

早稲田大学審査学位論文
博士（スポーツ科学）

体重階級制アスリートに対する急速減量が
月経異常，水・電解質制御および酸化ストレス
に及ぼす影響

Effects of rapid weight loss on menstrual
disorders, body water and electrolyte control,
and oxidative stress for weight class athletes

2019年7月

早稲田大学大学院 スポーツ科学研究科
西牧 未央
NISHIMAKI, Mio

研究指導教員： 坂本 静男 教授

目次

第1章 研究の背景と目的	1
1. 体重階級制競技の計量ルールがもたらす減量の弊害	1
2. アスリートの減量が行動に及ぼす影響	3
3. 急速減量による脱水が恒常性維持機能に及ぼす影響	4
4. 女性アスリートの減量	6
第2章 文献考証	8
1. 急速減量の実態	8
2. 急速減量の脱水が生理機能に及ぼす影響	10
1) 急速減量による体水分量の変化が体組成に及ぼす影響	10
2) 急速減量に伴う尿排泄量の変化	10
3) 急速減量方法による発汗の促進	11
4) 急速減量方法としてのナトリウム摂取量の調節	12
5) 急速減量とグリコーゲンの関連	13
6) 急速減量がパフォーマンスへ及ぼす影響	14
7) 女性アスリートの減量による健康問題	16
第3章 女性体重階級制アスリートの減量の実態調査（研究課題 I）	18
1. 緒言	18

2. 方法	19
3. 結果	21
4. 考察	27
5. 結論	29
第4章 レスリング選手の急速減量による脱水が酸化ストレスや電解質濃度に及ぼす 影響（異なる急速減量期間による比較）（研究課題II）	29
1. 緒言	29
2. 方法	30
3. 結果	34
4. 考察	41
5. 結論	45
第5章 総合討論および今後の課題	46
1. 各研究課題の総括	46
2. 総合討論および今後の課題	47
3. 結語	49
参考文献	50
謝辞	63

第1章 研究の背景と目的

レスリングや柔道をはじめとする体重階級制競技では、身体の大きさや重さといった体格が競技力に大きく影響する。体格の条件を可能な限り統一するため、体格に応じた体重区分で競うようルールが定められている。出場する体重区分に合わせ、多くの体重階級制競技アスリートは計量日に向け減量をおこなう。減量には特有の方法が用いられ、特に短期間に体重を減らす急速減量はアスリートに多くの問題を引き起こしている。エネルギー摂取や飲水の過剰な制限、大量の発汗を促すための暑熱環境など、選手は試合のたびに身体に過度な負担をかけている現状がある。体重階級制競技における減量の問題を解決するため、長年にわたり議論がなされてきた。減量の身体への負担や悪影響に関する研究は進められているものの、未だ科学的証拠が十分ではなく、競技の現場に減量の危険性は伝わっていない。体重階級制競技の多くはオリンピック競技種目であり、競技人口や注目度を考慮すると、減量に関連する実態調査や身体に及ぼす影響について詳細に検討することは非常に重要である。

1. 体重階級制競技の計量ルールがもたらす減量の弊害

全ての体重階級制競技は、自身がエントリーした階級区分を満たしているか証明するために、競技会の前、その後の複数日の競技会において公式計量を実施される。体重測定から競技までの期間は競技種目によって異なる(Reale, Slater, & Burke, 2017) (Table

1). アスリートは公式計量をパスするために計量時点で規定体重を下回る必要があるが、試合開始時点の体重に関する規定はない。そのため計量後から試合までの間に多量の飲食をすることにより、減量前の本来の体重にまで戻す選手がいる。つまりアスリートは公式計量のルールを順守しているものの、通常時の体重よりも低い階級にエントリーし、公式計量から試合までの回復期間で体重を戻し、対戦相手よりも体格で優位に立つために急速減量をすることが多くの研究から明らかにされている。特に体重階級制競技の軽量級では、階級区分の間隔が狭くなっているため、軽量級アスリートが計量前に急速減量をする可能性は高くなる。実際、軽量級アスリートが重量級アスリートよりも相対的に減量を高頻度を実施しているという報告は多くある(Wroble & Moxley, 1998)。体重階級制は同程度の体重や体格で平等に競合させるという意図であったにも関わらず、急速減量と急速な回復により体重や体格差で試合を有利におこなおうとする者がいる皮肉な現状を呈している。

Table 1. Characteristics of weight-category sports

Sport	Weigh-in procedures
Wrestling (2018～)	Morning on the first day of competition and morning of next day.
Wrestling (～2017)	Once, evening before competition.
Judo	Once, evening before competition. Additional random weight checks morning of competition, disqualifying those >5% over weight division.
Boxing	Morning on the first day of competition and morning of every contest day. No less than 3 h between weigh-in and contest.
Tae kwon do	Once, evening before competition.
Weight lifting	Morning on the first day of competition of before 2 h.

