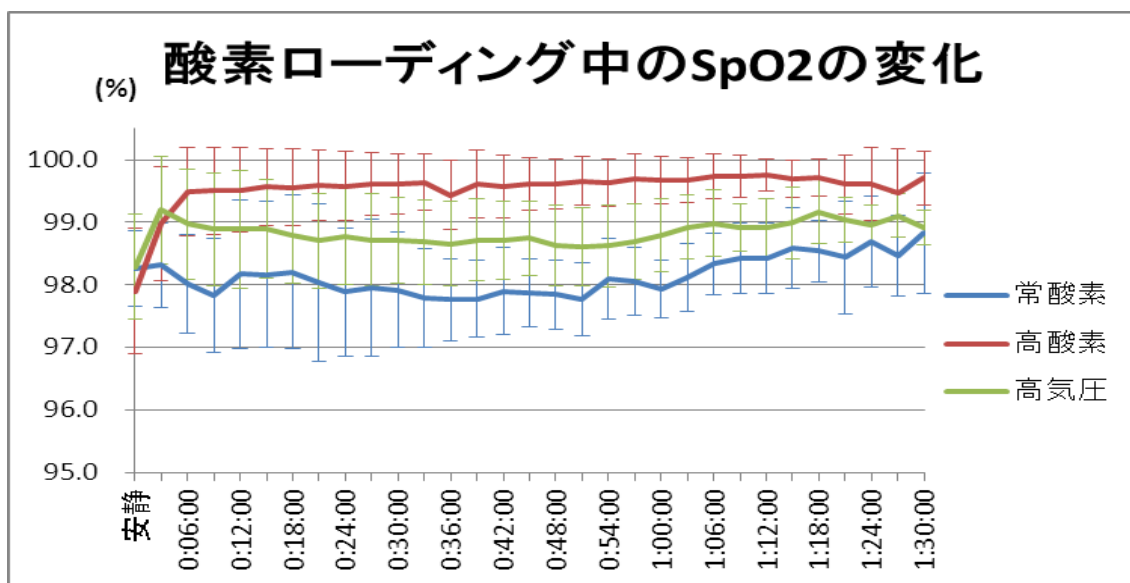


図 43 酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度の推移 (Mean ± SD)

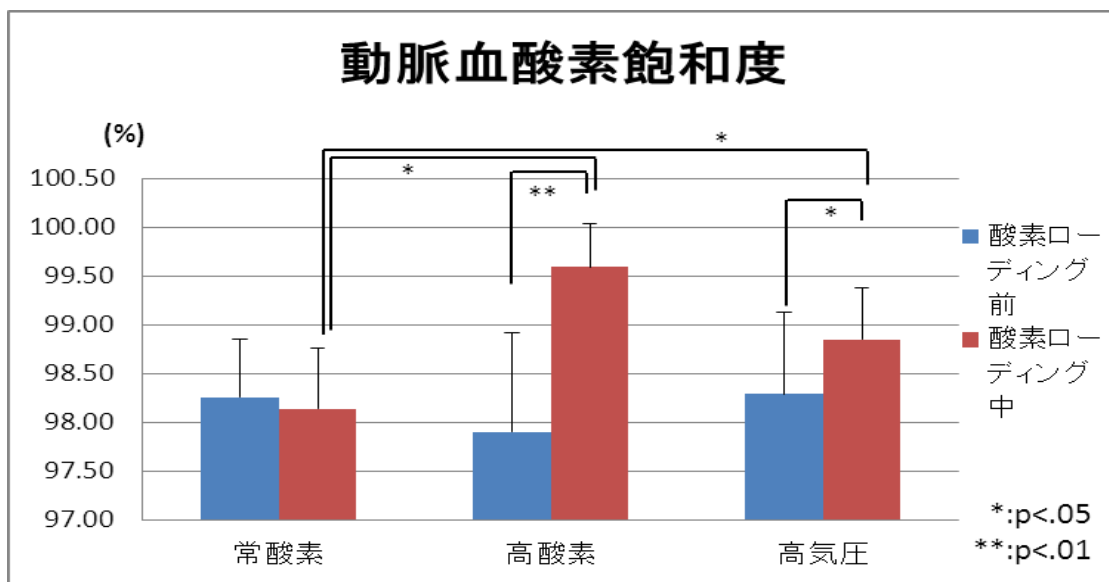


図 44 酸素ローディング前と酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度の平均値 (Mean ± SD)

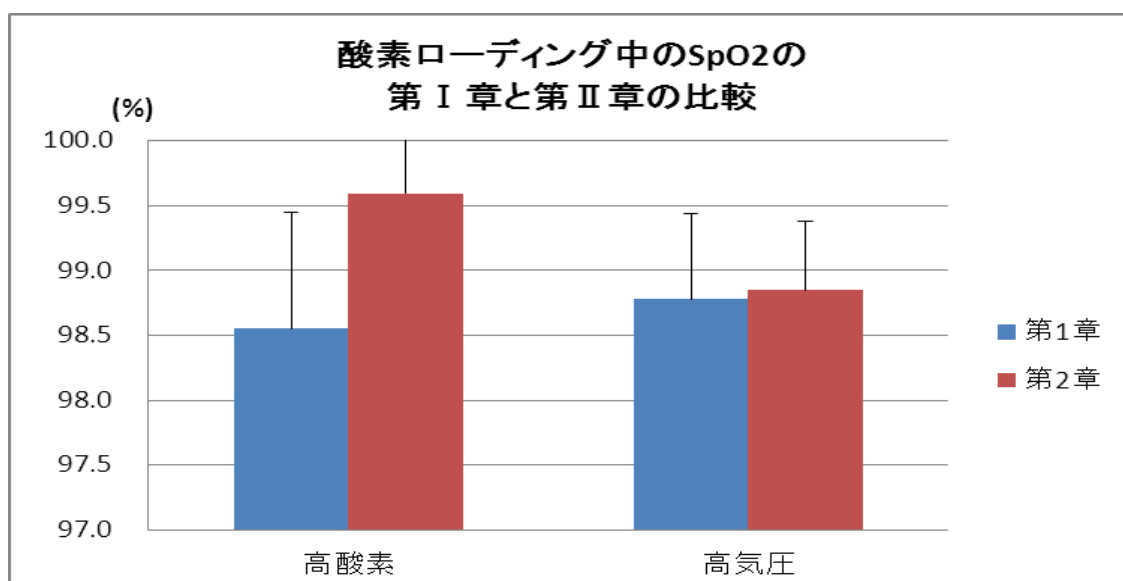


図 45 酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度 (SpO<sub>2</sub>) の第Ⅰ章と第Ⅱ章の比較 (Mean ± SD)

② 頭部酸素化ヘモグロビンについて

酸素ローディングによる頭部酸素化ヘモグロビンの推移と平均値について検討した(図 46, 図 47).

酸素ローディング前の値を基準値 0 とした. 酸素ローディング中の頭部酸素化ヘモグロビンの平均値について, 常酸素条件では  $-0.01 \pm 0.11 \text{ a.u.}$ , 高酸素条件では  $0.02 \pm 0.09 \text{ a.u.}$ , 高気圧条件では  $0.03 \pm 0.06 \text{ a.u.}$ であった.

頭部酸素化ヘモグロビンについて酸素ローディング中の平均値は 3 条件間に有意な差は認められず, また, 酸素ローディング前と比べて有意な変化は認められなかった.

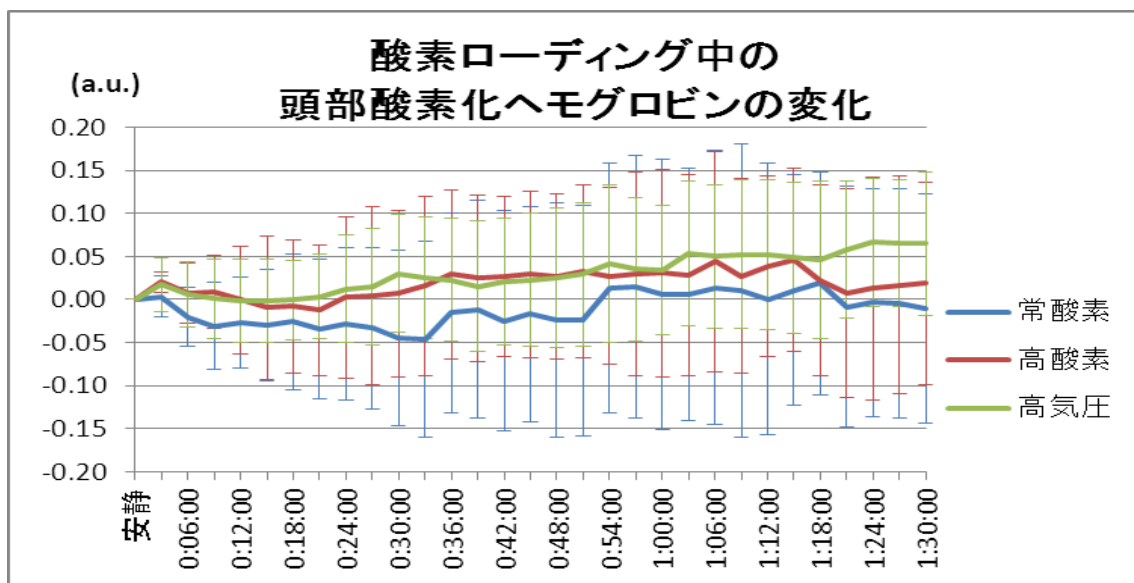


図 46 酸素ローディング中の頭部酸素化ヘモグロビンの推移 (Mean ± SD)

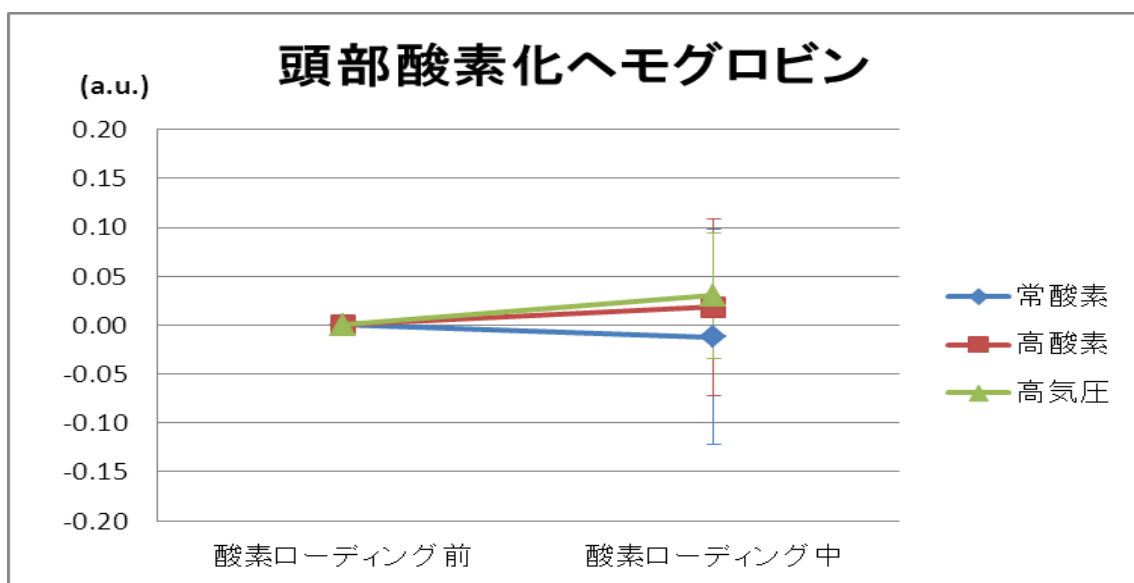


図 47 酸素ローディング前と酸素ローディング中の頭部酸素化ヘモグロビンの平均値 (Mean ± SD)

### ③ 頭部脱酸素化ヘモグロビン

酸素ローディングによる頭部脱酸素化ヘモグロビンの推移と平均値について検討した(図 48, 図 49).

酸素ローディング前の値を基準値 0 とした. 酸素ローディング中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの平均値について, 常酸素条件では  $0.00 \pm 0.04 \text{ a.u.}$ , 高酸素条件では  $-0.03 \pm 0.03 \text{ a.u.}$ , 高気圧条件では  $-0.02 \pm 0.03 \text{ a.u.}$ であった.

頭部脱酸素化ヘモグロビンについて酸素ローディング中の平均値は 3 条件間に有意な差は認められず, また, 酸素ローディング前と比べて有意な変化は認められなかった.

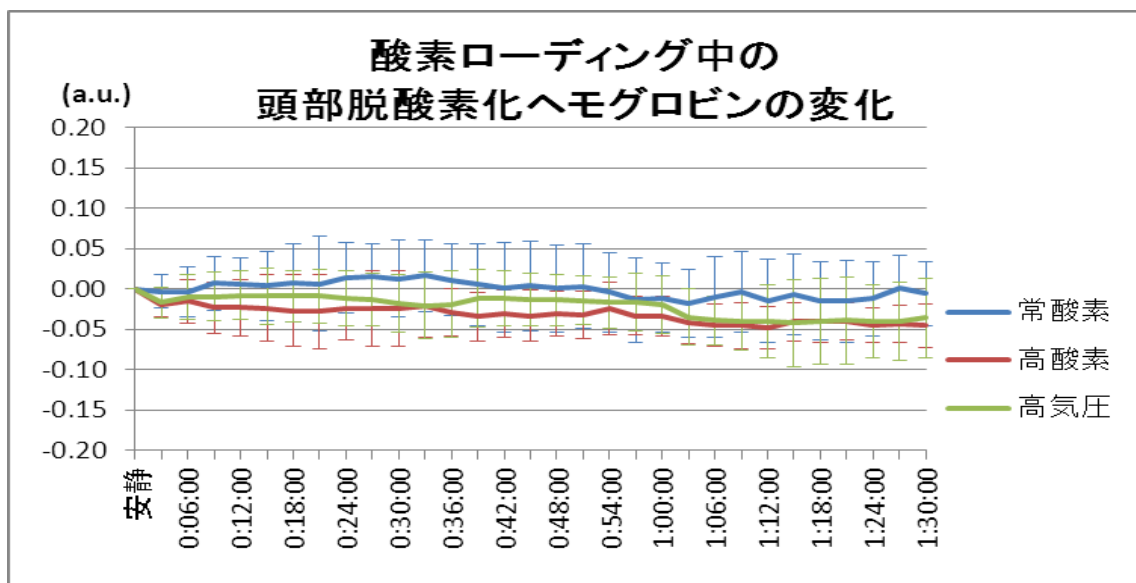


図 48 酸素ローディング中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの推移 (Mean  $\pm$  SD)

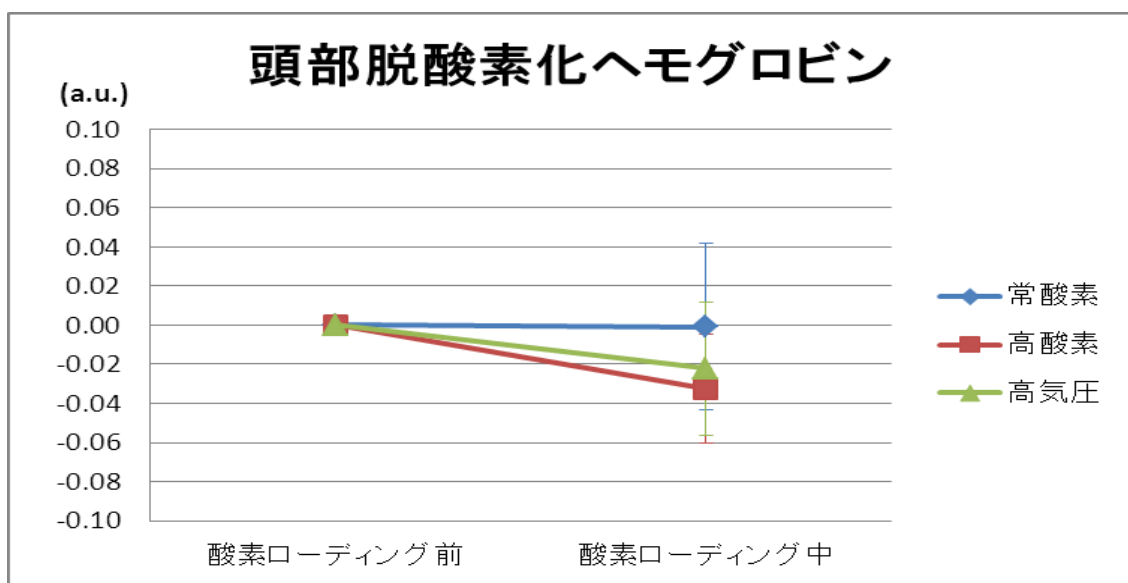


図 49 酸素ローディング前と酸素ローディング中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの平均値 (Mean  $\pm$  SD)

#### ④ 頭部総ヘモグロビン

酸素ローディングによる頭部脱酸素化ヘモグロビンの推移と平均値について検討した(図 50, 図 51).

酸素ローディング前の値を基準値 0 とした. 酸素ローディング中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの平均値について, 常酸素条件では  $-0.01 \pm 0.11 \text{ a.u.}$ , 高酸素条件では  $-0.02 \pm 0.08 \text{ a.u.}$ , 高気圧条件では  $0.01 \pm 0.07 \text{ a.u.}$ であった.

頭部脱酸素化ヘモグロビンについて酸素ローディング中の平均値は 3 条件間に有意な差は認められず, また, 酸素ローディング前と比べて有意な変化は認められなかった.

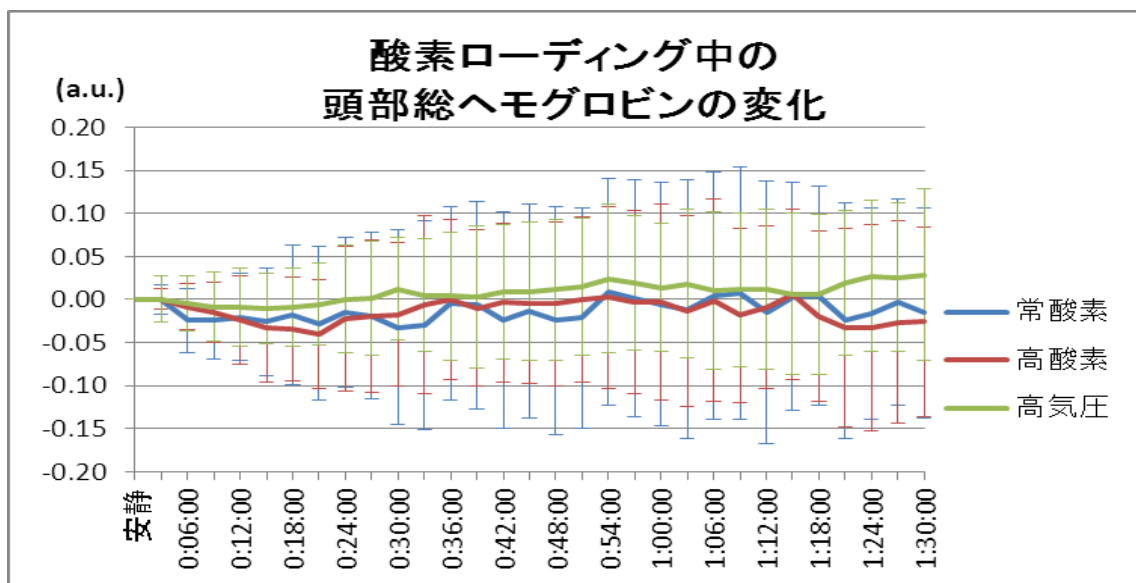


図 50 酸素ローディング中の頭部総ヘモグロビンの推移 (Mean ± SD)

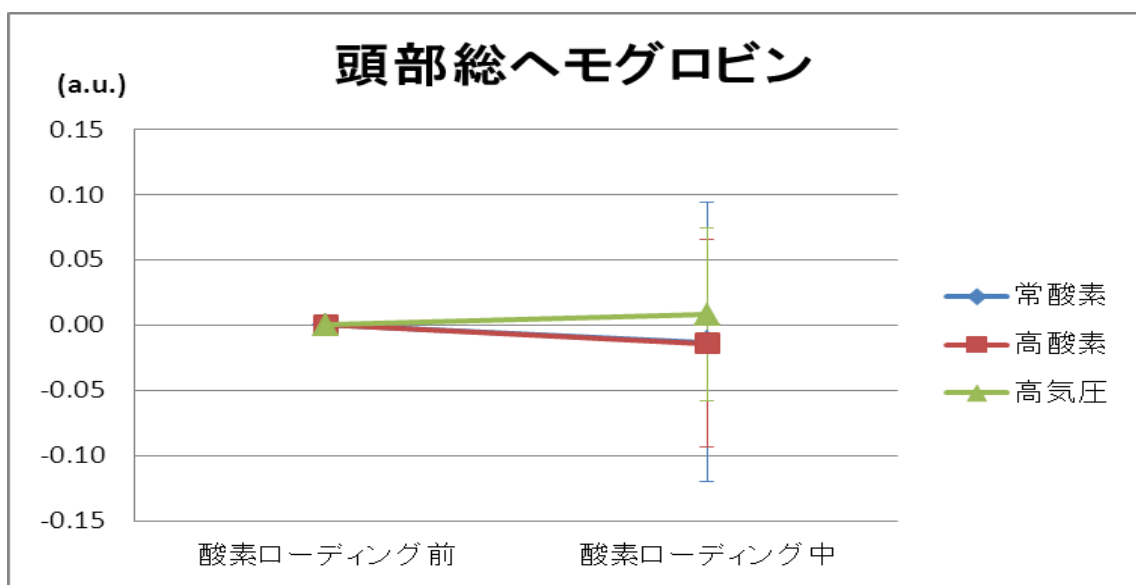


図 51 酸素ローディング前と酸素ローディング中の頭部総ヘモグロビンの平均値 (Mean ± SD)

⑤ 大腿部酸素化ヘモグロビン

酸素ローディングによる大腿部酸素化ヘモグロビンの推移と平均値について検討した(図 52, 図 53).

酸素ローディング前の値を基準値 0 とした. 酸素ローディング中の大腿部酸素化ヘモグロビンの平均値について, 常酸素条件では  $0.05 \pm 0.05 \text{ a.u.}$ , 高酸素条件では  $0.07 \pm 0.02 \text{ a.u.}$ , 高気圧条件では  $0.08 \pm 0.04 \text{ a.u.}$ であった.

酸素ローディング中の平均値は 3 条件で酸素ローディング前と比較して有意 ( $p < 0.001$ ) な増加が認められた. しかし, 酸素ローディング中の大腿部酸素化ヘモグロビンについて 3 条件間で有意な差は認められなかった.

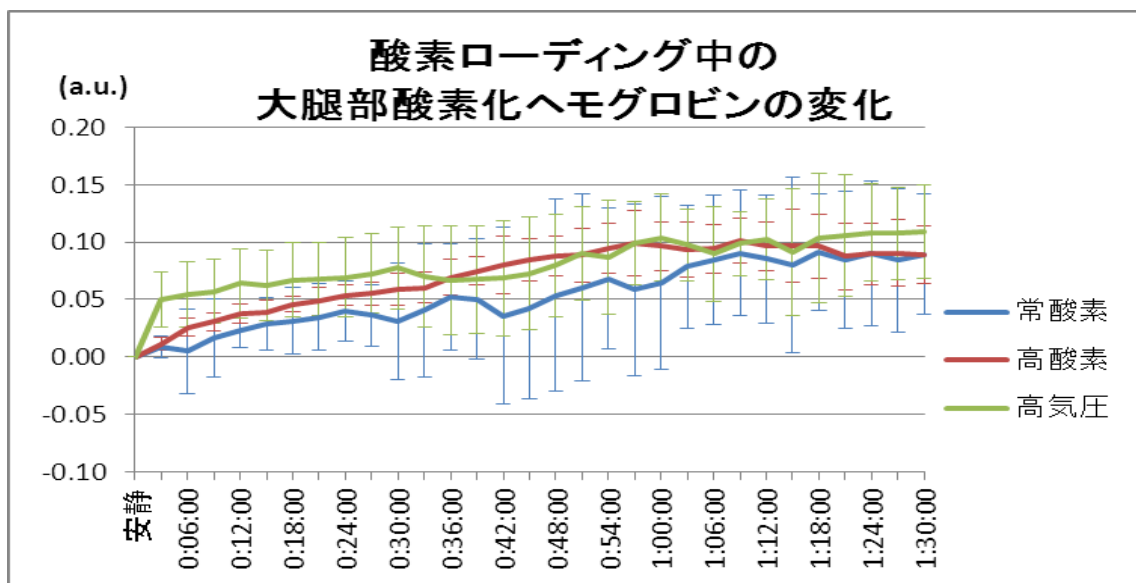


図 52 酸素ローディング中の大腿部酸素化ヘモグロビンの推移 (Mean ± SD)

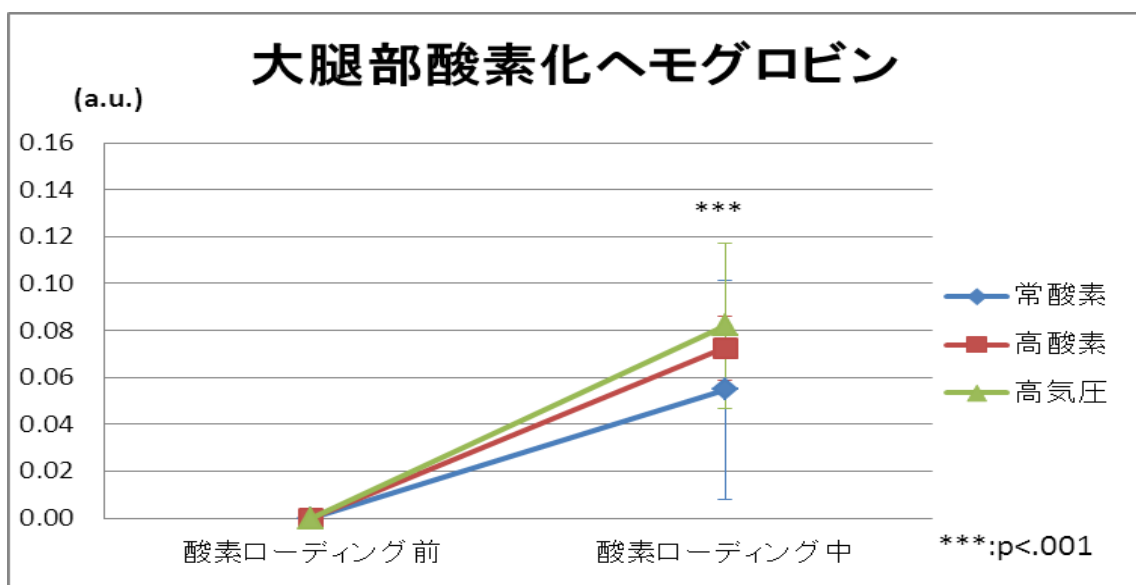


図 53 酸素ローディング前と酸素ローディング中の大腿部酸素化ヘモグロビンの平均値 (Mean ± SD)

#### ⑥ 大腿部脱酸素化ヘモグロビン

酸素ローディングによる大腿部脱酸素化ヘモグロビンの推移と平均値について検討した(図 54, 図 55).

酸素ローディング前の値を基準値 0 とした. 酸素ローディング中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンの平均値について, 常酸素条件では  $0.02 \pm 0.02 \text{ a.u.}$ , 高酸素条件では  $-0.01 \pm 0.02 \text{ a.u.}$ , 高気圧条件では  $0.03 \pm 0.02 \text{ a.u.}$ であった.

大腿部脱酸素化ヘモグロビンについて, 環境と測定時期の要因に交互作用が認められ ( $p < 0.05$ ), 多重比較を行った. 常酸素条件と高気圧条件では酸素ローディング前と比較して酸素ローディング中は有意 ( $p < 0.05$ ) に増加することが認められた. また, 酸素ローディング中の平均値について高気圧条件では高酸素条件と比較して有意 ( $p < 0.001$ ) に高い値を示すことが認められた.

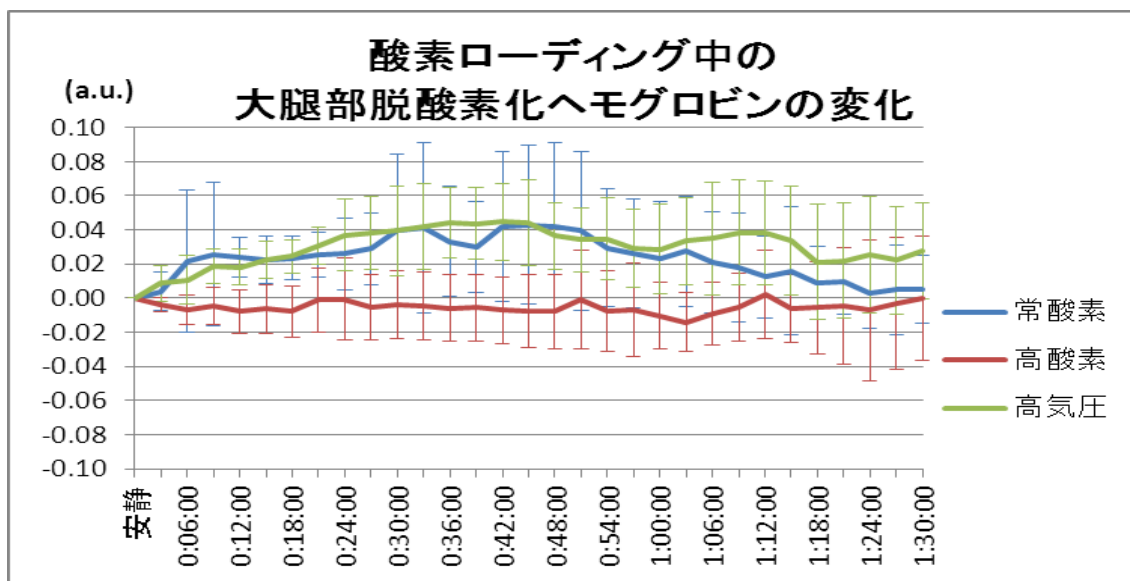


図 54 酸素ローディング中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンの推移 (Mean  $\pm$  SD)

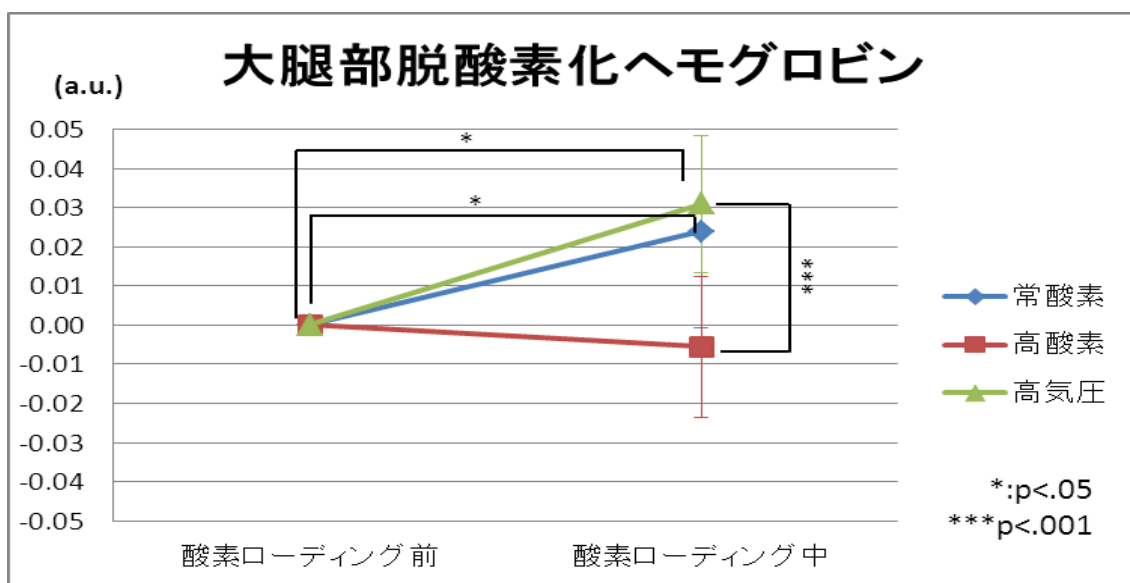


図 55 酸素ローディング前と酸素ローディング中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンの平均値 (Mean  $\pm$  SD)

⑦ 大腿部総ヘモグロビン

酸素ローディングによる大腿部総ヘモグロビンの推移と平均値について検討した(図 56, 図 57).

酸素ローディング前の値を基準値 0 とした. 酸素ローディング中の大腿部総ヘモグロビンの平均値について, 常酸素条件では  $0.08 \pm 0.04 \text{ a.u.}$ , 高酸素条件では  $0.06 \pm 0.02 \text{ a.u.}$ , 高気圧条件では  $0.11 \pm 0.03 \text{ a.u.}$ であった.

大腿部総ヘモグロビンについて, 環境と測定時期の要因に交互作用が認められ ( $p < 0.01$ ), 多重比較を行った. 3 条件とも酸素ローディング前と比較して酸素ローディング中は有意 ( $p < 0.001$ ) に増加することが認められた. また, 酸素ローディング中の平均値について高気圧条件では高酸素条件と比較して有意 ( $p < 0.05$ ) に高い値を示すことが認められた.

