

中京大学博士審査学位論文
大学院体育学研究科

体重階級制競技選手のウェイトコントロール
～アマチュアボクシング選手について～

Weight Loss Methods Of Weight-Classed Athletes
～Weight Loss In Amateur Boxers～

2015年3月19日学位授与
中京大学大学院体育学研究科体育学専攻
山下 直之

目次

第1章 序	2
第1節 本研究で用いる用語の定義	3
第2節 体重階級制競技選手のウエイトコントロールの実態と問題	5
第3節 ウエイトコントロールと運動パフォーマンス	7
第4節 ウエイトコントロールの方法とその安全性	11
第5節 本研究の目的	13
第2章 アマチュアボクシング選手のウエイトコントロールの実態	14
第1節 目的	15
第2節 方法	15
第3節 結果	17
第4節 考察	22
第3章 体重の2%の脱水が高強度間欠的運動能および腎・肝機能に及ぼす影響	25
第1節 目的	26
第2節 方法	26
第3節 結果	32
第4節 考察	44
第4章 総括	48
本研究のまとめ	49
結論	50
参考文献	51
謝辞	60

構成

本論文は以下の 2 編の原著論文から構成されている。

第 2 章構成

1. 高校生アマチュアボクシング選手のウエイトコントロールの状況分析
山下直之, 伊藤僚, 中野匡隆, 松本孝朗
スポーツ健康科学研究, 36:17-26, 2014.

第 3 章構成

2. Two percent hypohydration does not impair self-selected high-intensity intermittent exercise performance.
Yamashita N, Ito R, Nakano M, Matsumoto T.
Journal of Strength and Conditioning Research, 29:116-125, 2015.

第1章

序論

- 第1節 本研究で用いる用語の定義
- 第2節 体重階級制競技選手のウエイトコントロールの実態と問題
- 第3節 ウエイトコントロールと運動パフォーマンス
 - 第1項 急速減量
 - 第2項 緩徐なウエイトコントロール
 - 第3項 飲水制限
- 第4節 ウエイトコントロールの方法とその安全性
- 第5節 本研究の目的

第1節 本研究で用いる用語の定義

ウエイトコントロール：

減量のことをウエイトコントロールと表記する。

飲水制限 (Fluid restriction)：

サウナスーツを着用しての運動，長時間の入浴，サウナの使用，唾吐き (spitting)，利尿剤，下剤を用いて体水分を減少させた後に，飲水量を制限して体重を落とす方法。

急速減量 (Rapid weight loss)：

飲水制限と食事制限や絶食などを併用し，週当たりの体重減少率が 1.5 %を超える (>1.5%/week) ウエイトコントロール。

緩徐なウエイトコントロール (Gradual weight loss)：

食事制限を用いて体重を落とす方法。週当たり 1.5%以下の体重減少率 ($\leq 1.5\%/week$) が推奨される。

脱水 (Body fluid loss)：

飲水制限の結果，1) 尿比重 >1.020 ，2) 尿浸透圧 $>700 \text{ mOsmol}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ，3) 血清 (血漿) 浸透圧 $>290 \text{ mOsmol}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ，の 1) ~ 3) のいずれかに該当する状態。

Euhydration：

1) 尿比重 ≤ 1.020 ，2) 尿浸透圧 $\leq 700 \text{ mOsmol}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ ，3) 血清 (血漿) 浸透圧 $280\sim 290 \text{ mOsmol}\cdot\text{kg}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$ の全てに該当する状態。

Dehydration (Body fluid loss, acute state)：

運動，暑熱暴露などによって体水分量が減少している状態，また，細胞内液，

間質液，血管内液の3区分間で体水分が移動している状態.

Hypohydration (Body fluid loss, chronic state) :

Dehydration 後に体水分バランス (細胞内液，間質液，血管内液) の3区分間の移動が定常に達した状態.

第2節 体重階級制競技選手のウェイトコントロールの実態と問題

体重階級制競技のウェイトコントロールに関する研究はレスリングを対象としたものが圧倒的に多く、古くは1930年から報告されている(46)。当時から、レスリング選手のほとんどが急速減量を実施していた。その後も、アメリカ医師会(American Medical Association)(4)、アイオワ州医師会(Iowa Medical Society)(89)、アメリカスポーツ医学会(American College of Sports Medicine; ACSM)(3,67)、アメリカ小児科学会(American Academy of Pediatrics)(22)などの団体がレスリング選手や指導者に対してウェイトコントロール方法の改善勧告を公表した。しかし、急速減量は改善されず、1997-1998シーズンにアメリカの大学生レスリング選手3名が急速減量による熱射病や脱水による高体温で死亡した(17)。この事故をきっかけに、翌年、全米大学競技協会(National Collegiate Athletic Association, NCAA)は、急速減量を制限するためのルール改正(出場可能な最軽量階級をシーズンイン前の体重や体脂肪率から決定する、計量から試合開始までの時間の短縮)を行い(64)、その後の実態調査において、急速減量は改善されたことが報告された(69)。しかし、近年、NCAAのルール改正により急速減量による体重減少量は減ったものの、未だに急速減量が行われていることが指摘された(5)。また、NCAAのルールの適応はアメリカ国内のみであるため、NCAA管轄外の競技会ではウェイトコントロールを規制するルールはない。また、他の体重階級制競技(アマチュアボクシング、柔道等)ではウェイトコントロールを規制するルールはない。

レスリング選手はジュニア、シニアを問わず多くの選手が急速減量を実施している(5,6,7,47,52,67,81,85)。レスリング選手の間で行われるウェイトコントロール方法は、食事制限、飲水制限、運動量の増加の併用が主であり(6,7,47,68,81,85)、一部では利尿剤や下剤が用いられている(47,67)。アメリカのレスリング選手の多くは、1週間で3kg以上のウェイトコントロールを実施しており(47,68,81,85)、日本国内のレスリング選手は、10日間で約5kg前後のウェイトコントロールを

実施している (6,7,52). 柔道選手では, 日本国内では1週間で2 kg 前後のウエイトコントロールを実施しており (6), 海外の選手では 7 ± 7 日で 1.6 ± 1.6 kg ($2.5\% \pm 2.3\%$) のウエイトコントロールを実施している (10).

相澤ら (6) は, 計量日前日の各階級の上限体重からの超過体重は, レスリング選手では約 60% が 0.6-1.5 kg 超過していたことを報告した. 柔道選手では 30% の選手が 0.1-0.5 kg 超過しており, 27% の選手が 1.1-1.5 kg 超過していた (6). 両競技選手ともにウエイトコントロールを実施したほとんどの選手が急速減量を実施していたが柔道選手はレスリング選手に比較して軽度であった (6). これには, 計量から競技開始までの時間が関与していると推測されている. レスリングの計量は競技日前日の1回限りであり計量後に十分に飲食を行う時間があるが, 柔道の計量は競技日初日朝に行われるため, 計量後に飲食を十分に行う時間がない (6). 一方, アマチュアボクシングでは, 競技日には毎朝計量を実施されるため, トーナメントを勝ち進む選手は階級の規定の体重を大会開催期間中は維持しなければならない. したがって, アマチュアボクシング選手のウエイトコントロールは, 他の体重階級制競技選手に比較して長期間をかけて徐々に体重を落とすことが考えられる. しかし, アマチュアボクシング選手のウエイトコントロールの実態は不明であるため, 明らかにする必要がある.

第3節 ウェイトコントロールと運動パフォーマンス

第1項 急速減量 (>1.5%/week のウェイトコントロール)

急速減量による体重減少のほとんどは体水分の減少である (72)。急速減量では、食事制限や絶食も併用するため、筋のグリコーゲン含有量も低下する (28,41)。また、除脂肪体重が減少すると筋力も低下する (73)。急速減量を実施した場合、運動パフォーマンスに及ぼす影響が、体水分の減少によるものなのか、筋グリコーゲンの低下によるものなのかは通常区別できない。急速減量を行うと、筋力やパワーは不変または低下する (28,29,43,58,70,71,73,82,93)。有酸素運動能や (28,59,75,77,86)、間欠的運動能は (36) 低下する。これらの他に、脱水による体温調節機能の低下も報告されている (28,75,77)。したがって、急速減量は運動パフォーマンスを低下させるリスクがあるため用いてはならないとされている (2, 67)。

第2項 緩徐なウェイトコントロール (≤1.5%/week のウェイトコントロール)

1. 有酸素運動能

有酸素運動能への影響を検討した研究では、健康な男女に対して 2 週間で体重の 1.8%を減少させても 5 マイル走のタイムは変化しなかった (97)。女子器械体操選手に対して、33 日で平均 3.76 kg (約 7.2%) を減少させても除脂肪量は低下せず、酸素摂取量もまた低下しなかった (48)。また、ボート漕ぎ選手に対して、8 週間で体重の 6.0%を減少させてもローイングの持続可能時間は低下せず、16 週間で体重の 7.0%を減少させたところローイング持続可能時間は向上した (49)。したがって、緩徐なウェイトコントロールでは有酸素運動能には悪影響がほとんどない。

2. 無酸素運動能

筋力やパワーへの影響では、2 週間で体重を 1.8%減少させた場合、最大挙上重量の不変や、筋持久力の向上が報告されている (97)。女子器械体操選手を対

象に、33日（約5週間）で体重を平均3.76 kg（約7.2%）減少させても、体重当たりの筋力、パワーは低下しなかった（48）。また、3週間で体重を5.0%減少させても垂直跳び高、ウィングテスト（Wingate anaerobic exercise test）、短距離走タイムは低下しなかった（28）。これらのことから、緩徐なウエイトコントロールでは、筋力、パワー、筋持久力は低下しないことが示唆される。

以上のことから、除脂肪体重や有酸素運動能と無酸素運動能の両方が低下しない体重減少率は、北川と松岡（48）が報告した33日間で3.76 kgの体重減少量（約1.5%/week）が上限であると考えられる。

第3項 飲水制限（脱水）

1. 有酸素運動能への影響

脱水は心血管系の負担の増加、体温調節機能の低下、筋肉の代謝の悪化（グリコーゲン利用の促進）、モチベーションの低下や主観的作業強度を上昇させ、これらの相互作用により有酸素運動能が低下するとされている（20,66,76,79）。Coyle（23）は2時間の定常負荷の自転車漕ぎ運動中に非脱水状態から体重を-4.9%まで減少させた。その結果、体重減少とともに心拍数、核心温、主観的作業強度は増大し、血液量、一回拍出量、心拍出量、皮膚血流量は低下したことを報告した。同様の結果が Montain and Coyle（61）によって報告されており、運動による体重減少後の飲水量を制限し、体重の1%、2%、3%、4%を脱水させ、同一強度の有酸素運動を行わせた。その結果、体重の2%以上の脱水では、脱水の進行に応じて心血管系負担の増加や体温調節機能の低下を報告した。これらの理由により、有酸素運動能は体重の2%の脱水から低下すると考えられる（20,42,78）。ただし、脱水が子供の運動能力に与える影響を検討した研究では、10-12歳の子供においては、暑熱環境（35℃）での高強度の有酸素運動能（90% VO₂max）は体重の1%の脱水でも低下すると報告している（95）。子供は暑さに弱いいため、成人以上の注意が必要であろう。

2. 筋力, パワー, 無酸素運動能への影響

筋力 (strength), パワー (power), 短時間の無酸素運動 (anaerobic exercise) (ウィングートテストやスプリント) への影響を記す. 脱水が無酸素運動へ与える影響を検討するために様々な指標が用いられている. 先行研究では, 垂直跳高 (21,39,44,90), 10 秒間の全力自転車漕ぎパフォーマンス (96), 15 秒間のウィングートテスト (18), 30 秒のウィングートテスト (43), 50-, 100-, 200-, 400m-スプリントタイム (92), 最大挙上重量 (1 repetition maximum: 1RM) (80), 等尺性筋力 (12,27,35,39,62,75,90), 等速性筋力 (39,63) が測定されている. これらの研究より, 筋力 (1RM, 等尺性筋力, 等速性筋力) やパワー (垂直跳高) は体重の約 4% までの脱水では低下しないことが報告されている (12,27,35,62,75,90). 短時間の無酸素運動能は, 体重の約 3% の脱水では低下しないが (18,92,96), 4% の脱水では低下するとの報告と (96), 低下しないとの報告がある (43). したがって, 筋力, パワー, 短時間の無酸素運動が低下する脱水の閾値は, 体重の 3%–4% と考えられる (51).

3. 間欠的運動能への影響

間欠的運動 (intermittent exercise) とは, 低強度の有酸素運動をはさみながら高強度の無酸素運動を断続的に繰り返す運動である. アマチュアボクシング, レスリング, 柔道の運動様式は間欠的運動に属する. 間欠的運動中は, 運動の進行に伴い有酸素性エネルギーの貢献度が高くなる (11,31). また, 無酸素運動で消費した PCr の再合成は有酸素運動中に行われる. PCr の再合成は酸素の供給量に依存する (37). したがって, 脱水により有酸素運動能が低下すれば, 間欠的運動能は低下する. Kraft ら (50) は, 体重を 3% 減少させた後に, 15 秒の全力自転車漕ぎ運動を 30 秒の休憩を挿みながら 6 試行行わせ, 間欠的運動能が低下したことを報告した. Kraft ら (50) の研究で用いた脱水の程度 (体重の 3%) 以上では, 間欠的運動能は低下するとの報告のみである (40,84). 体重の 3% 未満の脱水では, 間欠的運動能が低下するとの報告 (55) と低下しないとの報告がある (56). 低下する報告では, 体重の 2.00% の脱水で Maximal Anaerobic

Running Test (MART) を行わせ、疲労困憊に至るまでの時間を計測した。その結果、体重の 2.00%脱水条件では運動継続時間が有意に短かった。しかし、疲労困憊に至るまで無酸素運動を間欠的に行う競技はなく、実験プロトコルは実際の競技とは解離している。一方の、低下しないとの報告では (56)、実験運動に用いた運動テストのプロトコルは陸上ホッケーの試合分析をもとに構築したものであり、スポーツ現場を反映する運動様式であった。しかし、脱水の程度が体重の 1.81%と有酸素運動能が低下するレベルの脱水（体重の 2%）よりも低かった。これらのことから、実際のスポーツ現場で用いられているような運動プロトコルでの間欠的運動中の無酸素運動能に与える 2~3%の脱水の影響は不明であるため明らかにする必要がある。

第4節 ウェイトコントロールの方法とその安全性

ACSM の Position Stand (67) によると、確たるエビデンスはないとしながらも、急速減量により、血中ホルモン（テストステロン、成長ホルモン）濃度の低下 (87)、正常な発育発達の抑制 (38) が指摘されている。また、飲水制限を行うと腎血流量の低下や糸球体濾過量の低下が報告されている (67,98,99,100)。また、それぞれ 1 例ではあるが、肺塞栓 (pulmonary embolism) (25) や、膵炎 (pancreatitis) (57) が報告されている。ホルモン分泌への影響では、レスリングのシーズン中のテストステロンの低値や (87)、急速減量後 (3 週間で体重の 8.2%) のテストステロン濃度の低下を報告したものがある (45)。血清テストステロン濃度の低値は、高強度の持久的運動後にも起こることが報告されている (30,54)。このため、激運動とウェイトコントロールの組み合わせも一過性のテストステロン濃度の低下の要因のひとつであることが示唆されている (45)。この他にも、ウェイトコントロール期では血中の成長ホルモン濃度の低下も報告されているが、その変動は正常範囲内のものであり、発育発達への懸念もほとんどないことと考えられている (74)。アメリカ小児科学会 (American Academy of Pediatrics) (2) は、体重減少率が 1.5%/week を超えた場合には筋の異化 (除脂肪体重の減少) が起こるとしているため、体重減少率として $\leq 1.5\%/week$ を推奨している。ACSM (67) は、運動パフォーマンスの低下や腎機能への悪影響の可能性があるととして、飲水制限を用いたウェイトコントロールはやめるべきであると発表した。この資料のもととなった研究の行われた当時では (98,99,100)、飲水制限がウェイトコントロールの主たる方法であった。当時のレスリング選手のシーズン中の体重変化は 1 日で 7.0 lbs (約 3.2 kg) の体重減少～12 日間で 10.2 lbs (約 4.6 kg) の体重減少が観察されたと報告している (98)。また、当時は、年に 10~25 回の競技会があったとされている (99)。腎機能への悪影響の可能性に関しては、飲水制限を用いたウェイトコントロールを行うと尿比重、尿浸透圧、尿中カリウム濃度、尿中クレアチニン濃度の上昇、尿 pH の上昇が報告された (98,99,100) ことを根拠にすると考えられる。レスリング選手に見られ

た尿の所見は (98,99,100), 腎前性 (脱水) の影響によるものであり, 腎性 (糸球体や尿細管の障害) の影響ではない. 近年, 体重の 2.8% の脱水であっても, 脱水運動後 90 分に測定した急性期のクレアチニンクリアランスへの影響はないことが報告された (60). しかし, それ以上の時間脱水を維持した時の腎機能への影響を検討した研究はない (42). 飲水制限を用いたウェイトコントロールは通常, 計量日の 1 日以上前から行うが, 腎機能への影響は不明である. したがって, 本研究では脱水状態を翌日まで維持した時の腎機能への影響を検討した.

