



運動に伴う生体の酸化ストレスの評価法 についての検討

宮崎誠司 (体育学部武道学科) 遠藤慎也 (健康学部健康マネジメント学科)

丹治史弥 (体育学部競技スポーツ学科) 内山秀一 (体育学部体育学科)

大川康孝 (体育学部武道学科)

Study on methods for assessing oxidative stress on the human body associated with
exercise

Seiji MIYAZAKI, Shinya ENDO, Fumiya TANJI, Shuichi UCHIYAMA and Yasutaka OOKAWA



Abstract

Exercise stimulates the body's energy metabolism and causes oxidative stress. Oxidative stress is a bodily condition that happens when your antioxidant levels are low. oxidative stress can lead to cell and tissue breakdown. There are several different ways to assess the body's oxidative and reducing levels. The d-ROMs test is used to evaluate oxidative levels, and the BAP test is used to evaluate antioxidant capacity. In previous studies, oxidative stress after exercise (d-ROMs) has not increased in all studies.

However, the antioxidant capacity (BAP) after exercise is commonly increased in all studies.

Therefore, to investigate exercise-induced changes in redox response, we measured oxidative stress (d-ROMs) and antioxidant capacity (BAP) in squatting and bicycle pedaling, and defined the sum of their relative ratios as the Total Oxidative Index (TOI), and compared the results before and after exercise. During squatting at 20% 1RM, d-ROMs did not increase, but BAP and TOI did. In bicycle pedaling at 50% and 75% of exercise load relative to VO_{2max} , d-ROMs, BAP, and TOI increased before and after exercise, but there were no differences in BAP between exercise intensities. It is suggested that d-ROMs looks at the current oxidation level, but that an evaluation of the acute oxidative response of exercise with an oxidative response such as TOI, which is not reduced by BAP, is more appropriate.

Keywords: exercise, oxidative stress, antioxidant ability

(Tokai J. Sports Med. Sci. No. 36, 55-63, 2024)

I. 緒言

運動負荷は生体のエネルギー代謝を刺激すると同時に酸化ストレスをもたらすことが知られている。酸化ストレスとは「生体の酸化反応と抗酸化反応のバランスが崩れ、酸化状態に傾き、生体が

酸化的障害を起こすこと」と定義されている。酸化ストレスをもたらすのは、フリーラジカルであり、その多くを活性酸素種が占めているといわれている。特に運動は、活性酸素を増加させる要因として知られている。活性酸素種の発生率は摂取する酸素量の1-3%と試算され、15000-20000リットルの酸素を摂取する人体では1日100リット

ル以上（約10億個）の活性酸素種が発生していると言われている¹⁾。

生体中では、活性酸素種の発生量を直接測定することが可能であれば、生体内の状態を一早く知ることができる。電子スピン共鳴装置 Electron Spin Resonance (ESR) によってフリーラジカルに類する一部の活性酸素種は、5,5-Dimethyl-1-pyrroline N-Oxide (DMPO) や 2-(4-Carboxyphenyl)-4,4,5,5-tetramethylimidazoline-1-oxyl-3-oxide (CarboxyPTIO) などのスピントラップ剤の存在下で直接測定することが可能である。しかし、測定には高価な装置が必要であり、かつ、定量的な測定には技術を要することから簡単には測定ができない。また、活性酸素種・フリーラジカルは、高い反応性を示すが、ヒドロキシルラジカルの半減期は 10^{-6} 秒水酸化物イオンの半減期は 10^{-9} 秒といった短い半減期とのため、生体内の状態を測定するのがきわめて困難である。そのため、血漿内の活性酸素種・フリーラジカルによる代謝産物の ROOH を捉えて酸化ストレス測定する Diacron-Reactive Oxygen Metabolites（以下 d-ROMs）テストが酸化ストレスマーカーとして用いられてきた。