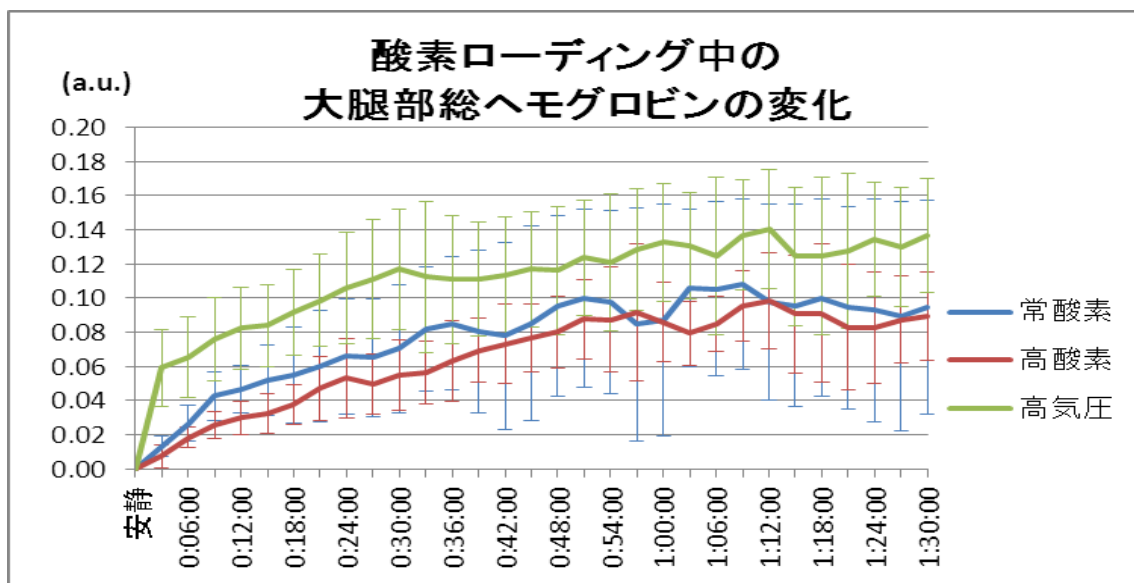


図 56 酸素ローディング中の大腿部総ヘモグロビンの推移 (Mean ± SD)

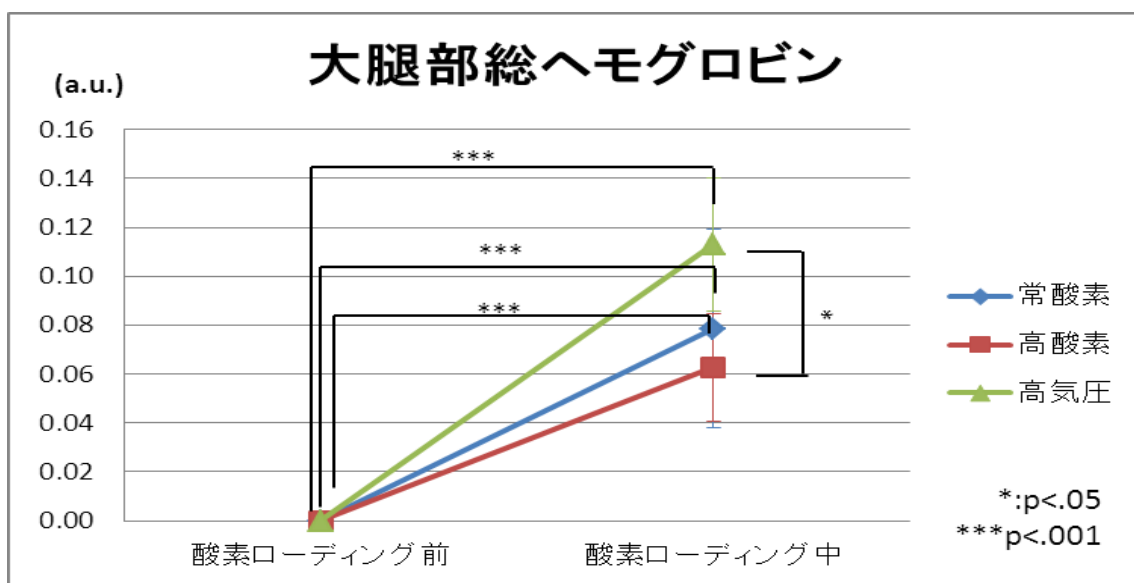


図 57 酸素ローディング前と酸素ローディング中の大腿部総ヘモグロビンの平均値 (Mean ± SD)

## (2) 脈 拍 に つ い て

酸素ローディングによる脈拍の推移と平均値について検討した(図 58, 図 59). 酸素ローディング前と酸素ローディング中の脈拍の平均値について, 常酸素条件では  $68.00 \pm 5.80 \text{ bpm}$ ,  $62.43 \pm 4.46 \text{ bpm}$ , 高酸素条件では  $67.45 \pm 7.35 \text{ bpm}$ ,  $62.10 \pm 5.94 \text{ bpm}$ , 高気圧条件では  $69.03 \pm 8.98 \text{ bpm}$ ,  $59.28 \pm 6.06 \text{ bpm}$  であった.

3 条件すべてで, 酸素ローディング前と比較して酸素ローディング中の脈拍の平均値は有意 ( $p < 0.01$ ) に低下することが認められた. しかしながら, 酸素ローディング中の脈拍の平均値について 3 条件間に有意な差は認められなかった.

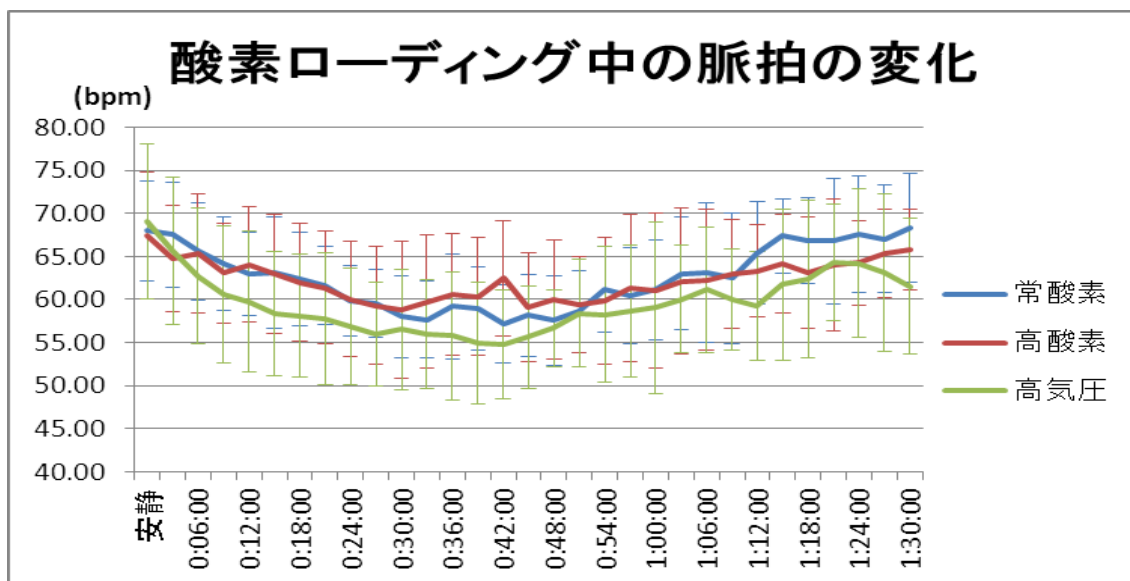


図 58 酸素ローディング中の脈拍の推移 (Mean ± SD)

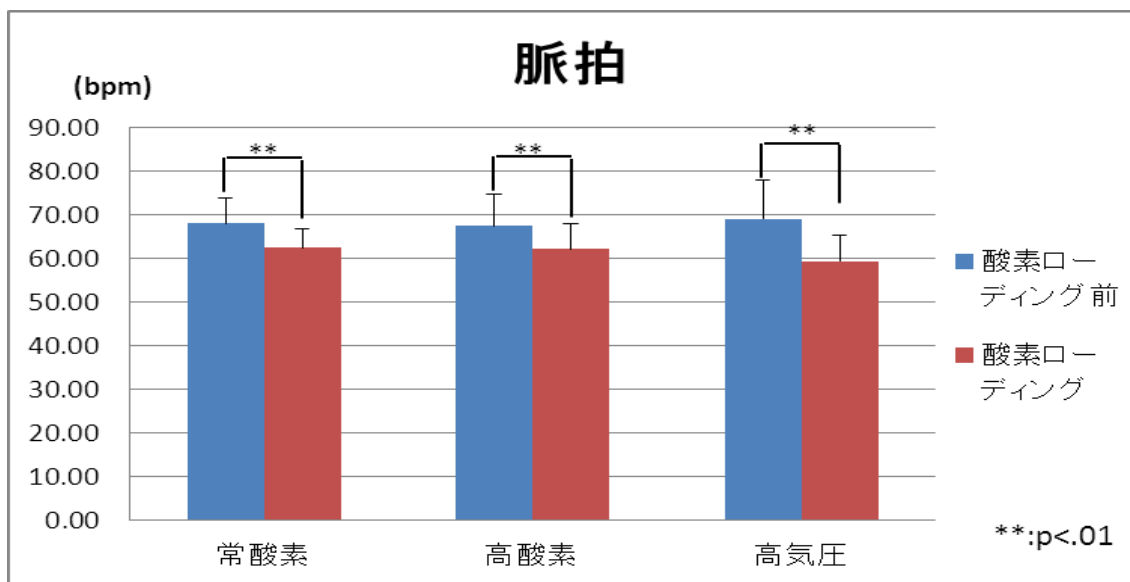


図 59 酸素ローディング前と酸素ローディング中の脈拍の平均値 (Mean ± SD)

### (3) 酸化ストレス度，抗酸化力について

酸素ローディング前後における酸化ストレス度 (d-ROMs 値) と抗酸化力 (BAP 値) 平均値について検討した。また，潜在的抗酸化能の指標である BAP 値を d-ROMs 値で除した値 (BAP/d-ROMs) について検討した。

#### ① 酸化ストレス度 (d-ROMs 値)

酸素ローディング前後での d-ROMs 値について検討した (図 60)。酸素ローディング前後での d-ROMs 値について，常酸素条件では  $246.25 \pm 35.07 \text{ U.CARR}$ ， $243.50 \pm 42.38 \text{ U.CARR}$ ，高酸素条件では  $239.50 \pm 51.84 \text{ U.CARR}$ ， $244.13 \pm 57.63 \text{ U.CARR}$ ，高気圧条件では  $227.25 \pm 15.74 \text{ U.CARR}$ ， $240.88 \pm 32.46 \text{ U.CARR}$  であった。

3 条件すべてにおいて，酸素ローディング前後で d-ROMs 値に有意な変化は認められなかった。また，酸素ローディング前後の d-ROMs 値は 3 条件間に有意な差は認められなかった。酸素ローディング前後における d-ROMs 値は 3 条件とも  $200 \sim 300 \text{ U.CARR}$  の正常な酸化ストレスレベルとされる範囲であった (表 8)。

次に酸素ローディング前の値を 100% とした時の，酸素ローディング後の d-ROMs 値の変化率について検討した (図 61)。常酸素条件では  $98.6 \pm 5.8\%$ ，高酸素条件では  $102.1 \pm 8.2\%$ ，高気圧条件では  $105.8 \pm 10.9\%$  であった。

酸素ローディング前後の d-ROMs 値の変化率について 3 条件間に有意な差は認められなかった。

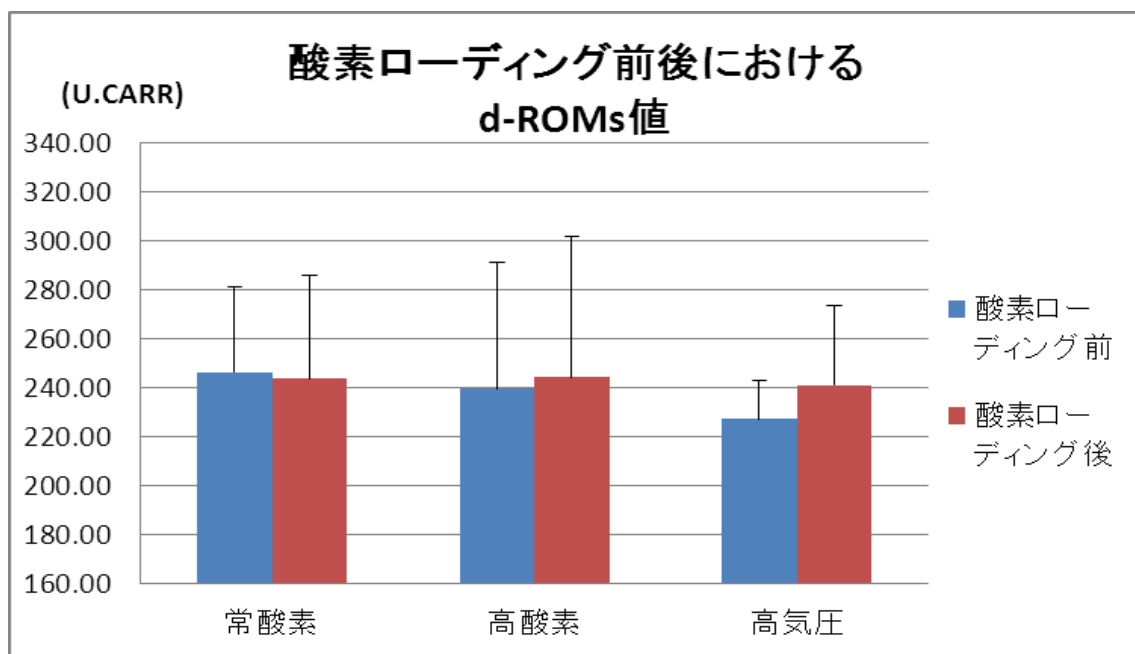


図 6.0 酸素ローディング前後における酸化ストレス度 (Mean ± SD)

表 8 d-ROMs 値の評価基準

かなり強度の酸化ストレス	501U.CARR以上
強度の酸化ストレス	401～500U.CARR
中程度の酸化ストレス	341～400U.CARR
軽度の酸化ストレス	321～340U.CARR
ボーダーライン域	301～320U.CARR
酸化ストレスレベルが正常	200～300U.CARR

(株式会社ウィスマー社資料より筆者が作成)

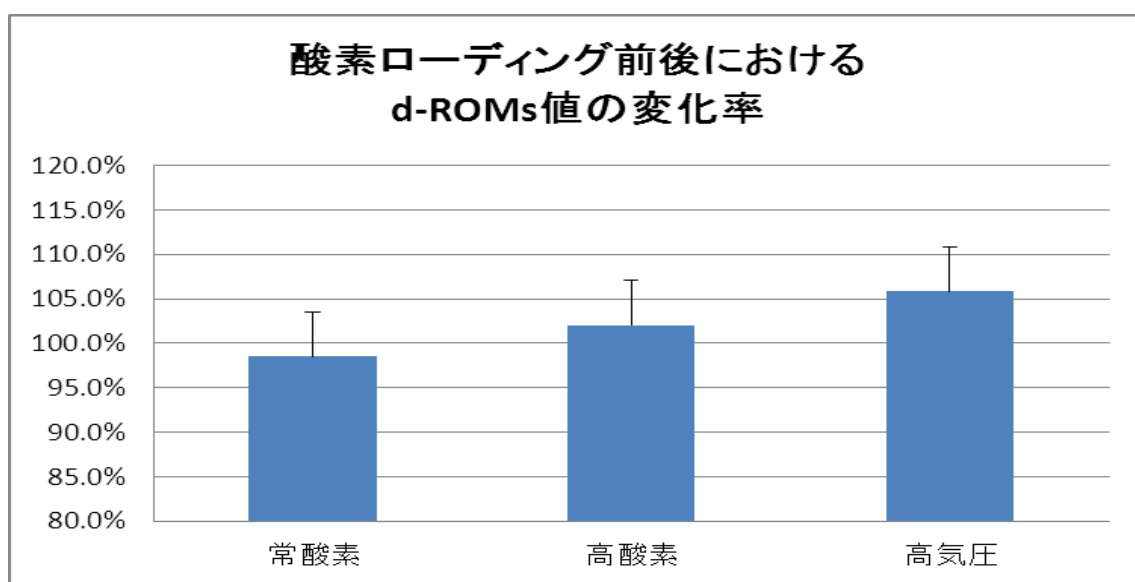


図 61 酸素ローディング前後での酸化ストレス度の変化率 (Mean ± SD)  
(酸素ローディング前の値を 100%とした)

## ② 抗酸化力 (BAP 値)

酸素ローディング前後での BAP 値について検討した (図 62). 酸素ローディング前後での BAP 値について, 常酸素条件では  $1882.23 \pm 80.63 \mu\text{mol/l}$ ,  $1833.00 \pm 150.39 \mu\text{mol/l}$ , 高酸素条件では  $1886.49 \pm 173.67 \mu\text{mol/l}$ ,  $1896.45 \pm 158.16 \mu\text{mol/l}$ , 高気圧条件では  $1931.09 \pm 191.35 \mu\text{mol/l}$ ,  $1917.21 \pm 180.07 \mu\text{mol/l}$  であった. 酸素ローディング前後における BAP 値は 3 条件とも  $1800 \sim 2000 \mu\text{mol/l}$  の抗酸化力がやや不足とされる範囲であった (表 9).

3 条件すべてにおいて, 酸素ローディング前後で BAP 値に有意な変化は認められなかった. また, 酸素ローディング前後の BAP 値は 3 条件間に有意な差は認められなかった.

次に酸素ローディング前の値を 100%とした時の, 酸素ローディング後の BAP 値の変化率について検討した (図 63). 常酸素条件では  $97.3 \pm 5.4\%$ , 高酸素条件では  $101.2 \pm 11.9\%$ , 高気圧条件では  $99.8 \pm 10.0\%$  であった.

酸素ローディング前後の BAP 値の変化率について 3 条件間に有意な差は認められなかった.

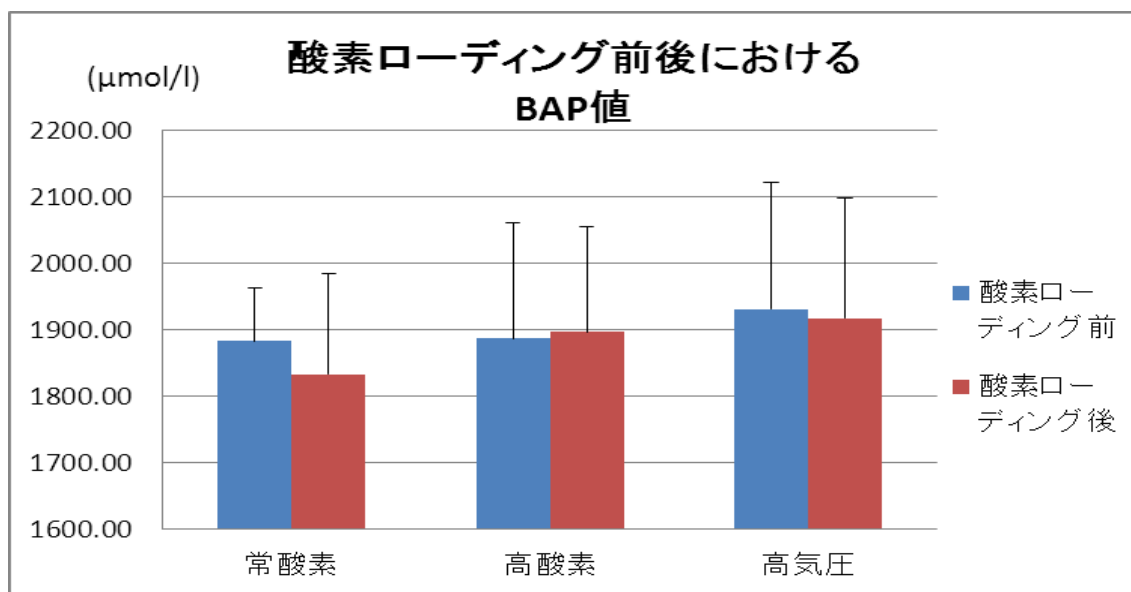


図 62 酸素ローディング前後における抗酸化力 (Mean ± SD)

表 9 BAP 値 の 評 価 基 準

適値	2200μmol/l以上
ボーダーライン	2200～2000μmol/l
抗酸化力がやや不足	2000～1800μmol/l
抗酸化力が不足	1800～1600μmol/l
抗酸化力がかなり不足	1600～1400μmol/l
抗酸化力が大幅に不足	1400μmol/l以下

(株 式 会 社 ウ ィ ス マ ー 社 資 料 よ り 筆 者 が 作 成 )

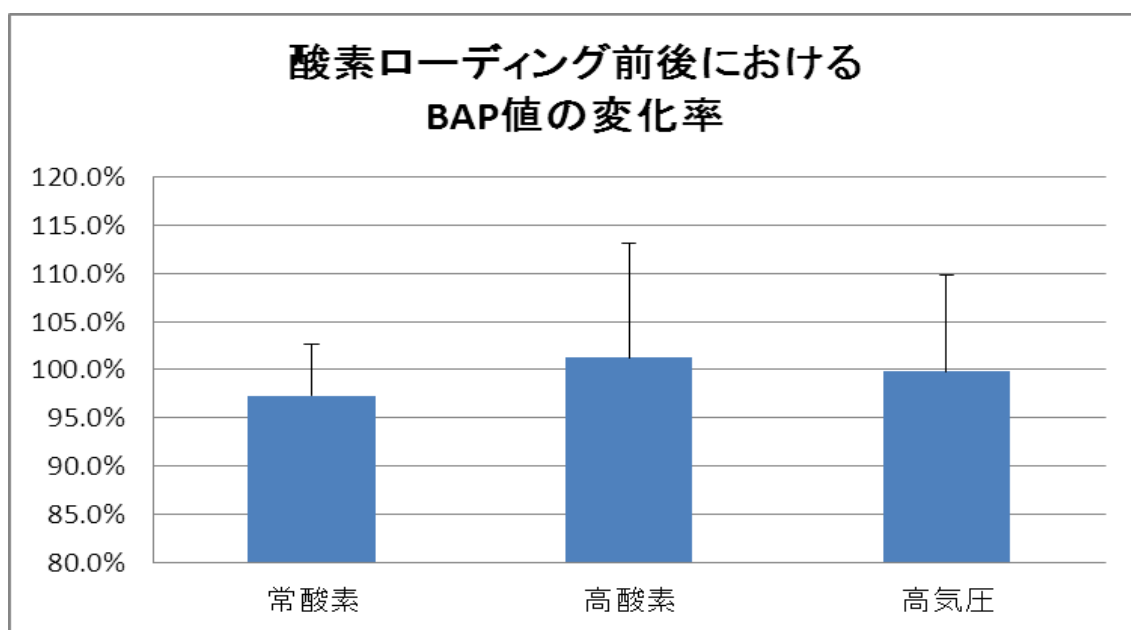


図 63 酸素ローディング前後での抗酸化力の変化率 (Mean ± SD)

(酸素ローディング前の値を 100%とした)

### ③ 潜在的抗酸化能

酸素ローディング前後での BAP 値を d-ROMs 値で除した値で表される潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs) について検討した (図 64). 酸素ローディング前後での BAP 値について, 常酸素条件では  $7.75 \pm 0.94$ ,  $7.70 \pm 1.34$ , 高酸素条件では  $8.12 \pm 1.42$ ,  $8.00 \pm 1.28$ , 高気圧条件では  $8.54 \pm 1.06$ ,  $8.07 \pm 1.21$  であった.

3 条件すべてにおいて，酸素ローディング前後で BAP 値に有意な変化は認められなかった．また，酸素ローディング前後の BAP 値は 3 条件間に有意な差は認められなかった．

次に酸素ローディング前の値を 100%とした時の，酸素ローディング後の BAP/d-ROMs の変化率について検討した(図 65)．常酸素条件では  $99.1 \pm 8.9\%$ ，高酸素条件では  $99.3 \pm 9.7\%$ ，高気圧条件では  $94.8 \pm 10.9\%$ であった．

酸素ローディング前後の BAP 値の変化率について 3 条件間に有意な差は認められなかった．

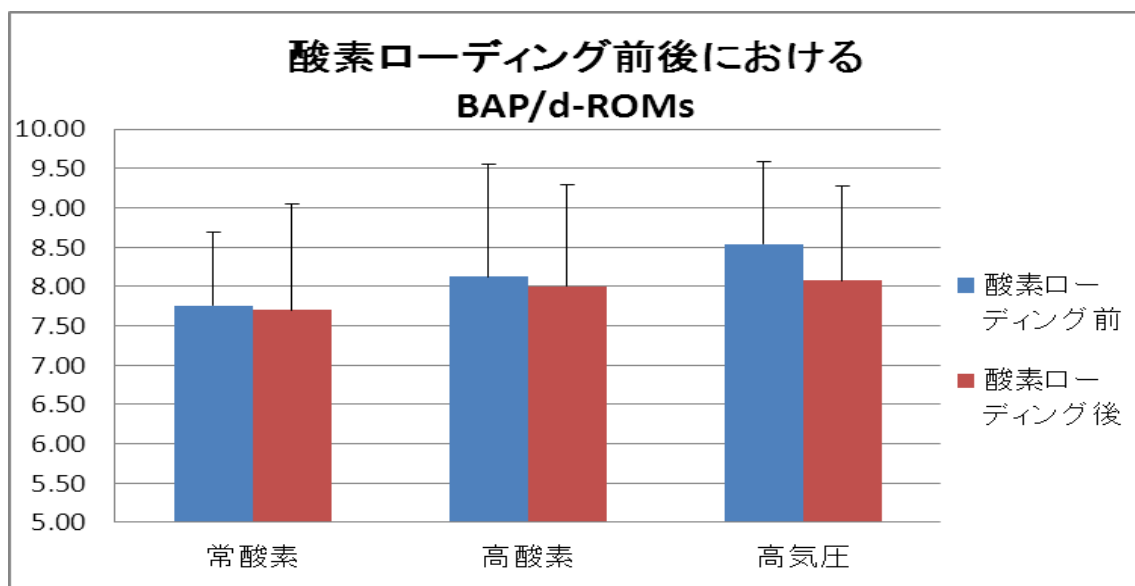


図 64 酸素ローディング前後における潜在的抗酸化能 (Mean ± SD)

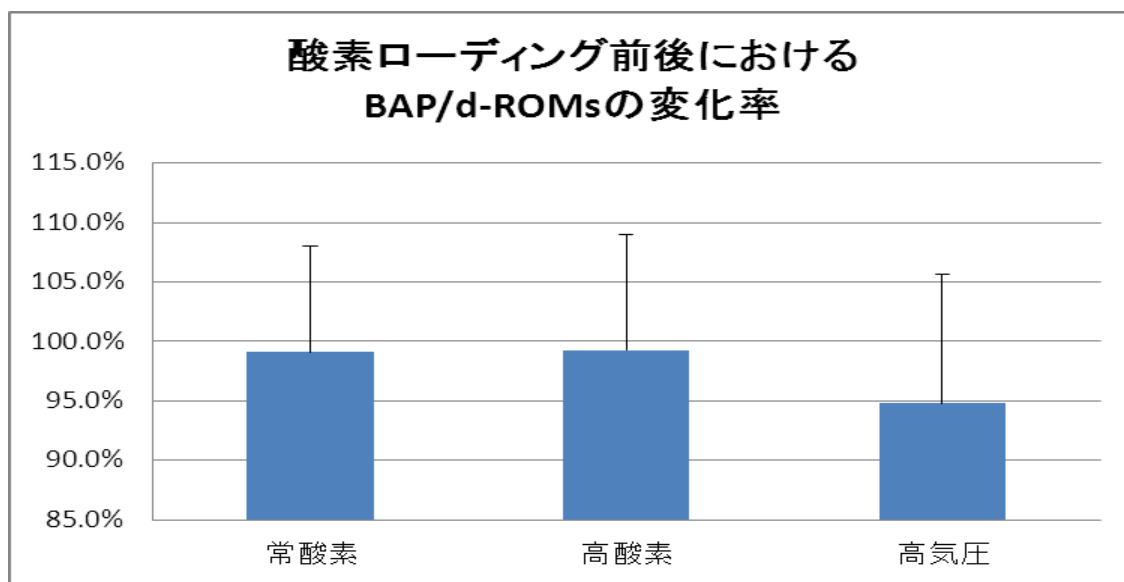


図 65 酸素ローディング前後での潜在的抗酸化能の変化率 (Mean ± SD)  
(酸素ローディング前の値を 100%とした)

### 3) Exercise Test 中の生理的応答

Exercise Test 中の呼気ガス，酸素動態，心拍数につ

いて 1 分毎の推移と平均値について検討した。また、Exercise Test 前後での酸化ストレス、抗酸化力および血中乳酸濃度について検討した。

さらに、最大酸素摂取量とその他の項目の関係性について検討を行った。

#### (1) 運動パフォーマンスに関する項目

Exercise Test における最大酸素摂取量と運動継続時間について 3 条件の平均値について比較した。

##### ① 最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ )

Exercise Test における  $\dot{V}O_{2\max}$  と体重 1kg あたり最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}/W$ ) について検討した (図 66, 図 67)。

$\dot{V}O_{2\max}$  について、常酸素条件では  $3.87 \pm 0.37 \text{ L/min.}$ 、高酸素条件では  $3.89 \pm 0.38 \text{ L/min.}$ 、高気圧条件では  $3.98 \pm 0.39 \text{ L/min.}$  であった。 $\dot{V}O_{2\max}$  は 3 条件間に有意な差は認められなかった。

$\dot{V}O_{2\max}/W$  について、常酸素条件では  $64.41 \pm 2.05 \text{ ml/kg/min.}$ 、高酸素条件では  $64.88 \pm 2.28 \text{ ml/kg/min.}$ 、 $66.69 \pm 3.83 \text{ ml/kg/min.}$  であった。 $\dot{V}O_{2\max}/W$  は 3 条件間に有意な差は認められなかった。

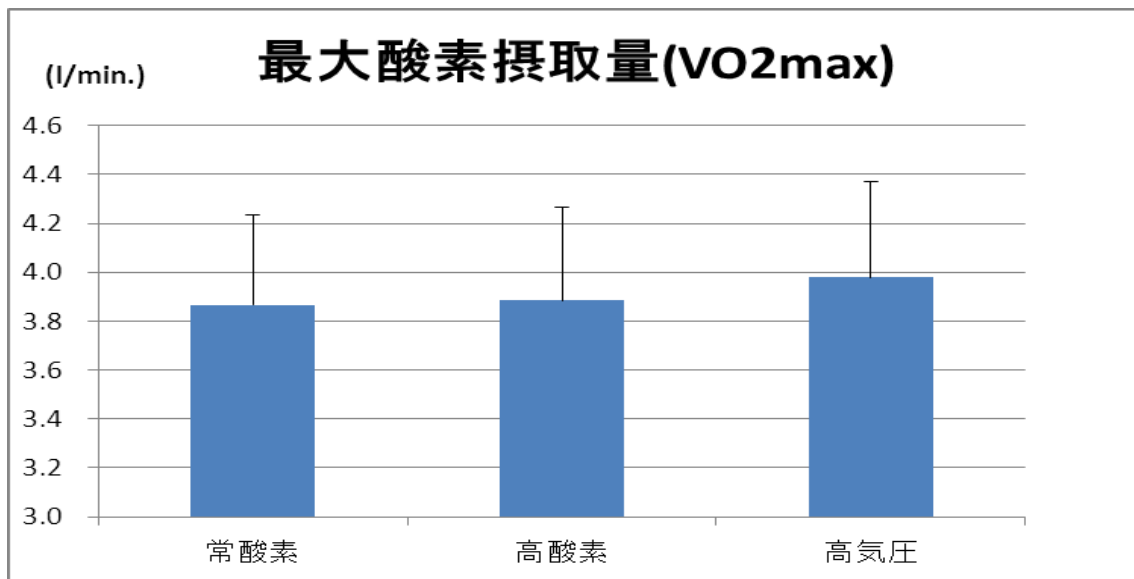


図 66 3 条件における最大酸素摂取量の比較 (Mean ± SD)

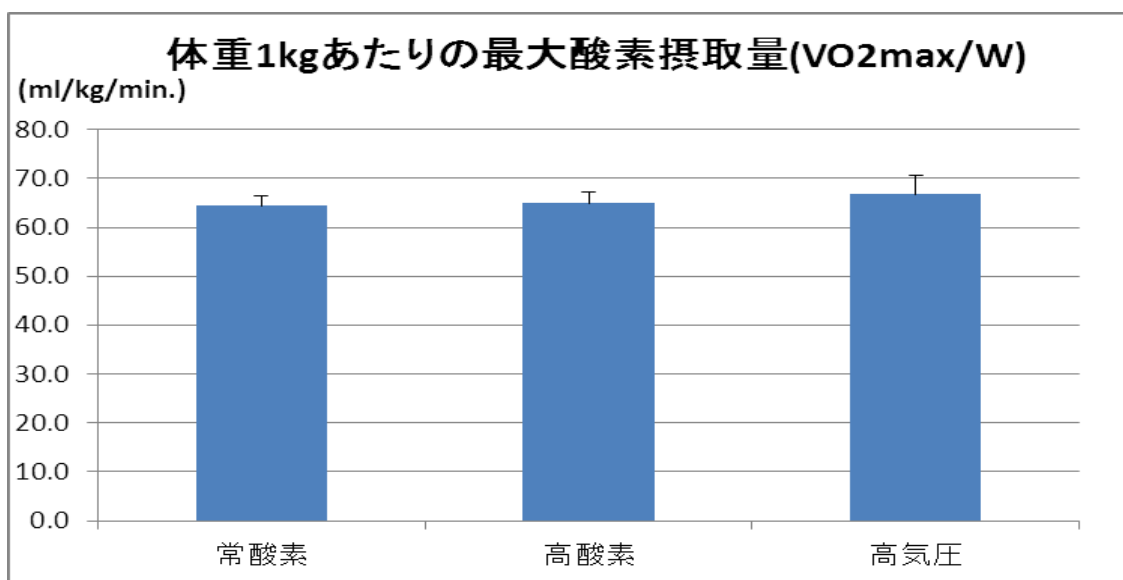


図 67 3 条件における体重 1kg あたりの最大酸素摂取量の比較 (Mean ± SD)

## ② 運動時間

Exercise Test のオールアウトまでの時間について, 3

条件で比較，検討した(図 68)。

運動時間について常酸素条件では 11 分 27 秒 ± 1 分 00 秒，高酸素条件では 11 分 34 秒 ± 1 分 09 秒，11 分 40 秒 ± 1 分 02 秒であった。

運動時間について 3 条件間に有意な差は認められなかった。

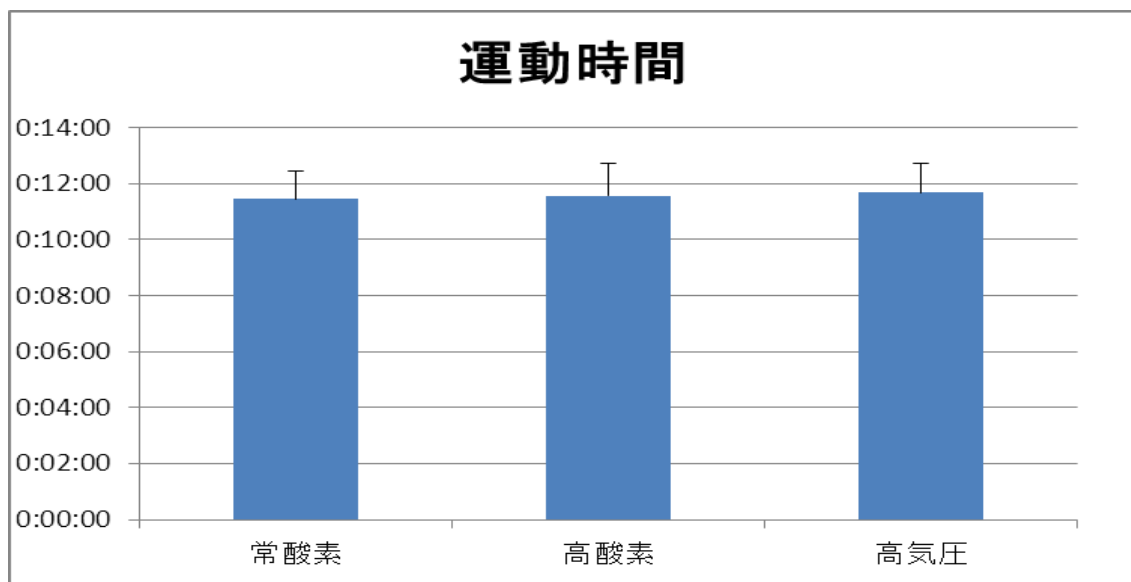


図 68 3 条件における運動時間の比較 (Mean ± SD)