第5節 本研究の目的

アマチュアボクシングは、体重階級制競技の中でも生理学的な面からはほとんど研究されていない。アマチュアボクシングは計量が試合当日であり、大会を勝ち進めば毎日計量が行われるため、計量後に十分な飲食ができない。このため、他の体重階級制競技選手よりもウエイトコントロール期間が長いことが予測される。研究1（第2章）では、これまでにほとんど調査されていないアマチュアボクシング選手のウエイトコントロールの状況を明らかにすることを目的とした。

ウエイトコントロールの方法には、運動量の増加、食事制限、飲水制限などがある。運動量の増加や食事制限を用いたウエイトコントロールでは、週当たりの体重減少率として1.5%以下が推奨されており、この体重減少率では運動パフォーマンスは低下しない。一方の飲水制限に関しては、間欠的運動能は体重の3%脱水では低下するが、体重の3%未満の脱水の影響は不明である。したがって研究2（第3章）では、1) 実際のスポーツの運動様式を模した高強度間欠的運動能に対する体重の2%脱水の影響を検討すること、2) 2%脱水が腎機能および肝機能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

第2章

高校生アマチュアボクシング選手のウエイトコントロールの実態

第1節 目的

第2節 方法

第3節 結果

第4節 考察

第1節 目的

本研究の目的は、ほとんど調査されていないアマチュアボクシング選手のウエイトコントロールの実態を明らかにすることであった。

第2節 方法

対象者

ある県の高等学校アマチュアボクシング競技会に出場した 16-17 歳の男子高校生アマチュアボクシング選手 32 名を対象に行った。競技会当日に各高等学校のボクシング部の顧問の教諭の許可を得て、選手に質問紙を配布した。本調査は、顧問の教諭および選手の両者の了承を得た場合にのみ回答してもらった。質問紙の回収は、配布当日に直接、または後日郵送にて行った。調査結果の公表に際して、県名、高等学校名、回答者の匿名性を保証した。本研究は中京大学大学院体育学研究科倫理委員会の承認を得て実施した。

調査内容

質問内容は先行研究 (6,7,10,52,68) を参考に作成した。本研究で用いた質問内容を以下に示す:

- a) ウエイトコントロール実施の有無
- b) ウエイトコントロール開始時の体重
- c) ウエイトコントロールを実施した日数
- d) ウエイトコントロール期間中の体重変化 (計量日 1 ヶ月前, 2 週間前, 1 週間前, 3 日前, 前日, 当日計量前)
- e) ウエイトコントロールに用いた手段 (減食, 飲料水の摂取制限 (飲水制限), 絶食, 練習量の増加, サウナの使用, 厚着またはサウナスーツの着用, 下剤の服用, その他)
- f) ウエイトコントロールに関する知識の取得源 (顧問の教員, 両親, 雑誌・専門誌, インターネット, 自己流, 先輩部員, その他)

g) ウェイトコントロールを実施してコンディションを崩した（運動パフォーマンスの低下，健康面への悪影響）と感じたか。

調査時の各階級区分は，モスキート級，45 kg 未満；ライトフライ級，45–48 kg；フライ級，48–51 kg；バンタム級，51–54 kg；フェザー級，54–57 kg；ライト級，57–60 kg；ライトウェルター級，60–64 kg；ウェルター級，64–69 kg；ミドル級，69–75 kg であった。これらは調査実施時（2008 年）の階級分けに準じている。

統計処理

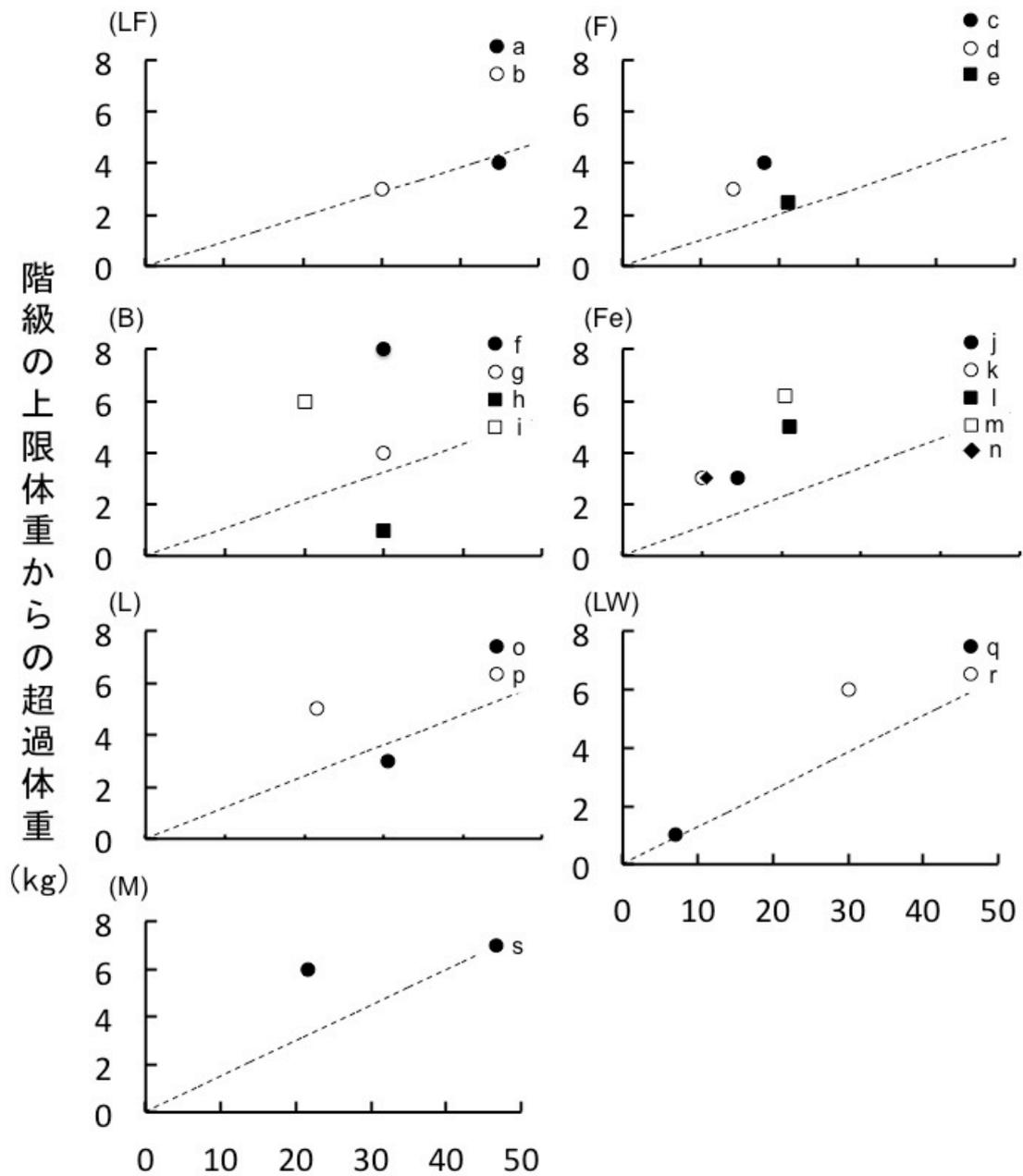
体重減少量，ウェイトコントロールに費やした日数は，平均 ± 標準偏差で示した。ウェイトコントロールに用いた手段とウェイトコントロールに関する知識の取得先はクロス集計を用いて分析した。統計処理は SPSS for windows Ver. 12（SPSS Inc., Chicago, IL, USA）を用いた。グラフ表示をクリアにするためにプロットを若干ずらして示した。図に記載したアルファベットは各選手を示す。

第3節 結果

有効回答者数は 32 名中 26 名 (81.2%) であった。有効回答者 26 名のうち、競技会出場のためにウエイトコントロールを行った選手は 19 名 (73.1%) であった。ウエイトコントロールを行った選手の階級を以下に示す：ライトフライ級, 3 名中 2 名；フライ級, 3 名中 3 名；バンタム級, 5 名中 4 名；フェザー級, 5 名中 5 名；ライト級, 4 名中 2 名；ライトウェルター級, 2 名中 2 名；ウェルター級；1 名中 0 名；ミドル級, 3 名中 1 名であった。ウエイトコントロールを実施した 19 名全選手の平均体重減少量は 4.0 ± 1.8 kg ($6.7\% \pm 2.9\%$) であり、ウエイトコントロールに要した日数は、 22 ± 9 日 (range: 7–45 日) であった。

図 2-1 には各階級の上限体重からの超過体重とウエイトコントロールを実施した日数を階級別に示した。グラフに記した破線は American Academy of Pediatrics の推奨する体重減少率 ($\leq 1.5\%/week$) (2) を表す線である。各階級に記載した基準線 (破線) よりも上に位置する 16 名は急速減量に該当する。

図 2-2 には、ウエイトコントロールを実施した全選手の計量日の 30 日前から計量当日にかけての体重変動を階級別に示した。図中の破線は American Academy of Pediatrics の推奨 (2) をもとに、各階級の上限体重から逆算した体重減少率 ($1.5\%/week$) の基準線を示したものである。ライトフライ級 a 選手、ライト級 o 選手は、ウエイトコントロール期間全体では体重減少率が $1.5\%/week$ を超えていなかったが、各週の体重変動を分析すると 1 週間に 1.5% 以上を落としている期間があった。したがってこの 2 名も急速減量に該当すると判定し、急速減量を実施した選手は 18 名となった。8 名の選手は、競技会の前日には階級の上限体重を下回っており、5 名の選手は階級の上限体重に達していた。一方、競技会前日から当日にかけて 1 kg 以上体重を落とした選手が 4 名いた (ライトフライ級 a 選手、バンタム級 f 選手、フェザー級 k 選手、ライト級 p 選手)。フライ級 c 選手は体重の変化を記載していなかったため図 2 からは除外した。



ウェイトコントロールの実施日数

図 2-1. 各階級の上限体重からの超過体重とウエイトコントロールの実施日数. シンボルの右に記したアルファベットは選手を示す. LF, ライトフライ級; F, フライ級; B, バンタム級; Fe, フェザー級; L, ライト級, LW, ライトウェルター級, M, ミドル級.

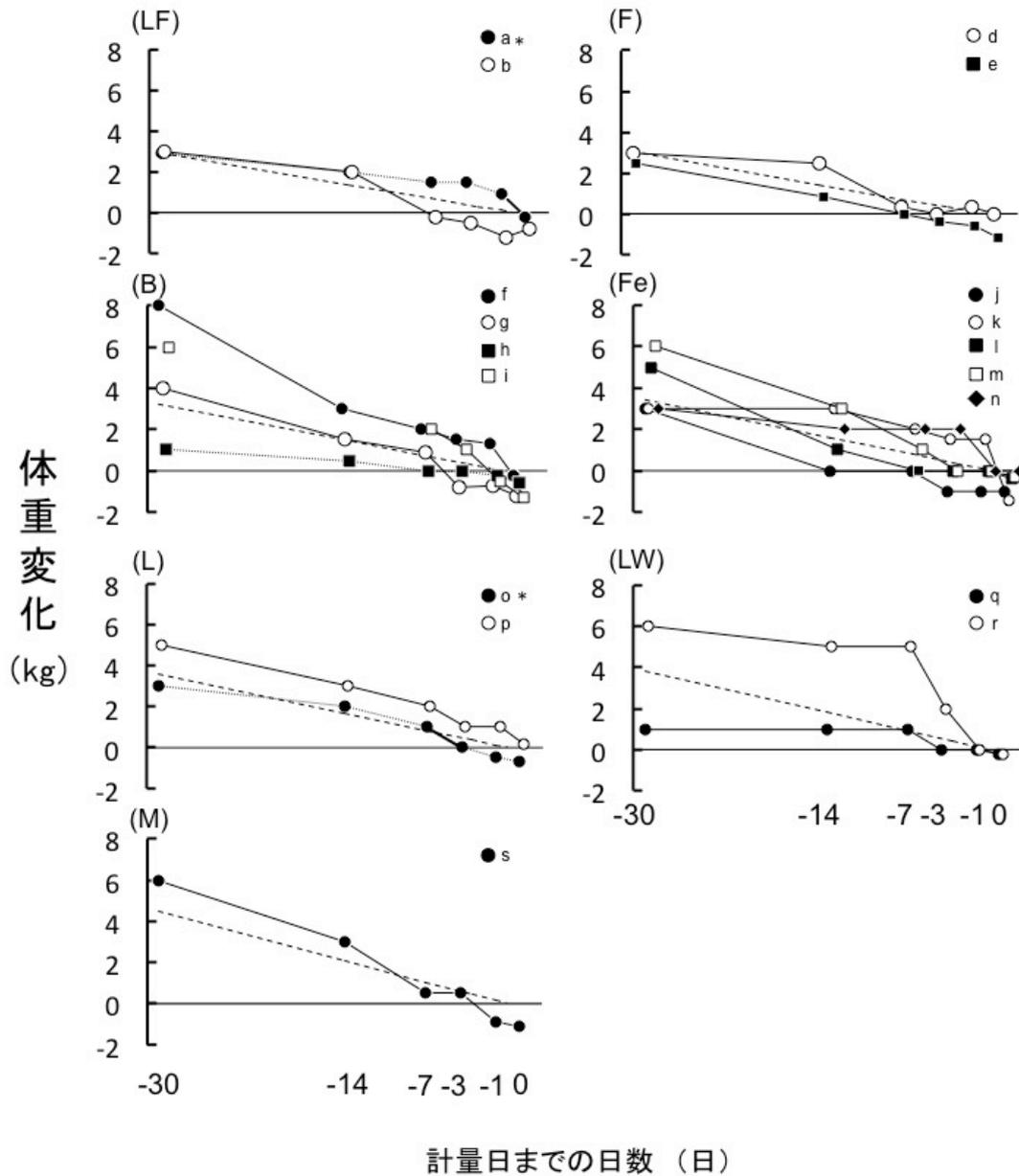


図 2-2. 計量日 30 日前 (-30) から計量日当日 (0) までの体重変動. Y 軸; 各階級の上限体重からの超過体重. 「0」は上限体重を示す. X 軸; 計量日までの日数を示す. -30 とは計量日から 30 日前を示し, 0 は計量日当日を示す. プロットを実線で結んだ者は急速減量該当者を示す. プロットを点線で結んだ者は急速減量非該当者を指す. 点線中の太い実線は急速減量該当期間を指し, * はその選手を指す. シンボルの右に記したアルファベットは各々の選手を示す. LF, ライトフライ級; F, フライ級; B, バンタム級; Fe, フェザー級; L, ライト級, LW, ライトウェルター級, M, ミドル級.