運動と酸化ストレス（酸化度、d-ROMs）の関係を見た研究は散見される。丸岡（2005）は漸増負荷による症候限界までの負荷で有意に上昇も正常範囲内の変化であること²⁾、種本（2013）は60%および80%となる30分間の自転車エルゴメーター漕では有意に上昇していないこと³⁾、木本（2012）らは40%最大負荷30分の自転車エルゴメーター漕では有意に上昇はしていないこと⁴⁾、Takahashi（2012）らは、130% AT レベルの自転車エルゴメーター漕では有意に上昇したが、100%および70% AT レベルの自転車エルゴメーター漕では有意に上昇しないこと⁵⁾、Parker（2013）は最大酸素摂取量の運動強度の40%、55%、70%、85%、100%で5分間の自転車エルゴメーター漕を行ったが、いずれも d-ROMs 値の上昇は認めなかった⁶⁾と報告している。また渡辺ら（2021）は、最大酸素摂取量の50%の負荷の

自転車エルゴメーター漕では上昇しなかったが、75%の負荷では増加したと報告している⁷⁾。

これらの報告からみると、運動をしても酸化ストレスが上がらないという結論になるが、酸化ストレスとは「生体の酸化反応と抗酸化反応のバランスが崩れ、酸化状態に傾き、生体が酸化的障害を起こすこと」であり、活性酸素種・フリーラジカルの発生量とは異なるものである。種本（2013）、Parker（2013）、渡辺（2021）らは d-ROMs と同時に抗酸化力の測定として Biological Antioxidant Potential (BAP) テストを行い、どの運動でも BAP 値の増加が報告されている。つまり、運動によって活性酸素種・フリーラジカルの発生量は上がるものの、抗酸化反応が惹起されることにより、生体に障害を与えるような酸化状態（酸化ストレス）に傾いているわけではないということである。

安静時には、その時点での酸化状態（酸化ストレス）を見ることで慢性的にかかる酸化状態を見ることができるが、運動負荷といった急激に増える活性酸素種・フリーラジカルによる生体への負荷としての生体の酸化還元反応を検討するためには、「運動負荷といった急性の活性酸素種・フリーラジカルの上昇を評価するのに、酸化ストレスといった酸化状態に傾いているかどうかの評価でいいのであろうか」という疑問が生じることになる。そこで生体に生じる酸化力の総数（活性酸素種・フリーラジカルの発生量）を現在ある酸化度（d-ROMs）と還元できる能力（抗酸化力：BAP）の和と考え、その総和を運動課題との関係を検討した。ただし、d-ROMs と BAP では単位が異なるため単純な合算はできないため、運動前の状態からの変化率を合算した値を総酸化力として、運動負荷との比較を行った。

Ⅱ. 対象と方法

研究はスクワット運動と自転車エルゴメーター漕の2つの種目について行った。それぞれ、運動前

後の血液中の酸化度、抗酸化能の測定を行い比較した。

1. 研究①スクワット運動における酸化還元反応

1) 対象

対象は健康状態に異常の認められない男性10名(年齢: 21 ± 1 歳、身長: 171.4 ± 4.5 cm、体重 80.2 ± 10.8 kg)とした。被験者の中に喫煙習慣や、薬やサプリメントを服用している人はいなかった。被験者には、測定前日の飲酒、激しい運動や飲酒は控えるように指示をした。なお測定当日は、全員朝食を摂取した後の午前10時から測定を行った。測定中は水分(水)の摂取のみ可とした。本研究は、東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認を受け実施した。(承認番号: 22175)

2) 方法

(1) 運動負荷

20%1RMの強度のスクワットを20回5セット(セット間30秒)行い、運動前・運動直後に指尖部から血液を採取し、血液中の酸化度(d-ROMsテスト)、抗酸化力(BAPテスト)を測定した。

2. 研究②異なった運動負荷における自転車エルゴメーター漕における酸化還元反応

1) 対象

対象は日常的に運動習慣のない男性6名(年齢: 22.8 ± 1.2 歳、身長: 164.56 ± 9.9 cm、体重 65.8 ± 8.2 kg)である。被験者の中に喫煙および薬やサプリメントを服用習慣があるものはなかった。被験者には、測定前日の飲酒、激しい運動、飲酒は控えるように指示をした。また本研究は、東海大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認を受け実施した。(承認番号: 20050)

2) 方法

1) 運動負荷量の設定

自転車エルゴメーター漕における負荷(ワット)を設定するために、事前に据置型呼気分析器

(Quark CPET: COSMED 社製)を用いて、自転車エルゴメーターの斬増負荷法による呼気ガスの分析から最大酸素摂取量を測定した。得られた最大酸素摂取量時のエルゴメーターの最大負荷量から、50% ($50\% \text{VO}_{2\text{max}}$) および75% ($75\% \text{VO}_{2\text{max}}$) の負荷量を算出し、30分間のペダリング運動を行った。運動前・運動直後に指尖部から血液を採取し、血液中の酸化度(d-ROMsテスト)、抗酸化能(BAPテスト)を測定した。