## (2) ガス分析に関する項目

Exercise Test 中の呼気ガスについて，酸素摂取量 ( $\dot{V}$

$\text{O}_2$ ), 二酸化炭素排出量( $\dot{V}\text{CO}_2$ ), 換気量( $\dot{V}\text{E}$ )および呼吸交換比( $\text{RQ}$ )について1分毎の推移と運動中の平均値について検討した。 $\dot{V}\text{CO}_2$ ,  $\dot{V}\text{E}$ および $\text{RQ}$ はそれぞれ, 最大二酸化炭素排出量( $\dot{V}\text{CO}_{2\text{max}}$ ), 最大換気量( $\dot{V}\text{E}_{\text{max}}$ )および最大呼吸交換比( $\text{RQ}_{\text{max}}$ )についても検討した。

#### ① 酸素摂取量( $\dot{V}\text{O}_2$ )

Exercise Test 中の  $\dot{V}\text{O}_2$  について, 1分毎の推移と運動中の平均値について検討した(図 69, 図 70)。

運動中の  $\dot{V}\text{O}_2$  の平均値について, 常酸素条件では  $3.03 \pm 0.29 \text{ L/min.}$ , 高酸素条件では  $3.05 \pm 0.25 \text{ L/min.}$ , 高気圧条件では  $3.00 \pm 0.32 \text{ L/min.}$ であった。

Exercise Test 中の  $\dot{V}\text{O}_2$  について, 3条件で有意な差は認められなかった。

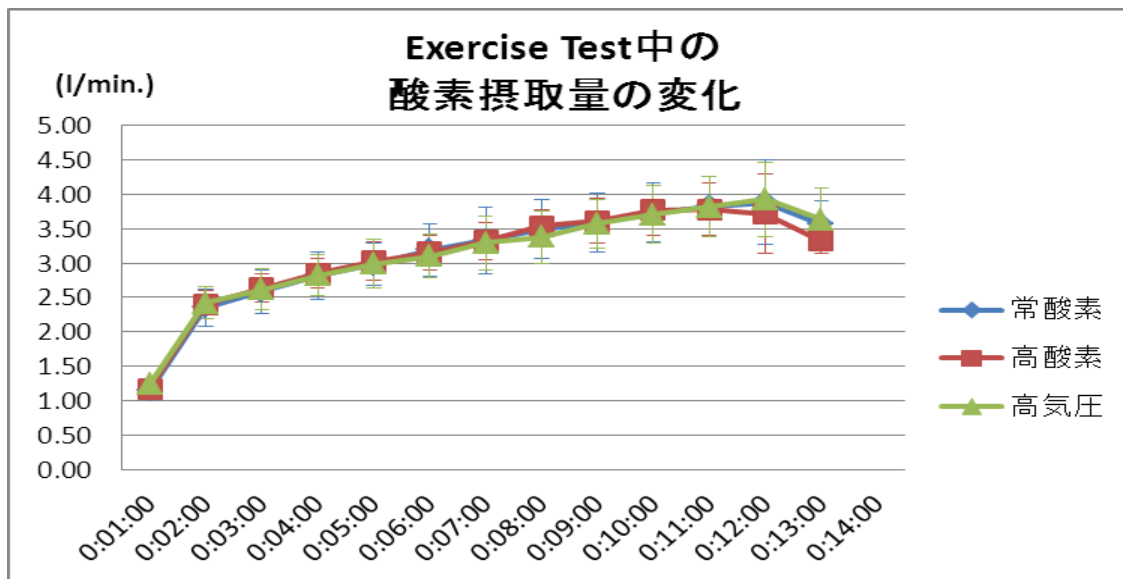


図 69 Exercise Test 中の酸素摂取量の 1 分毎の推移 (Mean ± SD)

(10 分までは n=8, 11 分までは n=5, 12 分までは n=3, 13 分までは n=2 であった)

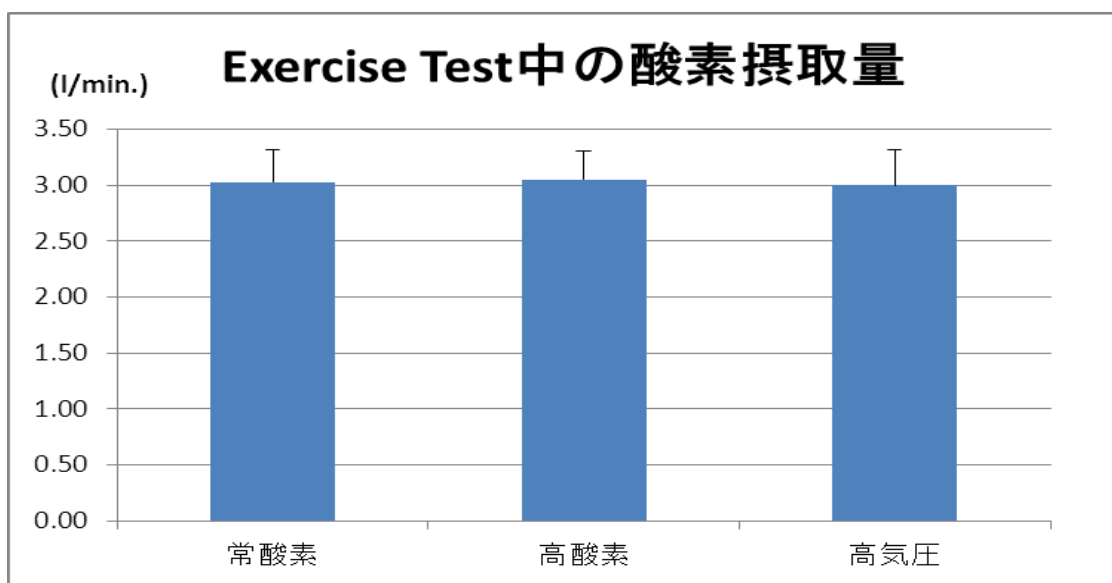


図 70 Exercise Test 中の酸素摂取量 (Mean ± SD)

## ② 二酸化炭素排出量 ( $\dot{V}CO_2$ )

Exercise Test 中の  $\dot{V}CO_2$  について, 1 分毎の推移 (図

71), 最大二酸化炭素排出量 ( $\dot{V}CO_2max$ ) および運動中の平均値について検討した.

$\dot{V}CO_2max$  について, 常酸素条件では  $4.32 \pm 0.37 L/min.$ , 高酸素条件では  $4.43 \pm 0.33 L/min.$ , 高気圧条件では  $4.38 \pm 0.29 L/min.$  であった (図 72).  $\dot{V}CO_2max$  に 3 条件間で有意な差は認められなかった.

また, 運動中の  $\dot{V}CO_2$  の平均値について, 常酸素条件では  $3.17 \pm 0.29 L/min.$ , 高酸素条件では  $3.18 \pm 0.21 L/min.$ , 高気圧条件では  $3.18 \pm 0.21 L/min.$  であった.

Exercise Test 中の  $\dot{V}CO_2$  について, 3 条件で有意な差は認められなかった.

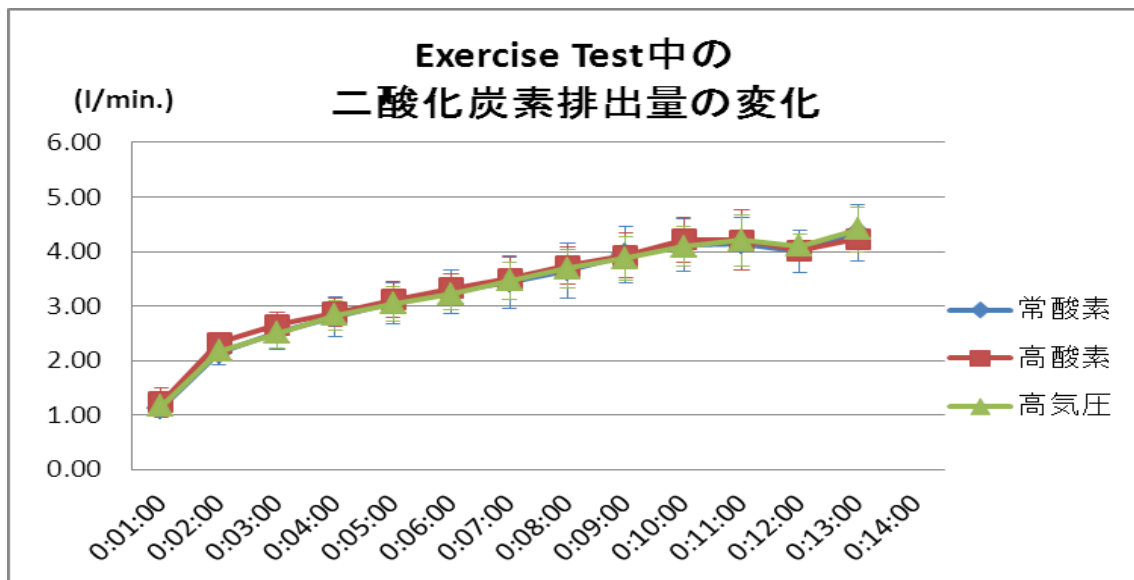


図 71 Exercise Test 中の二酸化炭素排出量の 1 分毎の推移 (Mean  $\pm$  SD)  
 (10 分までは  $n=8$ , 11 分までは  $n=5$ , 12 分までは  $n=3$ , 13 分までは  $n=2$  であった)

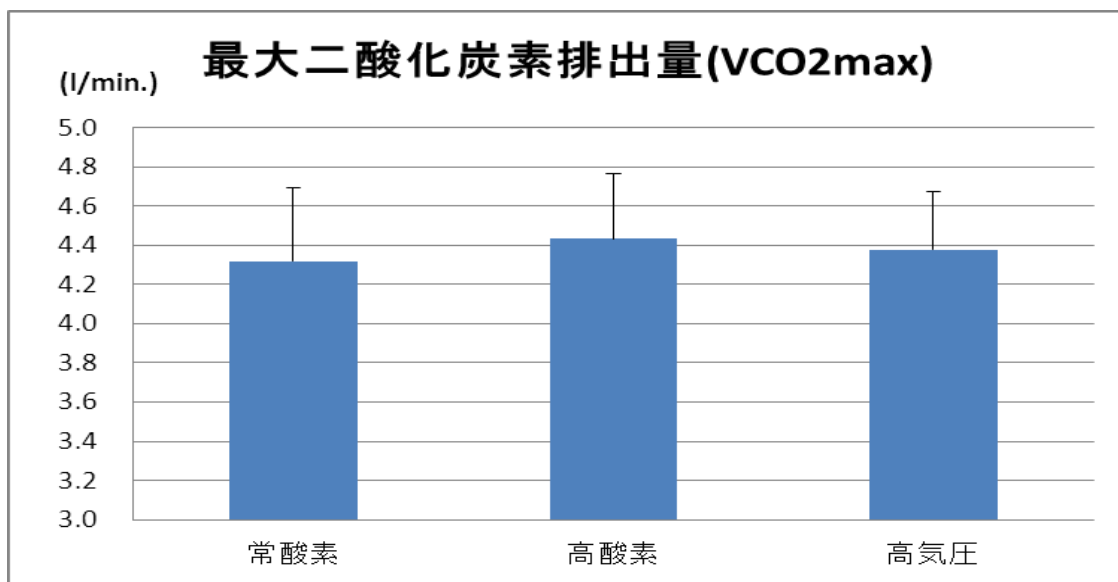


図 72 3 条件における最大二酸化炭素排出量の比較 (Mean  $\pm$  SD)

### ③ 換気量 ( $\dot{V}E$ )

Exercise Test 中の  $\dot{V}E$  について, 1 分毎の推移 (図 73),

最大換気量 ( $\dot{V}E_{max}$ ) および運動中の平均値について検討した。

$\dot{V}E_{max}$  について，常酸素条件では  $157.52 \pm 17.98$  L/min.，高酸素条件では  $159.70 \pm 21.53$  L/min.，高気圧条件では  $160.54 \pm 18.79$  L/min.であった(図 74)。 $\dot{V}E_{max}$  について 3 条件間に有意な差は認められなかった。

また，運動中の  $\dot{V}E$  の平均値について，常酸素条件では  $95.47 \pm 8.70$  L/min.，高酸素条件では  $96.90 \pm 7.62$  L/min.，高気圧条件では  $95.47 \pm 7.82$  L/min.であった。Exercise Test 中の  $\dot{V}E$  について，3 条件で有意な差は認められなかった。

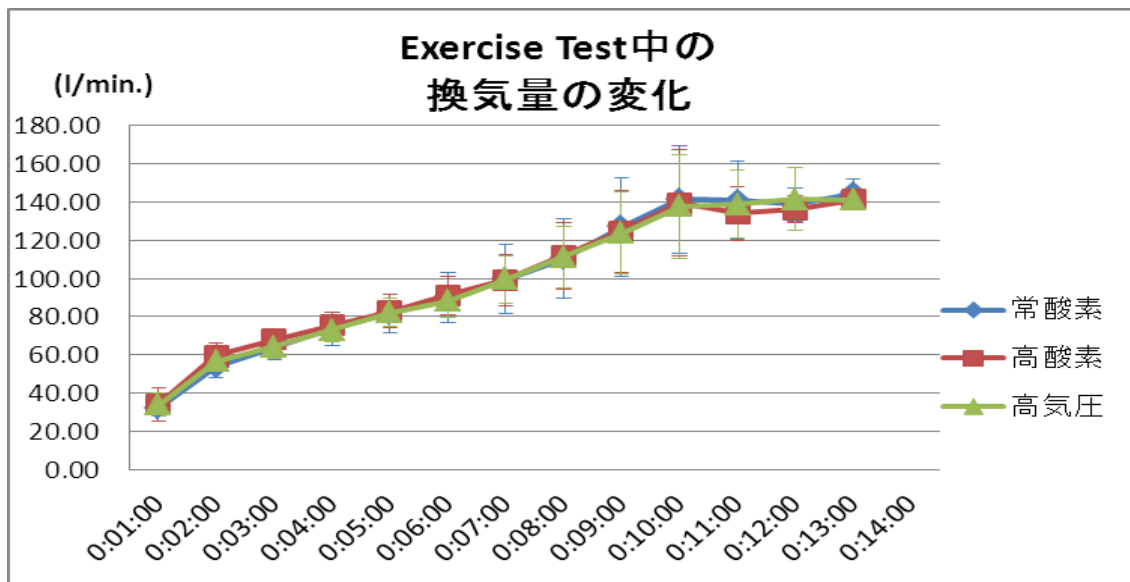


図 73 Exercise Test 中の換気量の 1 分毎の推移 (Mean  $\pm$  SD)

(10 分までは  $n=8$ , 11 分までは  $n=5$ , 12 分までは  $n=3$ , 13 分までは  $n=2$  であった)

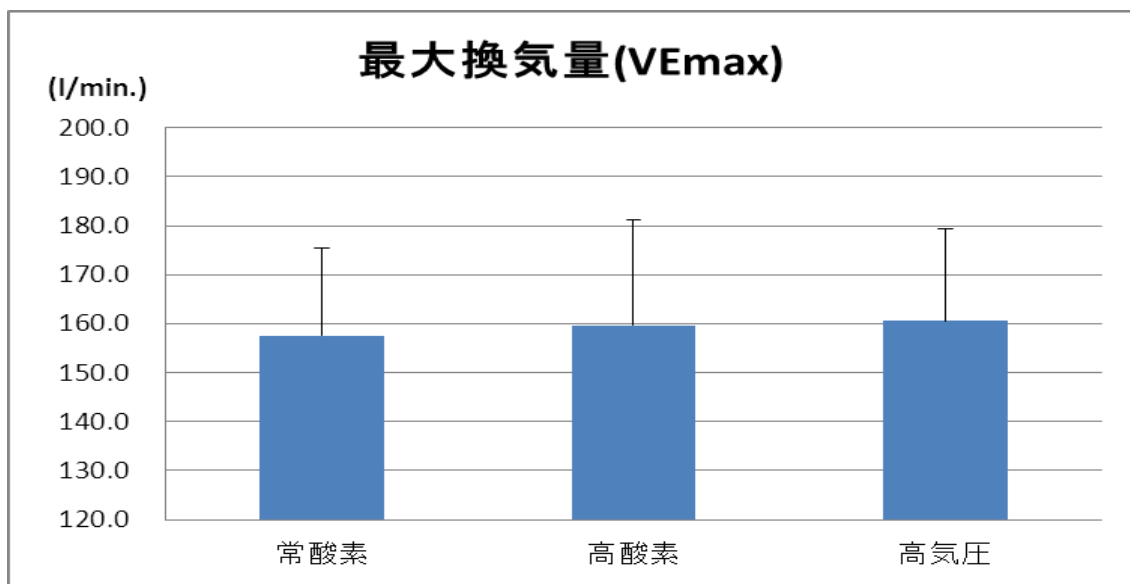


図 74 3 条件における最大換気量の比較 (Mean  $\pm$  SD)

#### ④ 呼吸交換比 (RQ)

Exercise Test 中の RQ について, 1 分毎の推移 (図 75),

最大呼吸交換比 ( $RQ_{max}$ ) および運動中の平均値について検討した。

$RQ_{max}$  について，常酸素条件では  $1.13 \pm 0.04$ ，高酸素条件では  $1.17 \pm 0.05$ ，高気圧条件では  $1.18 \pm 0.15$  であった (図 76)。 $RQ_{max}$  について，3 条件間に有意な差は認められなかった。

また，運動中の  $RQ$  の平均値について，常酸素条件では  $1.04 \pm 0.03$ ，高酸素条件では  $1.07 \pm 0.04$ ，高気圧条件では  $1.06 \pm 0.08$  であった。Exercise Test 中の  $RQ$  について，3 条件で有意な差は認められなかった。

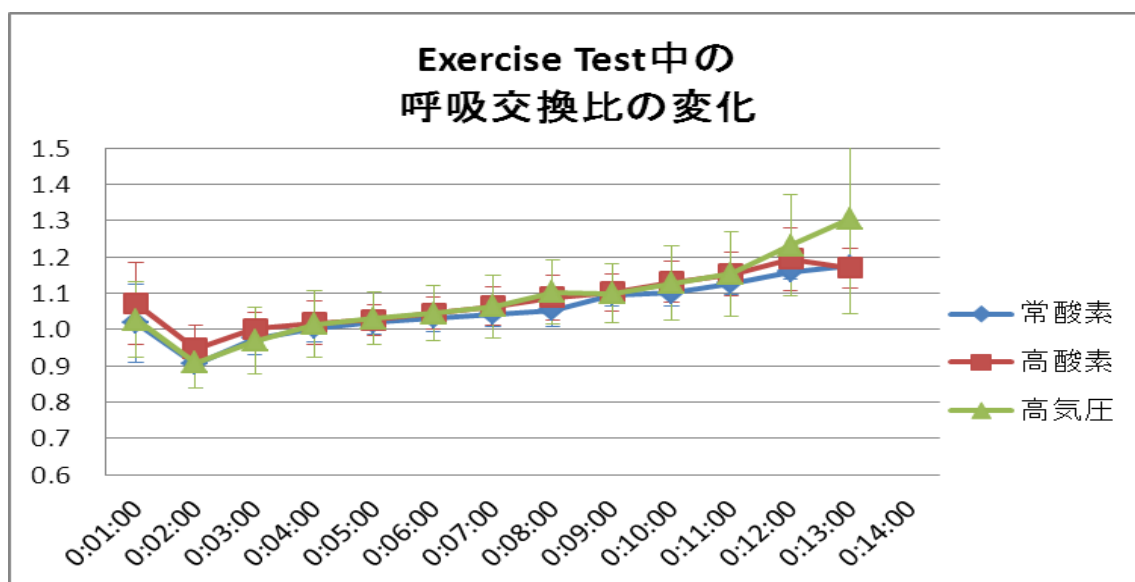


図 75 Exercise Test 中の呼吸交換比の 1 分毎の推移 (Mean  $\pm$  SD)  
 (10 分までは  $n=8$ , 11 分までは  $n=5$ , 12 分までは  $n=3$ , 13 分までは  $n=2$  であった)

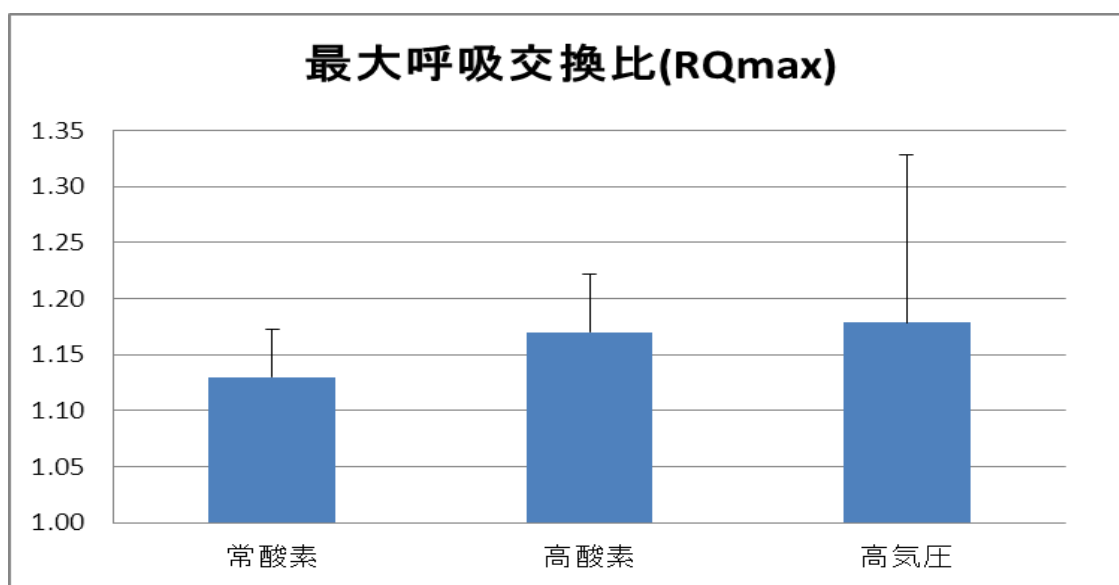


図 76 3 条件における最大呼吸交換比の比較 (Mean  $\pm$  SD)

### (3) 酸素動態に関する項目

Exercise Test 中の動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ ), 頭部お

よび大腿部の酸素化ヘモグロビン，脱酸素化ヘモグロビン，総ヘモグロビンの1分毎の推移と運動中の平均値について検討した．

① 動脈血酸素飽和度 ( $\text{SpO}_2$ )

Exercise Test 中の  $\text{SpO}_2$  について，1分毎の推移と運動中の平均値について検討した(図 77，図 78)．

運動中の  $\text{SpO}_2$  の平均値について，常酸素条件では  $93.45 \pm 2.16\%$ ，高酸素条件では  $93.50 \pm 2.12\%$ ，高気圧条件では  $92.26 \pm 1.95\%$ であった．

Exercise Test 中の  $\text{SpO}_2$  について，3条件で有意な差は認められなかった．

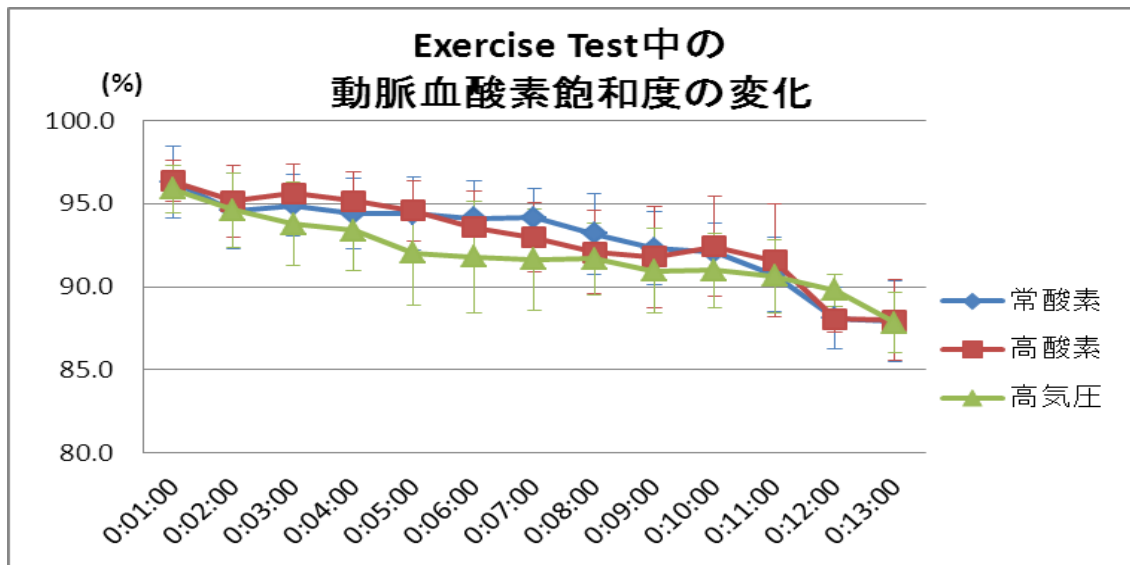


図 77 Exercise Test 中の動脈血酸素飽和度の 1 分毎の推移 (Mean  $\pm$  SD)  
 (10 分までは  $n=8$ , 11 分までは  $n=5$ , 12 分までは  $n=3$ , 13 分までは  $n=2$  であった)

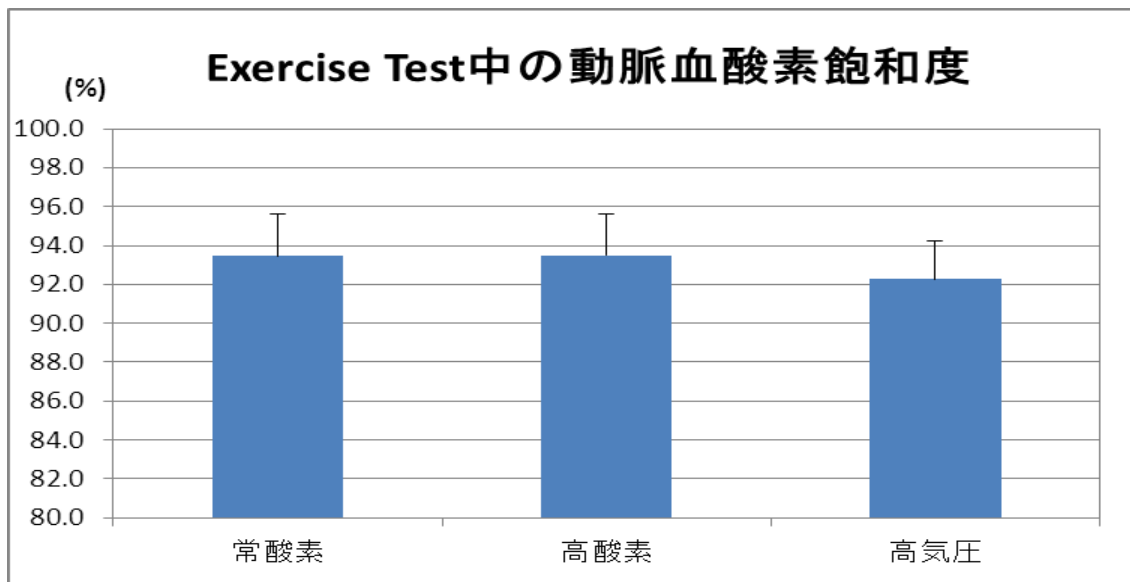


図 78 Exercise Test 中の動脈血酸素飽和度 (Mean  $\pm$  SD)

## ② 頭部酸素化ヘモグロビン

Exercise Test 中の頭部酸素化ヘモグロビンについて、

1 分毎の推移と運動中の平均値について検討した(図 79, 図 80).

運動中の頭部酸素化ヘモグロビンの平均値について, 常酸素条件では  $-0.09 \pm 0.06 \text{ a.u.}$ , 高酸素条件では  $-0.08 \pm 0.05 \text{ a.u.}$ , 高気圧条件では  $-0.04 \pm 0.08 \text{ a.u.}$ であった.

Exercise Test 中の頭部酸素化ヘモグロビンについて, 3 条件で有意な差は認められなかった.

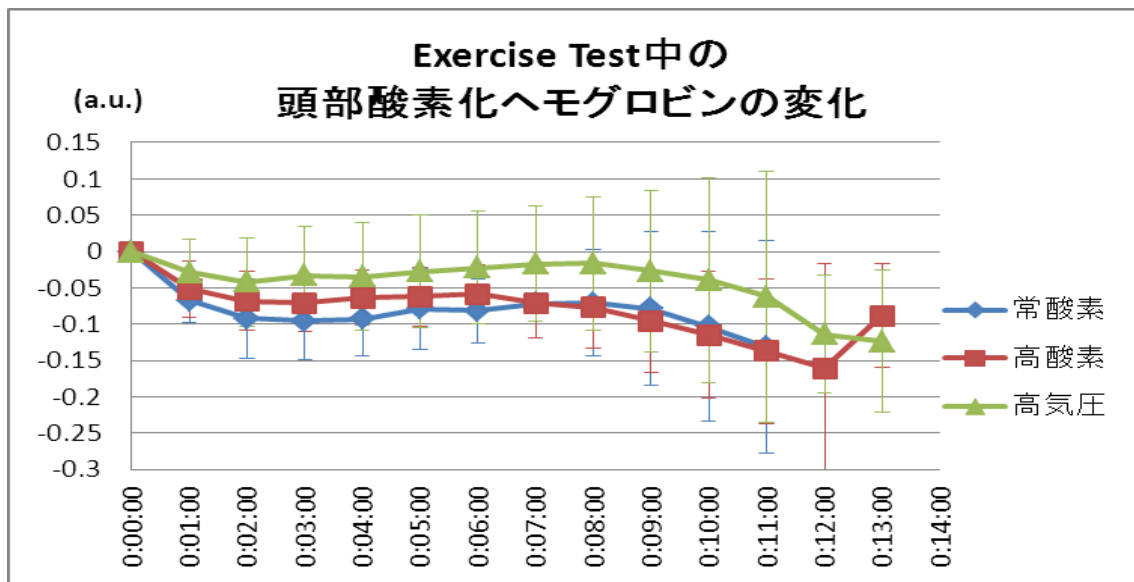


図 79 Exercise Test 中の頭部酸素化ヘモグロビンの 1 分毎の推移 (Mean ± SD)

(10 分までは n=8, 11 分までは n=5, 12 分までは n=3, 13 分までは n=2 であった)

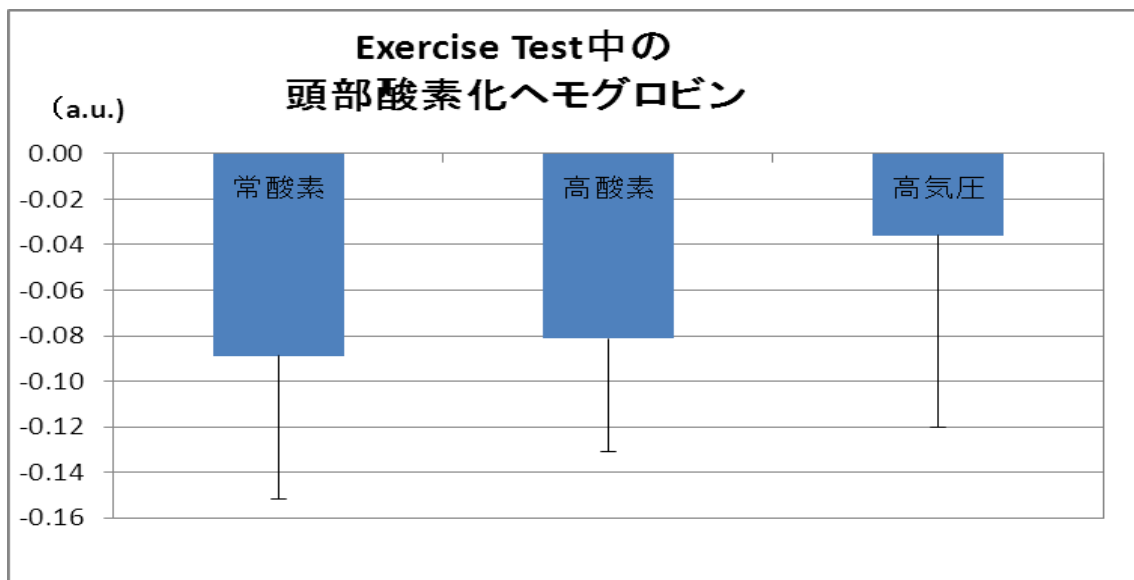


図 80 Exercise Test 中の頭部酸素化ヘモグロビン (Mean ± SD)

③ 頭部脱酸素化ヘモグロビン

Exercise Test 中の頭部脱酸素化ヘモグロビンについて、1分毎の推移と運動中の平均値について検討した(図 81, 図 82)。

運動中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの平均値について、常酸素条件では  $0.09 \pm 0.04 \text{ a.u.}$ 、高酸素条件では  $0.09 \pm 0.03 \text{ a.u.}$ 、高気圧条件では  $0.09 \pm 0.05 \text{ a.u.}$ であった。