急速減量を実施した 18 名の平均体重減少量は 4.2 ± 1.7 kg (range; 1–8 kg), 6.8% $\pm 2.5\%$ (range; 1.5%–12.7%) であった。ウエイトコントロールに費やした日数は、急速減量実施者は 22 ± 9 日であった。

表 2-1 に各選手が用いたウエイトコントロールの手段のクロス集計表（多重解答）を示した。ウエイトコントロールを実施したすべての選手が食事制限を用いていた。この他に、減量着を着用した選手が 9 名、脱水につながるウエイトコントロール（飲水制限、サウナの使用）を行っていた選手が 9 名いた。その内訳は、飲水制限は 7 名、サウナの使用は 4 名であり、内 1 名は急速減量非該当者（バンタム級 h 選手）であった。運動量の増加によるウエイトコントロールを行った選手は 7 名で、全員が急速減量該当者であった。減量着の着用や飲水制限によるウエイトコントロールを実施した選手の中には下剤（1 名）や絶食（1 名）を用いた選手もいた。ほとんどの選手が複数の手段を用いてウエイトコントロールを実施していた。

表 2-1. ウエイトコントロールに用いた手段のクロス集計表（多重回答）

	食事制限	減量着の着用	飲水制限	運動量の増加	サウナの使用	絶食	下剤の使用	列計
食事制限		9 (47.7)	7 (36.8)	7 (36.8)	4 (21.1)	1 (5.3)	1 (5.3)	19 (100)
減量着の着用			5 (26.3)	2 (10.5)	3 (15.8)	1 (5.3)	1 (5.3)	9 (47.7)
飲水制限				3 (15.8)	2 (10.5)	1 (5.3)	1 (5.3)	7 (36.8)
運動量の増加					0 (0)	0 (0)	0 (0)	7 (36.8)
サウナの使用						1 (5.3)	1 (5.3)	4 (21.1)
絶食							0 (0)	1 (5.3)
下剤								1 (5.3)
行計	19 (100)	9 (47.7)	7 (36.8)	7 (36.8)	4 (21.1)	1 (5.3)	1 (5.3)	19 (100)

回答者数（回答率，%）

表 2-2 に各選手が用いたウエイトコントロールの手段とウエイトコントロールに関する知識の取得源のクロス集計表（多重解答）を示した。先輩部員からの知識の取得（11名）、自己流（10名）が多く、顧問の教員（5名）からの知識の取得は少なかった。食事制限群は全ての情報源から取得していた。減量着の着用群は先輩部員からの取得が最も多く、次いで自己流と顧問の教員からの取得であった。飲水制限群、サウナの使用群は先輩部員、自己流が最も多い情報源であったが、顧問の教員からも取得していた。運動量の増加群は、先輩部員、自己流、顧問の教員、両親、雑誌・専門誌が情報源であった。急速減量に該当する18名は、先輩部員や自己流、顧問の教員、両親、雑誌・専門誌、インターネットから知識を得ていた。急速減量非該当の1名は、自己流あるいは先輩部員から知識を取得していた。ウエイトコントロールによりコンディションを崩したと回答した選手はいなかった。

表 2-2. ウエイトコントロールに用いた手段と知識の取得群（多重回答）

	先輩部員	自己流	顧問教諭	両親	雑誌・ 専門誌	インター ネット	その他	列計
食事制限	11 (57.9)	10 (52.6)	5 (26.3)	2 (10.5)	1 (5.3)	1 (5.3)	1 (5.3)	19 (100)
減量着の着用	6 (31.6)	3 (15.8)	3 (15.8)	0 (0)	0 (0)	1 (5.3)	1 (5.3)	9 (47.7)
飲水制限	3 (15.8)	4 (21.1)	2 (10.5)	3 (15.8)	2 (10.5)	1 (5.3)	1 (5.3)	7 (36.8)
運動量の増加	4 (21.1)	3 (15.8)	3 (15.8)	1 (5.3)	1 (5.3)	0 (0)	0 (0)	7 (36.8)
サウナの使用	2 (10.5)	4 (21.1)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (5.3)	1 (5.3)	4 (21.1)
絶食	0 (0)	1 (5.3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (5.3)
下剤	0 (0)	1 (5.3)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	0 (0)	1 (5.3)
行計	11 (57.9)	10 (52.6)	5 (26.3)	2 (10.5)	1 (5.3)	1 (5.3)	1 (5.3)	19 (100)

回答者数（回答率，％）．行：ウエイトコントロールに用いた手段．列：知識の取得元．

第4節 考察

本研究は、ある県の高校生アマチュアボクシング選手のウエイトコントロールの実態を明らかにすることを目的とした。その結果、26名のうち19名(73.1%)は、競技会出場に向けてウエイトコントロールを実施していた。このうち、16名は体重減少量に対してウエイトコントロールに費やした期間が短かったことから急速減量に該当した。また、ウエイトコントロール期間中の体重変動を詳細に分析した結果、さらに2名の選手が急速減量に該当した。ウエイトコントロールに用いた手段は、食事制限と飲水制限の併用が多かった。ウエイトコントロールに関する知識の取得源は種々であっても、食事制限と運動量の増加を用いて体重減少率を1.5%/week以内にする推奨されているウエイトコントロール(2,67)はほとんど行われていなかった。

ウエイトコントロール期間が長い選手の急速減量の判定には、階級からの超過体重とウエイトコントロールの実施日数とからのみでなく、ウエイトコントロール期間中の体重変動を詳細に分析する必要がある。7~10日間で約3~5kgのウエイトコントロールを行うレスリング選手(6,7,47,52,68,69,81,85)では、体重変動を詳細に分析しなくとも急速減量であることがわかる。レスリング選手に比較して柔道選手の体重減少量は少なかったが[7日間で約2kg(6), 7 ± 7 日間で 1.6 ± 1.6 kg, (10)], 急速減量を実施している選手が多かった(6)。本研究の対象者であるアマチュアボクシング選手のウエイトコントロール期間は他の体重階級競技選手に比較すると 22 ± 9 日と長かったが、それでも十分な長さではない。したがって、ウエイトコントロール期間をより長く設けるように指導する必要がある。また、ウエイトコントロール期間を適切に設けていてもある時期に急激に体重を落としている選手もいた。このため、ウエイトコントロール期間を長く設けている選手では、ウエイトコントロール期間中の体重変動を詳細に分析する必要がある。

ACSMのウエイトコントロールのガイドラインでは、適切な食事制限や運動量の増加によるウエイトコントロールを推奨している(67)。一方で、多くの選

手が用いている飲水制限は脱水につながる。脱水状態では有酸素運動能の低下、無酸素運動能の低下の可能性、腎血流量および糸球体濾過量の低下の可能性が指摘されている(67)。近年、有酸素運動能の低下は体重の2%の脱水から生じることが報告された(20,78)。一方、筋力や無酸素運動能は3%–4%の脱水から低下することが報告されている(44,51)。ボクシングはパンチ等の無酸素運動とそれ以外の有酸素運動を断続的に行うため間欠的運動に属する。脱水による間欠的運動能の低下は体重の3%の脱水から生じることが明らかとなっている(50,84)、計量日前日から1 kg以上落とした選手が4名いた(ライトフライ級 a 選手, バンタム級 f 選手, フェザー級 k 選手, ライト級 o 選手)。それぞれの選手は前日から2.2% (1.1 kg), 2.7% (1.5 kg), 5.0% (2.9 kg), 2.0% (1.2 kg)の体重を落としていた。1日で体重を急激に落とした場合、そのほとんどは体水分の減少によるものと考えられる。上記の4名のうち、1名は5.0%と3%以上の脱水に該当したが、他の3名は2.0–2.7%と3%未満であった。体重の3%未満の脱水が間欠的運動能に与える影響は不明であるため、明らかにする必要がある。

推奨されている食事制限や運動量の増加によるウエイトコントロールであっても、週当たりの体重減少率が1.5%を超えていれば推奨できない(2)。運動量を増加させてウエイトコントロールを実施した7名の選手全員が急速減量を実施していた。一方の急速減量非該当者は、減量着の着用や飲水制限によるウエイトコントロールを用いていた。急速減量を実施した選手は先輩部員、自己流、顧問の教員、両親、専門誌、インターネットからウエイトコントロール手段の知識の取得しており、急速減量ではなかった選手は、自己流および先輩部員から知識を取得していた。これらのことから、知識の取得源は様々であっても、結果として安全性の高いウエイトコントロールはほとんどできていなかった。既存のガイドラインで提唱されている適切な食事制限と運動量の増加(67)を用いて、体重減少率を $\leq 1.5\%/week$ にするウエイトコントロール(2)を普及させる必要性ある。

北川と松岡(48)は女子器械体操選手に対して、33日間のウエイトコントロール期間中に、飲水制限は行わず、栄養士の作成した減量食を用いてウエイト

コントロールを行わせた。その結果、体重は平均 3.76 kg 減少し、体脂肪量は有意に低下したが、除脂肪体重や有酸素運動能、筋力は有意に低下しなかった。このことから、十分に管理された食事を用いれば、運動能力を低下させることなくウエイトコントロールを実施することは可能であり、そのための正しい知識を体重階級制競技選手に提供する必要がある。しかしながら、多くの選手にとって栄養士に減量食メニューの作成を依頼することは困難であろう。したがって、選手個人や家庭でも作成可能な減量食のガイドラインが必要である。久木留ら (52) は、自身の研究結果と相澤ら (7) の研究結果から、シニア期のウエイトコントロール方法はジュニア期からほとんど変化が見られないことを指摘している。このことから、ボクシング競技を開始する高校生時に、より安全なウエイトコントロール方法を指導することが重要であると考えられる。本研究の結果から、高校生アマチュアボクシング選手には、過度の食事制限や絶食、飲水制限によるウエイトコントロールを実施している選手が多いことが明らかとなった。選手が自覚していなくても、過度の食事制限や絶食、飲水制限によるウエイトコントロールは運動パフォーマンスを低下させる可能性があることを認識させる必要がある (36)。

本研究は、ある県のアマチュアボクシング競技会に出場した選手を対象にウエイトコントロールに関する調査を実施したため、サンプルサイズが小さいことが問題であり、本研究の結果を一般化するには注意が必要である。また、本研究ではウエイトコントロールの最中ではなく、競技会当日に調査を実施したため、調査用紙への回答は対象者の記憶に頼らざるを得なく（思い出しバイアス）、データの解釈にも注意が必要であると考えられる。しかし、これまでの報告例を見ると本アンケートの結果は、十分に意義のあるものと考えられる。

本研究の結論として、ウエイトコントロールを実施したアマチュアボクシング選手の大多数は急速減量を実施していた。このことから、既存のガイドライン（体重減少率 $\leq 1.5\%/week$ ）を普及させる必要がある。また、ウエイトコントロール期間が長い選手の急速減量の判定には、ウエイトコントロール期間中の体重変動を詳細に分析する必要があることが明らかとなった。

第3章

体重の2%の脱水が高強度間欠的運動能および 腎・肝機能に及ぼす影響

第1節 目的

第2節 方法

第3節 結果

第4節 考察

第1節 目的

本研究の目的は、体重の2%の脱水が間欠的運動能および腎・肝機能に対する影響を明らかにすることであった。

第2節 方法

大学生アマチュアボクシング選手 8 名を被験者とした。被験者の身体的特徴は以下に示す通りである：年齢, 20 ± 1 歳 (range; 19–24 years); 身長, 169.5 ± 6.6 cm; 体重, 62.79 ± 6.72 kg; 体脂肪率, $9.9 \pm 2.7\%$; 最大酸素摂取量, 48.1 ± 5.9 mL·kg⁻¹·min⁻¹。被験者の階級は、フライ級 (48–51 kg) 2 名, フェザー級 (54–57 kg) 2 名, ライト級 (57–60 kg) 2 名, ライトウェルター級 (60–64 kg) 2 名であった。この階級分けは 2009 年当時のアマチュアボクシングルールに準じている。被験者の全員が過去に飲水制限によるウエイトコントロールを実施したことがあった。また、全員が非喫煙者であり、内分泌系、心血管系や腎臓に既往歴がなく、実験期間中はウエイトコントロール期ではなかった。本研究は中京大学大学院体育学研究科倫理委員会の承認を得て実施した。

実験プロトコル

被験者の体脂肪率、最大酸素摂取量を測定した。体脂肪率の測定は水中体重秤量法を用いた。残気量の測定は、純酸素再呼吸法を用い (94)、得られた身体密度を Brožek の式 (13) に代入して体脂肪率を推定した。最大酸素摂取量の測定は、中性温環境 (25 °C) にて、自転車エルゴメータ (Aerobike 75XL2 ME, Combi Wellness, Tokyo, Japan) を用いて漸増負荷法にて測定した。90W から始め、3 分毎に 30W ずつ増加し、疲労困憊に至るまで運動させた。呼気ガスは呼気ガス分析器 (Aeromonitor AE300S, Minato Medical Science, Osaka, Japan) を用いて測定した。

実験の概要

実験の概要を図 3-1 に示した。被験者は非脱水条件 (euhydration; EUH) と 2% の脱水条件 (hyohydration; HYP) の 2 試行をランダムな順序にて行い、実験の学習効果に配慮した。試行間は最低 1 週間の間隔をあけた。1 試行目の 3 日前から摂取した飲食物を記録させ、2 試行目の 3 日前より同じ物を摂取するように指示した。また実験の 2 日前から激しい発汗を伴うような身体活動を制限するように指示した。実験 1 日目に非脱水状態 (euhydration) で研究室に来るために、実験前日の夜に最低 2L、当日午前中に 1L のアルコールやカフェインの含まない飲料または水を摂取し、2 試行時に同じ飲料を摂取する様に指示した。実験は 1 日目午後運動による脱水を行い、実験 2 日目午前に運動テストを実施した。