3. 血液中の酸化度と抗酸化能の測定

運動前・運動直後に指尖部から血液を採取し、検体は被験者の指尖から毛細管血を採取し、その後、遠心分離機に2分間かけ、血液から血球成分を取り除いた血漿のみを使用し、フリーラジカル解析装置(研究① REDOXLIBRA: WISMERLL 社製、研究② FREE Carrio Duo: Diacron International 社製)にて測定した。

1) 血液中酸化度の測定: d-ROMs (Diacron-Reactive Oxygen Metabolites) テスト

d-ROMsテストは、生体における活性酸素代謝物の一種である血中のヒドロペルオキシド(ROOH)濃度を光度計測し、評価する方法である。まず得られた血液を2分間遠心分離し、遠心分離により得られた血清 $20\mu\text{l}$ を鉄イオンの存在下で過酸化物をラジカルに戻し、そのラジカルと反応する呈色液(N,N'-ジエチルパラフェニレンジアミン)を混合し、その濃度をフリーラジカル解析装置で測定し、得られた結果をd-ROMs値(酸化度、単位はCARRU)とした。

(2) 抗酸化力の測定 BAP (Biological Antioxidant Potential) テスト

BAPテストは、血清中の還元力を有する物質による還元作用を評価する方法である。採取した血液を三価鉄 Fe^{3+} を含む試薬と混ぜ、二価鉄 Fe^{2+} に還元される量を呈色液の脱色レベルで光度計測により評価する方法である。最初に、三価鉄塩 FeCl_3 と無色のチオシアン酸塩を反応させ三価

鉄 Fe^{3+} イオンとして赤く呈色をさせる。そこに遠心分離によって得られた血清 $10\mu\text{l}$ を添加し、血清中の抗酸化物質の作用で二価鉄 Fe^{2+} イオンに還元され赤色が脱色する。その色の変化をフリーラジカル解析装置で測定し、得られた結果を BAP 値（酸化度、単位は $\mu\text{mol/L}$ ）とした。

4. 分析項目

1) 酸化度 (d-ROMs)

d-ROMs テストは活性酸素・フリーラジカルを直接測定するのではなく、代謝産物の ROOH を捉えて酸化ストレス測定として定量化する。測定方法から考えても、現在さらされている‘酸化ストレス’の量を反映する。d-ROMs テストの基準値は、正常値：200-300、ボーダーライン：300-320、軽度の酸化ストレス：321-340、中程度の酸化ストレス：341-400、強度の酸化ストレス：401-500、かなり強度の酸化ストレス：501以上とされており、単位は CARR U である。

2) 抗酸化力 (BAP)

BAP テストは、三価鉄 Fe^{3+} イオンを二価鉄 Fe^{2+} イオンへ還元することで、血液に含まれるすべての水溶性の抗酸化物質における還元力（抗酸化力）を総合的に示すことが可能な測定法である。BAP テストの基準値は、最適値：2200以上、ボーダーライン：2000-2199、抗酸化力がやや不足：1800-1999、抗酸化力が不足：1600-1799、抗酸化力がかなり不足：1400-1599、抗酸化力が大幅に不足：1399以下とされており、単位は $\mu\text{mol/L}$ である。

3) 潜在的抗酸化能 (Oxidative Stress Index : OSI)

d-ROMs テストによる酸化度の値と BAP テストによる抗酸化力値から、両者のバラン

ス比である OSI を「 $\text{OSI} = \text{d-ROMs} \div \text{BAP} \times \text{補正係数}$ 」で求めた⁸⁾。補正係数は、日本人における絶対的健常人の OSI の平均が1.00になるとされる係数8.85として算出した⁹⁾。高い数値では、酸

化ストレスが高いことを表す。

4) 総酸化量 (Total Oxidative Index : TOI)