Exercise Test 中の頭部脱酸素化ヘモグロビンについて、3条件で有意な差は認められなかった。

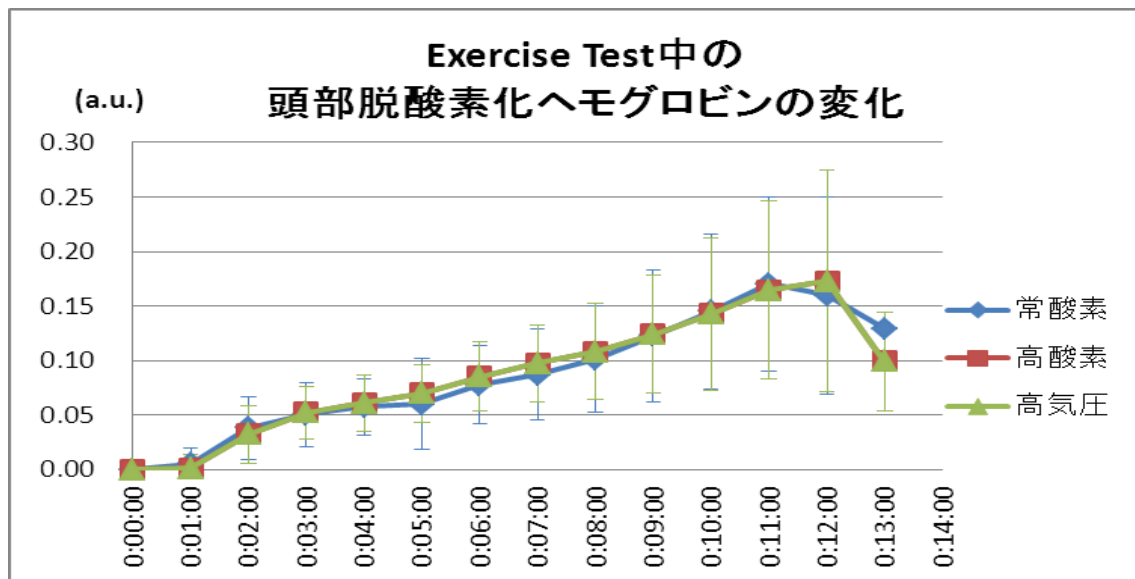


図 81 Exercise Test 中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの 1 分毎の推移 (Mean  $\pm$  SD)

(10 分までは  $n=8$ , 11 分までは  $n=5$ , 12 分までは  $n=3$ , 13 分までは  $n=2$  であった)

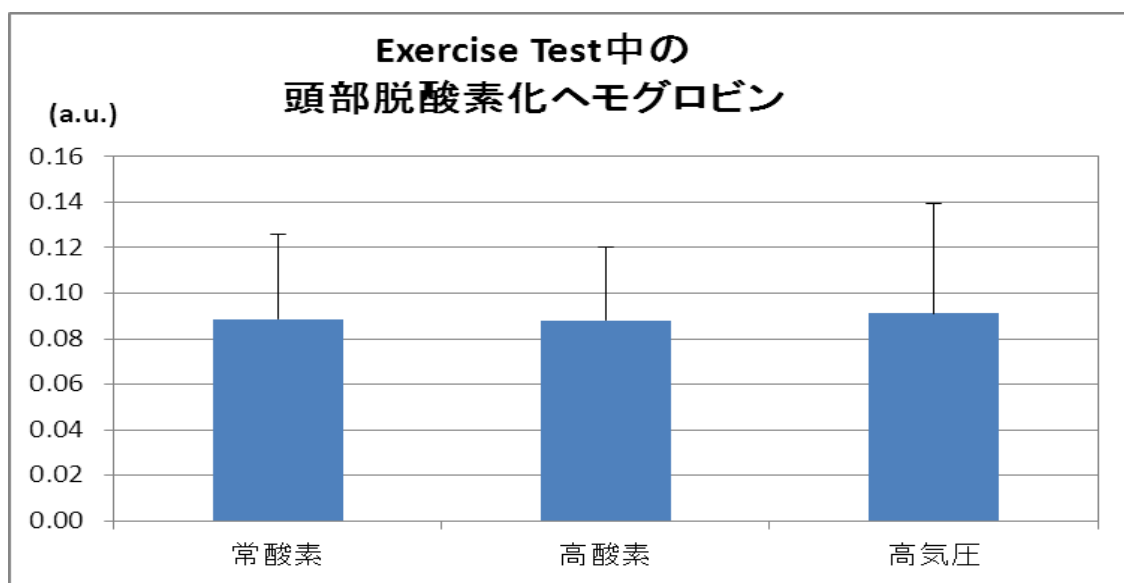


図 82 Exercise Test 中の頭部脱酸素化ヘモグロビン (Mean  $\pm$  SD)

#### ④ 頭部総ヘモグロビン

Exercise Test 中の頭部総ヘモグロビンについて，1 分毎の推移と運動中の平均値について検討した(図 83，図 84)．

運動中の頭部総ヘモグロビンの平均値について，常酸素条件では  $0.00 \pm 0.04 \text{ a.u.}$ ，高酸素条件では  $0.01 \pm 0.04 \text{ a.u.}$ ，高気圧条件では  $0.02 \pm 0.06 \text{ a.u.}$ であった．

Exercise Test 中の頭部総ヘモグロビンについて，3 条件で有意な差は認められなかった．

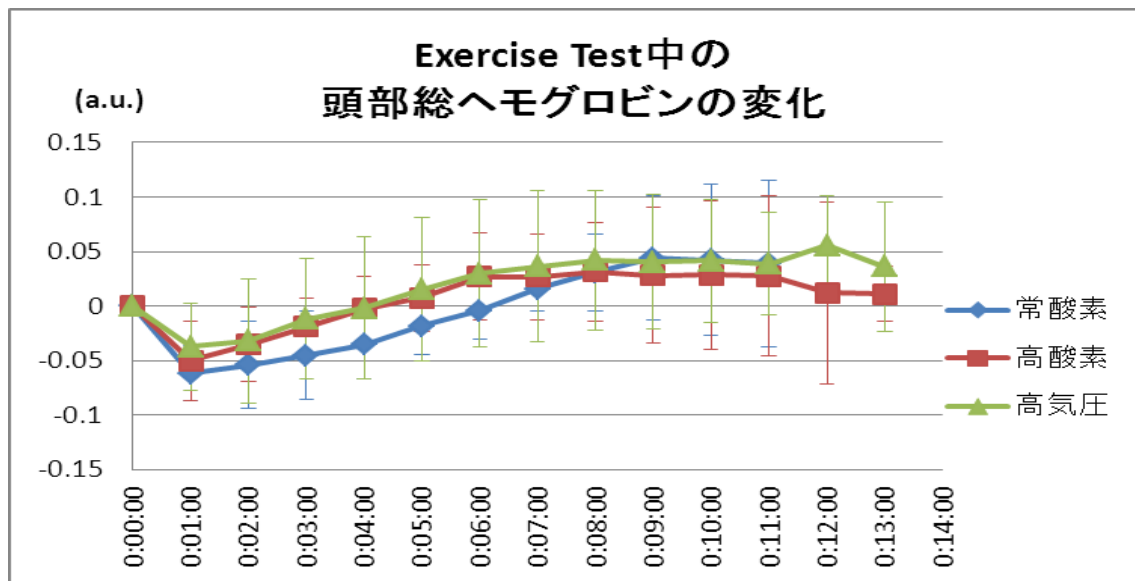


図 83 Exercise Test 中の頭部総ヘモグロビンの 1 分毎の推移 (Mean ± SD)

(10 分までは n=8, 11 分までは n=5, 12 分までは n=3, 13 分までは n=2 であった)

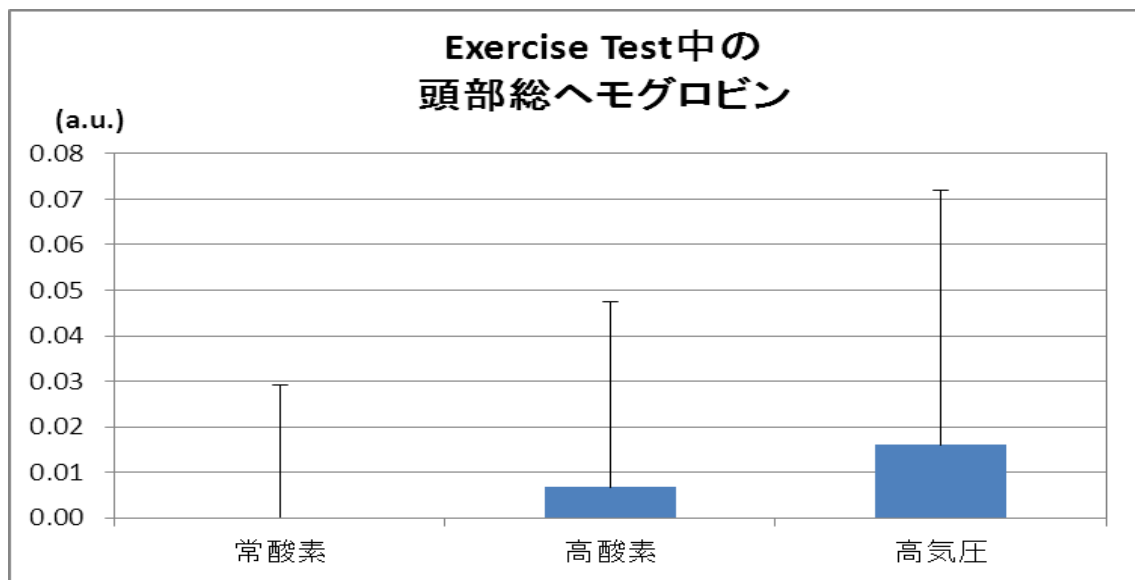


図 84 Exercise Test 中の頭部総ヘモグロビン (Mean ± SD)

##### ⑤ 大腿部酸素化ヘモグロビン

Exercise Test 中の大腿部酸素化ヘモグロビンについて、1分毎の推移と運動中の平均値について検討した(図 85, 図 86)。

運動中の大腿部酸素化ヘモグロビンの平均値について、常酸素条件では  $-0.16 \pm 0.06 \text{ a.u.}$ 、高酸素条件では  $-0.18 \pm 0.05 \text{ a.u.}$ 、高気圧条件では  $-0.18 \pm 0.04 \text{ a.u.}$ であった。

Exercise Test 中の大腿部酸素化ヘモグロビンについて、3条件で有意な差は認められなかった。

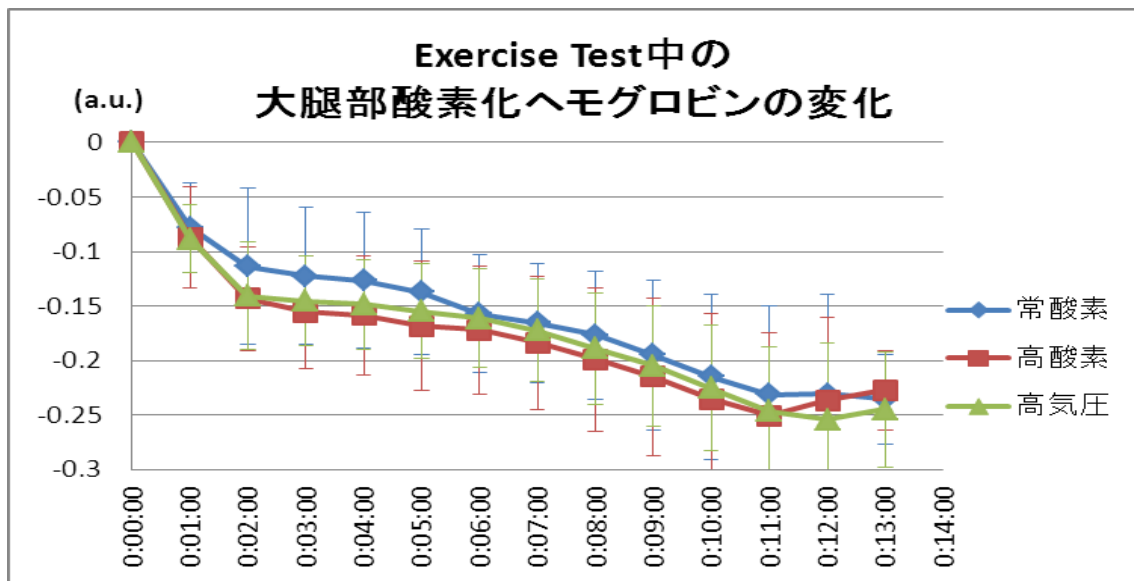


図 85 Exercise Test 中の大腿部酸素化ヘモグロビンの 1 分毎の推移 (Mean  $\pm$  SD)

(10 分までは  $n=8$ , 11 分までは  $n=5$ , 12 分までは  $n=3$ , 13 分までは  $n=2$  であった)

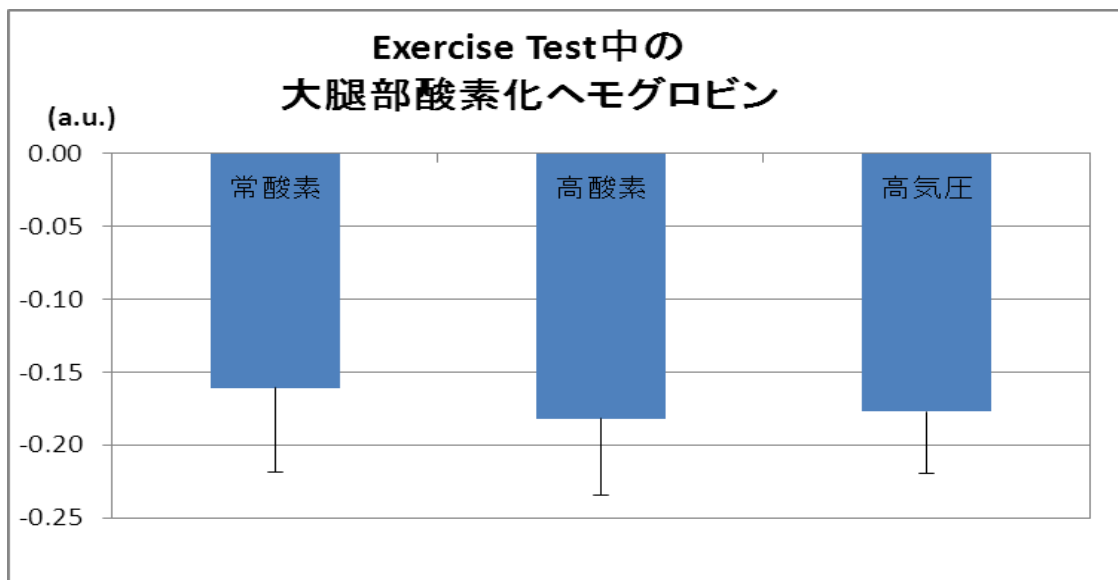


図 86 Exercise Test 中の大腿部酸素化ヘモグロビン (Mean  $\pm$  SD)

⑥ 大腿部脱酸素化ヘモグロビン

Exercise Test 中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンについて，1 分毎の推移と運動中の平均値について検討した (図 87，図 88)．

運動中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンの平均値について，常酸素条件では  $0.08 \pm 0.07 \text{ a.u.}$ ，高酸素条件では  $0.10 \pm 0.07 \text{ a.u.}$ ，高気圧条件では  $0.09 \pm 0.05 \text{ a.u.}$ であった．

Exercise Test 中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンについて，3 条件で有意な差は認められなかった．

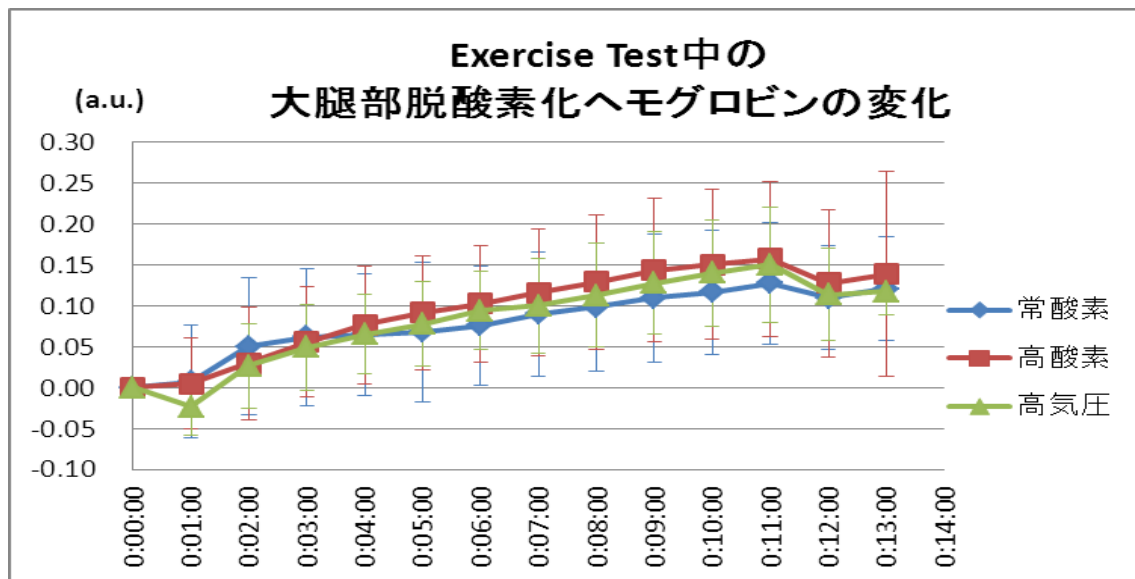


図 87 Exercise Test 中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンの 1 分毎の推移 (Mean  $\pm$  SD)  
 (10 分までは  $n=8$ , 11 分までは  $n=5$ , 12 分までは  $n=3$ , 13 分までは  $n=2$  であった)

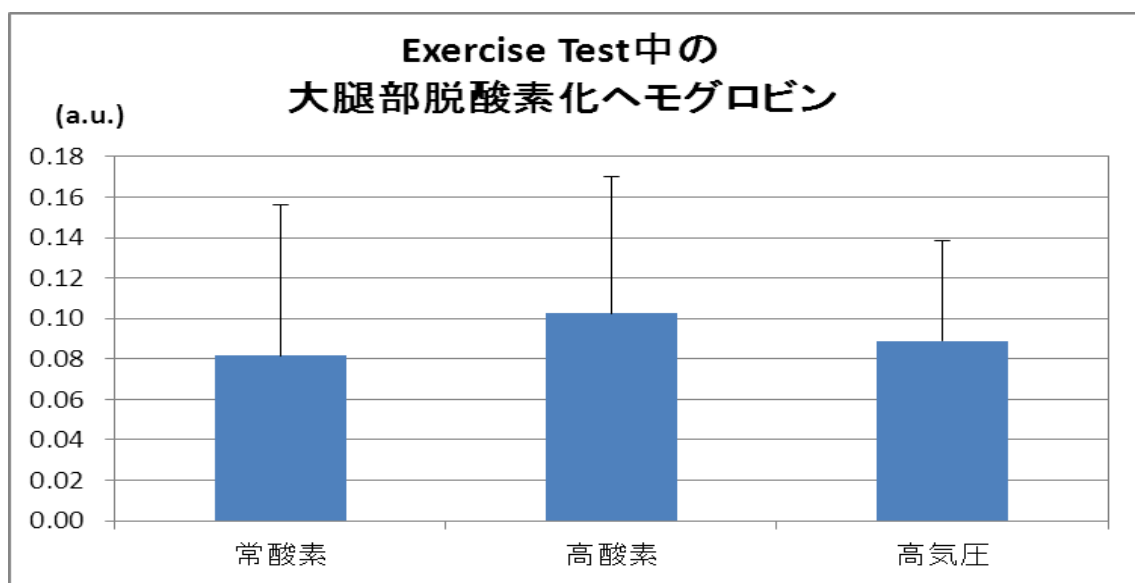


図 88 Exercise Test 中の大腿部脱酸素化ヘモグロビン (Mean  $\pm$  SD)

⑦ 大腿部総ヘモグロビン

Exercise Test 中の大腿部総ヘモグロビンについて，1 分毎の推移と運動中の平均値について検討した（図 89，図 90）．

運動中の大腿部総ヘモグロビンの平均値について，常酸素条件では  $-0.08 \pm 0.05 \text{ a.u.}$ ，高酸素条件では  $-0.08 \pm 0.08 \text{ a.u.}$ ，高気圧条件では  $-0.09 \pm 0.04 \text{ a.u.}$ であった．

Exercise Test 中の大腿部総ヘモグロビンについて，3 条件で有意な差は認められなかった．

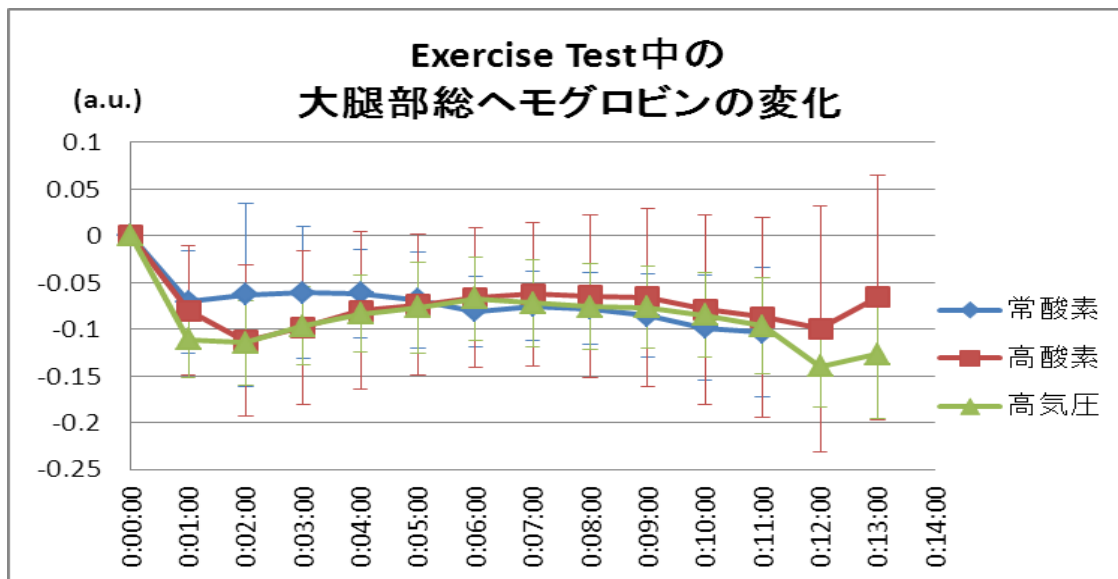


図 89 Exercise Test 中の大腿部総ヘモグロビンの 1 分毎の推移 (Mean  $\pm$  SD)

(10 分までは  $n=8$ , 11 分までは  $n=5$ , 12 分までは  $n=3$ , 13 分までは  $n=2$  であった)

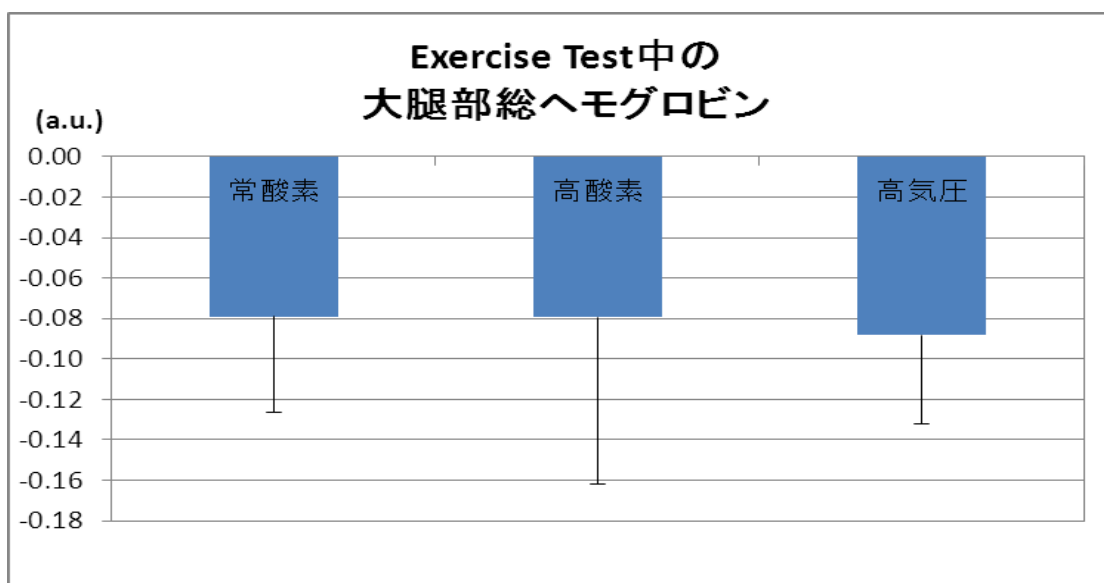


図 90 Exercise Test 中の大腿部総ヘモグロビン (Mean  $\pm$  SD)

(4) 心拍数

Exercise Test 中の心拍数について，1 分毎の推移 (図 91)，最大心拍数 (HRmax) および運動中の平均値について検討した．

HRmax について，常酸素条件では  $195.41 \pm 9.71 \text{ bpm}$ ，高酸素条件では  $195.54 \pm 8.98 \text{ bpm}$ ，高気圧条件では  $196.49 \pm 9.19 \text{ bpm}$  であった (図 92)．HRmax は 3 条件間に有意な差は認められなかった．

運動中の心拍数の平均値について，常酸素条件では  $173.34 \pm 7.55 \text{ bpm}$ ，高酸素条件では  $172.16 \pm 7.25 \text{ bpm}$ ，高気圧条件では  $172.79 \pm 7.05 \text{ bpm}$  であった．

Exercise Test 中の心拍数について，3 条件で有意な差は認められなかった．

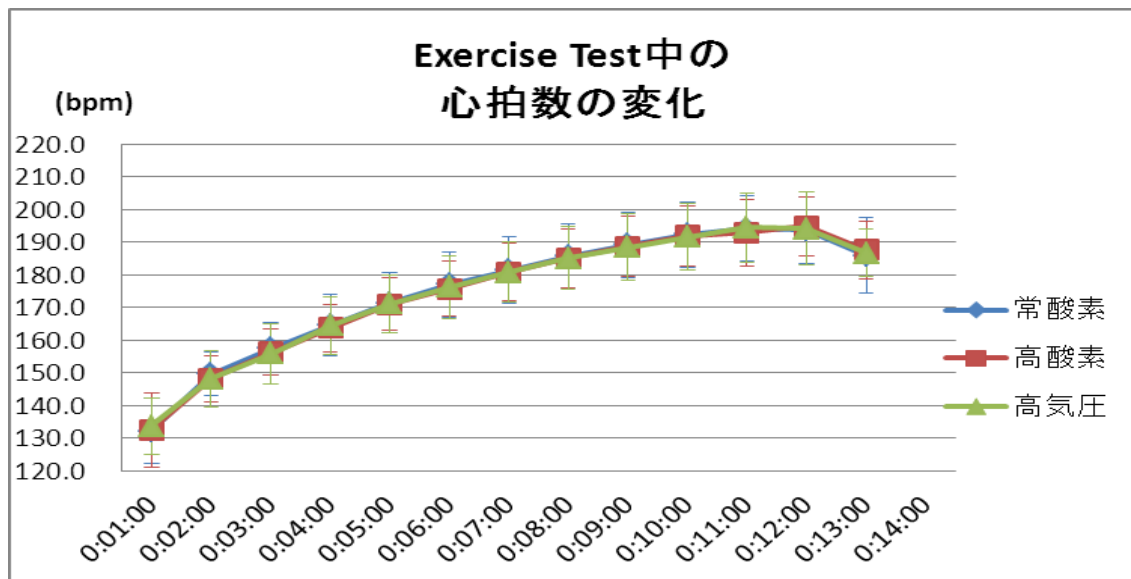


図 91 Exercise Test 中の心拍数の 1 分毎の推移 (Mean ± SD)

(10 分までは n=8, 11 分までは n=5, 12 分までは n=3, 13 分までは n=2 であった)

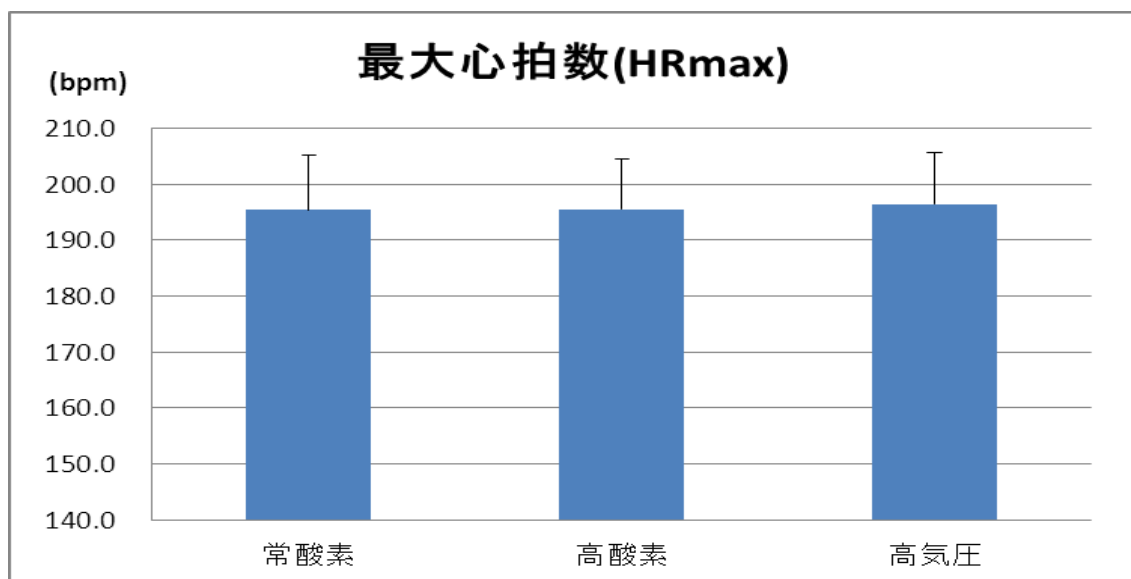


図 92 3 条件における最大心拍数の比較 (Mean ± SD)

(5) 血中乳酸濃度

Exercise Test 前後での血中乳酸濃度について検討した(図 93)。

Exercise Test 前後での血中乳酸濃度について常酸素条件では  $1.30 \pm 0.36 \text{ mmol/l}$ ,  $13.10 \pm 1.28 \text{ mmol/l}$ , 高酸素条件では  $1.45 \pm 0.37 \text{ mmol/l}$ ,  $13.78 \pm 1.22 \text{ mmol/l}$ , 高気圧条件では  $1.33 \pm 0.22$ ,  $13.93 \pm 1.68$  であった。

Exercise Test 前後での血中乳酸濃度の平均値は 3 条件間に有意な差は認められなかった。

しかしながら, 全ての条件において Exercise Test 前に比べ Exercise Test 後では有意 ( $p < 0.001$ ) に増加した。

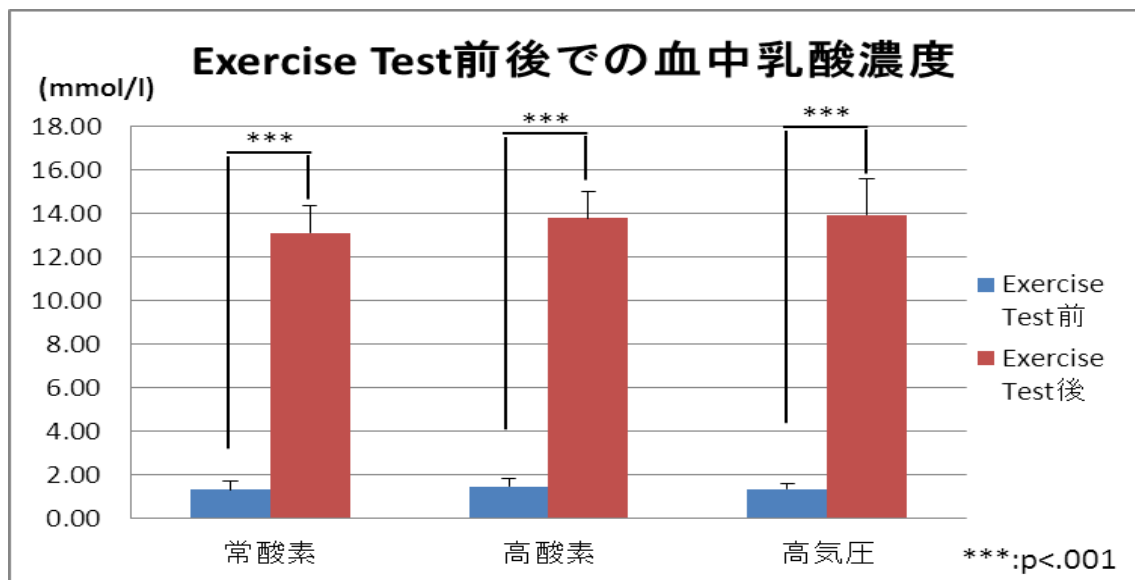


図 93 Exercise Test 前後での血中乳酸濃度の変化 (Mean  $\pm$  SD)

(6) 酸化ストレス度, 抗酸化力

Exercise Test 前後での d-ROMs 値 , BAP 値 , BAP/d-ROMs および尿中 8-OHdG 値の変化について検討した . 尿中 8-OHdG 値は酸素ローディング前と Exercise Test 終了 1 時間後の値を比較した .

#### ① 酸化ストレス度 (d-ROMs 値)

Exercise Test 前後での d-ROMs 値と値の変化率について検討した (図 94, 図 95).

Exercise Test 前後での d-ROMs 値の平均値は常酸素条件では順に  $243.50 \pm 42.38 \text{ U.CARR}$  ,  $261.88 \pm 44.68 \text{ U.CARR}$  , 高酸素条件では順に  $244.13 \pm 57.63 \text{ U.CARR}$  ,  $265.50 \pm 66.83 \text{ U.CARR}$  , 高気圧条件では順に  $240.88 \pm 32.46 \text{ U.CARR}$  ,  $257.13 \pm 28.58 \text{ U.CARR}$  であった . Exercise Test 前後の d-ROMs 値は 3 条件とも 200 ~ 300 の正常な酸化ストレスとされる範囲であった (p.119 表 8 参照).

Exercise Test 前後での d-ROMs 値の平均値に 3 条件間に有意な差は認められなかった . しかし , Exercise Test 後では Exercise Test 前に比べ有意 ( $p < 0.001$ ) に高くなることが認められた .

Exercise Test 前後での d-ROMs 値の変化率 (Exercise Test 前の値を 100% とした) について , 常酸素条件では  $107.9 \pm 8.6\%$  , 高酸素条件では  $108.5 \pm 7.0$  , 高酸素条件では  $107.1 \pm 4.3\%$  であった .

3 条件とも Exercise Test 後では d-ROMs 値が約 7% 増加したが , 変化率に 3 条件間に有意な差は認められなかった .