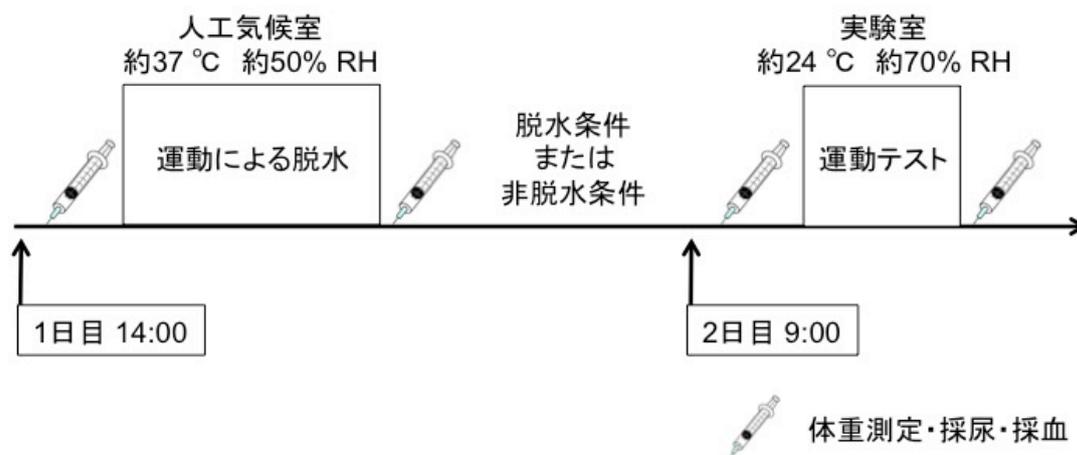


図 3-1. 実験の概要。実験 1 日目に運動による脱水を行った。その後、体重の 2% の脱水条件、または非脱水条件にランダムに振り分けた。実験 2 日目に運動テストを実施した。

実験 1 日目

非脱水状態の確認

被験者には、非脱水状態で実験 1 日目の 14 時に研究室に来るように指示した。

研究室に到着後、非脱水状態であることを確認するために、試験紙 (Aution Sticks 10EA, Arkray, Kyoto, Japan) を用いて尿比重を測定した。尿比重が 1.020 以下であれば非脱水状態であると判定した (9)。尿比重が 1.020 を超えていた場合は、水 (水道水) 500ml を飲ませ、30 分後に再び尿比重を測定した。脱水状態の判定には尿比重のほかに、尿浸透圧 ($<700 \text{ mosmol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) および血清浸透圧 ($280\text{-}290 \text{ mosmol} \cdot \text{kg}^{-1} \text{H}_2\text{O}$) を測定した。その後、前腕皮静脈より 1 回目の採血を行った。

ベースライン体重の測定

採血後に 10g 精度の体重計を用いて全裸での体重を測定した (ベースラインの体重)。ベースライン体重の測定後に、直腸温 (T_{re}) を測定するために、直腸温計 (LT-8A, Gram Co, Saitama, Japan) を肛門より 10~15 cm 挿入させた (18,88)。

運動による脱水 (dehydration)

脱水は暑熱環境 (環境温, $37 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$; $50 \pm 7\% \text{ RH}$) に設定した人工気候室 (TBL 6N1XPD, Tabai Espec, Osaka, Japan) にて、低負荷 (100W 以下) に設定した自転車エルゴメータ (Aerobike 75XL2, Combi Wellness, Tokyo, Japan) を用いてベースライン体重から体重が 3%減少するまで運動させた (脱水運動)。脱水運動中は直腸温と心拍数を監視した。30 分おきに運動を中断し、タオルで汗を拭き取った後に直腸温計を装着したまま全裸にて体重を測定した。体重減少がベースライン体重より 2.5%減少した後は 15 分おきに体重を測定した。脱水運動中に以下の条件に該当した場合は運動を中止し休憩させた。1) 脱水が体重の 3%に達した場合、2) 心拍数が最大心拍数 (220-年齢) の 90%を超えた場合、3) 直腸温が $39 \text{ }^\circ\text{C}$ を超えた場合、4) 熱中症の症状が出た場合、5) 被験者が自発的に運動をやめた場合。脱水運動による疲労の影響を最小限にするため、1 回目の脱水運動に用いた負荷と時間を記録し、2 回目の脱水運動時にも同じ負荷を用いた。3%の体重減少に要した時間は、脱水条件で 94 ± 13 分、非脱水条件で 101 ± 17 分であった ($p = 0.35$)。翌日の運動テストに対する摂取カロリーの影響を最小限に

するために、脱水運動後に被験者に同一の夕食（1002 kcal, 糖質 162.7g, たんぱく質 27.6g, 脂質 31.2g, ナトリウム 1880mg）を提供した。夕食の重量が約 600g あったため、その重量を考慮して体重減少量をベースラインから 3%とした。脱水運動後に 2 回目の採血を行い、被験者に翌日の運動テスト時の条件（脱水条件または非脱水条件）を指示した。指示した条件（脱水条件ではベースライン体重の-2.0%~-2.5%, 非脱水条件ではベースライン体重の $\pm 0.5\%$ の体重）に収まるように、カロリー、カフェイン、アルコールを含まない水分と塩分を自由に摂取させた。

実験 2 日目

脱水の有無（hypohydration, euhydration）の確認

被験者に実験 2 日目の 9 時に空腹のまま研究室に来るように指示した。研究室に到着後、排尿させ、体重を測定した。脱水条件は体重がベースラインより -2.0%~-2.5%以内に、非脱水条件はベースライン体重の $\pm 0.5\%$ （1,19）以内に収まっていなければ実験を中止した。体重測定後に 3 回目の採血をおこなった。その後、直腸温計を挿入させ、実験 1 日目に上昇した体温が低下したことを確認するとともに、実験テスト中の直腸温を測定した。

運動テスト

運動テストの概要を図 3-2 に示した。運動テストは実験室にて中性温環境（環境温, 24.4 ± 1.2 °C; 相対湿度, $70.9 \pm 5.4\%$ RH）にて行った。運動テストは、2 分 \times 4 ラウンド、ラウンド間のインターバル 1 分の運動を自転車エルゴメータ（Powermax V2, Combi Wellness, Tokyo, Japan）を用いて行った。各ラウンドは、5 秒の全力自転車漕ぎ運動（負荷, $0.05 \text{ kp} \times \text{体重}$ ）と 10 秒の休憩を 8 試行繰り返した。5 秒間の全力自転車漕ぎ運動中のピークパワー（最も高い 1 秒間のパワー, PPO, W/kg）、5 秒間の平均パワー（5-s MPO, W/kg）、ラウンド毎の平均仕事量（MPO, J）と総仕事量（TPO, J）によりパフォーマンスを評価した。運動テスト中は心拍数（BSM-2401, Nihon Koden, Tokyo, Japan）、 $\dot{V}O_2$ （Aeromonitor

AE300S, Minato Medical Science, Osaka, Japan) も測定した. 血中乳酸濃度 (La) は運動テスト前, 各ラウンド間, 運動テスト終了後に指先を穿刺し 10 μ l の血液を採取し, 乳酸分析器 (Biosen C line, EKF Diagnostics, Barleben, Germany) にて測定した. 先行研究に基づき (14) VO_2 と La から, 非乳酸系, 乳酸系, 有酸素系のエネルギー供給の貢献率を算出した.

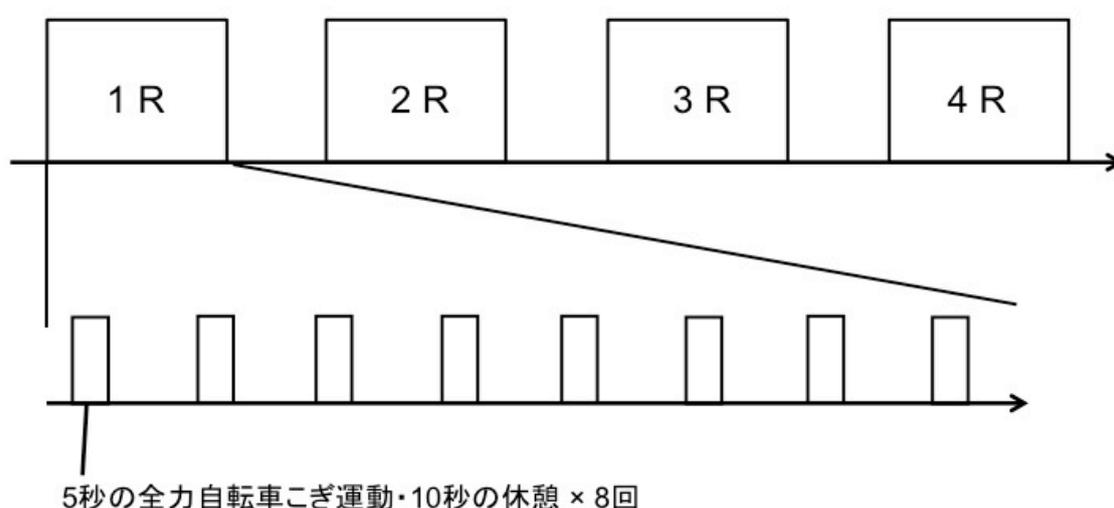


図 3-2. 運動テストの概要. 運動テストは 2 分 × 4 ラウンド, インターバル 1 分間で構成した. ラウンド中の運動は 5 秒の全力自転車漕ぎ運動を 10 秒の休憩を挿みながら 8 回行った R; ラウンド (2 分間).

血液分析

採尿・採血は脱水運動の前後と運動テストの前後の計 4 回, 1 回に尿サンプルは 5ml, 血液サンプルは約 20ml を前腕皮静脈より採取した. 尿比重 (USG), 尿浸透圧 (Uosm) および血清の浸透圧 (Sosm), ナトリウム (Na), カリウム (K), クローム (Cl), アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ (AST), アラニンアミノトランスフェラーゼ (ALT), 総たんぱく (TP), クレアチンキナーゼ (CK), 血中尿素窒素 (BUN), クレアチニン (Cr) を測定した. 尿 3ml で Uosm (氷化

点降下法) を測定した. 採取した血液は遠心分離機にて 20 分間 (4 °C, 3000 rpm) 遠心分離し, 血清 1ml を Sosm (氷点降下法), 血清 1ml を AST, ALT, CK (JCSS 標準化対応法), BUN, Cr (酵素法), TP (Biuret 法), 血清 1ml を Na, K, Cl (イオン選択電極法) にそれぞれ分割し, SRL 社に分析を依頼した. 残りの血清約 3ml を予備分析のために-40 °C にて保存した.

統計分析

データは平均値 ± 標準偏差で示した. 統計解析は SPSS Version 12.0J for Windows (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) を用いて実施した. 全てのデータは正規性の検定を実施し, 正規分布していることを確認した. ピークパワー, 5 秒間の平均パワー, 心拍数はラウンド毎に検定した. 各ラウンドの平均仕事量, 総仕事量, 各エネルギー貢献率は運動テストを通して検定した. 体重の変化率, 直腸温, 尿データ, 血液データは実験を通して検定した. 統計分析には対応のある 2 元配置分散分析 (hydration × time) を用いた. 主効果または交互作用があった場合には, Tukey's HSD を用いて下位検定を実施した. $p < 0.05$ をもって統計的有意とした.

第3節 結果

脱水運動前後および運動テスト前後の体重の変化率を図 3-3 に示した。ベースライン体重に比較して脱水運動後では、体重が脱水条件では $-3.03 \pm 0.19\%$ ($p < 0.05$) で、非脱水条件では $-3.04 \pm 0.26\%$ ($p < 0.05$) と両条件ともに有意に減少した。運動テスト前では、脱水条件では $-2.25 \pm 0.18\%$ とベースライン体重よりも有意に低く ($p < 0.05$)、被験者全員が脱水条件の規定体重の範囲内であった。非脱水条件では $-0.17 \pm 0.19\%$ と非脱水条件の規定範囲内の体重であり、脱水運動後よりも有意に高く ($p < 0.05$)、同時点の脱水条件との間に有意な差があった ($p < 0.05$)。運動テスト後では、脱水条件では $-3.08 \pm 0.36\%$ ($p < 0.05$)、非脱水条件では $-1.32 \pm 0.47\%$ ($p < 0.05$) との両条件ともに運動テスト前と比較して有意に体重が減少した。

図 3-4 に尿比重、尿浸透圧、血清浸透圧の変化を示した。脱水運動前の尿比重 (< 1.020)、尿浸透圧 ($< 700 \text{ mOsmol} \times \text{kg H}_2\text{O}^{-1}$)、血清浸透圧 ($< 290 \text{ mOsmol} \times \text{kg H}_2\text{O}^{-1}$) の全ての結果が、被験者は脱水状態ではないことを示した。尿比重においては、両条件ともに脱水運動後では脱水運動前に比較して有意に上昇した (それぞれ, $p < 0.05$)。運動テスト前では、脱水条件では尿比重が高値 (1.029 ± 0.002) を維持したままであり、非脱水条件では脱水運動後に比較して有意に低下した (1.011 ± 0.004 , $p < 0.05$)。また運動テスト前後において、脱水条件では非脱水条件と比較して有意に高かった (それぞれ, $p < 0.05$)。脱水運動前に比較して脱水運動後の尿浸透圧は、脱水条件では有意に ($p < 0.05$) 上昇した。運動テスト前の尿浸透圧は、脱水条件は ($1,025 \pm 104 \text{ mOsmol} \times \text{kg H}_2\text{O}^{-1}$) 非脱水条件 ($401 \pm 308 \text{ mOsmol} \times \text{kg H}_2\text{O}^{-1}$) よりも有意に ($p < 0.05$) 高い値であった。脱水運動前に比較して脱水運動後の両条件の血清浸透圧はともに有意に ($p < 0.05$) 上昇した。運動テスト前の血清浸透圧は、脱水条件と非脱水条件の間に有意な差はなかった。

図 3-5 に運動テスト中のピークパワーおよび 5 秒間の平均パワーを示した。ピークパワーと 5 秒間の平均パワーに hydration の主効果や交互作用はなかった。

図 3-6 には各ラウンドの平均仕事量と総仕事量を示した。平均仕事量と総仕事量は全ラウンドを通して条件間に有意な差はなかった。

表 3-1 に運動テスト中の非乳酸系、乳酸系、有酸素系のエネルギー貢献率を示した。非乳酸系、乳酸系、有酸素系のエネルギー貢献率に hydration の主効果や交互作用はなかった。