酸化能力 (d-ROMs) の安静時を基準値 1 としてそこからの変化率と、還元できる能力（抗酸化力：BAP）の安静時を基準値 1 としてそこからの変化率を算出し、その和をその時点に生じている生体の酸化力（活性酸素・フリーラジカルの発存量）と考え、総酸化量 (Total Oxidative Index : TOI) とした。安静時の値は 2 となる。

Total Oxidative Index =

$$\frac{\text{d-ROMs}}{\text{安静時 d-ROMs}} + \frac{\text{BAP 値}}{\text{安静時 BAP 値}}$$

5. 統計学的解析

研究①

運動前後の比較は、Wilcoxon signed-rank test にて運動前後の比較を行った。有意水準は0.05とした。

研究②

運動強度間、運動前後間に加え被験者間の 3 要因で multi-way analysis of variable を行った。有意水準は0.05とした。

Ⅲ. 結果

1. 研究①

d-ROMs 値は運動前 239.5 ± 44.7 (153-311) CARR U、運動後 243.3 ± 44.5 (173-305) CARR U で、運動前後に有意差を認めなかった (図 1)。変化率でみても、運動前 1 に対して運動後は 1.02 ± 0.11 (0.79-1.13) で運動前後に有意差を認めなかった。

BAP 値は運動前 1795.8 ± 387.8 (1237-2711) $\mu\text{mol/L}$ 、運動後は 2180.5 ± 354.2 (1795-2827) $\mu\text{mol/L}$ で、運動前に比べ運動後に有意に増加していた ($p < 0.05$) (図 2)。

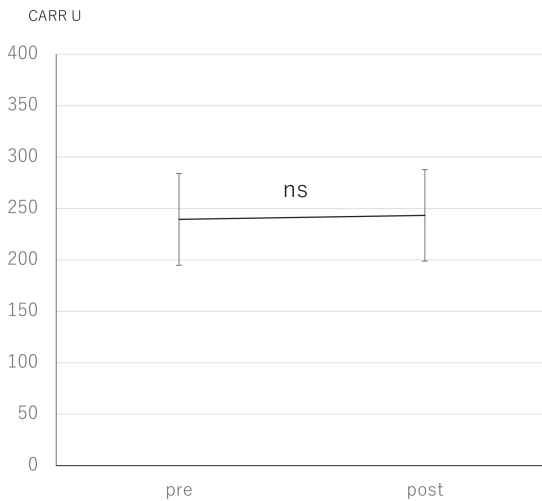


図1 研究①スクワット運動における d-ROMs の運動前後の変化

Fig.1 Sutudyl: Pre- and post-exercise changes in d-ROMs during squatting exercise

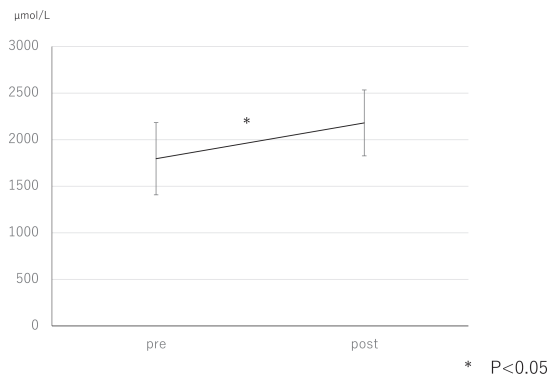


図2 研究①スクワット運動における BAP の運動前後の変化

Fig. 2 Study 1: Pre- and post-exercise changes in BAP during squat exercise

変化率でも、運動前 1 に対して運動後は 1.24 ± 0.23 (0.90-1.74) で運動前に比べ運動後に有意に増加していた ($p < 0.05$)。

潜在的抗酸化能 (Oxidative Stress Index : OSI) は、 1.24 ± 0.38 (0.76-1.84)、運動後は 1.01 ± 0.27 (0.67-1.35) で、運動前に比べ運動後が有意に低下していた ($p < 0.05$) (図 3)。

総酸化量 (Total Oxidative Index : TOI) は安藤前 2 に対して、運動後は 2.26 ± 0.26 (1.95-2.72) で、運動前に比べ運動後に有意に増加していた ($p < 0.05$) (図 4)。