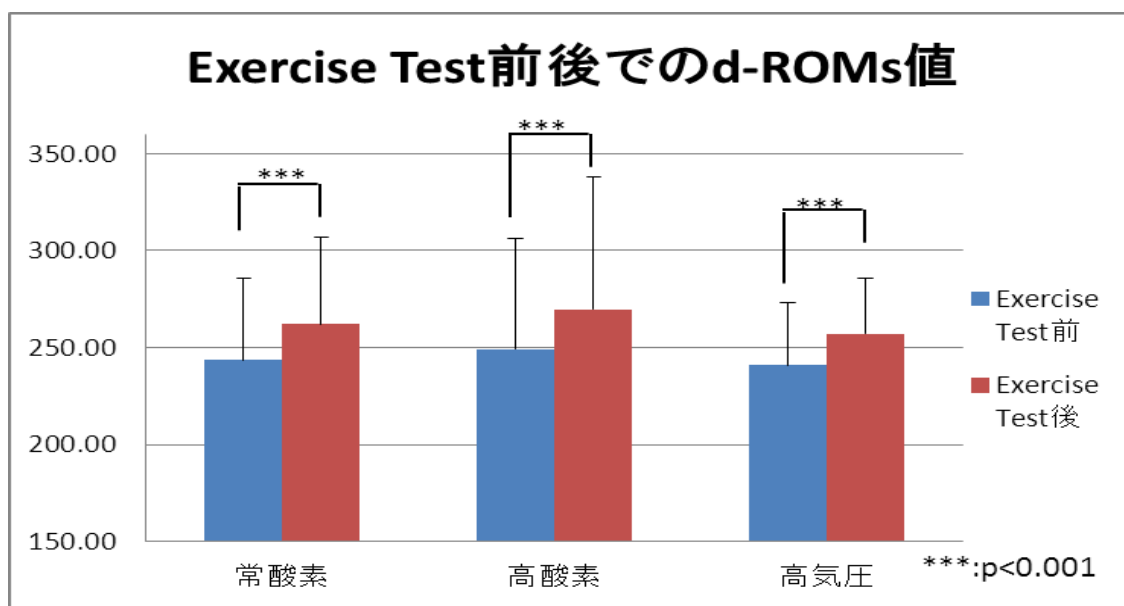


図 94 Exercise Test 前後での酸化ストレス度 (Mean ± SD)

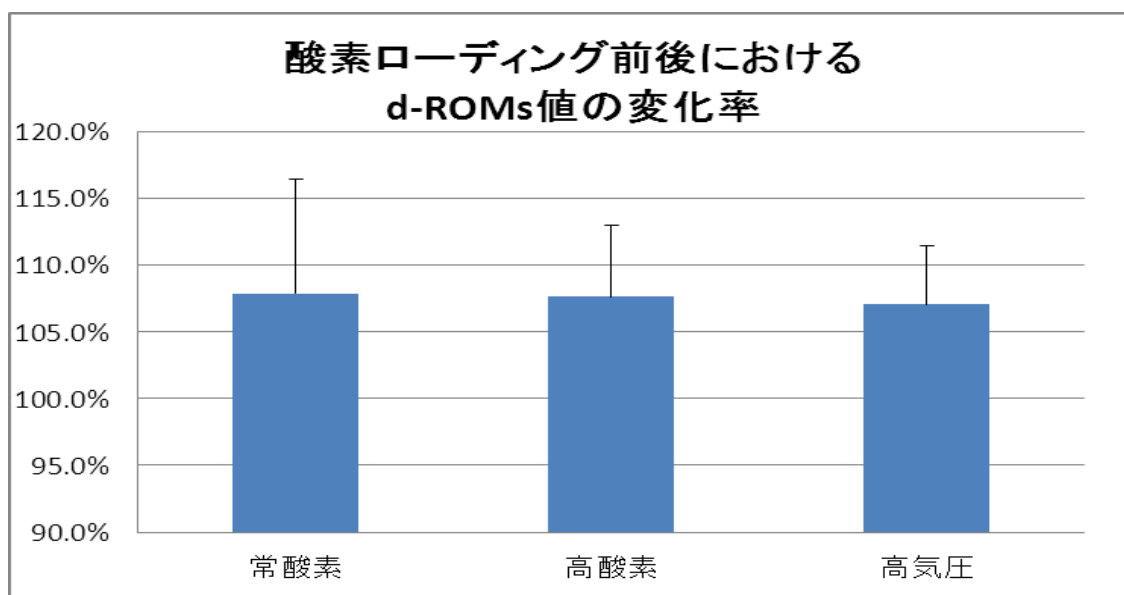


図 95 Exercise Test 前後での酸化ストレス度の変化率 (Mean ± SD)

(Exercise Test 前の値を 100%とした)

② 抗酸化力 (BAP 値)

Exercise Test 前後での BAP 値と値の変化率について検討した(図 96, 図 97).

Exercise Test 前後での BAP 値の平均値は常酸素条件では順に  $1833.00 \pm 150.39 \mu\text{mol/l}$ ,  $2413.45 \pm 155.93 \mu\text{mol/l}$ , 高酸素条件では順に  $1896.45 \pm 158.16 \mu\text{mol/l}$ ,  $2488.51 \pm 247.97 \mu\text{mol/l}$ , 高気圧条件では順に  $1917.21 \pm 180.07 \mu\text{mol/l}$ ,  $2617.44 \pm 127.50 \mu\text{mol/l}$  であった. Exercise Test 後の BAP 値は 3 条件とも 2200 以上の適値とされる範囲であった(p.122 表 9 参照).

Exercise Test 前後での BAP 値の平均値に 3 条件間に有意な差は認められなかった. しかし, Exercise Test 後では Exercise Test 前に比べ有意( $p < 0.001$ )に高くなることが認められた.

Exercise Test 前後での BAP 値の変化率(Exercise Test 前の値を 100%とした)について, 常酸素条件では  $132.1 \pm 8.3\%$ , 高酸素条件では  $132.00 \pm 17.7$ , 高酸素条件では  $137.3 \pm 12.1\%$  であった.

Exercise Test 後における BAP 値の変化率に 3 条件間に有意な差は認められなかった.

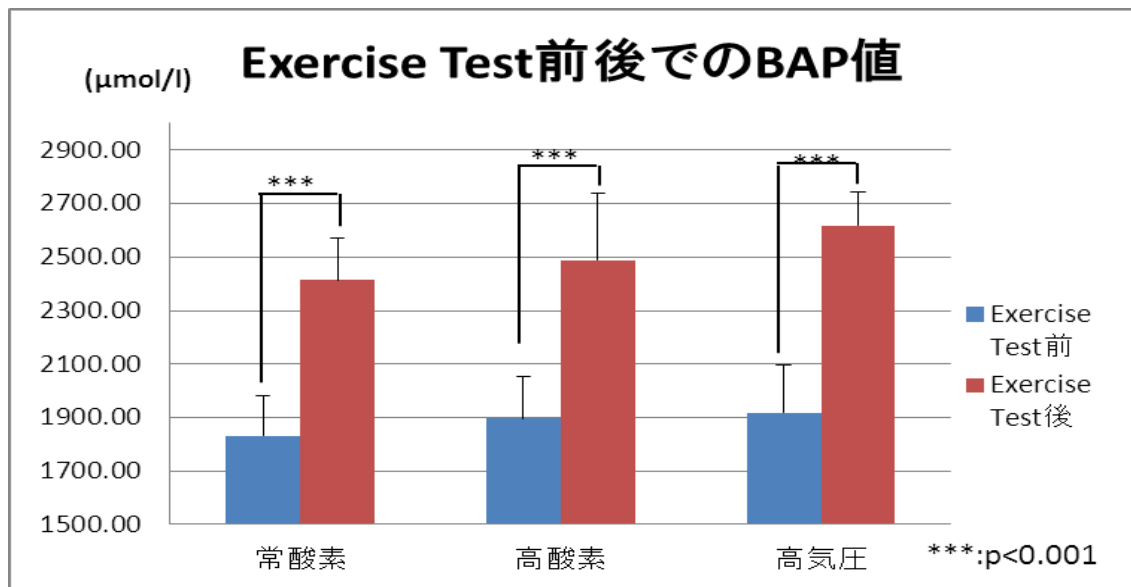


図 96 Exercise Test 前後での抗酸化力 (Mean  $\pm$  SD)

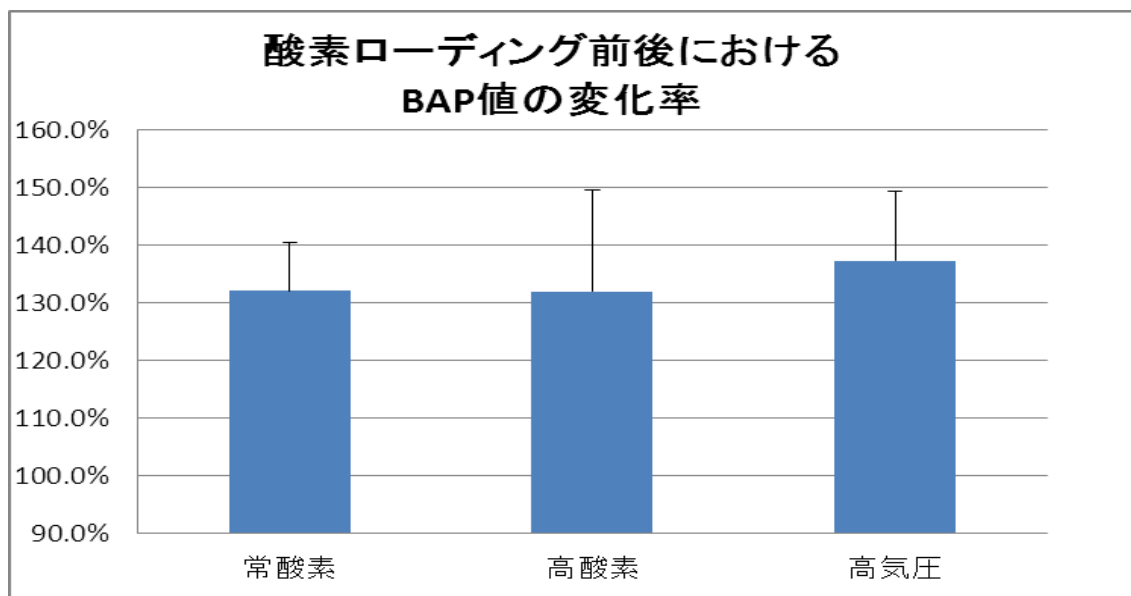


図 97 Exercise Test 前後での抗酸化力の変化率 (Mean  $\pm$  SD)

(Exercise Test 前の値を 100%とした)

### ③ 潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs)

Exercise Test 前後での BAP/d-ROMs と値の変化率について検討した(図 98, 図 99).

Exercise Test 前後での BAP/d-ROMs の平均値は常酸素条件では順に  $7.70 \pm 1.34$ ,  $9.40 \pm 1.36$ , 高酸素条件では順に  $8.00 \pm 1.28$ ,  $9.81 \pm 2.20$ , 高気圧条件では順に  $8.07 \pm 1.21$ ,  $10.33 \pm 1.58$  であった.

Exercise Test 前後での BAP/d-ROMs の平均値に 3 条件間に有意な差は認められなかった. しかし, Exercise Test 後では Exercise Test 前に比べ有意 ( $p < 0.001$ ) に高くなることが認められた.

Exercise Test 前後での BAP/d-ROMs の変化率 (Exercise Test 前の値を 100%とした)について, 常酸素条件では  $122.8 \pm 9.0\%$ , 高酸素条件では  $122.1 \pm 17.4$ , 高酸素条件では  $128.1 \pm 8.2\%$  であった.

Exercise Test 後における BAP/d-ROMs の変化率に 3 条件間に有意な差は認められなかった.

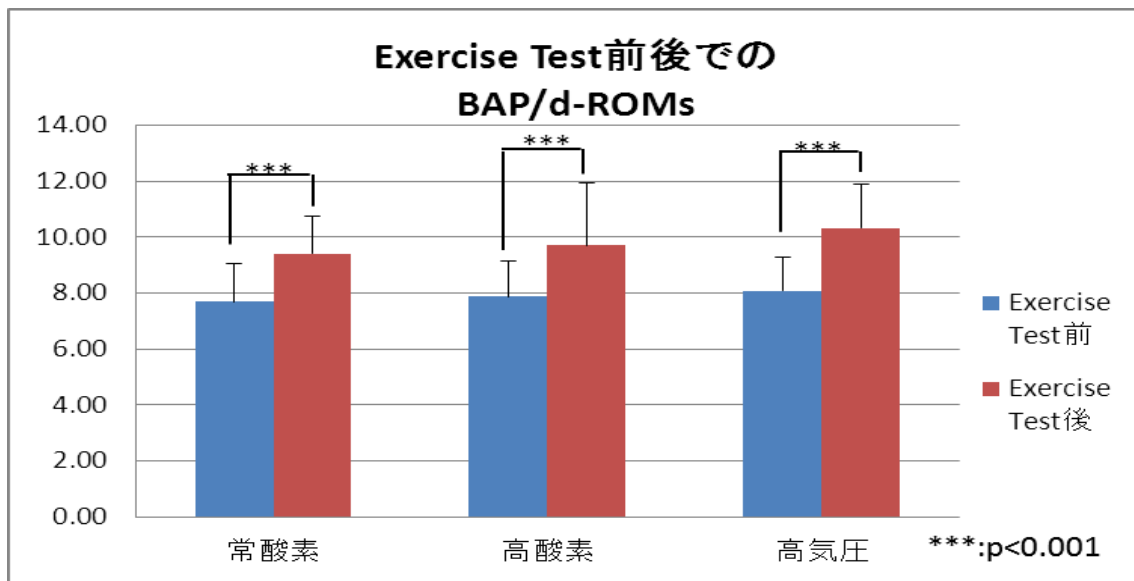


図 98 Exercise Test 前後での潜在的抗酸化能 (Mean ± SD)

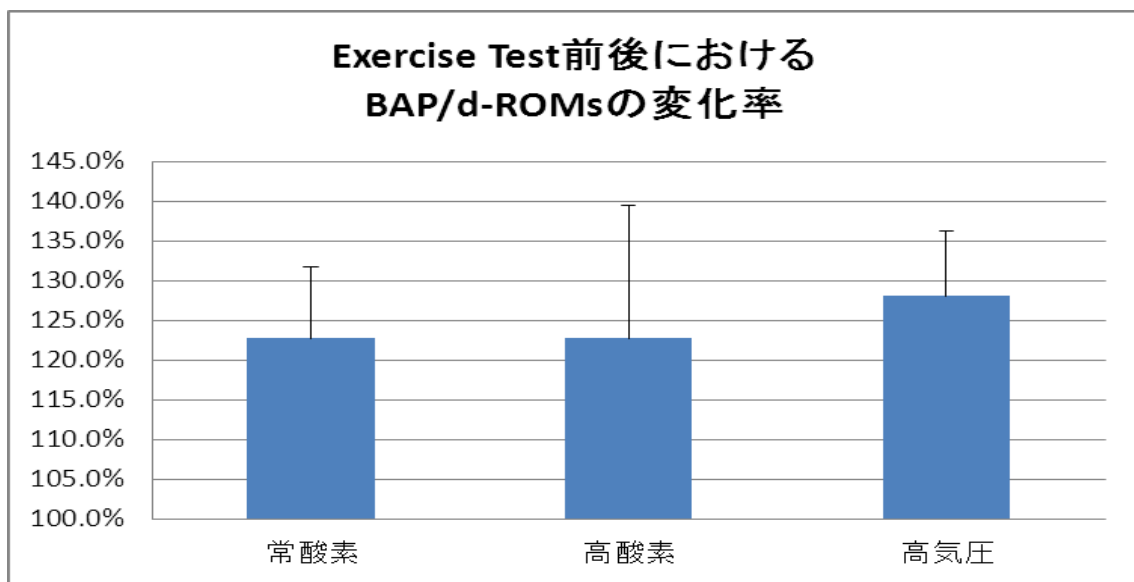


図 99 Exercise Test 前後での潜在的抗酸化能の変化率 (Mean ± SD)  
(Exercise Test 前の値を 100%とした)

#### ④ 尿中 8-OHdG 値

酸素ローディング前と Exercise Test 終了 1 時間後における尿中 8-OHdG 値と変化率について検討した(図 100, 図 101).

酸素ローディング前と Exercise Test 終了 1 時間後での尿中 8-OHdG 値の平均値は常酸素条件では順に  $12.20 \pm 3.64 \text{ ng/mg CRE}$ ,  $30.06 \pm 9.56 \text{ ng/mg CRE}$ , 高酸素条件では順に  $13.58 \pm 3.99 \text{ ng/mg CRE}$ ,  $33.16 \pm 11.08 \text{ ng/mg CRE}$ , 高気圧条件では順に  $12.30 \pm 2.19 \text{ ng/mg CRE}$ ,  $27.13 \pm 7.21 \text{ ng/mg CRE}$  であった. 酸素ローディング前の尿中 8-OHdG 値は 3 条件とも  $12 \sim 14 \text{ ng/mg CRE}$  の注意ゾーンとされる範囲であり, Exercise Test 後の尿中 8-OHdG 値は  $20 \text{ ng/mg CRE}$  以上のかなりの DNA 酸化ダメージとされる範囲であった(表 10).

酸素ローディング前と Exercise Test 終了 1 時間後での尿中 8-OHdG 値の平均値に 3 条件間に有意な差は認められなかった. しかし, Exercise Test 後では酸素ローディング前に比べ有意 ( $p < 0.001$ ) に高くなることが認められた.

酸素ローディング前と Exercise Test 終了 1 時間後での尿中 8-OHdG 値の変化率(酸素ローディング前の値を 100%とした)について, 常酸素条件では  $270.2 \pm 123.3\%$ , 高酸素条件では  $249.1 \pm 60.8\%$ , 高気圧条件では  $228.3 \pm 76.1\%$  であった.

Exercise Test 後における尿中 8-OHdG 値の変化率に 3 条件間に有意な差は認められなかった. しかし, 3 条件で Exercise Test 後では約 3 倍程度尿中 8-OHdG 値が増加した.

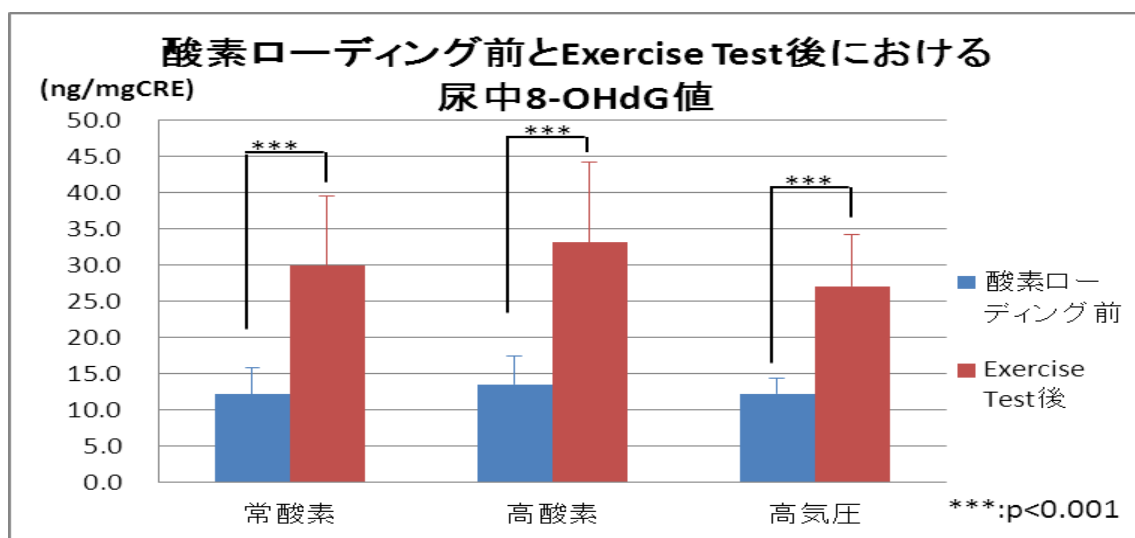


図 100 酸素ローディング前と Exercise Test 終了 1 時間後における尿中 8-OHdG 値 (Mean ± SD)

表 10 尿中 8-OHdG 値の評価基準

強度のDNA酸化ダメージ	20ng/mgCRE以上
中程度のDNA酸化ダメージ	18～20ng/mgCRE
軽度のDNAの酸化ダメージ	15～17ng/mgCRE
注意ゾーン	12～14ng/mgCRE
良好ゾーン	11ng/mgCRE以下

(セリスタ株式会社資料より筆者が作成)

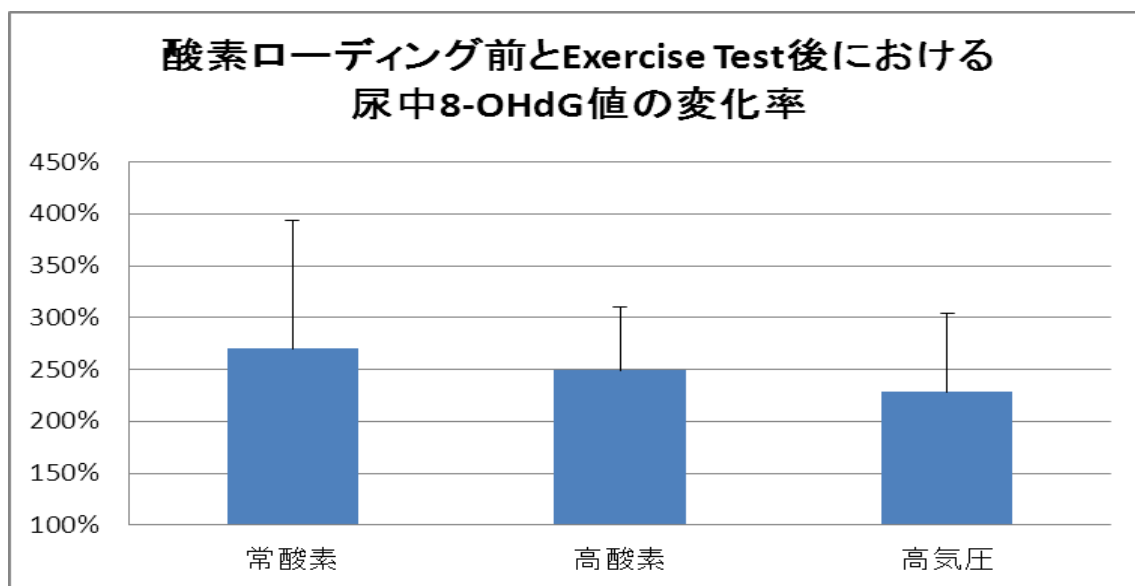


図 101 酸素ローディング前と Exercise Test 終了 1 時間後での尿中 8-OHdG 値の変化率 (Mean ± SD)  
(酸素ローディング前の値を 100%とした)

(7) 最大酸素摂取量と酸素ローディング中の酸素動態

の 関 係

Exercise Test における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ )，体重 1kg あたりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}/W$ )と酸素ローディングにおける酸素動態の関係について相関分析を行った．

① 最大酸素摂取量と酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度の関係

Exercise Test における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ )および体重 1kg あたりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}/W$ )と酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ )の平均値の関係について相関分析を行った(図 102, 図 103)．

$\dot{V}O_{2max}$  と  $SpO_2$  の関係について，相関係数  $r=-0.015$  であり，有意な相関関係は認められなかった．

また  $\dot{V}O_{2max}/W$  と  $SpO_2$  の関係について，相関係数  $r=0.095$  であり，有意な相関関係は認められなかった．

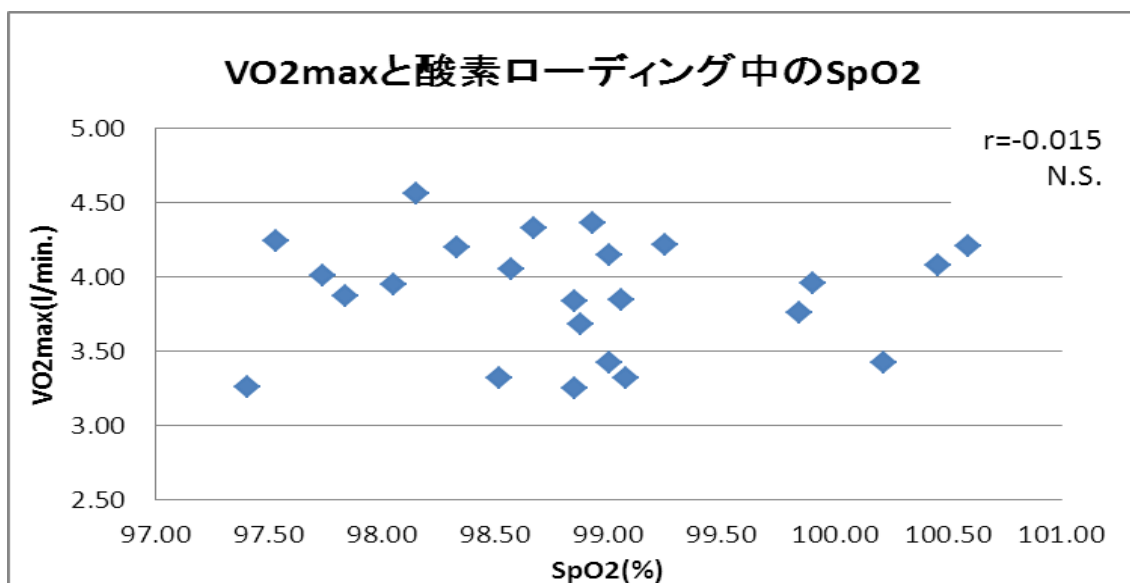


図 102 最大酸素摂取量と酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度の関係

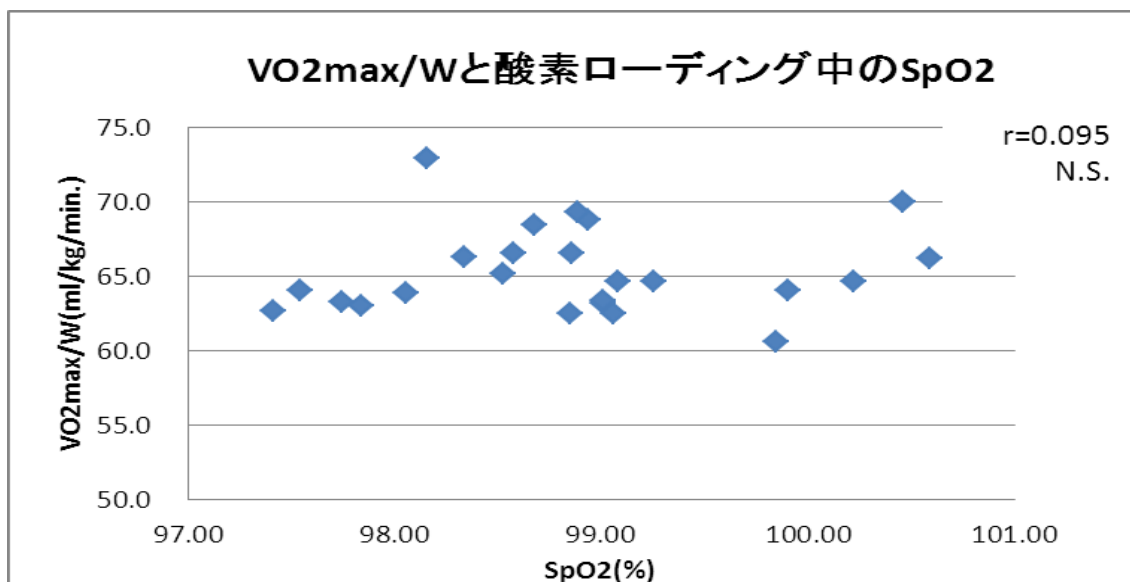


図 103 体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度の関係

② 最大酸素摂取量と酸素ローディング中の頭部ヘモグ

## ロビンの関係

Exercise Test における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) および体重 1kg あたりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}/W$ ) と酸素ローディング中の頭部酸素化ヘモグロビンおよび頭部脱酸素化ヘモグロビンの平均値の関係について相関分析を行った (図 104, 図 105, 図 106, 図 107)。

$\dot{V}O_{2\max}$  と頭部酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r = -0.491$  であり, 有意 ( $p < 0.05$ ) な相関関係が認められた。また,  $\dot{V}O_{2\max}$  と頭部脱酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関関係  $r = 0.572$  であり, 有意 ( $p < 0.01$ ) な相関関係が認められた。

$\dot{V}O_{2\max}/W$  と頭部酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r = -0.460$  であり, 有意 ( $p < 0.05$ ) な相関関係が認められた。 $\dot{V}O_{2\max}/W$  と頭部脱酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r = 0.159$  であり, 有意な相関関係は認められなかった。

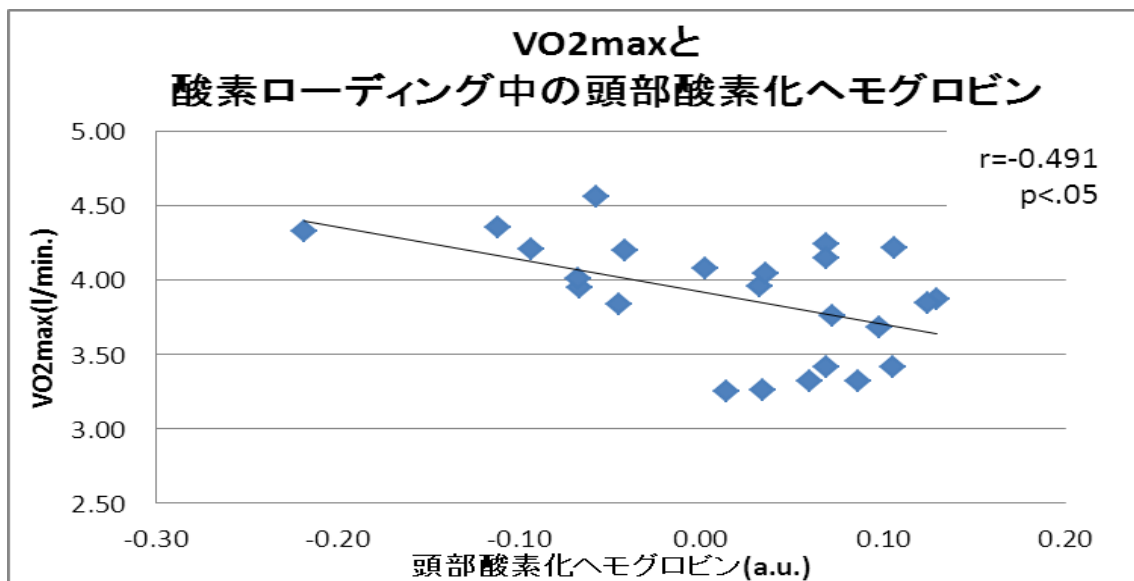


図 104 最大酸素摂取量と酸素ローディング中の頭部酸素化ヘモグロビンの関係

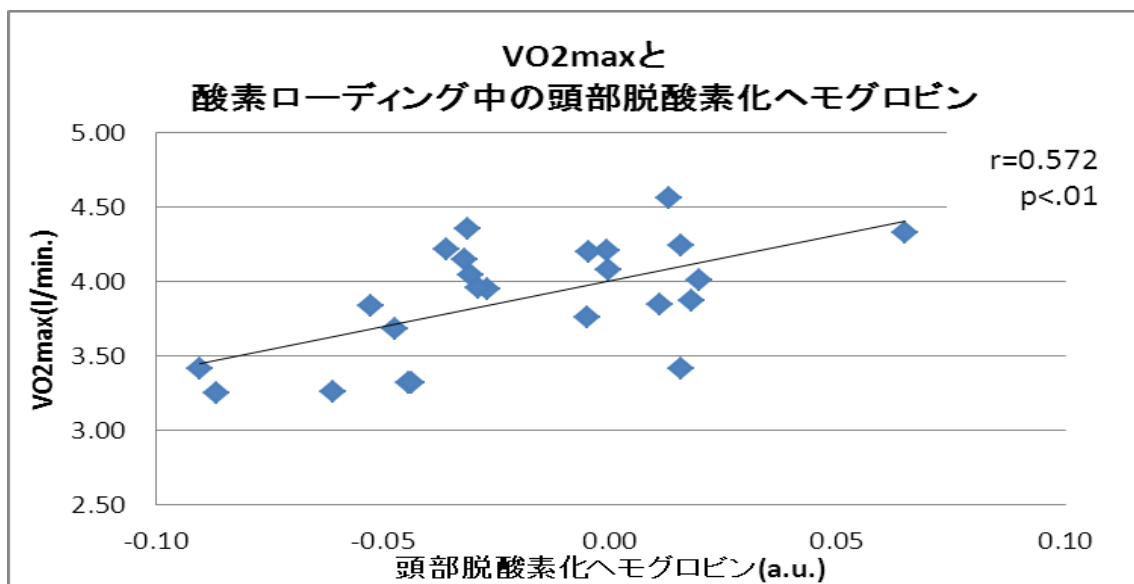


図 105 最大酸素摂取量と酸素ローディング中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの関係

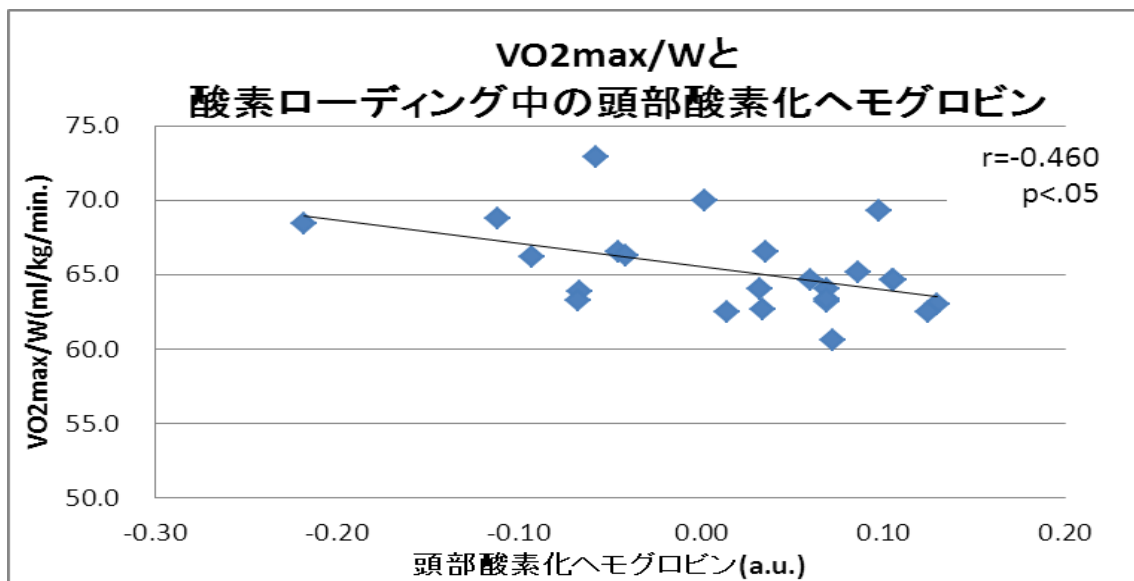


図 106 体重 1 kg あたりの最大酸素摂取量と酸素ローディング中の頭部酸素化ヘモグロビンの関係

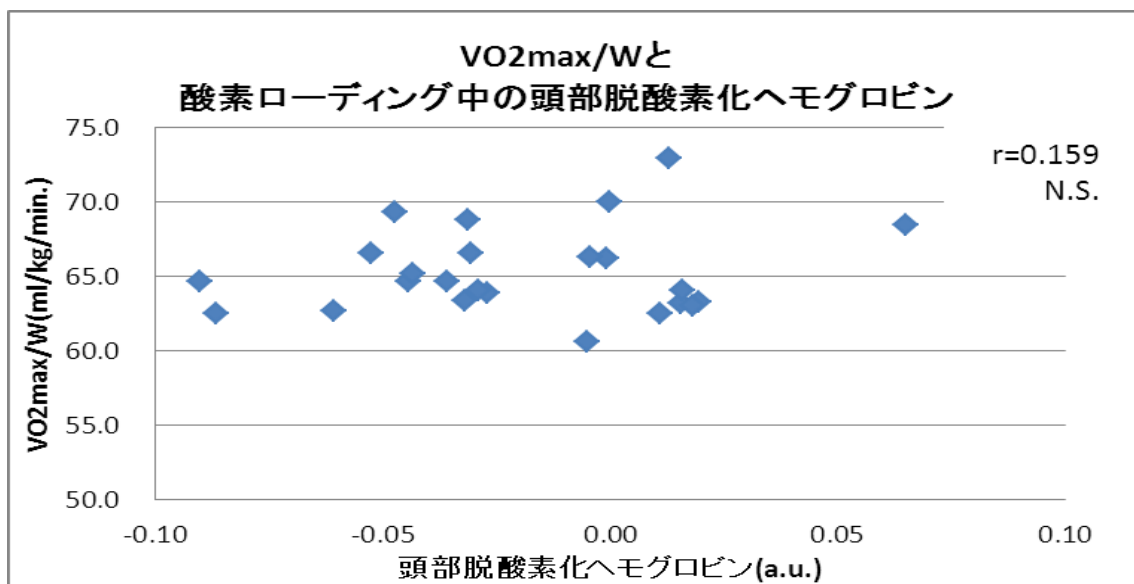


図 107 体重 1 kg あたりの最大酸素摂取量と酸素ローディング中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの関係

③ 最大酸素摂取量と酸素ローディング中の大腿部ヘモ

## グロビンの関係

Exercise Test における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) および体重 1kg あたりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}/W$ ) と酸素ローディング中の大腿部酸素化ヘモグロビンおよび大腿部脱酸素化ヘモグロビンの平均値の関係について相関分析を行った (図 108, 図 109, 図 110, 図 111).