直腸温は、脱水運動前に比較して脱水運動後は両条件ともに有意に上昇した（脱水条件では $37.34 \pm 0.34^\circ\text{C}$ から $38.55 \pm 0.41^\circ\text{C}$ ，非脱水条件では $37.35 \pm 0.31^\circ\text{C}$ から $38.73 \pm 0.28^\circ\text{C}$, $p < 0.05$ ）。運動テスト前では両条件ともに脱水運動後に比較して低下し（脱水条件では $37.02 \pm 0.43^\circ\text{C}$ ，非脱水条件では $36.71 \pm 0.35^\circ\text{C}$ ），運動テスト後では、運動テスト前に比較して有意に上昇したが、脱水条件では $37.86 \pm 0.48^\circ\text{C}$ ，非脱水条件では $37.71 \pm 0.36^\circ\text{C}$ と条件間に有意差はなかった。

運動テスト中の心拍数の変化を図 3-7 に示した。全ラウンドを通して時間経過とともに心拍数は上昇したが、hydration の主効果や交互作用はなかった。

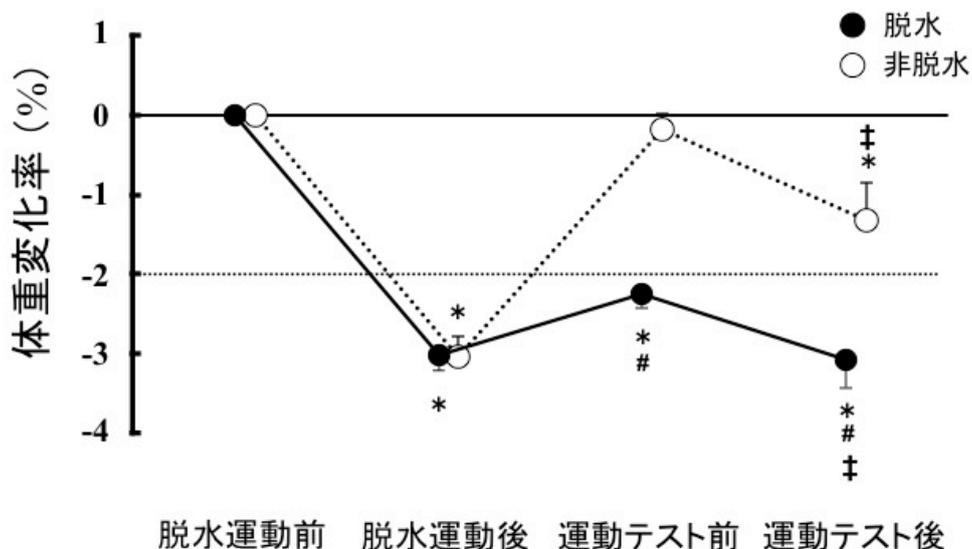


図 3-3. 脱水運動前後，運動テスト前後の体重変化率。値は平均値 \pm 標準偏差を示す。*脱水運動前と比較して有意差があった ($p < 0.05$)。# 条件間に有意差があった ($p < 0.05$)。‡ 運動テスト前と比較して有意差があった ($p < 0.05$)。

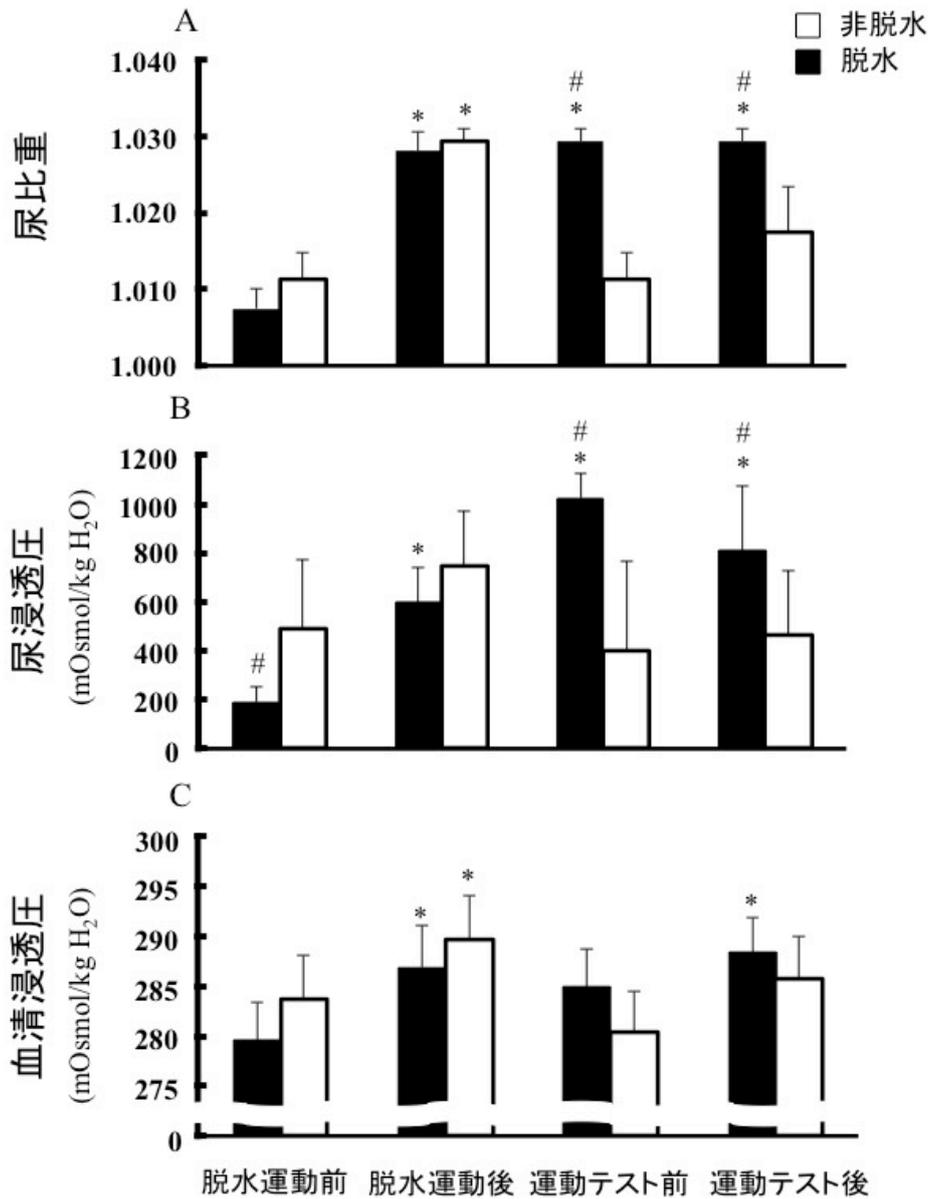


図 3-4. A: 尿比重, B: 尿浸透圧, C: 血清浸透圧の変化. 値は平均値 ± 標準偏差を示す. 二元配置分散分析 (hydration × time) により尿比重, 尿浸透圧, 血清浸透圧に交互作用があった. *脱水運動前と比較して有意差があった ($p < 0.05$). #条件間に有意差があった ($p < 0.05$).

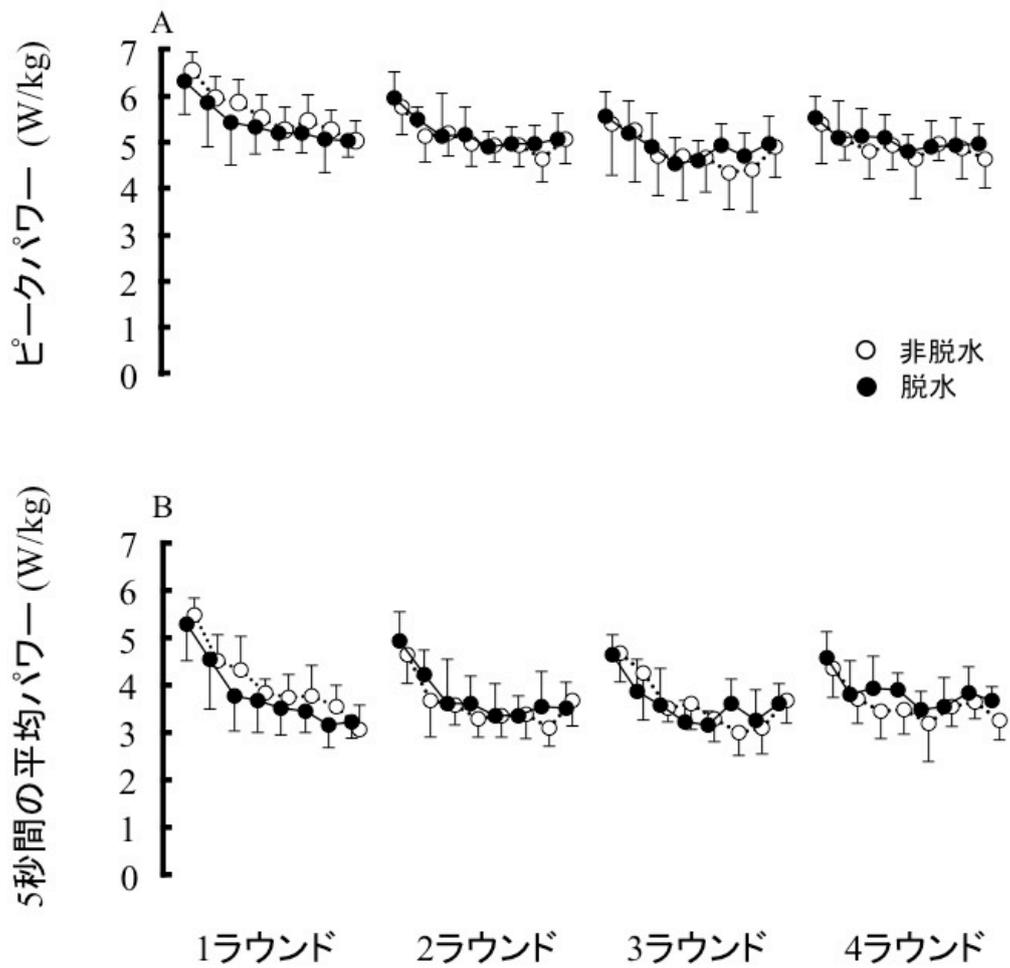


図 3-5. 運動テスト中の各試行における A: ピークパワー (PPO, W/kg), B: 平均パワー (5-s MPO, W/kg). 値は平均値 ± 標準偏差を示す. 二元配置分散分析 (treatment × time) の結果, 条件間に有意差はなかった.

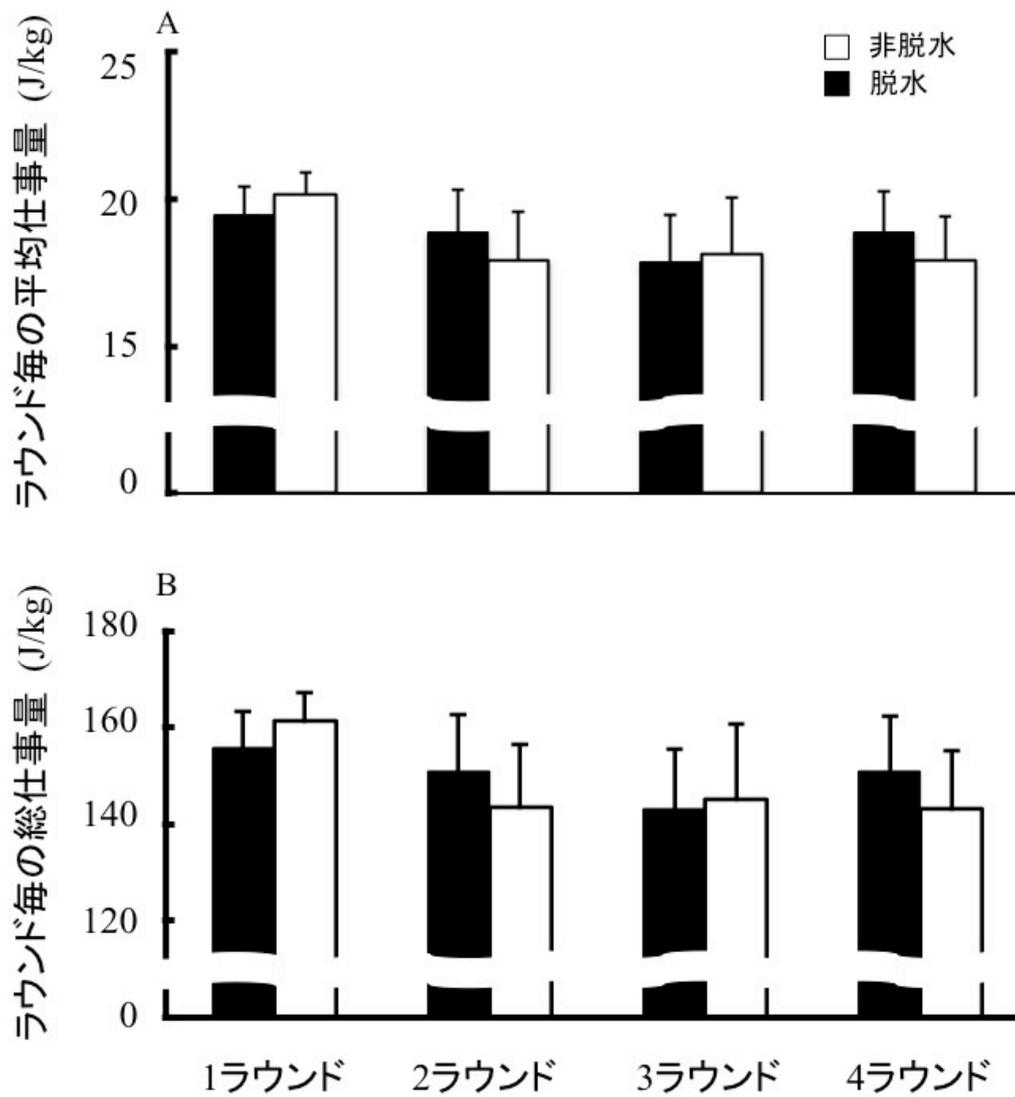


図 3-6. 運動テスト中の各ラウンドの A: 平均仕事量 (MPO, J/kg), B: 総仕事量 (TPO, J/kg). 値は平均値 ± 標準偏差を示す. 二元配置分散分析 (treatment × time) の結果, 条件間に有意差はなかった.

表 3-1. 運動テスト中の有酸素系 (Aerobic), 非乳酸系 (Anaerobic alactic), 乳酸系 (Anaerobic lactic) のエネルギー貢献率.

	1R	2R	3R	4R
Hypohydration				
Aerobic (%)	37.4 ± 3.6 ^a	55.1 ± 1.9	58.9 ± 2.4	57.0 ± 2.8
Anaerobic alactic (%)	37.8 ± 3.7	34.5 ± 1.9	36.1 ± 1.6	36.2 ± 2.8
Anaerobic lactic (%)	24.8 ± 7.2 ^a	10.4 ± 3.5	5.0 ± 2.7	5.7 ± 5.0
Euhydration				
Aerobic (%)	41.7 ± 6.1 ^a	56.4 ± 2.9	57.4 ± 5.8	58.0 ± 2.7
Anaerobic alactic (%)	37.8 ± 3.4	34.0 ± 2.5	35.3 ± 3.1	35.7 ± 1.9
Anaerobic lactic (%)	20.5 ± 6.2 ^a	9.7 ± 2.4	7.3 ± 2.4	6.3 ± 2.1

値は平均値±標準偏差を示す. 二元配置分散分析 (hydration × time) にて分析した結果, Hydration の主効果と交互作用はなかった. ^a 他の全測定時点に比較して有意差があった (p < 0.05). Euhydration, 非脱水条件; Hypohydration, 脱水条件.