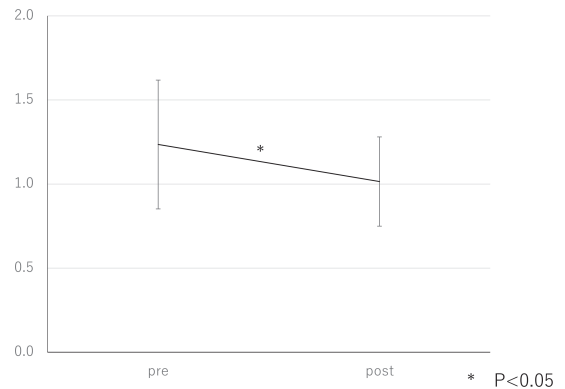


図3 研究①スクワット運動における Oxidative Stress Index (OSI) の運動前後の変化

Fig. 3 Pre- and post-exercise changes in the Oxidative Stress Index (OSI) during squatting exercise

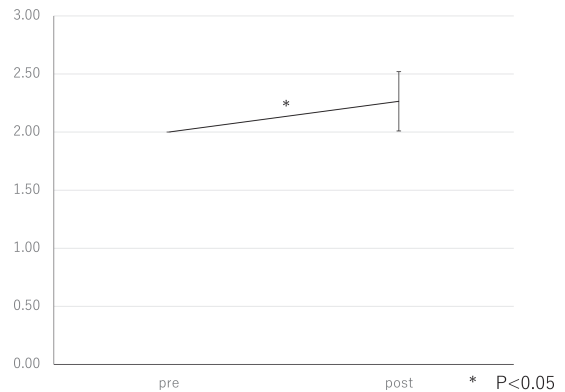


図4 研究①スクワット運動における Total Oxidative Index (TOI) の運動前後の変化

Fig. 4 Pre- and post-exercise changes in the Total Oxidative Index (TOI) during squatting exercise

2. 研究②

1) d-ROMs

d-ROMs 値は、50 % VO_{2max} では運動前 274.2 ± 34.7 (243-328) CARR U 運動後 287.7 ± 35.2 (242-331) CARR U、75 % VO_{2max} では運動前 300.1 ± 43.4 (254-365) CARR U 運動後 324.5 ± 53.3 (272-393) CARR U であった。運動強度間、運動前後間、被験者の 3 つの要因間において、運動強度間と被験者間の交互作用を認めたが、その他の要因間または 3 要因の交互作用は認めなかった。また、運動強度間、運動前後間、被験者間に主効果が認められた。運動強度ごとの運動前後の変化を図 5 に示す。

d-ROMs 値を変化率でみると、50 % VO_{2max} で

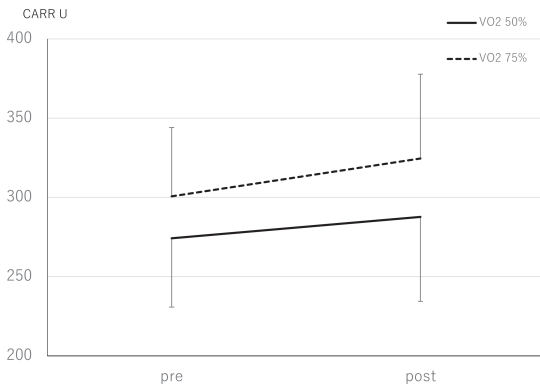


図5 研究②自転車エルゴメーター漕における d-ROMs の運動強度ごとの運動前後の変化
運動強度×運動前後では交互作用－、主効果は運動強度間＋、運動前後間＋

Fig. 5 Study 2: Changes in d-ROMs before and after exercise at different exercise intensities during bicycle ergometer pedalling
No interaction between exercise intensity and pre- and post-exercise, main effects are between exercise intensity and pre- and post-exercise
Main effect is between exercise intensity and between pre- and post-exercise

は運動前 1 に対して運動後は 1.05 ± 0.06 (0.95-1.12)、75 % VO_{2max} では運動前 1 に対して運動後は 1.05 ± 0.06 (0.95-1.12) であった。