$\dot{V}O_{2\max}$  と大腿部酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r = -0.010$  であり, 有意な相関関係は認められなかった. また,  $\dot{V}O_{2\max}$  と大腿部脱酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r = 0.207$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

$\dot{V}O_{2\max}/W$  と大腿部酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r = 0.211$  であり, 有意な相関関係は認められなかった. また,  $\dot{V}O_{2\max}/W$  と大腿部脱酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r = 0.052$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

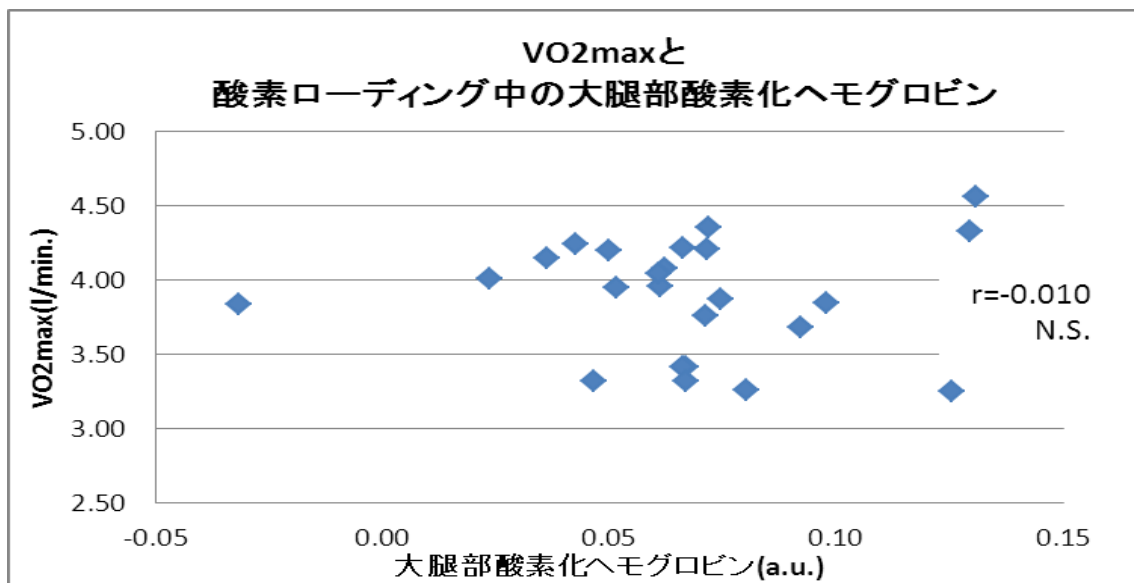


図 108 最大酸素摂取量と酸素ローディング中の大腿部酸素化ヘモグロビンの関係

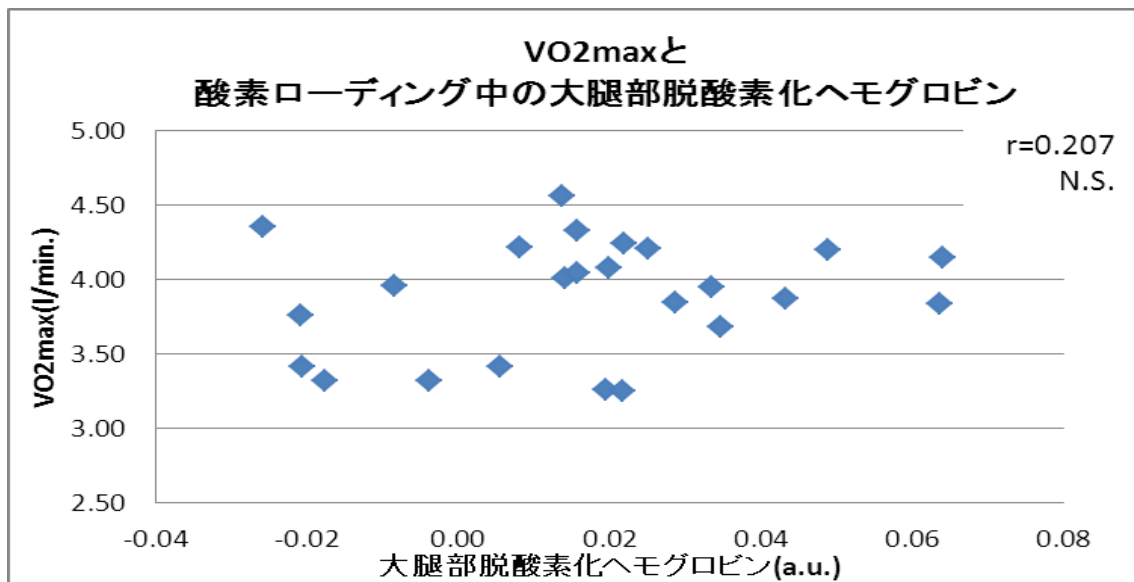


図 109 最大酸素摂取量と酸素ローディング中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンの関係

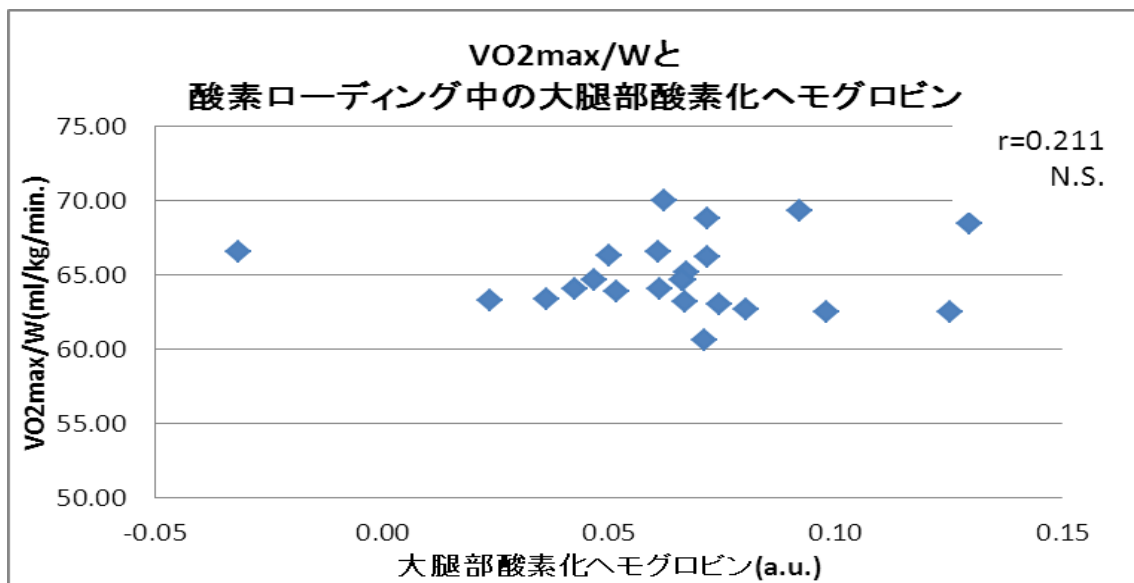


図 110 体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と酸素ローディング中の大腿部酸素化ヘモグロビンの関係

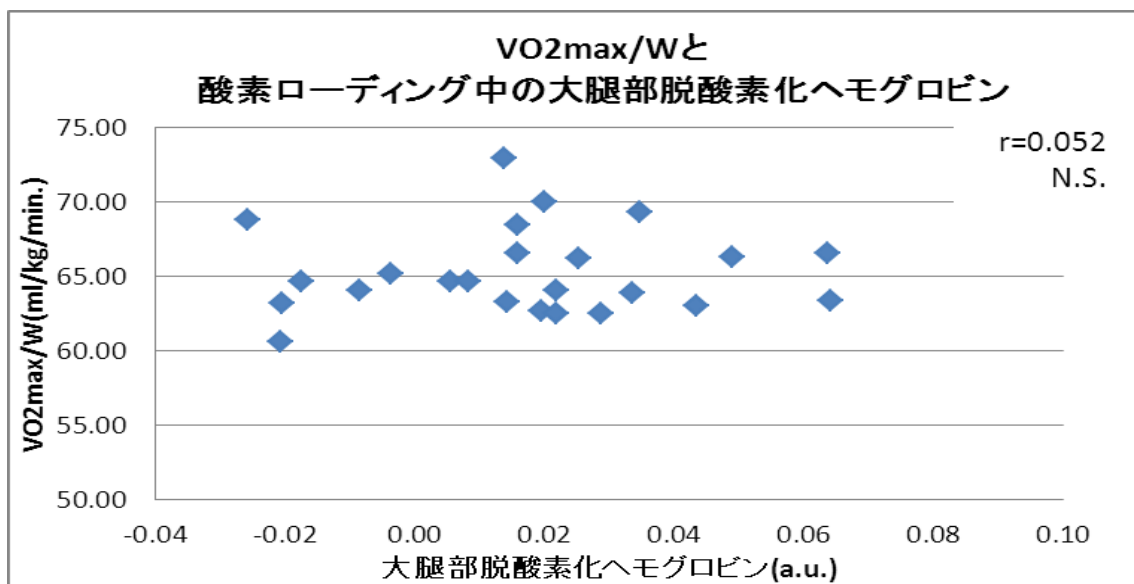


図 111 体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と酸素ローディング中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンの関係

(8) 最大酸素摂取量と Exercise Test 中の酸素動態の関

係

Exercise Test における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ )、体重 1kg あたりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}/W$ ) と Exercise Test 中の酸素動態の関係について相関分析を行った。

① 最大酸素摂取量と Exercise Test 中の動脈血酸素飽和度の関係

Exercise Test における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) および体重 1kg あたりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}/W$ ) と Exercise Test 中の動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ ) の平均値の関係について相関分析を行った (図 112, 図 113)。

$\dot{V}O_{2\max}$  と  $SpO_2$  の関係について、相関係数  $r = -0.009$  であり、有意な相関関係は認められなかった。

また  $\dot{V}O_{2\max}/W$  と  $SpO_2$  の関係について、相関係数  $r = -0.436$  であり、有意 ( $p < 0.05$ ) な相関関係が認められた。

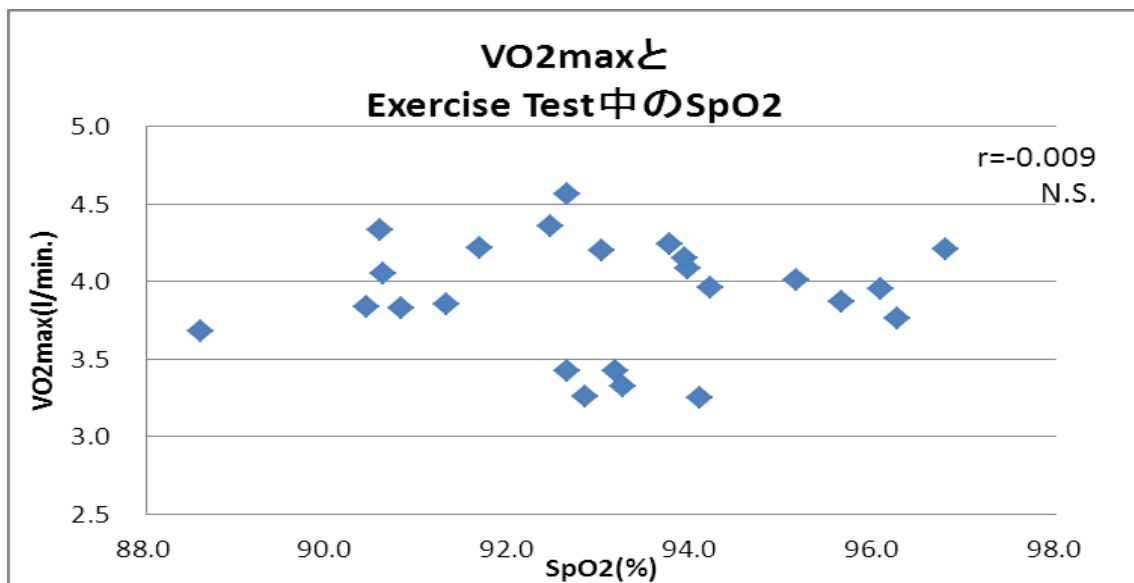


図 112 最大酸素摂取量と Exercise Test 中の動脈血酸素飽和度の関係

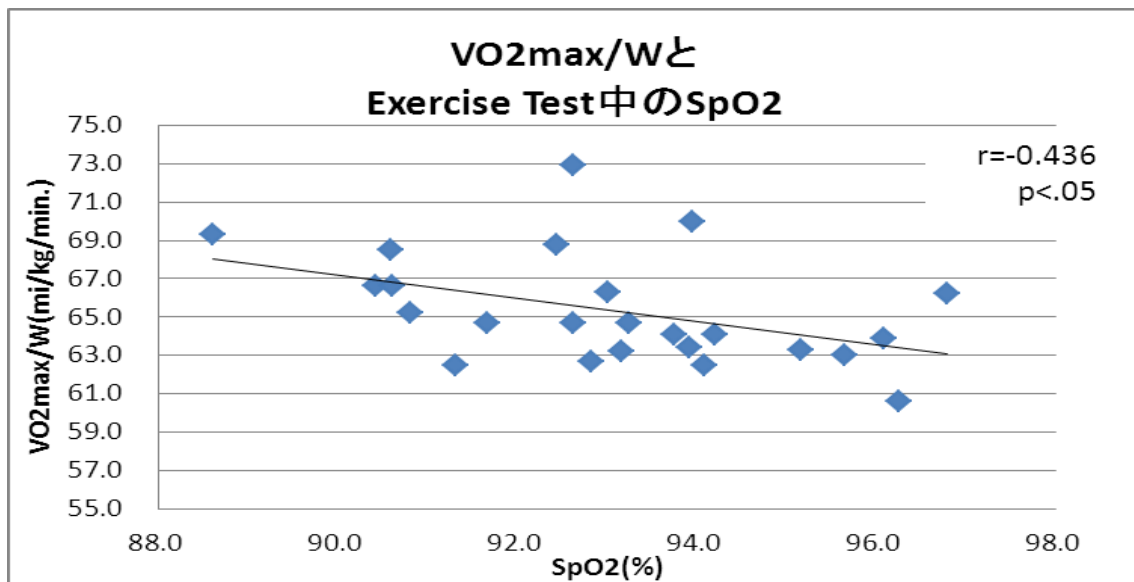


図 113 体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と Exercise Test 中の動脈血酸素飽和度の関係

② 最大酸素摂取量と Exercise Test 中の頭部ヘモグロ

ビンの関係

Exercise Test における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) および体重 1kg あたりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}/W$ ) と Exercise Test 中の頭部酸素化ヘモグロビンおよび頭部脱酸素化ヘモグロビンの平均値の関係について相関分析を行った (図 114, 図 115, 図 116, 図 117).

$\dot{V}O_{2\max}$  と頭部酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r=0.072$  であり, 有意な相関関係は認められなかった. また,  $\dot{V}O_{2\max}$  と頭部脱酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r=0.234$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

また  $\dot{V}O_{2\max}/W$  と頭部酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r=0.139$  であり, 有意な相関関係は認められなかった. また,  $\dot{V}O_{2\max}/W$  と頭部脱酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r=-0.004$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

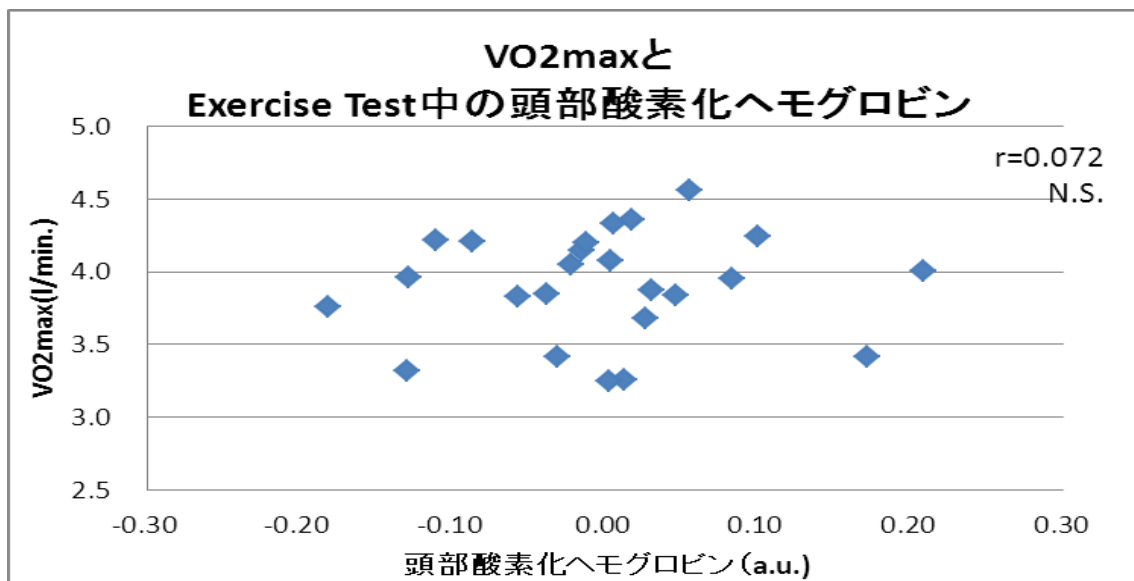


図 114 最大酸素摂取量と Exercise Test 中の頭部酸素化ヘモグロビンの関係

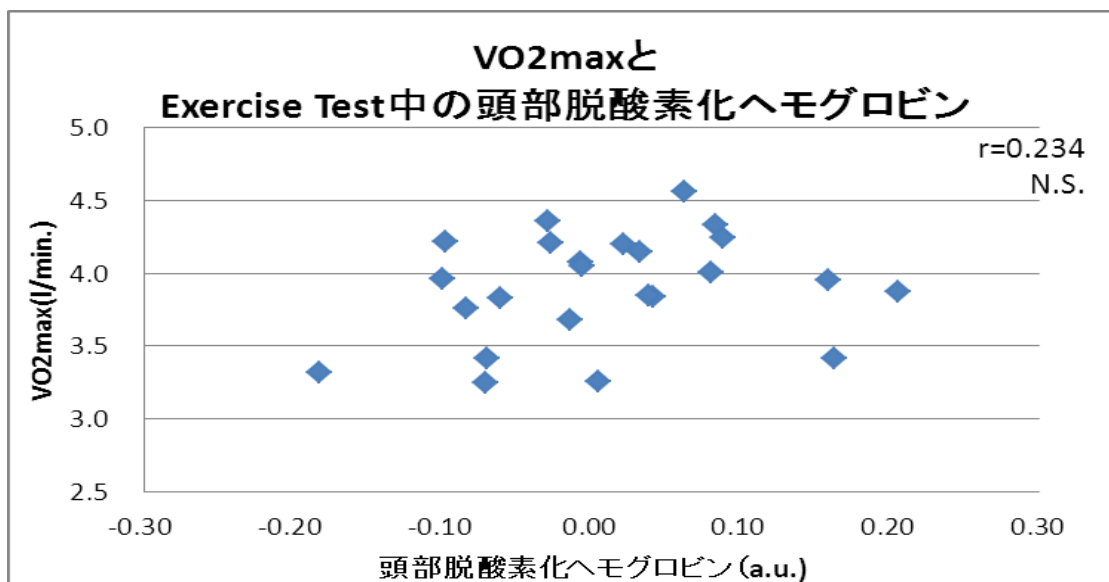


図 115 最大酸素摂取量と Exercise Test 中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの関係

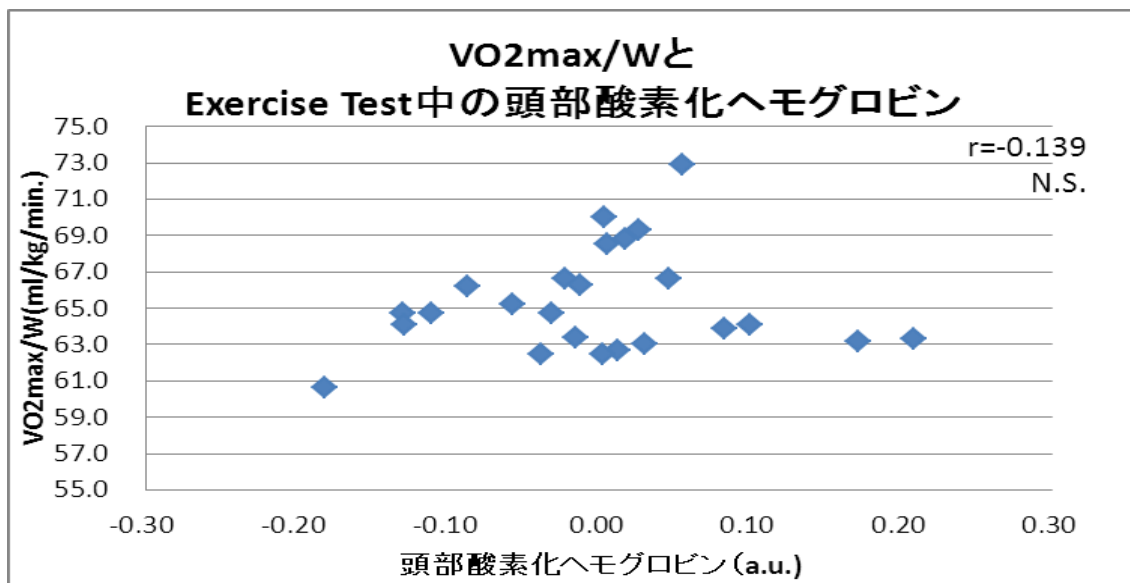


図 116 体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と Exercise Test 中の頭部酸素化ヘモグロビンの関係

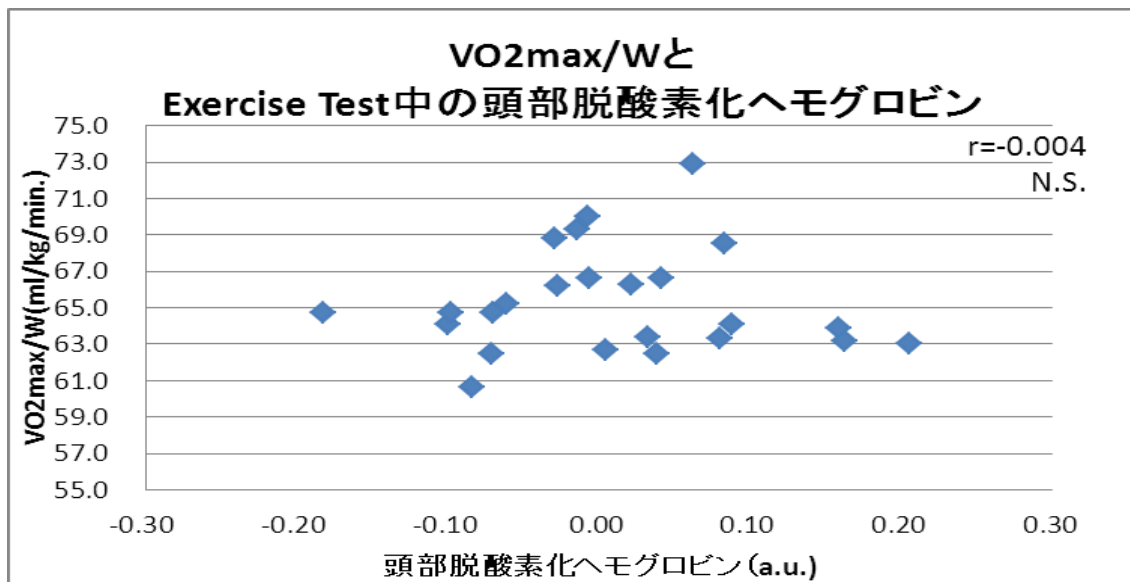


図 117 体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と Exercise Test 中の頭部脱酸素化ヘモグロビンの関係

③ 最大酸素摂取量と Exercise Test 中の大腿部酸素化

## ヘモグロビンの関係

Exercise Test における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) および体重 1kg あたりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}/W$ ) と Exercise Test 中の大腿部酸素化ヘモグロビンおよび大腿部脱酸素化ヘモグロビンの平均値の関係について相関分析を行った (図 118, 図 119, 図 120, 図 121).

$\dot{V}O_{2\max}$  と大腿部酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r=0.053$  であり, 有意な相関関係は認められなかった. また,  $\dot{V}O_{2\max}$  と大腿部脱酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r=0.164$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

$\dot{V}O_{2\max}/W$  と大腿部酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r=0.265$  であり, 有意な相関関係は認められなかった. また,  $\dot{V}O_{2\max}/W$  と大腿部脱酸素化ヘモグロビンの関係について, 相関係数  $r=0.299$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

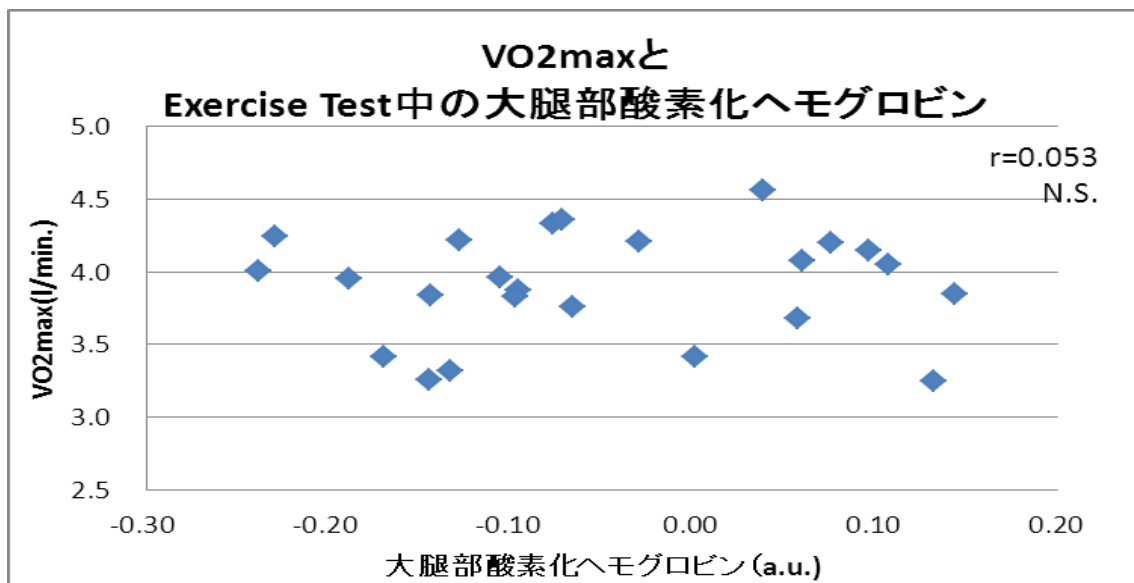


図 118 最大酸素摂取量と Exercise Test 中の大腿部酸素化ヘモグロビンの関係

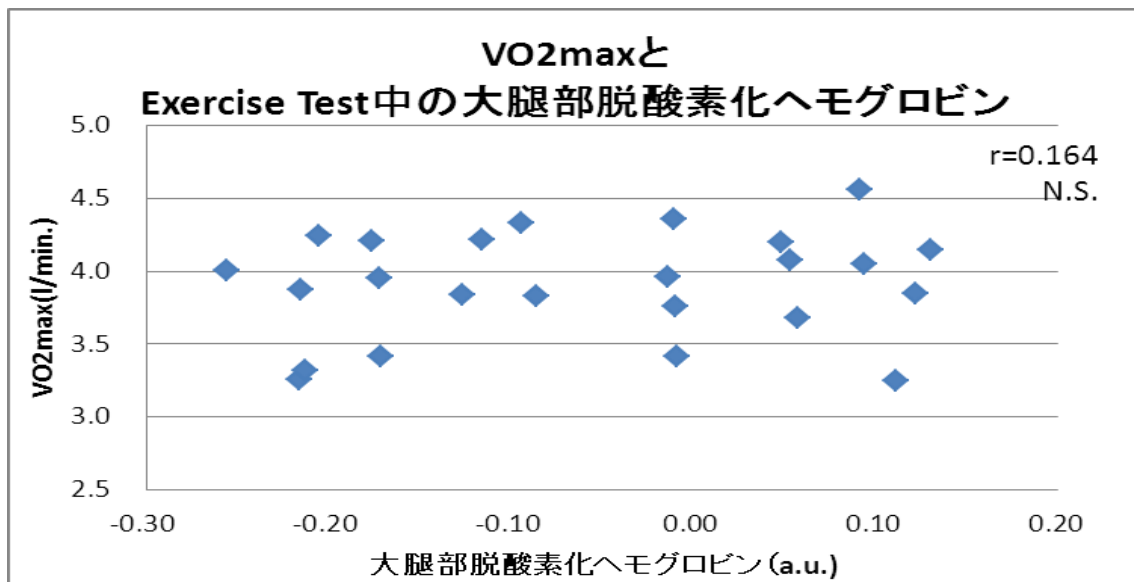


図 119 最大酸素摂取量と Exercise Test 中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンの関係

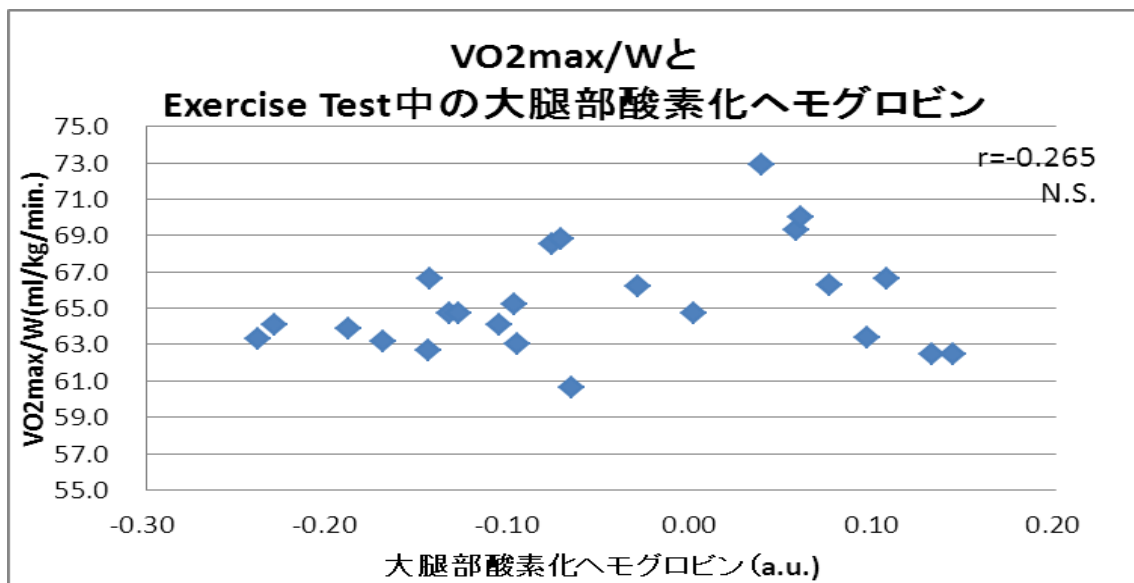


図 120 体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と Exercise Test 中の大腿部酸素化ヘモグロビンの関係