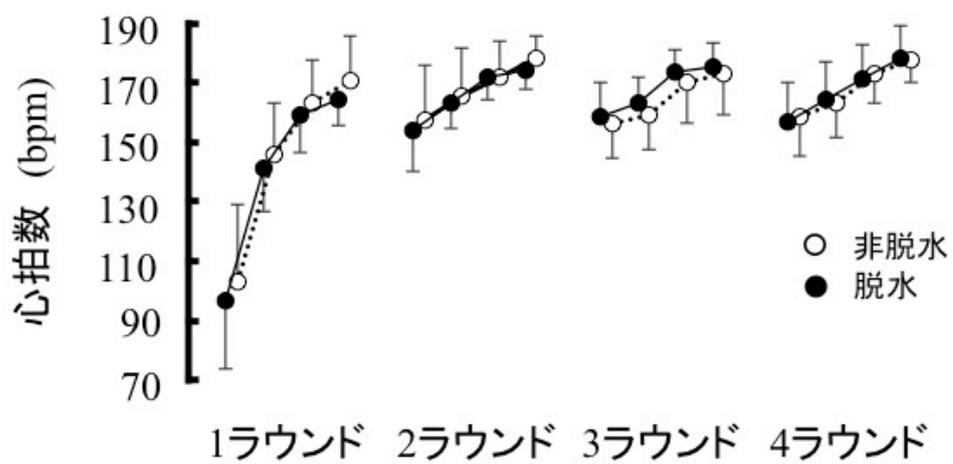


図 3-7. 運動テスト中の心拍数の変化. 値は平均値 \pm 標準偏差を示す. 二元配置分散分析 (hydration \times time) の結果, 条件間に有意差はなかった.

図 3-8 に血漿量 (PV) の変化率を示した。両条件ともに、脱水前から運動テスト前まで有意な変化はなかった。運動テスト前の脱水条件では 2.25%脱水であったにも関わらず、血漿量には非脱水条件との間に有意な差はなかった。脱水条件の運動テスト後の血漿量は運動テスト前 ($p < 0.05$) と脱水運動前 ($p < 0.05$) に比較して有意に低い値を示した。また、運動テスト後は非脱水条件に比較しても有意に低かった ($p < 0.05$)。運動テスト後の非脱水条件の血漿量は運動テスト前に比較して有意に低下した ($p < 0.05$)

血清中の Na^+ , K^+ , Cl^- の変化を表 3-2 に示した。 Na^+ , K^+ , Cl^- ともに Hydration の主効果や交互作用はなかったが、 Na^+ , Cl^- , K^+ に Time の主効果があった。 Na^+ と Cl^- では、脱水運動後が他の測定時点に比較して有意に高かった (それぞれ、 $p < 0.05$)。 K^+ では運動テスト後が他の測定時点に比較して有意に低かった ($p < 0.05$)。

血清中の AST, ALT, BUN, Cr, CK 濃度の変化を表 3-3 に示した。脱水条件では 4 名の被験者の運動前の CK と AST の値が正常範囲から逸脱していたため、検討対象から除外し、残りの 4 名のデータを示した。非脱水条件では 1 名の被験者の脱水運動前の CK と AST の値が正常範囲から逸脱していたため検討対象から除外し、残りの 7 名のデータを示した。両条件の CK, AST は、統計解析は行わずに平均値および標準偏差を示した。両条件の CK, AST の変化は実験を通して正常範囲内の変化であった。ALT は実験を通して有意な変化なかった。BUN には time の主効果があり、脱水運動前に比較して脱水運動後は有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。Cr では Time の主効果があり、脱水運動前に比較して脱水運動後 ($p < 0.05$) と運動テスト後 ($p < 0.05$) が有意に高かった。また、運動テスト前に比較して運動テスト後 ($p < 0.05$) に有意に上昇した。

BUN/Cr 比の変化を図 3-9 に示した。BUN/Cr 比では、hydration の主効果はなかったが、time の主効果があり、運動テスト前に比較して運動テスト後では有意に低下した ($p < 0.05$)。

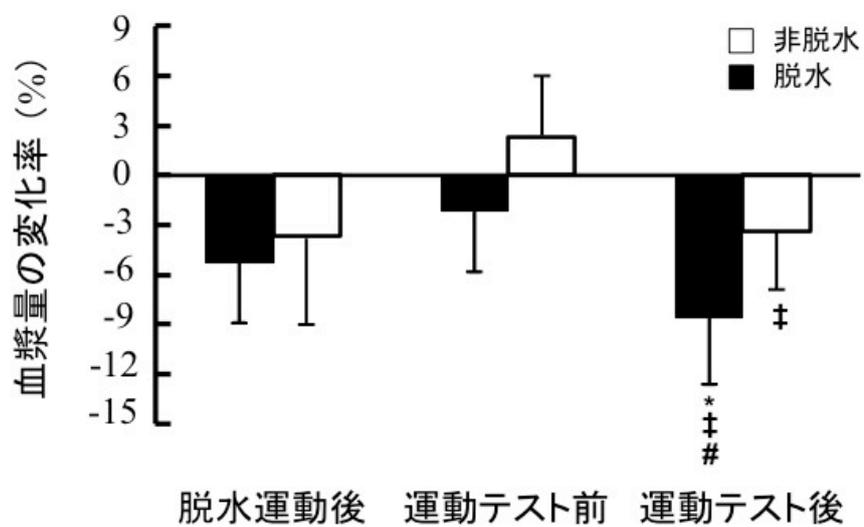


図 3-8. 脱水運動前に対する血漿量の変化率. 値は平均値 \pm 標準偏差を示す. 二元配置分散分析 (hydration \times time) の結果, 交互作用があった ($p < 0.05$). * 脱水運動前と比較して有意差があった ($p < 0.05$). ‡ 運動テスト前と比較して有意差があった ($p < 0.05$). # 条件間に有意差があった ($p < 0.05$).

表 3-2. 血清電解質 (Na⁺, Cl⁻, K⁺) の変化

	脱水運動前	脱水運動後	運動テスト前	運動テスト後
Hypohydration				
Na ⁺ (mEq•L ⁻¹)	139.5 ± 1.9	143.4 ± 1.2 ^a	141.3 ± 3.0	142.0 ± 2.1
Cl ⁻ (mEq•L ⁻¹)	100.0 ± 2.6	103.4 ± 2.0 ^a	100.6 ± 2.2	99.1 ± 2.3
K ⁺ (mEq•L ⁻¹)	4.3 ± 0.5	4.4 ± 0.4	4.3 ± 0.3	3.9 ± 0.3 ^a
Euhydration				
Na ⁺ (mEq•L ⁻¹)	141.9 ± 2.3	145.1 ± 2.5 ^a	140.8 ± 1.9	140.9 ± 2.6
Cl ⁻ (mEq•L ⁻¹)	101.8 ± 2.1	104.3 ± 2.6 ^a	100.6 ± 2.2	98.9 ± 2.4
K ⁺ (mEq•L ⁻¹)	4.3 ± 0.5	4.4 ± 0.5	4.2 ± 0.5	3.9 ± 0.4 ^a

値は平均値±標準偏差を示す。二元配置分散分析 (hydration × time) の結果, Hydration の主効果と交互作用はなかった。 ^a他の測定時点に比較して有意差があった(p < 0.05)。Euhydration, 非脱水条件; Hypohydration, 脱水条件。

表 3-3. 血清中のクレアチンキナーゼ (CK), アスパラギン酸アミノトランスフェラーゼ (AST), アラニンアミノトランスフェラーゼ (ALT), 血中尿素窒素 (BUN), クレアチニン (Cr) の変化.

	脱水運動前	脱水運動後	運動テスト前	運動テスト後
Hypohydration				
CK (U・L ⁻¹) (n=4)	174.7 ± 58.9	194.0 ± 74.5	157.0 ± 37.0	178.0 ± 50.4
AST (U・L ⁻¹) (n=4)	15.3 ± 1.3	15.5 ± 1.0	15.0 ± 0.8	15.8 ± 1.3
ALT (U・L ⁻¹)	17.1 ± 4.1	18.1 ± 4.4	17.1 ± 4.2	18.6 ± 4.7
BUN (mg・dl ⁻¹)	11.2 ± 2.7	13.0 ± 2.7 ^b	14.2 ± 2.5	14.1 ± 2.2
Cr (mg・dl ⁻¹)	0.87 ± 0.04	0.99 ± 0.09 ^b	0.93 ± 0.07	1.01 ± 0.08 ^{b,c}
Euhydration				
CK (U・L ⁻¹) (n=7)	157.4 ± 61.2	160.6 ± 48.9	138.7 ± 34.0	156.1 ± 33.3
AST (U・L ⁻¹) (n=7)	18.1 ± 2.1	18.1 ± 2.6	17.6 ± 2.1	19.0 ± 2.5
ALT (U・L ⁻¹)	16.9 ± 4.1	17.0 ± 4.7	16.4 ± 4.9	17.4 ± 5.1
BUN (mg・dl ⁻¹)	11.8 ± 2.9	13.5 ± 3.1 ^b	11.8 ± 2.4	11.5 ± 2.6
Cr (mg・dl ⁻¹)	0.88 ± 0.07	1.02 ± 0.15 ^b	0.88 ± 0.05	0.97 ± 0.09 ^{b,c}

値は平均値 ± 標準偏差を示す. 二元配置分散分析 (hydration × time) の結果, ALT には条件間に有意な差はなかった. BUN では hydration の主効果と交互作用はなかったが, time の主効果があった. Cr では hydration の主効果と交互作用はなかったが, time の主効果があった. ^b 脱水運動前に比較して有意差があった (p < 0.05). ^c 運動テスト前と比較して有意差があった (p < 0.05). EUH, 非脱水条件; HYP, 脱水条件. 測定項目の横に記載した n 数は測定者数を示す. 測定項目の横に n 数の記載のない者は 8 名のデータを示す.

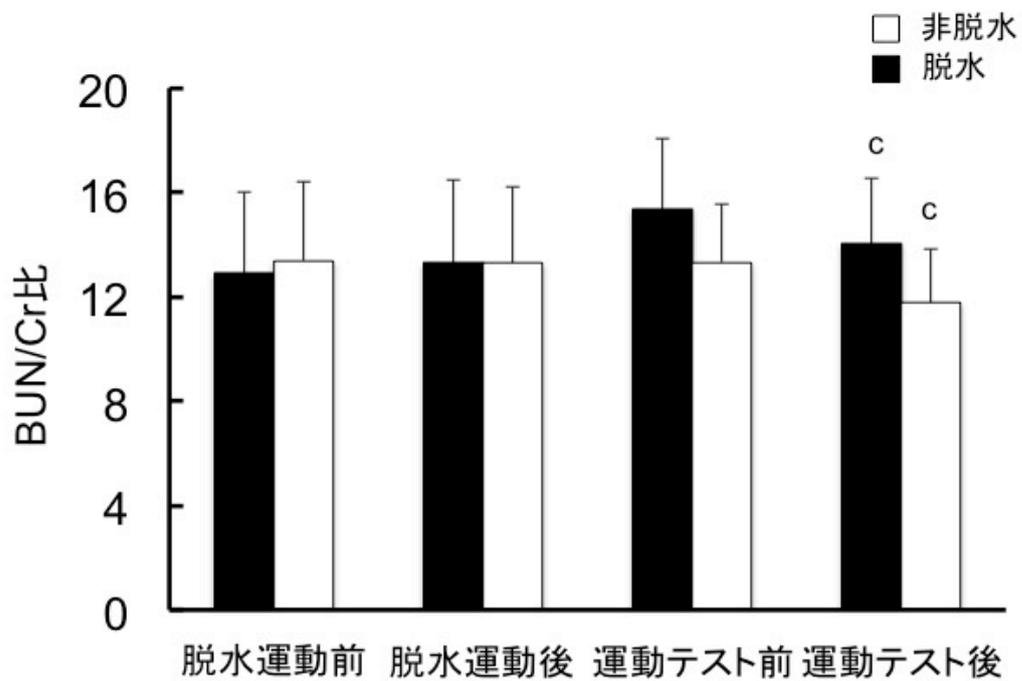


図 3-9. BUN/Cr 比の変化. 値は平均値 ± 標準偏差を示す. 二元配置分散分析 (hydration × time) の結果, hydration の主効果と交互作用はなかった. ° 運動テスト前と比較して有意差があった ($p < 0.05$).

第4節 考察

本研究においては、体重の2.25%脱水が間欠的運動能および腎・肝機能に与える影響を検討した。その結果、体重の2.25%脱水では、間欠的運動能は低下しないことが明らかとなった。また、BUN, Cr および BUN/Cr 比の変化から評価した腎機能では、一晚脱水状態のままであったが腎機能への悪影響はなかった。AST, ALT の変化から評価した肝機能においても、実験を通して正常範囲内の変化であり、体重の2.25%脱水による影響はなかった。

体重の2%を超える脱水では間欠的運動能は低下するとの報告がある(55,50,84)。しかしながら、本研究の結果、体重の2.25%脱水では間欠的運動能は低下せず、Maxwellら(56)と同様の結果であった。ピークパワーや5秒間の平均仕事量は全ラウンドにおいて、1試行後に低下したが疲労による影響であると考えられる。これは6秒の全力自転車漕ぎ運動と30秒間の休息10試行おこない、ピークパワーと平均パワーが試行を重ねるごとに低下したことを報告したGaitanos et al. (31)と同様の結果である。

間欠的運動中の無酸素性運動能の維持には有酸素性エネルギー供給が重要である(11,31,32)。Craig and Cummings (24)は体重の2%脱水では、非脱水条件と比較して運動持続時間は22%減少し、 $\dot{V}O_{2max}$ は10%低下したことを報告した。有酸素運動能の低下は体重の2%脱水から始まるとされているため(20,42,78)、脱水が体重の2%を超えると間欠的運動能が低下すると考えられる(55,50,84)。Maxwellら(55)は2.00%脱水ではMARTのパフォーマンスが低下したことを報告したが、この研究では各エネルギーの貢献率は測定されていないため運動パフォーマンスが低下した理由は不明である。本研究では、体重の2.25%脱水であっても有酸素性のエネルギー貢献率が低下せず(条件間に有意な差はなし)、そのため、間欠的運動パフォーマンスが維持されたと考えられる。

運動時間と休憩時間の比率(work/recovery ratio)が間欠的運動能に影響した可能性もある。Gaitanosら(31)は1本目のスプリント中のエネルギー供給はATP-PCrと解糖系によってまかなわれたが、10本目のスプリントではATP-PCr