2) BAP

BAP 値は、50 % VO_{2max} では運動前 2180.5 ± 180.0 (1985-2493) $\mu\text{mol/L}$ 、運動後 2294.8 ± 110.6 (2221-2492) $\mu\text{mol/L}$ 、75 % VO_{2max} では運動前 2202.5 ± 111.3 (2107-2391) $\mu\text{mol/L}$ 、運動後 2759.7 ± 138.3 (2569-2946) $\mu\text{mol/L}$ であった。運動強度間、運動前後間、被験者の 3 つの要因間において、運動強度間と運動前後間の交互作用を認めたが、その他の要因間または 3 要因の交互作用は認めなかった。また、運動強度間、運動前後間、被験者間に主効果が認められた。運動強度間、運動前後間における単純主効果の検定では、運動前では運動強度間に有意差は認められなかったが、運動後の運動強度間に有意差を認めた ($p < 0.05$)。運動強度ごとの運動前後の変化を図 6 に示す。

変化率でみると、50 % VO_{2max} では運動前 1 に対して運動後は 1.06 ± 0.06 (0.98-1.13)、75 % VO_{2max} では、運動前 1 に対して運動後は $1.25 \pm$

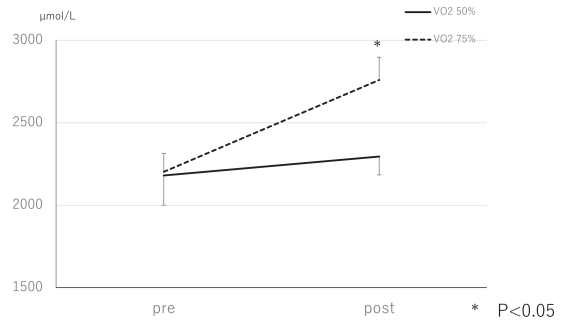


図6 研究②自転車エルゴメーター漕における BAP の運動強度ごとの運動前後の変化

運動強度×運動前後では交互作用＋、主効果は運動強度間＋、運動前後間＋
単純主効果検定：運動前 ns、運動後有意差あり ($p < 0.05$)

Fig. 6 Change in BAP before and after exercise at different exercise intensities during bicycle ergometer pedalling
Interaction between exercise intensity and pre- and post-exercise +, main effects between exercise intensity +, between pre- and post-exercise +
Simple main effect test no significant difference before exercise, significant difference after exercise ($p < 0.05$)

0.05 (1.21-1.34) であった。

3) 潜在的抗酸化能 (Oxidative Stress Index : OSI)

OSI は、50 % VO_{2max} 1.12 ± 0.18 (0.90-1.35)、運動後 1.11 ± 0.16 (0.86-1.30) で、75 % VO_{2max} 1.21 ± 0.19 (1.02-1.53)、運動後 1.04 ± 0.19 (0.86-1.31) であった。運動強度間、運動前後間、被験者の 3 つの要因間において、運動強度間と運動前後間並びに運動強度間と被験者間の交互作用を認めたが、その他の要因間または 3 要因の交互作用は認めなかった。また、運動前後間、被験者間に主効果が認められた。運動強度間には主効果が認められなかった。運動強度間、運動前後間における単純主効果の検定では、運動前および運動後の運動強度間に有意差を認めた ($p < 0.05$)。運動強度ごとの運動前後の変化を図 7 に示す。

4) 総酸化量 (Total Oxidative Index : TOI)

総酸化量 (TOI) は、50 % VO_{2max} 運動前の値 2 に対して、運動後 2.11 ± 0.10 (1.95-2.21)、75 % VO_{2max} では運動前の値 2 に対して、運動後 2.33

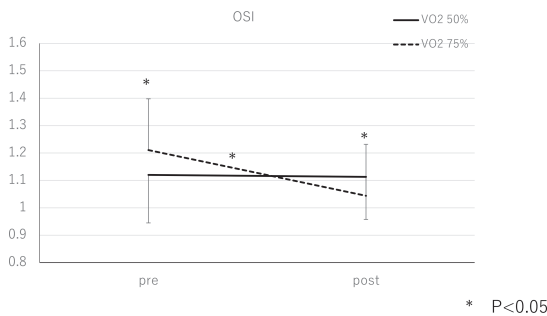


図7 研究②自転車エルゴメーター漕における潜在的抗酸化能 OSI の運動強度ごとの運動前後の変化
運動強度×運動前後では交互作用+、主効果は運動強度間-、運動前後間+
単純主効果検定：運動前後とも運動強度の違いで有意差あり ($p<0.05$)、75% VO_{2max} のみ前後で有意差あり ($p<0.05$)