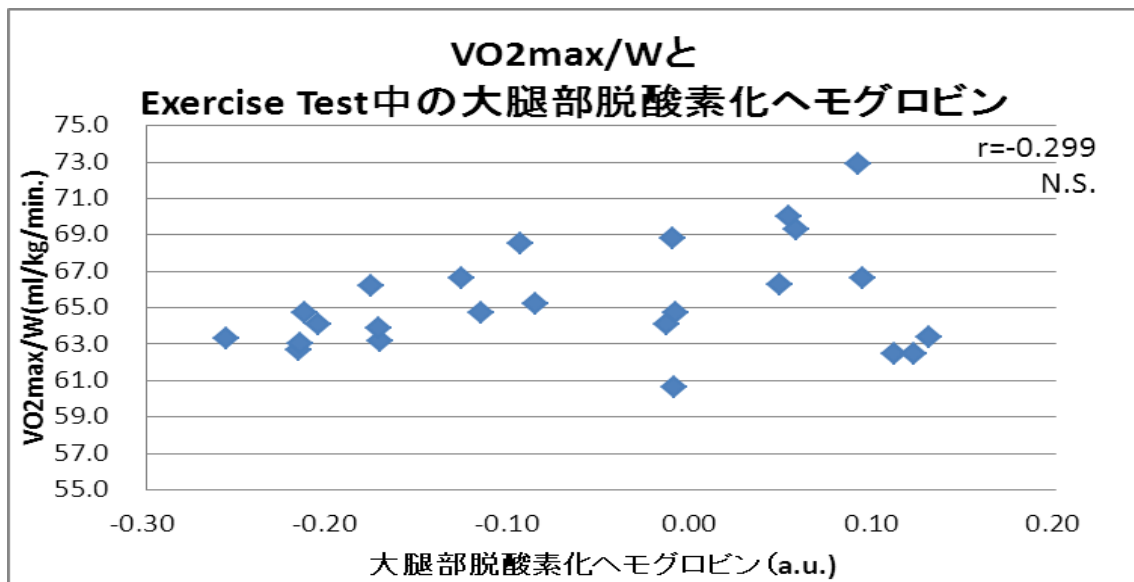


図 121 体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と Exercise Test 中の大腿部脱酸素化ヘモグロビンの関係

(9) 最大酸素摂取量と Exercise Test 後における酸化ス

トレス，抗酸化力の関係

Exercise Test における最大酸素摂取量，体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と Exercise Test 後の酸化ストレス度 (d-ROMs 値)，抗酸化力 (BAP 値)，潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs) および尿中 8-OHdG 値の関係について相関分析を行った。

① 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の酸化ストレス度 (d-ROMs 値) の関係

Exercise Test における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) および体重 1kg あたりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}/W$ ) と Exercise Test 後の d-ROMs 値の関係について相関分析を行った (図 122, 図 123)。

$\dot{V}O_{2\max}$  と d-ROMs 値の関係について，相関係数  $r = -0.096$  であり，有意な相関関係は認められなかった。

また  $\dot{V}O_{2\max}/W$  と d-ROMs 値の関係について，相関係数  $r = -0.233$  であり，有意な相関関係は認められなかった。

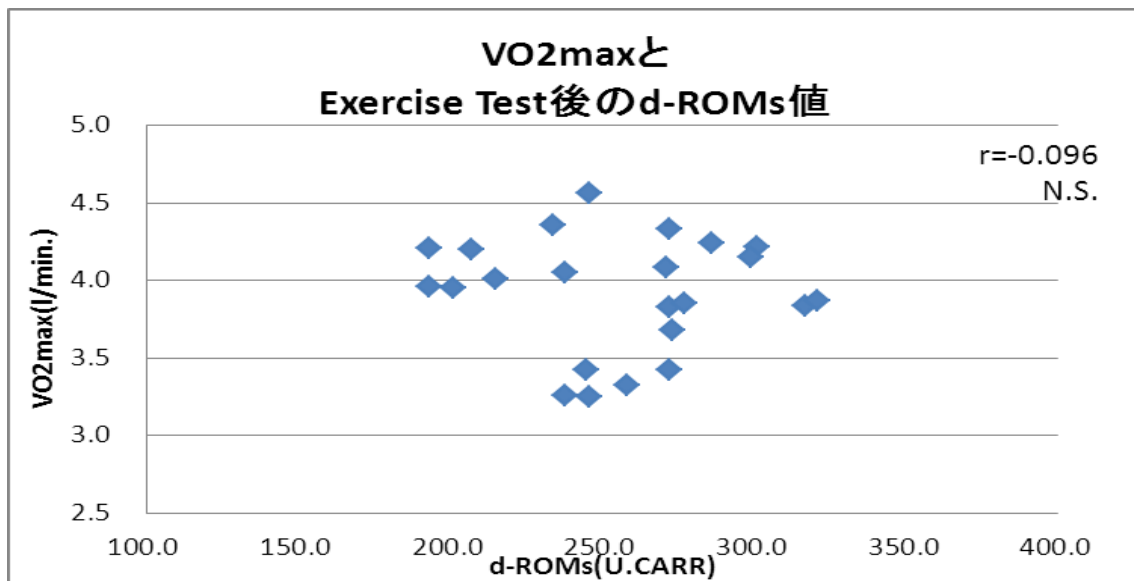


図 122 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の酸化ストレス度の関係

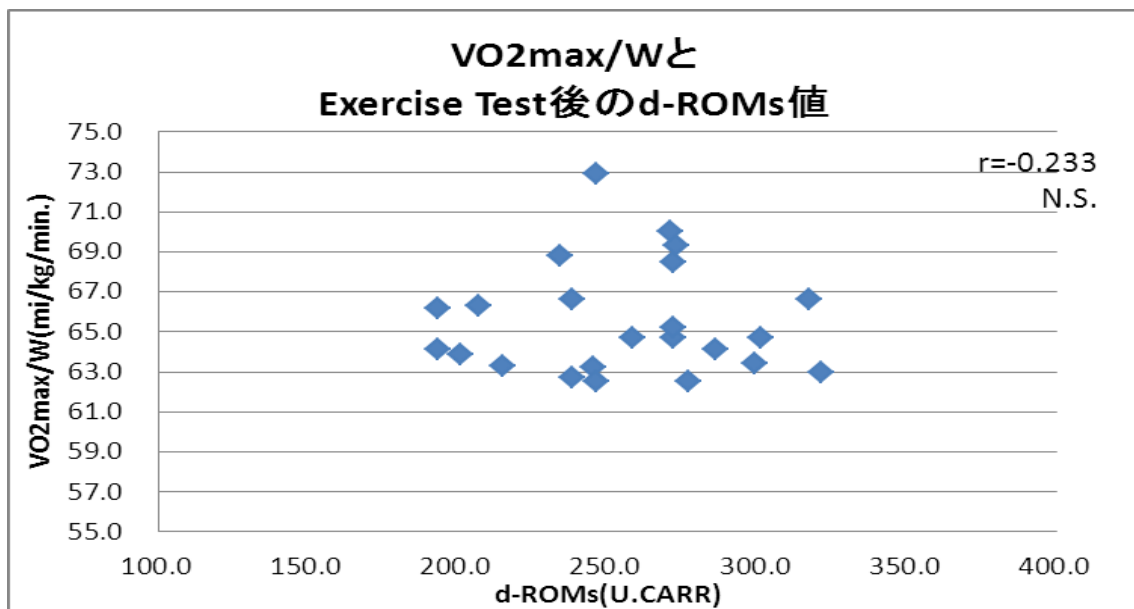


図 123 体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と Exercise Test 後の酸化ストレス度の関係

② 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の抗酸化力 (BAP

値)の関係

Exercise Test における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) および体重 1kg あたりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}/W$ ) と Exercise Test 後の BAP 値の関係について相関分析を行った(図 124, 図 125).

$\dot{V}O_{2\max}$  と BAP 値の関係について, 相関係数  $r = -0.017$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

また  $\dot{V}O_{2\max}/W$  と BAP 値の関係について, 相関係数  $r = 0.148$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

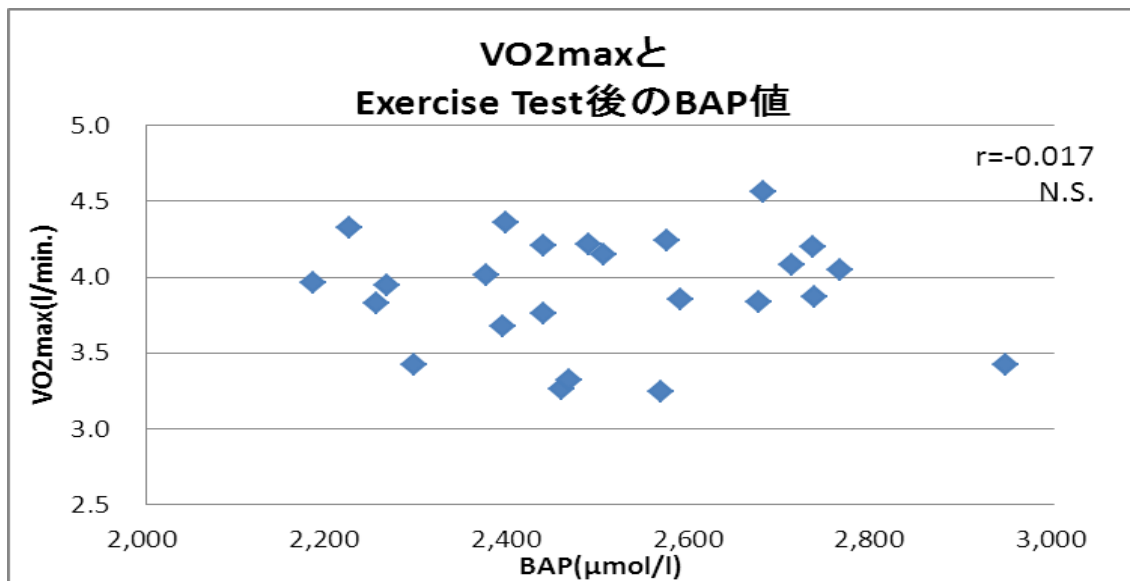


図 124 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の抗酸化力の関係

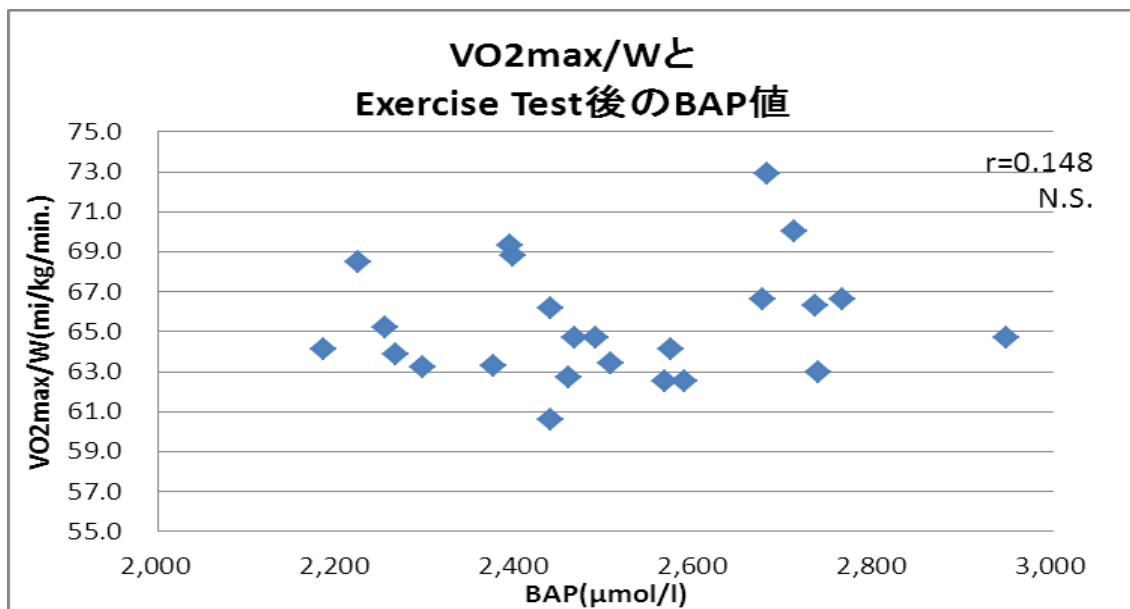


図 125 体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と Exercise Test 後の抗酸化力の関係

③ 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の潜在的抗酸化

能 (BAP/d-ROMs) の 関 係

Exercise Test における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) およ  
び体重 1kg あたりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}/W$ ) と  
Exercise Test 後の BAP/d-ROMs の関係について相関分  
析を行った (図 126, 図 127).

$\dot{V}O_{2\max}$  と BAP/d-ROMs の関係について, 相関係数  
 $r=0.038$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

また  $\dot{V}O_{2\max}/W$  と BAP/d-ROMs の関係について, 相関  
係数  $r=0.207$  であり, 有意な相関関係は認められなかつ  
た.

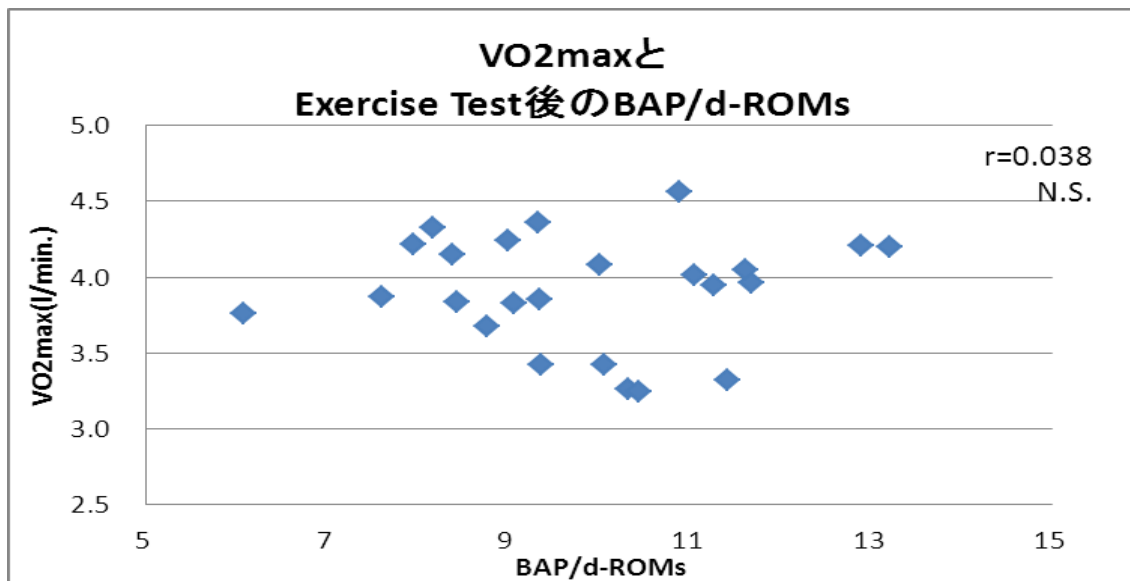


図 126 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の潜在的抗酸化能の関係

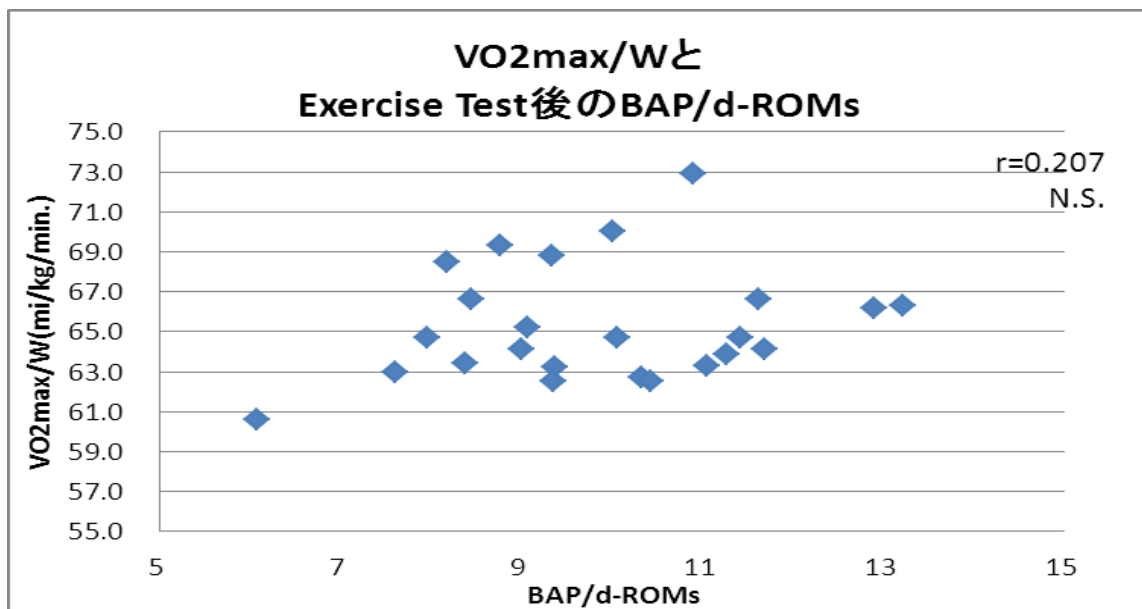


図 127 体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と Exercise Test 後の潜在的抗酸化能の関係

④ 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の尿中 8-OHdG

値 の 関 係

Exercise Test における最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}$ ) および体重 1kg あたりの最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2\max}/W$ ) と Exercise Test 後の尿中 8-OHdG 値の関係について相関分析を行った (図 128, 図 129).

$\dot{V}O_{2\max}$  と尿中 8-OHdG 値の関係について, 相関係数  $r = -0.372$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

また  $\dot{V}O_{2\max}/W$  と尿中 8-OHdG 値の関係について, 相関係数  $r = -0.314$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

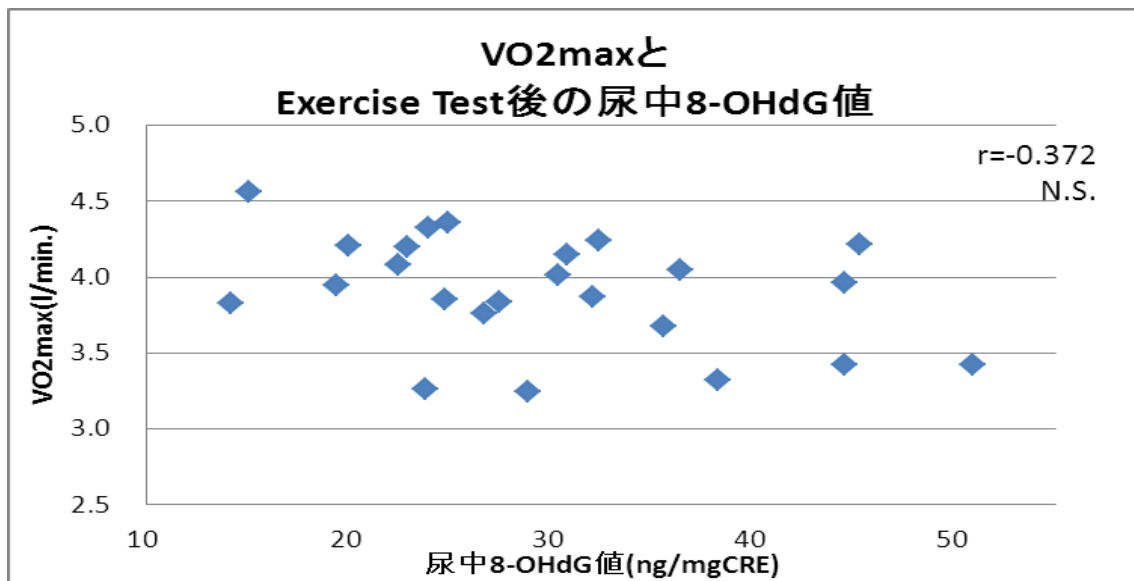


図 128 最大酸素摂取量と Exercise Test 後の尿中 8-OHdG 値の関係

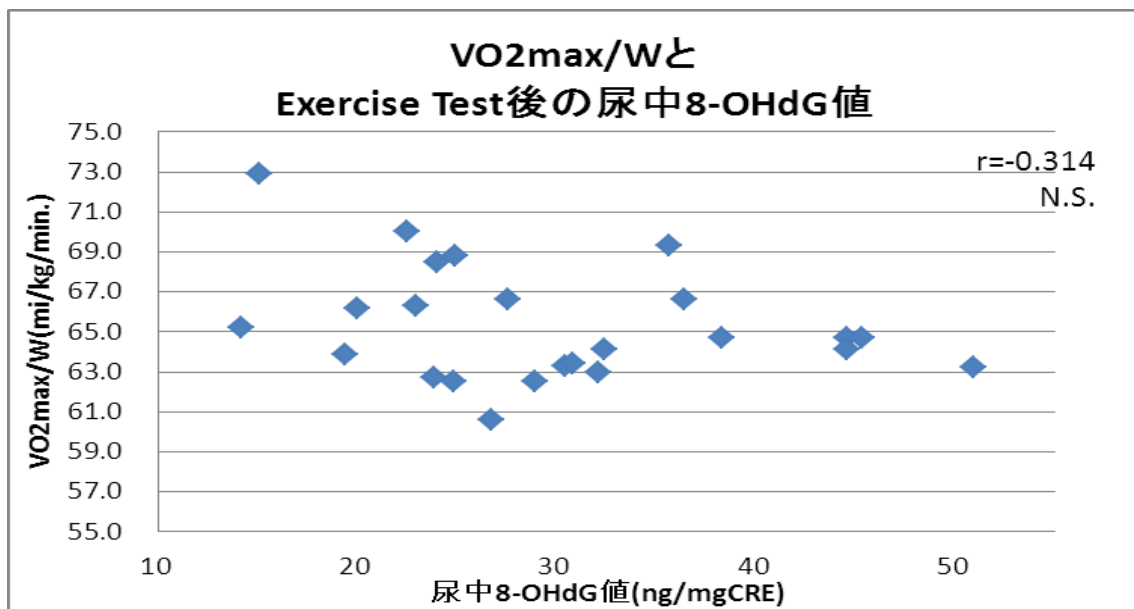


図 129 体重 1kg あたりの最大酸素摂取量と Exercise Test 後の尿中 8-OHdG 値の関係

(10) 酸化ストレスと抗酸化力の関係

酸化ストレス度 (d-ROMs 値), 抗酸化力 (BAP 値), 潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs) および尿中 8-OHdG 値の関係について, 相関分析を行った.

#### ① d-ROMs と尿中 8-OHdG 値の関係

Exercise Test 後の d-ROMs 値と尿中 8-OHdG 値の関係について, 相関係数  $r=0.025$  であり, 有意な相関関係は認められなかった (図 130).

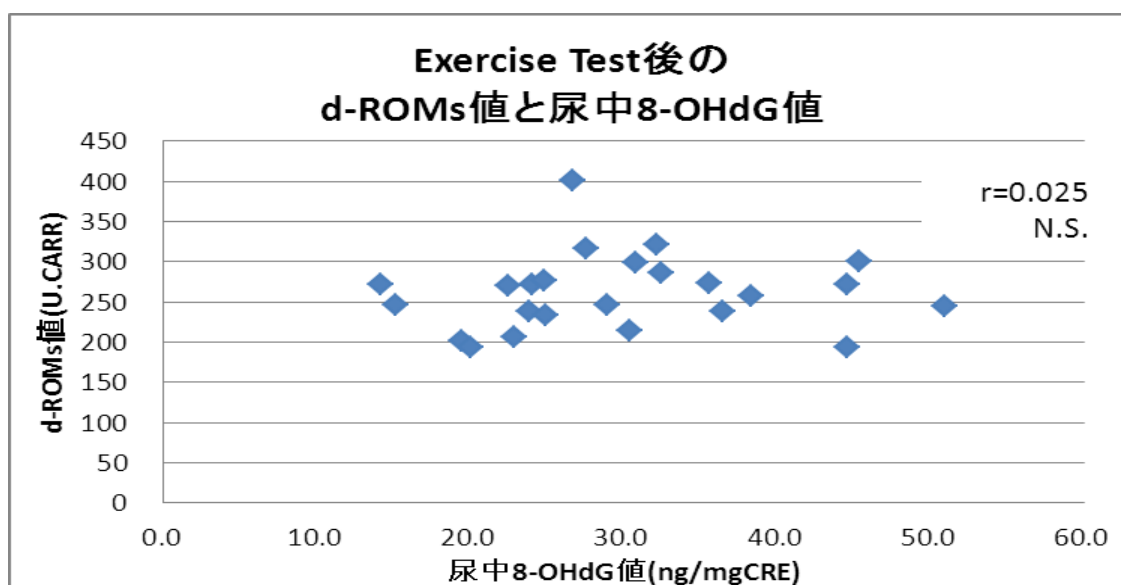


図 130 Exercise Test 後の d-ROMs 値と尿中 8-OHdG 値の関係

#### ② 酸化ストレス度と抗酸化力の関係

酸化ストレス度 (d-ROMs 値) と抗酸化力 (BAP 値) および潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs) について, 相関分析を行った (図 131, 図 132).

d-ROMs 値と BAP 値の関係について, 相関係数  $r=0.228$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

また, d-ROMs 値と BAP/d-ROMs について, 相関係数  $r=-0.886$  であり, 有意 ( $p<0.01$ ) な相関関係が認められた.

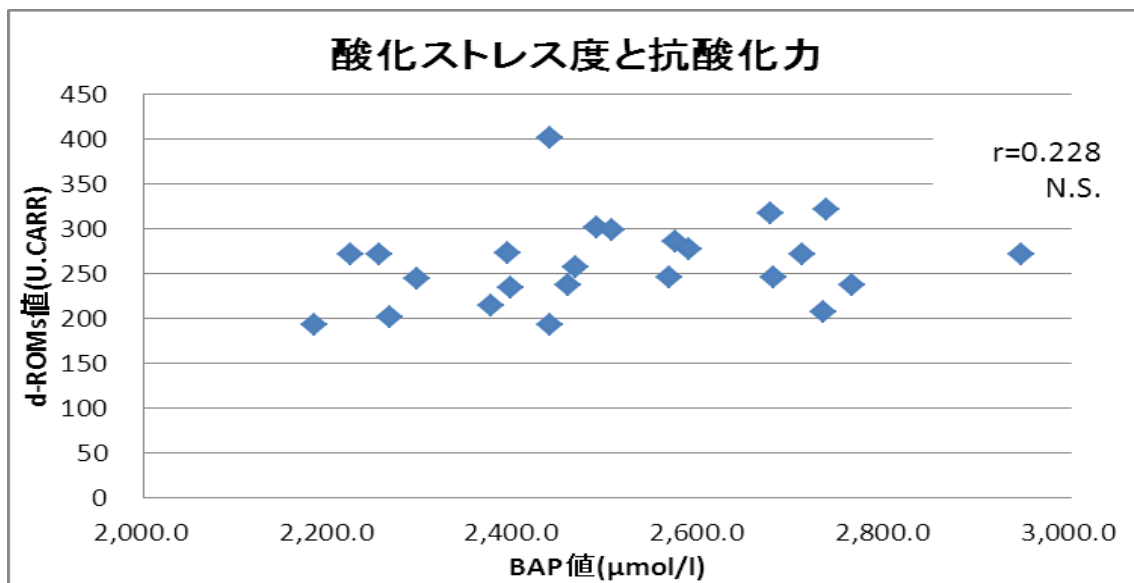


図 131 酸化ストレスと抗酸化力の関係

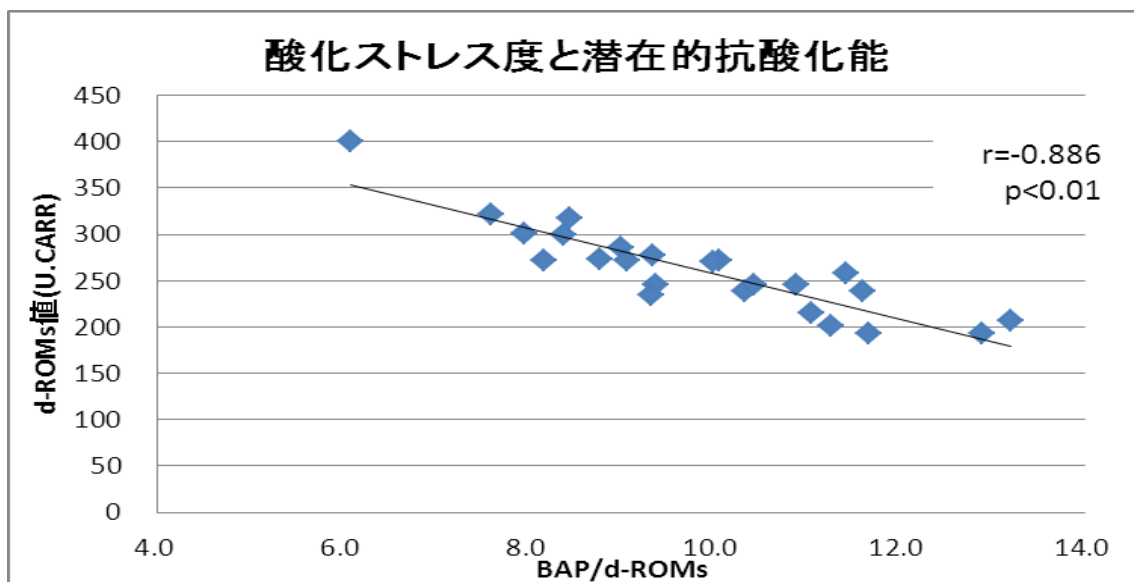


図 132 酸化ストレスと潜在的抗酸化能の関係

③ 尿中 8-OHdG 値と抗酸化力の関係

尿中 8-OHdG 値と抗酸化力 (BAP 値) および潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs) について, 相関分析を行った (図 133, 図 134).

尿中 8-OHdG 値と BAP 値の関係について, 相関係数  $r = -0.047$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

また, 尿中 8-OHdG 値と BAP/d-ROMs について, 相関係数  $r = -0.084$  であり, 有意な相関関係は認められなかった.

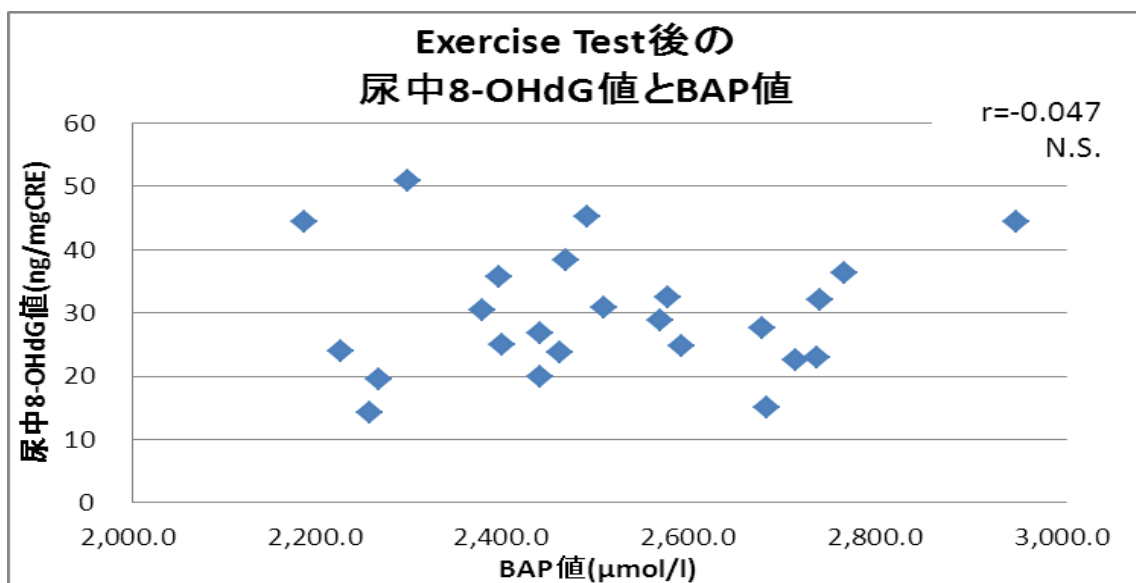


図 133 Exercise Test 後の尿中 8-OHdG 値と BAP 値の  
関 係

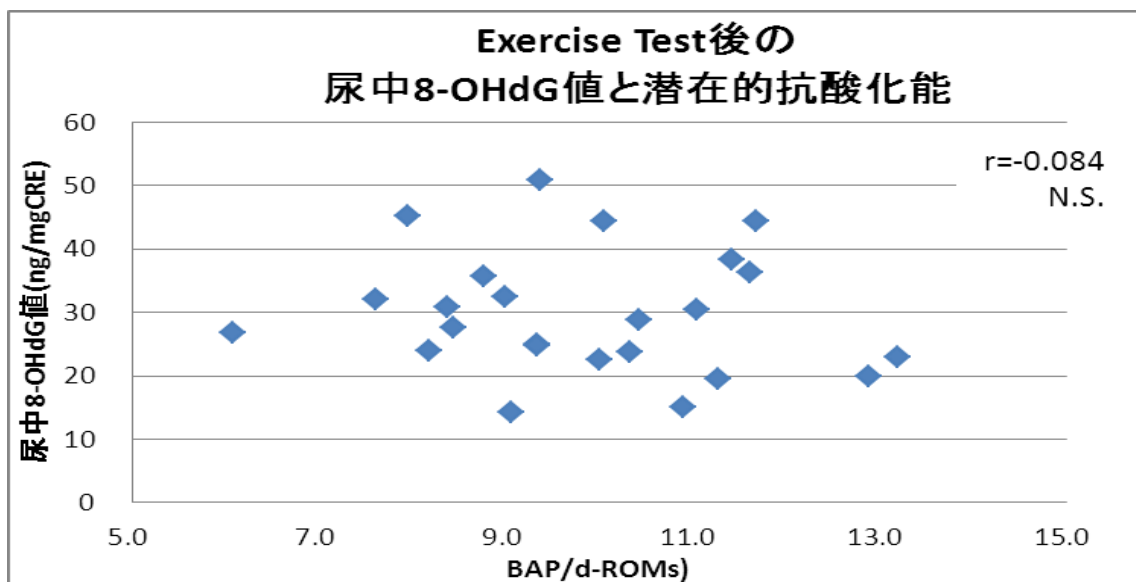


図 134 Exercise Test 後の尿中 8-OHdG 値と BAP 値の  
関 係

## 6. 考 察

本章では，高酸素発生装置と高気圧エアー・チャンバーを用いて 90 分間の酸素ローディングを行った時，その後に行う運動に与える効果について，酸素動態，呼気ガス，心拍数および血中乳酸濃度の面から検討した．

また，酸素ローディングや運動が酸化ストレスや抗酸化力に与える影響についても併せて検討した．

#### (1) 酸素ローディングと運動パフォーマンス

本章では高酸素発生装置と高気圧エアー・チャンバーを用いた 90 分の酸素ローディングを行った．その後，トレッドミルを用いて多段階漸増負荷法による Exercise Test を行った．Exercise Test では呼気ガス分析を行い，酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ )，二酸化炭素排出量 ( $\dot{V}O_2$ )，換気量 ( $\dot{V}E$ )，呼吸交換比 (RQ) と最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) および運動時間によって運動パフォーマンス評価した．

本実験における 90 分間の酸素ローディングによって，高酸素条件と高気圧条件において動脈血酸素飽和度 ( $SpO_2$ ) と大腿部酸素化ヘモグロビンは酸素ローディング前に比べ有意 ( $p < 0.05 \sim 0.001$ ) に増加することが認められた．したがって，酸素ローディングによって体内に酸素が多く取り込まれたことが示唆された．