系と有酸素系のエネルギー供給によってまかなわれたと報告した。激運動の進行にともない ATP の産生は有酸素系エネルギー供給の貢献率が高くなることが報告されている (11)。また、PCr の再合成は酸素の供給量に依存し (37)、休憩時間中に合成される。したがって、間欠的運動では休憩時間が長くなると、有酸素性エネルギー供給の貢献率が上がる。Maxwell ら (55) が用いた MART は 20 秒の運動と 100 秒の休憩を繰り返すものであり、work/recovery ratio は 1:5 であったため、本研究 (work/recovery ratio, 1:2) よりも有酸素性エネルギーの貢献率が高かったと考えられる。したがって、本研究 (体重の 2.25%脱水) と Maxwell ら (55) (体重の 2.00%脱水) はほぼ同程度の脱水レベルであったにも関わらず、間欠的運動能に与える影響に違いが出た可能性がある。

核心温の上昇により無酸素運動能が低下するとの報告もある (26,88)。また、Judelson ら (44) は脱水と高体温の組み合わせは、運動パフォーマンスをより低下させるとしている。脱水により間欠的運動能が低下した報告では、高体温であったことや (50)、脱水運動と運動テストの間隔が短いために核心温が低下していない (Dehydration) 可能性がある (55)。本研究では、脱水運動に伴う体温上昇の影響を最小限にする (Hypohydration) ため、脱水運動と運動テストの日を分けた。Maxwell ら (55) は脱水運動と運動テストとの間隔が 2 時間しかなかったことや、運動テスト中の脱水条件の直腸温が非脱水条件に比べて有意に高かったことを報告した。したがって、本研究とほぼ同程度の脱水状態であったにも関わらず、体温上昇との組み合わせによって間欠的運動能が低下した可能性がある。

血漿量は運動中の循環血液量の維持に重要である。本研究では、2.25%脱水であったにも関わらず、運動テスト前の血清浸透圧は条件間に有意差はなく、脱水運動後に有意に上昇した血清 Na^+ や Cl^- 濃度は、運動テスト前には有意な上昇はなく、非脱水条件との間にも有意な差はなかった。これは浸透圧勾配による体水分の血管内への移動によるものと考えられる。Nose ら (65) は、脱水による血管内の浸透圧上昇により筋や皮膚の間質液や細胞内液から体水分が血管内に移動することを報告した。本研究の脱水条件においてもこのような理由

により血漿量が回復傾向にあったと考えられる。脱水状態では、1回拍出量が低下するため、心拍数を増加させることで心拍出量が維持される(33,34)。心拍数の上昇は主観的運動強度を上昇させるため(15)、主観的運動強度の上昇によっても運動パフォーマンスは低下しうる。しかしながら、本研究では体重の2.25%脱水でも心拍数は上昇しておらず、このことも間欠的運動能が低下しなかった要因のひとつかもしれない。

運動テスト後では両条件ともに血漿量が有意に低下した。Sjøgaardら(83)は最大下運動(50–70% VO_{2max})や最大運動では筋収縮によって毛細血管から細胞外間質腔に水分が濾し出される可能性を報告した。したがって、運動テスト後の血漿量の有意な低下は血管内から間質腔への水分の移動によって引き起こされた可能性がある。本研究の運動テスト後の血清 K^+ 濃度は他の測定時点よりも有意に低下した。Vøllestadら(91)は、運動テスト後は血漿 K^+ 濃度が安静時よりも低下するが、これは運動により血管内に漏出した K^+ の再吸収量が他の組織から血管内へ漏出するよりも上回るためであることを報告した(91)。

本研究では、脱水状態を長時間維持することにより悪影響が懸念されている腎機能(67)と、生体内の重要な臓器である肝機能への影響を血液指標にて検討した。ASTとCKにおいて脱水条件の4名と非脱水条件の1名の被験者の脱水運動前の値が正常範囲を逸脱していたため検討対象から除外した。しかし、残りの被験者のCKやASTは正常範囲内の変化であった。ALTは条件間に有意な差はなく正常範囲内の変化であった。したがって、体重の2.25%脱水では肝機能に影響を及ぼさないと考えられる。

脱水運動後に両条件ともCrが有意に上昇した。Castenfors(16)は、運動中は糸球体濾過率が低下することを報告している。Melinら(60)は、運動により体重の2.8%脱水を行った条件では安静暑熱暴露により2.8%脱水を行った条件よりもクレアチンクリアランスが低下すると報告している。したがって、本研究の脱水運動後の両条件のCrの上昇は運動によるものと考えられる。本研究の運動テスト前のCrは脱水条件と非脱水条件との間に有意な差はなかった。Melinら(60)は、脱水運動後90分間体重の2.8%脱水を維持したが、非脱水条件と

2.8%脱水条件のクレアチンクリアランスは同程度であったと報告した。本研究において、体重の 2.25%脱水を一晩維持しても、運動テスト前の脱水条件と非脱水条件の Cr に有意差がなかった。これは一晩脱水状態を維持しても腎機能は低下せず、Cr が尿中に排泄されたためと考えられる。運動テスト後の Cr の上昇は運動テストに伴う筋からの Cr の逸脱の増加によるものであると考えられる。運動テスト前の脱水条件は非脱水条件と比較して有意ではないが BUN が上昇している。尿量が減少すると尿素窒素の再吸収量はあがることが示されている (8, 53)。したがって、運動テスト前の脱水条件での BUN の上昇は 2.25%脱水によるものであると考えられる。

腎機能の指標の一つである BUN/Cr 比の上昇は、脱水などの腎外性の原因を示唆する。運動テスト前の脱水条件の BUN/Cr 比は、非脱水条件と比較して有意ではないが上昇した。脱水条件の運動テスト前の BUN の軽度上昇は腎障害ではなく、腎外性要因 (脱水) の影響と考えられる (8,53)。このことから、体重の 2.25%の脱水による腎臓への悪影響はなかったと考えられる。

結論として、本研究は体重の 2.25%脱水であっても有酸素性のエネルギー供給が低下しないため、11 分間の間欠的運動中の無酸素運動能は低下しなかったことを示した。また、体重の 2.25%脱水では、少なくとも今回の実験条件においては腎機能や肝機能に影響しないことが明らかになった。

第4章

総括

第1節 本研究のまとめ

第2節 結論

第1節 本研究のまとめ

1. 体重階級制競技選手のウエイトコントロールの実態

体重階級制競技（レスリング，柔道，アマチュアボクシング）選手のウエイトコントロールを以下にまとめる。

a) レスリング選手

レスリング選手は7~10日間で3~5 kg（初期体重から5~10%の減少）のウエイトコントロールを実施しており，大多数の選手が急速減量を実施していた。

b) 柔道選手

柔道選手は， 7 ± 7 日間で 1.6 ± 1.6 kg（初期体重から $2.5 \pm 2.3\%$ の減少）のウエイトコントロールを実施していた。これにはウエイトコントロールを実施していない者も含まれる。ウエイトコントロールを実施した大多数の選手が急速減量を実施していた。

c) アマチュアボクシング選手

アマチュアボクシング選手は， 22 ± 9 日で 4.0 ± 1.7 kg（初期体重から $6.8 \pm 2.5\%$ の減少）のウエイトコントロールを実施しており，大多数（94.7%）の選手が急速減量を実施していた。

これらのことから，急速減量による運動パフォーマンスの低下を防止するために，体重減少率を $\leq 1.5\%/week$ にするガイドラインを普及させる必要があることが明らかとなった。

2. 飲水制限を用いたウエイトコントロール

飲水制限を用いたウエイトコントロールを実施する場合には，体重の2%以内にする事で体重階級制競技の運動様式である間欠的運動中の無酸素運動能は低下しないことが明らかとなった。また，American College of Sports Medicine Position Stand: Weight loss in wrestlers (67) では腎機能への悪影響が懸念されているが，体重の2%までの脱水を禁止するための十分な根拠はない。

第2節 結論

1. 体重階級制競技選手のほとんどが急速減量を実施していた。安全性の高いウエイトコントロールを実践するためには、適切なウエイトコントロール期間を設ける必要がある。
2. ウエイトコントロールに用いる方法は食事制限と運動量の増加が推奨される。これらを用いて、体重減少率が $\leq 1.5\%/week$ になるようにする。この基準を超えると、除脂肪体重が減少する可能性がある。
3. 飲水制限によるウエイトコントロールが避けられない場合には、計量日の前日から行い、体重減少率は2%以内に抑えるべきである。

参 考 文 献

1. Adolph EF. Physiological regulations. Lancaster, PA, Cattell Press, 100, 1943.
2. American Academy of Pediatrics Committee on Sports Medicine and Fitness. Promotion of healthy weight-control practices in young athletes. *Pediatrics*. 116:1557-1564, 2005.
3. American College of Sports Medicine. Position Stand: Weight loss in wrestlers. *Med Sci Sports Exerc.*, 8:xi-xiii, 1976.
4. American Medical Association Committee on Medical Aspects of Sports. Wrestling and weight control. *JAMA.*, 201:541-543, 1967.
5. Aimee EG, Pickerman J, and Seikiya JK. Weight management in amateur wrestling. *Sports Health*, 1:227-230, 2009.
6. 相澤勝治, 久木留毅, 寺田照子, 青山晴子, 鳥羽泰光, 中嶋耕平, 西牧謙吾, 坂本静男, 増島篤, 目崎登. 体重階級制競技におけるジュニア選手の減量の実態-レスリングと柔道の比較-. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 15:41-47, 2007.
7. 相澤勝治, 久木留毅, 増島篤, 中嶋耕平, 坂本静男, 鳥羽泰光, 西牧謙吾, 細川完, 青山晴子, 大庭治雄. ジュニアレスリング選手における試合に向けた減量の実態. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 13:214-219, 2005.
8. Armsen T, and Reinhard HW. Transtubular movement of urea at different degrees of water diuresis. *Pflügers Archiv.*, 326:270-280. 1971.
9. Armstrong LE, Maresh C, Castellani J, Bergeron M, Kenefick R, LaGasse K, and Riebe D. Urinary indices of hydration status. *Int J Sport Nutr.* 4:265-279, 1994.
10. Artiolo G, Gualano B, Franchini E, Scagliusi B, Takesian M, Fuchs M, and Lancha A. Prevalence, magnitude, and methods of rapid weight loss among judo competitors. *Med Sci Sports Exerc.*, 42:436-442, 2010.
11. Bangsbo J, Krstrup P, Gonzalez-Alonso J, and Saltin B. ATP production and efficiency of human skeletal muscle during intense exercise: effect of previous exercise. *Am J Physiol.*, 280:E956-E964, 2001.

12. Bigard AX, Sanchez H, Claveyrolas G, Martin S, Thimonier B, and Arnaud M J. Effects of dehydration and rehydration on EMG changes during fatiguing contractions. *Med Sci Sports Exerc.*, 33:1694-1700, 2001.
13. Brožek J, Grande F, Anderson J, and Keys A. Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative Assumptions. *Ann NY Acad Sci.*, 110:113-140, 1963.
14. Campos FA, Bertuzzi R, Dourado AC, Santos VG, and Franchini E. Energy demands in taekwondo athletes during combat simulation. *Eur J Appl Physiol.*, 112:1221-1228, 2012.
15. Carton RL, and Rhodes EC. A critical review of the literature on ratings scales for perceived exertion. *Sports Med.*, 2:198-222, 1985.
16. Castenfors J. Renal function during exercise. *Acta Physiol Scand.*, 70[suppl 293]:1-44, 1967.
17. Centers for Disease Control and Prevention. Hyperthermia and dehydration-related death associated with intentional rapid weight loss in three collegiate wrestlers-North Caroline, Wisconsin, and Michigan, November-December 1997. *MMWR.*, 47:105-108, 1998.
18. Chevront SN, Carter R 3rd, Haymes E, and Sawka, M. No effect of moderate hypohydration or hyperthermia on anaerobic exercise performance. *Med Sci Sports Exerc.*, 38:1093-1097, 2006.
19. Chevront SN, Carter R 3rd, Montain S, and Sawka, M. Daily body mass variability and stability in active men undergoing exercise-heat stress. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*, 14:532-540, 2004.
20. Chevront SN, Carter R 3rd, and Sawka MN. Fluid balance and endurance exercise performance. *Curr Sports Med Rep.* 2:202-208, 2003.
21. Chevront SN, Kenefick RW, Ely BR, Everett HA, Castellani JW, Frykman PN, Nindl BC, and Sawka MN. Hypohydration reduces vertical ground reaction impulse but not jump height. *Eur J Appl Physiol.*, 109:1163-1170, 2010.
22. Committee on Sports Medicine and Fitness. Promotion of healthy weight control practices in young athletes. *Pediatrics*, 97:752-753, 1996.
23. Coyle EF. Cardiovascular drift during prolonged exercise and the effects of dehydration. *Int J Sports Med.* 19:S121-S124, 1998.

24. Craig FN, and Cummings EG. Dehydration and muscular work. *J Appl Physiol.*, 21:670-674, 1966.
25. Croyle PH, Place RA, and Hilgenberg. Massive pulmonary embolism in a high school wrestlers. *JAMA.*, 241:827-828, 1979.
26. Drust B, Rasmussen P, Mohr M, Nielsen B, and Nybo L. Elevations in core and muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiol Scand.*, 183:181-190, 2005.
27. Evetovich TK, Boyd JC, Drake SM, Eschbach LC, Magal M, Soukup JT, Webster MJ, Whitehead MS, and Weir JP. Effect of moderate dehydration on torque, electromyography, and mechanomyography. *Muscle Nerve*, 26:225-231, 2002.
28. Fogelholm M. Effects of bodyweight reduction on sports performance. *Sports Med.*, 18:249-267, 1994.
29. Freischlag J. Weight loss, body composition, and health of high school wrestlers. *Physician Sportsmed.*, 12:121-126, 1984.
30. Fry AC, Kraemer WJ, and Ramsey LT. Pituitary-adrenal-gonadal responses to high-intensity resistance exercise over training. *J Appl Physiol.*, 85:2352-2359, 1998.
31. Gaitanos GC, Williams C, Boobis L, and Brooks S. Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol.*, 75:712-719, 1993.
32. Gastin PB. Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med.*, 31: 725-741, 2001.
33. González-Alonso J, Crandall CG, and Johnson JM. The cardiovascular challenge of exercising in the heat. *J Physiol.*, 586:45-53, 2008.
34. González-Alonso J, Mora-Rodríguez R, and Coyle EF. Stroke volume during exercise: interaction of environment and hydration. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.*, 278:H321-H330, 2000.
35. Greiwe JS, Staffey KS, Melrose DR, Narve MD, and Knowlton RG. Effects of dehydration on isometric muscular strength and endurance. *Med Sci Sports Exerc.*, 30:284-288, 1998.
36. Hall C, and Lane A. Effects of rapid weight loss on mood and performance among amateur boxers. *Br J Sports Med.*, 35:390-395, 2001.
37. Haseler LJ, Hogan MC, and Richardson, RS. Skeletal muscle phosphocreatine