Fig. 7 Change in Oxidative Stress Index before and after exercise at different exercise intensities during bicycle ergometer pedalling
Interaction between exercise intensity and pre- and post-exercise, but no main effect between exercise intensity, but between pre- and post-exercise
Simple main effect test shows significant differences between exercise intensity both before and after exercise ($p<0.05$), only 75% VO_{2max} is significantly different between before and after exercise ($p<0.05$)

±0.06 (2.25-2.42) であった。運動強度間、運動前後間、被験者の3つの要因間において、運動強度間と運動前後間の交互作用を認めたが、その他の要因間または3要因の交互作用は認めなかった。また、運動強度間、運動前後間に主効果が認められたが、被験者間には有意差を認めなかった。運動強度間、運動前後間における単純主効果の検定では、運動前では運動強度間に有意差は認められなかったが、運動後の運動強度間に有意差を認めた ($p<0.05$)。運動強度ごとの運動前後の変化を図8に示す。

IV. 考察

運動は酸化ストレスの上昇を招くと一般的に言われることが多い。運動に伴うエネルギーの消費は、ATP合成を促進すべく酸素需要の増加をきたし、酸素の生体内への流入の増加は活性酸素・フリーラジカルの増加につながっている。本研究

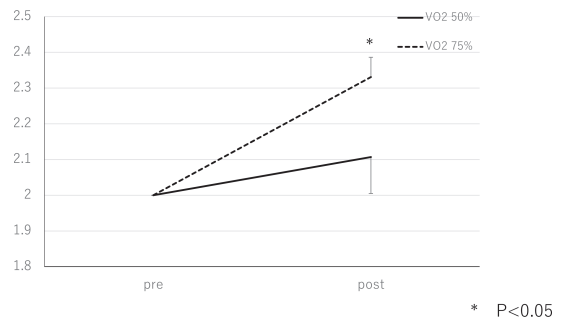


図8 研究②自転車エルゴメーター漕における総酸化量 (TOI) の運動強度ごとの運動前後の変化
運動強度×運動前後では交互作用+、主効果は運動強度間+、運動前後間+
単純主効果検定：運動前 ns、運動後有意差あり ($p<0.05$)

Fig. 8 Change in Total Oxidative Index before and after exercise at different exercise intensities during bicycle ergometer pedalling
Interaction between exercise intensity and pre- and post-exercise, main effects found between exercise intensities and between pre- and post-exercise
Simple main effect test no significant difference before exercise, significant difference after exercise ($p<0.05$)

では、運動によっておこる活性酸素種・フリーラジカルの増加を表そうとした研究である。酸化ストレスとは「生体の酸化反応と抗酸化反応のバランスが崩れ、酸化状態に傾き、生体が酸化的障害を起こすこと」と定義されているにも関わらず実施には酸化ストレスの増加と活性酸素発生量が同一化されて論じることが多いかったのが問題であった。これを解決するためには、運動による生体内で増加する活性酸素種・フリーラジカルの増加イコール酸化ストレスの増大ではなく、運動負荷により惹起される抗酸化力に打ち消されてもまだ残る酸化ストレスがあがるかどうか考えるべきであろう。そのため酸化度と抗酸化力の和を求めて急性の酸化反応の増加を表す総酸化量 (Total Oxidative Index: TOI) を定義し、本研究は2つの運動様式を行い、運動前後の比較をおこなった。

20%1RMの負荷で20回5セットのスクワット運動では、酸化度 (d-ROMs) は増加せず、抗酸化力 (BAP) は増加し、総酸化量 (TOI) は増加した。これまでのような酸化度 (d-ROMs) を主体とした評価では、この負荷では酸化ストレスが上がらないという運動となるが、総酸化量 (TOI)

で見ると運動による酸化反応は増え、抗酸化力 (BAP) は増加したために酸化度 (d-ROMs) が増加しないということがわかる。

50%および75% VO_2max の負荷による自転車エルゴメーター漕にては、酸化度 (d-ROMs) はともに上昇するが運動強度による差があったこと、抗酸化力 (BAP) はともに上昇するが、運動強度に差はなかったこと、総酸化量 (TOI) はともに上昇するがさらに運動強度によっても差があることが明らかになった。この結果を見ても運動強度や運動そのものの評価には総酸化量 (TOI) の有用性の可能性があると言えるのではないだろうか。