大腿部酸素化ヘモグロビンについて常酸素条件においても増加した理由としては，90 分間の安静中の姿勢が影響したのではないかと考えられる．本実験では仰臥位姿勢で 90 分間の安静状態を保たせた．仰臥位姿勢は最も全身の筋が弛緩する姿勢とされており，また，頭部，体幹および四肢が心臓とほぼ同じ高さとなるため全身の血流量が増加するとされる．全身の血流量が増加したため，常酸素条件においても大腿部酸素化ヘモグロビンが増加したのではないかと考えられる．高酸素条件と高気圧条件における大腿部酸素化ヘモグロビンは統計的に有意では

なかったものの，常酸素条件と比較して高い水準であったことや， $SpO_2$ の結果から，高酸素や加圧による酸素ローディングによって筋肉内に多くの酸素が取り込まれていると考えられる．

酸素ローディングは運動前に体内の酸素量を増加させることで，運動パフォーマンスを向上させることが期待される．しかし，本実験において，高酸素や加圧による酸素ローディングによって体内の酸素量が増加することが確認できたが，酸素ローディング後のオールアウトまでの持続的運動の最大酸素摂取量の増加や運動時間の延長は認められなかった．酸素ローディングと最大酸素摂取量について Webster et al.(1998)<sup>62)</sup>や McGavock et al.(1999)<sup>32)</sup>は，酸素ローディング後の運動では最大酸素摂取量は増加しないと，本研究と同様の結果を報告している．

高酸素環境や高気圧環境下での運動は，常酸素環境と比べ，運動中に多くの酸素を体内に取り込むことで持久性の運動パフォーマンスが改善されるといわれており，最大酸素摂取量の増加<sup>8)26)56)</sup>や運動時間の延長<sup>2)17)65)</sup>するとされている．しかし，運動前に体内に酸素を取り込む酸素ローディングでは，運動パフォーマンスを向上させる酸素量を取り込むことはできないとされている<sup>23)</sup>．本研究において，酸素ローディングによって体内の酸素量は増加したことを確認しているが，体内の酸素量が定量化できていないため，運動パフォーマンスが向上しなかった理由については本研究結果からは明らかにすることはできなかった．

また，本研究結果の $\dot{V}O_{2max}$ について，酸素ローディング中の頭部酸素化ヘモグロビンと有意( $p<0.05$ )な負の相関関係，頭部脱酸素化ヘモグロビンと有意( $p<0.05$ )な正の相関関係が認められた．これは，運動前の脳の酸素量と運動中の酸素摂取量に何らかの関係がある可能性を

示している．しかしながら，本研究結果からはこのメカニズムについて明らかにすることはできず，運動前の脳の酸素量と運動中の酸素摂取量の関係については今後のさらなる検討が待たれる．

Exercise Test 中の酸素摂取量，二酸化炭素排出量，換気量，呼吸交換比， $SpO_2$  および HR に 3 条件間に有意な差は認められなかった．さらに，Exercise Test において  $30\% \dot{V}O_{2max}$ ， $60\% \dot{V}O_{2max}$  および  $90\% \dot{V}O_{2max}$  に相当時の各項目について検討したところ，Exercise Test 中の酸素摂取量，二酸化炭素排出量，換気量，呼吸交換比， $SpO_2$  および HR に 3 条件間に有意な差は認められなかった．以上のことから，酸素ローディングはオールアウトまでの持続的運動のパフォーマンスに対する作用はなかったと結論づけることができる．

## (2) 運動と酸化ストレス，抗酸化力について

本章では酸素ローディングと Exercise Test による酸化ストレスと抗酸化力について，d-ROMs 値，BAP 値および尿中 8-OHdG 値より検討した．また，BAP 値を d-ROMs 値で除した値で表される潜在的抗酸化能について合わせて検討した．

本研究において，酸素ローディングの前後では d-ROMs 値と BAP 値に有意な変化は認められなかった．齋藤・長島(2008)<sup>49)</sup>は 1.3 気圧の高気圧エアー・チャンバーに滞在したときの酸化ストレスについて検討しており，90 分までは酸化ストレスは高まらないと報告している．本実験結果は齋藤・長島と同様の結果を示している．一方で，Narkowicz et al.(1993)<sup>39)</sup>は高圧高酸素環境(2.7 絶対気圧，酸素濃度 95%)に滞在させたときのフリーラジカルは安静時に比べ有意( $p < 0.01 \sim 0.05$ )に増加したと報告している．本実験や齋藤・長島と異なる結果を示した理由として，Narkowicz et al.の研究では，2.7 絶対気圧，

酸素濃度が 95%と高い酸素分圧であったことが考えられる。ヘンリーの法則により、酸素分圧に比例して、血液などの体液に溶解する酸素も酸素分圧に比例するため、2.7 絶対気圧かつ酸素濃度 95%の環境であったことから、より多くの酸素が体内に取り込まれたことによってフリーラジカルが増加したものと考えられる。

したがって、本実験では、高酸素条件では酸素濃度 40%、高気圧条件では 1.3 気圧であり、Narkowicz et al.の研究に比べ酸素分圧が低かったことが、酸化ストレスの増加を引き起こさなかったものと考えられる。

運動による酸化ストレスへの影響について、本実験結果では Exercise Test 後における d-ROMs 値と尿中 8-OHdG 値は有意 ( $p < 0.001$ ) に増加した。Exercise Test 後の d-ROMs 値の平均値は Exercise Test 前後での酸化ストレスの増加率は d-ROMs 値は約 7%、尿中 8-OHdG 値は約 3 倍増加する結果となった。本実験結果の酸化ストレスの増加について先行研究と照らし合わせ、検討した。

まず、本実験の尿中 8-OHdG 値について、本実験と類似した運動を行った先行研究と照らし合わせると、小河原ら(2002)<sup>41)</sup>は自転車エルゴメータを用いた多段階漸増負荷運動を行った時の尿中 8-OHdG 値について検討した。尿中 8-OHdG 値は運動前では  $13.9 \pm 5.0 \mu\text{g/gCr}$ 、運動後では  $16.7 \pm 7.5 \mu\text{g/gCr}$  であった。運動後では運動前に比べ有意 ( $p < 0.01$ ) に約 20%増加したと報告した。

本実験では尿中 8-OHdG 値は運動後では約 3 倍増加したのに対し、小河原らの報告では約 1.2 倍の増加であった。異なる結果となった理由としては、運動後の採尿時間であると考えられる。運動後の尿中 8-OHdG 値について検討した先行研究<sup>18)38)</sup>では、尿中 8-OHdG 値は運動 1 時間後に最高値を示すとされている。本実験では運動 1 時

間後に採尿を行ったが，小河原らは厳密に 1 時間後ではなく運動終了 1 時間以内に採尿を行ったため，尿中 8-OHdG 値は最大値ではなかったのではないかと考えられる．したがって，運動後の採尿時間の違いによって本研究と異なる結果となったのではないかと考えられる．

また，神林ら(2004)<sup>18)</sup>は，自転車エルゴメータを用いた短時間の高強度間欠的運動を行わせたとき，運動後では運動前に比べ，尿中 8-OHdG 値は有意( $p<0.001$ )に増加し，約 3 倍の値を示したと報告している．これは，運動が有酸素系エネルギー代謝の依存度が高く，筋内での虚血 - 再灌流が生じているため，多くの活性酸素が発生することで DNA の酸化ダメージが生じるためとされている．本実験において運動後で尿中 8-OHdG 値が増加したのは，トレッドミルを用いた多段階漸増負荷法による運動においても神林ら(2004)と同様のメカニズムが生じていたためであると考えられる．以上のことから，本研究における尿中 8-OHdG 値の増加率は妥当であったと考えられる．

次に，d-ROMs 値について考察する．運動後の d-ROMs 値には運動強度と抗酸化機能が影響を及ぼしていると考えられ，2 つの面から d-ROMs 値について検討することにした．

運動後の d-ROMs 値と運動強度の関係について，Takahashi et al.(2012)<sup>57)</sup>は自転車エルゴメータを用いて高強度自転車駆動(130%AT)を 20 分間行ったとき，運動後に d-ROMs 値が有意( $p<0.01$ )に約 30%の増加が認められたと報告している．一方，低強度の持続的運動では運動後の d-ROMs 値は増加しなかったと報告されている<sup>25)35)</sup>．これらの報告は，高強度の持続的運動は d-ROMs 値は増加させることを示しており，本研究において運動後に d-ROMs 値が増加したのは、運動が高強度の持続的

運動であったためと考えられる。また、運動全体の仕事量は同一であっても、運動負荷パターンが d-ROMs 値に影響を及ぼすという報告<sup>35)</sup>もあり、一定強度運動よりも強度変動を伴う運動の方が d-ROMs 値は低値を示すとされている。本研究では高強度の持久的運動であったが、負荷変動を伴う多段階漸増負荷運動であったため、d-ROMs 値の増加率が低値となったと考えられる。

次に、d-ROMs 値と抗酸化機能について、本実験結果では、運動後 BAP 値が有意 ( $p < 0.001$ ) に増加し、d-ROMs 値と潜在的抗酸化能 (BAP/d-ROMs) との間に有意 ( $p < 0.01$ ) な負の相関関係が認められた。このことは、抗酸化機能が高まることによって酸化ストレスを抑制される可能性を示唆している。d-ROMs 値と抗酸化力の関係についてみた報告<sup>35)</sup>によれば、3 時間の自転車エルゴメータ運動では運動開始 1 時間から運動終了 1 時間まで抗酸化力 (BAP 値) が有意 ( $p < 0.05$ ) に約 15% 増加し、d-ROMs 値の増加を抑制したとされている。また、抗酸化サプリメントを用いて運動前に抗酸化力を高めることによって、運動後の体内の酸化ストレスが抑制されたとの報告もある<sup>34)</sup>。したがって、運動による酸化ストレスは抗酸化機能が高まることによって抑制されると考えられる。

以上のことから、運動によって体内の酸化ストレスは増加することが明らかとなった。また、細胞外液中の酸化ストレス指標である d-ROMs 値は運動によって高まるが、同時に抗酸化機能が高まることで抑制されるメカニズムが明らかとなった。

## 7. 本章のまとめ

本章では，高酸素発生装置や高気圧エアー・チャンバーによる酸素ローディングが，その後に行う運動へ与える効果について検討した．また，酸素ローディングが酸化ストレスや抗酸化力に与える影響についても併せて検討した．

酸素ローディングについて，高酸素条件では濃度 40% の酸素を吸入させ，高気圧条件では 1.3 気圧の環境に滞在させた．また，通常的环境に滞在させる常酸素条件の全 3 条件でいずれも 90 分間行った．酸素ローディング後にトレッドミルを用いた多段階漸増負荷法による Exercise Test をオールアウトに至るまで行った．

測定項目は，酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度，脈拍，頭部および大腿部ヘモグロビンを測定した．Exercise Test 中の酸素摂取量，二酸化炭素排出量，換気量，呼吸交換比，動脈血酸素飽和度，心拍数を測定した．また，Exercise Test のオールアウトまでの運動時間と最大酸素摂取量を測定した．また，酸素ローディング前，酸素ローディング後 (Exercise Test 前) および Exercise Test 後において酸化ストレス度 (d-ROMs 値)，抗酸化力 (BAP 値)，尿中 8-OHdG 値および血中乳酸濃度の測定を行った．

本章の結果から，以下の知見が得られた．

- (1) 高酸素条件と高気圧条件において，酸素ローディング中は酸素ローディング前と比較して， $SpO_2$  が有意 ( $p < 0.01 \sim 0.05$ ) に増加することが明らかとなった．
- (2) 全ての条件において，酸素ローディング中は酸素ローディング前と比較して，大腿部酸素化ヘモグロビンが有意 ( $p < 0.001$ ) に増加することが明らかとなった．
- (3) 全ての条件において，酸素ローディング中は酸素ローディング前に比べ，脈拍が有意 ( $p < 0.01$ ) に低下することが明らかとなった．

- (4) 酸素ローディング前後において，酸化ストレス度（d-ROMs 値），抗酸化力（BAP 値）および潜在的抗酸化能（BAP/d-ROMs）は変化しないことが明らかとなった．
- (5) 酸素ローディングはその後に行ったオールアウトまでの持続的運動の運動時間や最大酸素摂取量に影響を及ぼさないことが明らかとなった．
- (6) SpO<sub>2</sub> や酸素化ヘモグロ빈は，Exercise Test 中においては 3 条件間の値に有意な差は認められなかった．
- (7) 酸素ローディングはその後に行った Exercise Test 中の酸素摂取量，二酸化炭素排出量，換気量および呼吸交換比に影響を及ぼさないことが明らかとなった．
- (8) Exercise Test 後では Exercise Test 前に比べ，d-ROMs 値と BAP 値は有意 ( $p < 0.001$ ) に増加することが明らかとなった．しかし，d-ROMs 値の増加は BAP 値の増加によって抑制される可能性が示唆された．
- (9) Exercise Test1 時間後では尿中 8-OHdG 値は有意 ( $p < 0.001$ ) に Exercise Test 前に比べ約 3 倍増加することが明らかとなった．

本研究では，酸素ローディングによって体内の酸素量が増加することが明らかとなった．体内の酸素量の増加に伴って酸化ストレスの増加が予想されたが，酸化ストレスおよび抗酸化力の変化は認められなかった．したがって，濃度 40% の酸素の吸入や 1.3 気圧の環境に滞在した 90 分間の酸素ローディングでは酸化ストレスのリスクは少ないものと考えられる．また，酸素ローディングによって，トレッドミルを用いた多段階漸増負荷法による持続的運動のパフォーマンスに影響を及ぼさないことが示された．

トレッドミルを用いた多段階漸増負荷法による持続的運動後では運動前と比較して，細胞内外の酸化ストレスが高まり，それに伴って抗酸化力や抗酸化能も高値を示

した．細胞外液中の酸化ストレスと抗酸化能には有意 ( $p<0.01$ ) な負の相関関係が認められた．したがって，運動によって酸化ストレスは高まるが，同時に抗酸化能が高まることにより細胞外液中の酸化ストレスは抑制されるメカニズム作用することが明らかとなった．食事やサプリメント等によって抗酸化機能を高めることで，運動による酸化ストレスだけでなく，酸素ローディングによる酸化ストレスを抑制できる可能性があり，今後スポーツ現場で低リスクの酸素ローディングを行うために，さらなる検討が求められる．

## 終章

### 本研究のまとめ

本研究では，スポーツ現場で利用されている高酸素発生装置や高気圧エアー・チャンバーを用いて酸素ローディングを行うことで，酸素ローディングによる生理的応答を酸素動態と酸化ストレスの面から検討することを目的とした．また，酸素ローディングによって，その後に行う運動にどのような効果を及ぼすのかについて併せて検討を行った．

第Ⅰ章では，8名の男子学生を対象に，高酸素発生装置を利用した高酸素吸入による酸素ローディングと高気圧エアー・チャンバーを利用した加圧による酸素ローディングについて，酸素ローディング中の動脈血酸素飽和度( $SpO_2$ )，脈拍，頭部および大腿部ヘモグロビンについて検討した．また，酸素ローディング前後におけるDNAの酸化損傷マーカーである尿中8-OHdGと能動的起立負荷法によって測定される自律神経機能について検討した．また，各酸素ローディングを60分，90分および120分間行い，時間の違いによる影響についても併せて検討した．

第Ⅱ章では，8名の陸上競技部に所属する男子学生を対象に，高酸素吸入と加圧による酸素ローディングを90分間行った．酸素ローディング後に，トレッドミルを用いた多段階漸増負荷法によるExercise Testを対象者がオールアウトに至るまで行った．Exercise Testにおける運動時間，最大酸素摂取量，呼気ガス， $SpO_2$ ，心拍数について検討した．また，酸素ローディング前後とExercise Test前後での酸化ストレスと抗酸化力について検討した．

第Ⅰ章と第Ⅱ章の結果から，高酸素吸入や加圧による酸素ローディングを60分～120分間行うことによって， $SpO_2$ や大腿部酸素化ヘモグロビンは有意( $p<0.05\sim0.01$ )

に増加することが明らかとなった．また，酸素ローディング中では脈拍が有意 ( $p < 0.05 \sim 0.01$ ) に低下し，酸素ローディング後では副交感神経の指標である回復力とバランスについて正常値へ近づくことが明らかとなった．しかし，酸素ローディングの時間の違いによるこれらの項目への影響については明らかにすることはできなかった．

以上のことから，60分～120分間の高酸素吸入や加圧による酸素ローディングを行うことによって，体内の酸素量は増加し，副交感神経機能を高める作用があることが示唆された．このような作用により，スポーツ現場で運動後の疲労回復や日ごろのコンディショニングに酸素ローディングが活かせる可能性があるといえよう．

また，酸素ローディングによる酸化ストレスへの影響について，細胞外液中の酸化ストレスマーカーである d-ROMs 値と細胞内の DNA の酸化損傷マーカーである尿中 8-OHdG 値から検討したところ，d-ROMs 値は酸素ローディング前後で有意な変化を示さなかったのに対し，尿中 8-OHdG 値は増加傾向を示した．尿中 8-OHdG 値の増加率が高酸素条件（酸素濃度 40%）では約 35%であったことに対し，高気圧条件（1.3 気圧）では増加率が 4.5%と低値を示したことから，尿中 8-OHdG 値は酸素ローディングの酸素分圧が関係していることが示唆された．

以上のことから，高い酸素分圧で酸素ローディングを行う場合には酸化ストレスのリスクを考慮する必要があることが示唆された．

酸素ローディングが運動パフォーマンスへ与える効果について，本研究ではトレッドミルを用いた多段階漸増負荷法によって検討した．本研究では酸素ローディングによって体内の酸素量が増加することは示されたが，オールアウトに至るまでの持続的運動のパフォーマンスを向上させる作用は示されなかった．また，酸素ローディ

ングが運動時間や最大酸素摂取量に影響を及ぼさなかっただけでなく、運動中の酸素動態、呼気ガスおよび心拍数や運動後の血中乳酸濃度、酸化ストレスおよび抗酸化力にも影響を及ぼさなかった。したがって、酸素ローディングはオールアウトまでの持続的運動のパフォーマンスに対する作用はなかったと結論づけられた。

運動後では体内の酸化ストレスと抗酸化機能が高まることが明らかとなった。また、d-ROMs 値と潜在的抗酸化能は有意 ( $p < 0.01$ ) な負の相関関係が認められた。これらの結果は細胞外液中の酸化ストレス指標である d-ROMs 値は抗酸化機能が高まることで抑制されるメカニズムが作用することを示唆している。したがって、抗酸化機能を高めることによって、運動による酸化ストレスを抑制するだけでなく、酸素ローディングによる酸化ストレスを抑制できると考えられる。

以上のことから、酸素ローディングは、その後の持続的パフォーマンスには影響を及ぼさないことが明らかとなった。しかし、酸素ローディング中は体内の酸素量が増加し、副交感神経機能を高めるという作用を活かして、スポーツ現場で高酸素発生装置や高気圧エアー・チャンバーが疲労回復やコンディショニングに活用できるツールとなるのではないかと考えられる。酸素ローディングはその後の運動パフォーマンスに影響を及ぼさなかったものの、陸上競技や水泳競技のレース間に酸素ローディングを行うことで、次レースのパフォーマンスの低下を抑えられる可能性が考えられる。運動間の高酸素や加圧による酸素ローディングの活用について、今後さらなる検討が待たれる。

## 引用参考文献

- 1) Abder-Rahman H. A. , Nusair S. “8-Hydroxy-2'-Deoxyguanosine(8-OHdG)as a Short-Term Predictor of Regional and Occupational Health Problems.” J. Uoeh. , 29(3) : 247-258, 2007
- 2) Adams R. P. , Welch H. G. “Oxygen uptake, acid-base status, and performance with varied inspired oxygen fractions.” J. Appl. Physiol. , 49(5) : 863-868, 1980
- 3) Agarwal S. , Sohal R. S. “DNA oxidative damage and life expectancy in houseflies” Br. J. Sports Med. , 37 : 516-520, 2003
- 4) Bloomer R. J. , Goldfrab A. H. , Wideman L. , McKenzie M. J. , Consitt L. A “Effect of acute aerobic and anaerobic exercise on blood makers of oxidative stress.” J. Strength Cond. Res. , 19(2) : 276-285, 2005
- 5) Cabric M. , Medved R. , Denoble P. , Zivkovic M. , Kovacevic H. “Effects of hyperbaric oxygenation on maximal aerobic performance in a normobaric environment.” J. Sports Med. Phys. Fitness. , 11 : 362-366, 1991
- 6) Davison G. , Gleeson M. “The effect of 2 weeks vitamin C supplementation on immunoendocrine responses to 2. 5 h cycling exercise in man.” Eur. Appl. Physiol. , 97 : 454-461, 2006
- 7) 堂面彩加, 對東俊介, 小西華奈, 高橋真, 関川清一, 稲水惇, 濱田泰伸 “健常若年者の肺の酸化ストレスは短時間高強度運動負荷によって増大しない.” 理学療法科学, 26(2) : 287-290, 2011
- 8) 藤瀬武彦, 杉山文宏, 加藤健志, 岩垣丞恒, 山村雅一 “持久的運動鍛錬者の全身持久力に及ぼす高酸素トレーニングの効果” トレーニング科学, 10(2) : 87-96, 1988
- 9) 藤瀬武彦, 重原麻里, 長崎浩爾, 高橋務, 岩垣丞恒, 山村雅一 “無酸素運動時の高濃度酸素ガス吸入が作業成績に及ぼす効果.” 新潟国際情報大学情報文化学部紀要, 5 : 265-282, 2002
- 10) 藤瀬武彦, 橋本麻里, 長崎浩爾, 高橋務, 岩垣丞恒, 山村雅一 “短時間激運動後の回復期における高濃度酸素ガス吸入の効果.” 新潟国際情報大学情報文化学部紀要, 6 : 143 - 158, 2003
- 11) Groussard C. , Rannou-Bekono F. , Machefer G. , Chevanne M. , Vincent S. , Sergent O. , Cillard J. , Gratas-Delamarche A. “Changes in blood lipid peroxidation markers and antioxidants after a single sprint anaerobic exercise.” Eur. J. Appl. Physiol. , 89 : 14-20, 2003
- 12) Hanafusa S. “Study on Oxygen Dynamics and Metabolism under Hyperbaric Oxygenation.” 東京女子医科大学雑誌, 71(7, 8) : 359-371, 2001
- 13) Hodges A. N. H. , Delaney S. , Lecomte J. M. , Lacroix. V. J. , Montgomery.

- D. L. “Effects of hyperbaric oxygen on oxygen uptake and measurements in the blood and tissues in normobaric environment.” *J. Sports Med.*, 37 : 516-520, 2003
- 14) Hogan M. C., Welch H. G. “Effects of varied lactate levels on bicycle ergometer performance.” *J. Appl. Physiol.*, 57(2) : 507-513, 1984
- 15) 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
- 16) 石井良昌, 宮永豊, 下條仁士, 浅野勝己 “高気圧酸素療法の最大運動後の乳酸濃度の及ぼす影響.” *日本高気圧環境・潜水医学会雑誌*, 30(2)109-114, 1995
- 17) Kaijser L. “Physical exercise under hyperbaric oxygen pressure.” *Life Science* 8(1) : 929-934, 1969
- 18) 神林勲, 石村宣人, 中村寛成, 内田英二, 武田秀勝, 藤井博匡 “短時間の高強度間欠運動は尿中 8-OHdG を増加させる.” *日本運動生理学雑誌*, 11(2) : 61-67, 2004
- 19) Kawada S., Fukuya K., Ohtani M., Kobayashi K., Fukusaki C. “Effects of pre-exposure to hyperbaric hyperoxia on high intensity exercise performance.” *J. Strength Cond. Res.* 22(1) : 66-74, 2008
- 20) Kawada S., Fukusaki C., Ohtani M., Kobayashi K. “Effect of hyperoxia inhalation on psychological stress-induced salivary biomarkers.” *Biomed. Res.*, 30(4) : 245-249, 2009
- 21) 川田茂雄 “組織酸素分圧の生理学(1)” *トレーニングジャーナル*, ブックハウス HD, 33(9) : 60-62, 2011
- 22) 川田茂雄 “組織酸素分圧の生理学(2)” *トレーニングジャーナル*, ブックハウス HD, 33(10) : 54-56, 2011
- 23) 川田茂雄 “組織酸素分圧の生理学(3)” *トレーニングジャーナル*, ブックハウス HD, 33(11) : 58-60, 2011
- 24) Kenmure A. C. F., Murdough W. R., Hutton I., Cameron A. J. V. “Hemodynamic effects of oxygen at 1 and 2 Ata pressure in healthy subjects.” *J. Appl. Physiol.*, 32(2) : 223-226, 1972
- 25) 菊池啓子, 内藤通孝, 松谷康子, 鍋野由佳 “運動負荷による酸化ストレスへの影響.” *中部学院大学・中部学院大学短期大学部研究紀要*, 8 : 19-24, 2007
- 26) Knight D. R., Schaffartzik W., Poole D. C., Hogan M. C., Bebout D. E., Wagner P. D. “Effects of hyperoxia on maximal leg O<sub>2</sub> supply and utilization in men.” *J. Appl. Physiol.*, 75(6) : 2586-2594, 1993
- 27) 蔵重淳 “DNA 酸化損傷バイオマーカー8-OHdG の測定.” *臨床検査*, 45(3) : 270-280, 2001
- 28) 李松, 佐藤佑 “高圧・高酸素環境下での運動が遅発性筋肉痛(DOMS)の回復に及ぼす

- 影響.” 仙台大学院スポーツ科学研究科修士論文集, 10 : 87-94, 2009
- 29) 増田和実, 田辺解, 久野譜也 “運動と酸化ストレス.” 筑波大学体育科学系紀要, 25 : 1-11, 2002
  - 30) 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) : 21-24, 2004
  - 31) 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及び心拍変動に及ぼす影響.” 日本生理人類学会誌, 11(2) : 21-25, 2006
  - 32) McGavock J. M., Lecomte J. L., Delamey J. S., Lacroix V. J., Hardy P., Montgomery D. L. “Effects of hyperbaric oxygen on aerobic performance in a normobaric environment.” Undersea Hyperb. Med., 26(4) : 219-224, 1999
  - 33) Miyakawa M., Matsui T., Koshikawa H., Murayama R., Uchiyama I., Itoh T., Yoshida T. “Salivary chromogranin A as measure of stress response to noise.” Noise Health, 8(32) : 108-113, 2006
  - 34) Morillas R. J., Zafrilla P., Almar M., Cuevas M. J., Lopez F. J., Abellan P., AVillegas J., Gonzalez G. J. “The effects of an antioxidant-supplemented beverage on exercise-induced oxidative stress : results from a placebo-controlled double-blind study in cyclists.” Eur. J. Appl. Physiol., 95 : 543-549, 2005
  - 35) 長澤純一, 高井俊英, 坂口明, 井澤鉄也, 木崎節子, 大野秀樹 “運動負荷パターンの差異が酸化ストレスにおよぼす影響” 体力科学, 57(6) : 752, 2008
  - 36) 長島未央子 “長時間自転車運動が鍛錬者の酸化ストレス度及び血中ビタミン濃度に及ぼす影響.” 体力科学, 60 : 279-286, 2011
  - 37) 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
  - 38) 中島早苗, 韓一栄, 蒲原聖可, 中野優, 大野誠 “一過性の運動負荷による尿中 8-OHdG 排泄量の変動.” 東京慈恵会医科大学雑誌, 120 : 153-159, 2005
  - 39) Narkowicz C. K., Vial J. H., McCartney P. W. “Hyperbaric oxygen therapy increases free radical levels in the blood of humans.” Free. Rad. Res. Comms., 19(2) : 71-80, 1993
  - 40) Neubauer B., Tetzlaff K., Buslaps C., Schwarzkopf J., Bettinghausen E., Rieckert H., “Blood lactate changes in men during graded workloads at normal atmospheric pressure(100kPa)and under simulated caisson condition (400kPa).” Int. Arch. Occup. Environ. Health., 72 : 178-181, 1999
  - 41) 野口範子 “運動に関連する酸化ストレスと抗酸化作用.” 日本運動生理学雑誌, 10(1) : 1-8, 2003
  - 42) 小河原はつ江, 櫻井仁美, 富吉聡子, 戸田拓磨, 山崎徹, 半田寛, 森田公夫, 荒川千秋, 福田春枝, 村上傳和 “運動負荷による尿中 8 - ヒドロキシ - 2 ‘ - デオキシグアノ

- シン(8-OHdG)値の変動.” Kitakanto Med. J., 52 : 351-356, 2002
- 43) 奥島大, 山本正嘉 “高濃度酸素の吸入が無酸素性作業のパフォーマンス及び生理的応答に及ぼす影響—高強度インターバル運動及び短時間の全力運動を対象として—.” スポーツトレーニング科学, 10 : 9-16, 2009
  - 44) 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
  - 45) 大倉三洋, 吉田良一, 山本巖, 藤原孝之, 中屋久長, 辻田純三, 古谷美知 “酸素濃度の相違が呼吸・循環機能に与える影響—VE・SpO<sub>2</sub>・HRの面からの検討—.” 日本保健科学学会誌, 9(1) : 24-29(2006)
  - 46) 大野秀樹, 大石修司, 大河原知水, 木崎節子, 中尾千登世, 佐藤祐造, 宮崎裕美, 芳賀脩光 “酸化ストレスとSOD.” 日本運動生理学雑誌, 5(1) : 29-31, 1998
  - 47) 大野秀樹, 鈴木健二, 人見嘉哲, 木本紀代子, 伊藤長栄, 宮澤伸子, 木崎節子 “運動とフリーラジカル.” 体力科学, 50 : 89-416, 2001
  - 48) 大野秀樹・木崎節子 “酸化ストレス.” 臨床スポーツ医学, 文光堂, 26(臨時増刊号) : 166-173, 2009
  - 49) 齋藤和仁, 長島未央子 “高気圧エアージェンパーへの入室時間が酸化ストレス, 末梢血および全血細孔通過時間に及ぼす影響.” 日本臨床高気圧酸素・潜水医学会雑誌, 6 : 27-30, 2009
  - 50) 齋藤恭世, 田中英登, 原川早織, 須田和裕 “生体内DNA酸化的損傷(尿中8-OHdG排泄力)に及ぼす一過性運動負荷時における環境温度の影響.” 日本運動生理学雑誌, 12(2) : 85-93, 2005
  - 51) Sen C. K., Rankinen T., Vaisanen S., Rauramaa R. “Oxidative stress after human exercise : effect of N-acetylcysteine supplementation.” J. Appl. Physiol., 76 : 2570-2577, 1994
  - 52) Shi M., Wang X., Yamanaka T., Ogita F., Nakatani K., Takeuchi T. “Effects of anaerobic exercise and aerobic exercise on biomarkers of Oxidative stress.” Environ. Health Prev. Med., 12 : 202-208, 2007
  - 53) Staples J. R., MSc, Clement D. B., Taunton J. E., McKenzie D. C. “Effects of Hyperbaric Oxygen on a Human Model of Injury.” Am. J. Sports Med., 27(5) : 600-605, 1999
  - 54) Staples J., Clement D. “Hyperbaric Oxygen Chambers and the treatment of sports Injuries.” Sports Med., 22(4) : 219-227, 1996
  - 55) Stellingwerff T., Glazier L., Watt M. J., LeBlanc P. J., Heigenhauser G, J. F., Spriet L. L. “Effects of hyperoxia on skeletal muscle carbohydrate metabolism during transient and steady-state exercise.” J. Appl. Physiol., 250-256, 2004

- 56) 杉山康司, 青木純一郎 “全身持久力に及ぼす高酸素気吸入トレーニングの効果.” 体力科学, 39 : 173-180, 1990
- 57) Takahashi M., Suzuki K., Matoda H., Sakamoto S., Obara S., “Effects of different intensities of endurance exercise on oxidative stress and antioxidant capacity.” J. Phys. Fitness Sports Med., 1(1) : 183-189, 2012
- 58) 武村英和, 内丸仁, 高橋弘彦, 鈴木省三 “高強度運動後の高圧高酸素環境滞在が疲労回復とパフォーマンスに及ぼす影響.” 仙台大学紀要, 43(1) : 9-18, 2011
- 59) 坪井實 “運動時における酸素の効用.” J. J. Sports Sci., 6 : 797-802, 1987
- 60) Venditti P., Masullo P., Di Meo S. “Effect of training on H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> release by mitochondria from rat skeletal muscle.” Arch. Biochem. Biophys., 372(2) : 315-320, 1999
- 61) 和田正信, 坂本誠, 杉山美奈子, 松永智 “高強度運動における筋疲労の要因：無機リン酸, グリコーゲン及び活性酸素種の影響.” 体育学研究, 51 : 399-408, 2006
- 62) Webster A. L., Syrotuik D. G., Jones R. L., Bhambhani Y., Young M. “Exercise after acute hyperbaric oxygenation Is there an ergogenic effect?” Undersea Hyperb. Med., 25(3) : 153-159, 1998
- 63) Welch H. G., Bonde-petersen F, Graham T., Klausen K., Secher N. “Effects of hyperoxia on leg blood flow and metabolism during exercise.” J. Appl. Physiol., 13 : 253-266, 1977
- 64) Welch H. G., Pedersen P. k. “Measurement of metabolic rate in hyperoxia.” J. Appl. Physiol., 51 : 725-731, 1981
- 65) Wilson B. A., Welch H. G., Lines J. N. “Effects of hyperoxic gas mixtures on energy metabolism during prolonged work.” J. Appl. Physiol., 39 : 267-271, 1975
- 66) 山内博, 網中雅仁, 吉田勝美, 世良耕一郎 “健常者の DNA 損傷とその作用因子に関する研究.” NMCC 共同利用研究成果報文集, 9 : 173-177, 2001

## 謝 辞

本研究を進めるにあたり，時に厳しく，丁寧かつ熱心な御指導をして頂いた杉田正明教授に深謝の意を表します．また，保健体育科の先生方には研究に対する心構えなど様々なアドバイスをしていただき，未熟ながらも本論文を作成することができました．心から感謝を申し上げます．

実験実施にあたり，度重なる苦痛にも文句一つ言わず，快く引き受けてくれた 15 名の方，忙しい中実験補助を引き受けてくれた大学院の先輩・後輩，保健体育科 61 期の方に心から感謝を申し上げます．杉田研究室の後輩のサポートがあったおかげで，無事完成に至ることができたことに感謝します．

共に修士論文作成をした仲間である竹田祥吾先輩と渡邊貴仁先輩とは，この 2 年間毎日のように議論し続け，共に高め合ってきたことで，何度も心が折れかけた時もありましたが，最後まで修士論文を作成することができ，心から感謝を申し上げます．

杉田正明教授をはじめ，多くの方の支えによって修士論文の完成に至ることができたことを忘れずに今後の人生を歩んでいきます．