- recovery in exercise-trained humans is dependent on O₂ availability. *J Appl Physiol.*, 86:2013-2018, 1999.
38. Hansen NC. Wrestling with “making weight”. *Physician Sportsmed.*, 6:106-111, 1978.
 39. Hayes LD, and Morse CI. The effects of progressive dehydration on strength and power: Is there a dose response? *Eur J Appl Physiol.*, 108:701-710, 2010.
 40. Hickner RC, Horswill CA, Welker JM, Scott J, Roemmich JN, and Costill DL. The test development for the study of physical performance in wrestlers following weight loss. *Int J Sports Med.*, 12:557-562, 1991.
 41. Houston ME, and Marrin DA., Green HJ, and Thomson JA. The effects of rapid weight reduction on physiological functions in wrestlers. *Physician Sportsmed.*, 9:73-78, 1981.
 42. Institute of Medicine. Water. In: *Dietary Reference Intake for Water, Sodium, Chloride, Potassium, and Sulfate*. Washington D. C.: National Academy Press, pp.73-185, 2005.
 43. Jacobs I. The effects of thermal dehydration on performance of the wingate anaerobic test. *Int J Sports Med.* 1:21-24, 1980.
 44. Judelson DA, Maresh CM, Anderson JM, Armstrong LE, Casa DJ, Kraemer WJ, and Volek, JS. Hydration and Muscular performance: does fluid balance affect strength, power and high-intensity endurance? *Sports Med.*, 37:907-921, 2007.
 45. Karila TAM, Sarkkinen P, Marttinen M, Seppälä T, Mero A, and Tallroth K. Rapid weight loss decreases serum testosterone. *Int J Sports Med.*, 29:872-877, 2008.
 46. Kenny H. The problem of making weight for wrestling meets. *J. Health Phys Ed.*, 1:24, 1930.
 47. Kinningham RB, and Gorenflo DW. Weight loss methods of high school wrestlers. *Med Sci Sports Exerc.*, 33:810-813, 2001.
 48. 北川薫, 松岡弘記. 女子器械体操選手の身体組成と運動諸機能へ及ぼす減量食の影響. *体力科学*, 33:119-129, 1984.
 49. Koutedakis Y, Pacy PJ, Quevedo RM, Millward DJ, Hesp R, Boreham C, and Sharp NC. The effects of two different periods of weight-reduction on selected

- performance parameter in elite lightweight oarswoman. *Int J Sports Med.*, 15:472-477, 1994.
50. Kraft JA, Green JM, Bishop PA, Richardson MT, Neggers YH, and Leeper, JD. Effects of heat exposure and 3% dehydration achieved via hot water immersion on repeated cycle sprint performance. *J Strength Cond Res.*, 25:778-786, 2011.
 51. Kraft JA, Green JM, Bishop PA, Richardson MT, Neggers YH, and Leeper JD. The influence of hydration on anaerobic performance: A Review. *Res Q Exerc Sport.*, 83:282-292, 2012.
 52. 久木留毅, 相澤勝治, 中嶋耕平, 増島篤. 全日本レスリング選手権大会出場選手における減量の実態. *日本臨床スポーツ医学会誌*, 14:325-332, 2006.
 53. Lassiter WE, Gottschalk CW, and Mylle M. Micropuncture study of net transtubular movement of water and urea in nondiuretic mammalian kidney. *Am J Physiol.*, 200:1139-1147, 1961.
 54. Lucia A, Diaz B, Hoyos J, Fernandez C, Villa G, Bandres F, and Chicharo JL. Hormonal levels of world class cyclist during the Tour of Spain stage race. *Br J Sports Med.*, 35:424-430, 2001.
 55. Maxwell N, Gardner F, and Mimmo, M. Intermittent running: muscle metabolism in the heat and effect of hypohydration. *Med Sci Sports Exerc.*, 31:675-683, 1999.
 56. Maxwell N, Mackenzie W, and Bishop D. Influence of hypohydration on intermittent sprint performance in the heat. *Int J Sports Physiol Perform.*, 4:54-67, 2009.
 57. McDermott WV, Bartlett MK, and Culver PJ. Acute pancreatitis after prolonged fast and subsequent surfeit. *N Eng J Med.*, 254:370-380, 1956.
 58. McMurray RG, Proctor CR, and Wilson WL. Effects of caloric deficit and dietary manipulation on aerobic and anaerobic exercise. *Int J Sports Med.*, 12:167-172, 1991.
 59. Melby CL, Schmidt WD, and Corrigan D. Resting metabolic rate in weight-cycling collegiate wrestlers compared with physically active, noncycling control subjects. *Am J Clin Nutr.*, 52:409-414, 1990.
 60. Melin B, Koulmann N, Jimenez C, Savourey G, Launay JC, Cottet-Emard JM, Pequignot JM, Allevard AM, and Gharib C. Comparison of passive heat to

- exercise-induced dehydration on renal water and electrolyte excretion: the hormonal involvement. *Eur J Appl Physiol.*, 85:250-258, 2001.
61. Montain SJ, and Coyle EF. Influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol.*, 73: 1340-1350, 1992.
 62. Montain SJ, Smith SA, Mattot RP, Zientara GP, Jolesz FA, and Sawka MN. Hypohydration effects on skeletal muscle performance and metabolism: a ³¹P-MRS study. *J Appl Physiol.*, 84:1889-1894, 1998.
 63. Moore BJ, King DS, Kesl L, Feltmeyer TL, Baldus PJ, Sharp RL, and Nespor JQ. Effects of rapid dehydration and rehydration on work capacity and muscle metabolism during intense exercise in wrestlers. *Med Sci Sports Exerc.*, 24:S95, 1992.
 64. National Collegiate Athletic Association. NCAA wrestling weight-certification program. Indianapolis: National Collegiate Athletic Association, pp:1-32, 1998.
 65. Nose H, Morimoto T, and Ogura K. Distribution of water losses among fluid compartments of tissues under thermal dehydration in the rat. *Jpn J Physiol.*, 33:1019-1029, 1983.
 66. Nybo L, and Nielsen B. Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *J Appl Physiol.*, 91:1055-1060, 2001.
 67. Oppliger RA, Case SH, Horswill CA, Landry GL, and Shelter MA. American college of sports medicine position stand: weight loss in wrestlers. *Med Sci Sports Exerc.*, 28:ix-xii, 1996.
 68. Oppliger R, Nelson S, Steen N, and Scott J. Weight loss practices of college wrestlers. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*, 13:29-46, 2003.
 69. Oppliger RA, Utter AC, Scott JR, Dick RW and Klossner D. NCAA rule change improves weight loss among national championship wrestlers. *Med Sci Sports Exerc.*, 38:963-970, 2006.
 70. Park SH, Roemmich JN, and Horswill CA. A season of wrestling and weight loss by adolescent wrestlers: effects on anaerobic arm power. *J Strength Cond Res.* 4:1-4, 1990.
 71. Rankin J, Ocel J, and Craft L. Effect of weight loss and refeeding diet composition on anaerobic performance in wrestlers. *Med Sci Sports Exerc.*, 28:1292-1299, 1996.

72. Reljic D, Hässler E, Jost J, and Frriedmann-Bette B. Rapid weight loss and the body fluid balance and hemoglobin mass on elite amateur boxers. *J Athl Train.*, 48:109-117, 2013.
73. Roemmich JN, and Sinning WE. Sport-Seasonal Changes in Body Composition, Growth, Power and Strength of Adolescent Wrestlers. *Int J Sport Med.* 17:92-99, 1996.
74. Roemmich JN, and Sinning WE. Weight loss and wrestling training: effects on growth-related hormones. *J Appl Physiol.*, 82:1760-1764, 1997.
75. Saltin B. Circulatory response to submaximal and maximal exercise after thermal dehydration. *J Appl Physiol.* 19:1125-1132, 1964.
76. Sawka MN, and Coyle EF. Influence of body water and blood volume on thermoregulation and exercise performance in the heat. *Exerc Sports Sci Rev.*, 27:167-218, 1999.
77. Sawka MN, Francesconi RP, Pandolf KB, and Young AJ. Influence of hydration level and body fluids on exercise performance in the heat. *JAMA.*, 252:1165-1169, 1984.
78. Sawka, MN, and Noakes, T. Does dehydration impair exercise performance? *Med Sci Sports Exerc.*, 39:1209-1217, 2007.
79. Sawka MN, and Young AJ. Physiological system and their responses to condition of heat and cold. In: *ACSM's Advance Exercise Physiology*, Tipton CM, Sawka MN, Tate CA, and Terjung RL. Baltimore, MD: Lippincott, Williams & Wilkins, pp.535-563, 2005.
80. Schoffstall JE, Branch JD, Leutholz BC, and Swain DP. Effects of dehydration on the one-repetition maximum bench press of weight-trained males. *J Strength Cond Res.*, 15:102-108, 2001.
81. Scott J, Oppliger R, Utter A, and Kerr C. Body weight changes at the national tournaments-the impact of rules governing wrestling weight management. *Med Sci Sports Exerc.*, 32:S131, Supplement, #532, 2000.
82. Serfass RC, Stull GA, Alexander JA, and Ewing JE^{Jr}. The Effects of Rapid Weight Loss and Attempted Rehydration on Strength and Endurance of the Handgripping Muscles in College Wrestlers. *Res Q Exerc Sport.*, 55:46-52, 1984.
83. Sjøgaard G, Richard PA, and Saltin B. Water and ion shifts in skeletal muscle of

- humans with intense dynamic knee extension. *Am. J. Physiol.*, 248:R190-R196, 1985.
84. Smith MS, Dyson R, Hale T, Hamilton J, and McManus, P. The effects in humans of rapid weight loss of body mass on a boxing-related task. *Eur J Appl Physiol.*, 83:34-39, 2000.
 85. Steen S, and Brownell K. Patterns of weight loss and regain in wrestlers: had the tradition changed? *Med Sci Sports Exerc.*, 22:762-768, 1990.
 86. Steen SN, Oppliger RA, and Brownell KD. Metabolic effects of repeated weight loss and regain in adolescent wrestlers. *JAMA.*, 260:47-50, 1988.
 87. Strauss RH, Lanese RR, and Malarkey WB. Weight loss in amateur wrestlers and its effects on serum testosterone level. *JAMA.*, 254:3337-3338, 1985.
 88. Thomas MM, Cheung S, Elder G, and Sleivert G. Voluntary muscle activation is impaired by core temperature rather than local muscle temperature. *J Appl Physiol.*, 100:1361-1369, 2006.
 89. Tipton CM, and Cheng T. Iowa wrestling study: weight loss in high school wrestlers. *JAMA.*, 214:1269-1274, 1970.
 90. Viitasalo JT, Kyrolainen H, Bosco C, and Alen M. Effects of rapid weight reduction on force production and vertical jumping height. *Int J Sports Med.*, 8:281-285, 1987.
 91. Vøllestad, NK, Hallen, J. Sejersted, OM. Effect of exercise intensity on potassium balance in muscle and blood of man. *J Physiol.*, 475:359-368, 1994.
 92. Watson, G, Judelson, DA, Armstrong, LE, Yeargin, SW, Casa, DJ, Maresh, CM. Influence of diuretic-induced dehydration on competitive sprint and power performance. *Med Sci Sports Exerc.*, 37:1168-1174, 2005.
 93. Webster R, Rutt R, and Weilman A. Physiological effects of a weight loss regimen practiced by college wrestlers. *Med Sci Sport Exerc.*, 22:229-234, 1990.
 94. Wilmore JH, Vodak P, Parr R, Girandola R, and Billing, J. Further simplification of a method for determination of residual lung volume. *Med Sci Sports Exerc.*, 12:216-218, 1980.
 95. Wilk B, Yuxiu H, and Bar-Or O. Effect of hypohydration on aerobic performance of boys who exercise in the heat [abstract]. *Med Sci Sports Exerc.*, 34:S48, 2002.
 96. Yoshida T, Takanishi T, Nakai S, Yorimoto A, and Morimoto T. The critical level

- of water deficit causing a decrease in human exercise performance: A practical field study. *Eur J Appl Physiol.*, 87:529-534. 2002.
97. Zachwieja JJ, Ezell DM, Cline AD, Ricketts JC, Vicknair PC, Schorle SM, and Ryan DH. Short-term dietary energy restriction reduces lean body mass but not performance in physically active men and woman. *Int J Sports Med.* 22:310-316, 2001.
 98. Zambraski EJ, Foster DT, Gross PM, and Tipton CM. Iowa wrestling study: weight loss and urinary profiles of collegiate wrestlers. *Med. Sci Sports.*, 8:105-108, 1976.
 99. Zambraski EJ, Tipton CM, Jordan HR, Palmer WK, and Tcheng TK. Iowa wrestling study: urinary profiles of state finalist prior to competition. *Med Sci Sports.*, 6:129-132, 1974.
 100. Zambraski EJ, Tipton CM, Tcheng TK, Jordan HR, Vailas AC, and Callahan AK. Iowa wrestling study: changes in urinary profiles of wrestlers prior to and after competition. *Med Sci Sports.*, 7:217-220, 1975.

謝辞

本研究を進めるにあたり、多くの方々のご指導、ご助力いただきました。ここに深く感謝の意を表します

研究活動全般にわたり格別なるご指導とご高配を賜りました中京大学スポーツ科学部教授 松本 孝朗先生に甚大なる謝意を表します。学部生の時に「減量の教科書を作りたい」と松本先生の研究室に行った際に、親身に相談に乗って下さったことがきっかけで大学院進学を決意しました。当時抱いた目標を博士論文としてまとめることができたのも、終始懇切なるご指導をしていただいた松本先生のおかげです。運動時の体温調節、熱中症などの新たに研究の幅を広げられたこと、学会発表や招待講演などの数多くの貴重な機会を作っていただいたことも言葉では表しきれないほど感謝しております。

体育学部出身者としての研究の方向性、研究者としての心構えを教えて下さった中京大学学長 北川 薫先生に深く感謝いたします。減量に関する研究を数多く行っておられた北川先生のご指導、ご助言により博士論文をまとめることが出来ました。

貴重なご教授を賜りました中京大学教授 梅村 義久先生、中京大学教授 渡辺 丈真先生、中京大学教授 來田 享子先生、中京大学准教授 荒牧 勇先生、元中京大学教授 松井 信夫先生、元中京大学教授 山本 高司先生に深く感謝いたします。

実験の方法、解析、論文投稿など多岐にわたりご指導、ご助言をいただきました日本福祉大学助教 伊藤 僚先生に対し深く感謝しております。

愛知東邦大学助教 中野 匡隆先生には研究以外にも大変お世話になりました。深く感謝しております

本研究を遂行するうえで実験に快く参加して下さいました中京大学体育会ボクシング部部員の皆様に対し、深く感謝しております。

金沢ボクシングクラブ名誉顧問 黒田 三郎様，監督・石川県立工業高校ボクシング部顧問教諭 小林 裕一様，中西 健吾様，関係者の皆様のボクシングを通してご指導により今日の私があると言っても過言ではありません。皆様のご指導により，自分の人生を大切し，しっかりと向きあうことが出来ています。ここに感謝の意を表します。

最後になりましたが，大学院に進学する機会を与えてくれたばかりでなく，研究者としての心構えを教えていただいた父であり先輩研究者でもある金沢大学准教授 山下 克美に深く感謝しております。また，経済的，精神的に支援していただいた母 良子，兄 俊一，亡き祖父母 浅一，久，幸子に深く感謝しております。これから少しずつ恩返しさせていただきます。