また、運動によっては、酸化ストレス (d-ROMs、酸化度) が上がらずに、抗酸化力 (BAP) が上がる運動があることや、運動強度が上がると、総酸化力 (TOI) は有意に上昇し、抗酸化力も上がるが酸化度も上がることになる。このことは、運動が活性酸素・フリーラジカルの増加に対する防御力を生み出すことにつながると考えられるのではないだろうか。このことは、運動による免疫能の作用が、高強度運動 (酸化ストレスが上がる) では低下し、中程度の強度 (酸化ストレスの上昇を見ない抗酸化力の増加) では増強されることにもつながる可能性がある。

また、研究②で対象者ごとの酸化ストレス (d-ROMs、酸化度)、抗酸化力 (BAP)、潜在的抗酸化能 (OSI) にばらつき (有意なばらつき) があることが分かったが、総酸化力 (TOI) は個人差がないという結果になった。つまり、どの人も運動強度が上がると活性酸素・フリーラジカルの増加があるが、抗酸化力の反応の程度が変わるということである。研究②では運動習慣または経験のあるものが対象であったが、これらの乏しい人の反応がどうなるか、その結果によっては運動習慣のあるなしが、抗酸化力 (BAP) 反応に影響し、そのことが同じ運動でも酸化ストレス (d-ROMs、酸化度) に差がつく可能性があり、この個人差をどのようにして評価するかに対し、運動負荷に対する抗酸化反応テストを作成すると

いうこともできるのではないだろうか。

今後は、有酸素運動の強度やレジスタンストレーニングなどの様々な運動がどれだけ総酸化力 (TOI) が上がり、その上がり方によって抗酸化力 (BAP) 反応を惹起し、その結果酸化ストレス (d-ROMs、酸化度) が上がるかという検証が望まれる。

参考文献

- 1) 柴田均, 活性酸素はすべて悪玉か?, 日本農芸化学会誌, 77(6), 573-575, 2003.
- 2) 丸岡弘, 小牧宏一, 井上和久, 心肺運動負荷試験が酸化ストレス度に及ぼす影響について, 日本臨床生理学会雑誌, 35(5), 283-288, 2005.
- 3) 種本翔, 藤野雅広, 山下裕之, 西本哲也, 兒玉拓, 長尾光城, 漸増運動負荷に伴う酸化ストレス度および抗酸化力の変化, 川崎医療福祉学会誌, 22(2), 214-217, 2013.
- 4) 木本理, 神林勲, 森田憲輝, 塚本未来, 阿部千春, 高野みさと, 藤井達也, 室田千佳, 内田英二, 武田秀勝, 陸上競技選手における専門種目および性差が中強度運動時の運動誘発性酸化ストレスに与える影響, 北海道体育学研究, 47, 43-49, 2012.
- 5) Masaki Takahashi, Katsuhiko Suzuki, Hideki Matoba, Shizuo Sakamoto, Shigeru Obara, Effects of different intensities of endurance exercise on oxidative stress and antioxidant capacity, J Phys Fitness Sports Med, 1(1), 183-189, 2012.
- 6) Parker L, McGuckin TA, Leicht AS, Influence of exercise intensity on systemic oxidative stress and antioxidant capacity. Clinical Physiology and Functional Imaging, 34(5), 377-383, 2013.
- 7) 渡辺慶太, 宮崎誠司, 遠藤慎也, 運動による生体内の酸化還元反応の変化と, 水素ガス吸入による酸化ストレス軽減の試み, Tokai J. Sports Med, Sci 33, 31-36, 2021.
- 8) Junzo Nojima, Yukari Motoki, Hidehiro Tsuneoka, Hirohiko Kuratsune, Tomohiro Matsui, Misa Yamamoto, Masashi Yanagihara, Yuji Hinoda, Kiyoshi Ichihara, Oxidation stress index' as a possible clinical marker for the evaluation of non-Hodgkin lymphoma, Br J Haematol, 155, 528-530, 2011.

- 9) 野島順三, 宮川真由美, 児玉麻衣, 本木由香里, 常岡英弘, 市原清志, 日野田裕治, 自動分析装置 BM-1650 による酸化ストレス度の測定, 医学検査, 59, 199-207, 2010.