出典：Reid et al.による図表を一部修正

2. アスリートの減量が行動に及ぼす影響

多くの体重階級制アスリートを対象とした研究において、急速減量が具体的に社会に影響を及ぼす問題点が明らかにされている(Fogelholm, 1994)。パワー系種目や体重階級制競技では、若年期から体重を短期間に減らして、短時間で増やすというサイクルを繰り返している。若年期から短期間での減量と増量を繰り返しおこなうことは、成年期の肥満のリスクを高めることが報告されている(Saarni, Rissanen, Sarna, Koskenvuo, & Kaprio, 2006)(Kroke et al., 2002)。体重階級制競技では、計量後から試合までにいかに多く体重を増やすかが戦略の一つとされている。相手より少しでも体重を多くすること

でパワー発揮に有利と考えられているからである。そのため急速減量は競技内における因習として非常に根深く浸透しており、多くのコンバットアスリートの習慣となっている。選手本人、コーチやチームメイトが抱く勝ちたいという願望が、減量への取り組みに関する決断に最も大きな影響を与えている (Marquart & Sobal, 1994)。

3. 急速減量による脱水が恒常性維持機能に及ぼす影響

急速減量には、多くの身体的な悪影響を生じさせる可能性がある。急速減量の定義とは、1 週間以内で少なくとも体重の 5%の一時的な体重減少とされている (Khodaei, Olewinski, Shadgan, & Kinningham, 2015)。1997 年に、3 名のアメリカ人レスリング選手が過度な食事および飲水の制限や、サウナスーツを着用して高温多湿の環境下で運動を行い死亡したことが報告されている (Remick D, Chancellor K, Pederson J, 1998)。急速減量では主に、体内水分量を減らす脱水といった方法がとられる。温熱および浸透圧負荷によって脱水は促されるが、これらの負荷は、酸化ストレスを増加させる誘因となることが報告されている (King, Clanton, & Laitano, 2016)。高強度のトレーニングをおこなう体重階級制競技アスリートは通常時の練習のみで酸化ストレス状態が高く維持されている (Bloomer, Goldfarb, Wideman, McKenzie, & Consitt, 2005)。過剰な活性酸素およびフリーラジカルは筋のカルシウム感受性の低下 (Andrade, Reid, & Westerblad, 2001) や筋内のカリウム平衡の攪乱 (McKenna et al., 2006) に関与しており、高い酸化ス

トレス状態の慢性化は糖尿病，がん，循環器疾患，神経障害などの発症およびその進行に深く関わっていることが示唆されている(Harman, 2006). その状態でさらに温熱負荷や浸透圧負荷がかかることにより，さらに酸化ストレス状態が誘導され，筋疲労やパフォーマンスの低下を引き起こす恐れがある.

短期間の急速減量は熱中症，筋けいれんや低ナトリウム血症などの障害をまねくことに繋がり懸念されている(Choma, Sforzo, & Keller, 1998). 人体は電解質および体液の保持を通じて浸透圧を厳密に調節しており，それらの恒常性調節因子として作用する代表的な内分泌ホルモンがアルドステロンや抗利尿ホルモンである(Norsk et al., 1993). 急速減量により体水分量が急速に失われる際に，これらのホルモンによる恒常性の維持機能が働かず，電解質が低下してしまう可能性がある. 一般男性を対象にした研究において，温熱環境下での一過性運動による脱水がアルドステロン濃度を増加させることが確認されている(Morgan, Patterson, & Nimmo, 2004). レスリング選手を対象とした先行研究においても，3週間の減量後にナトリウム濃度の増加およびカリウム濃度の低下が認められたと報告されている(Karila et al., 2008). しかしながら，選手の多くは7日間以内の短期間で減量しており，さらに短い減量期間での急速減量が電解質濃度およびそれらを調節するホルモン濃度に及ぼす影響については明らかにされていない. 減量期間の相違による電解質濃度の変化を把握することができれば，計量後の回復期間に食事や飲料によって補うべき栄養素も明確になるように考えられる. これらのことから，急

速減量によって引き起こされる脱水によって、恒常性を保つために作用するホルモン動態を評価し、異なる急速減量期間によって比較することは非常に重要と考えられる。

4. 女性アスリートの減量

オリンピックに出場するアスリートの半数は女性であり、女性アスリートの更なる活躍が期待されていると同時に女性アスリートの健康問題についての認識も高まっている。女性アスリートのコンディションの維持およびパフォーマンス向上を考える際に、体組成管理やウェイトコントロールは重要な課題である。有経女性は周期的に性ホルモン濃度が増減する月経周期を有し、その影響を受けて体重や体組成が変化する可能性があることが報告されている (Bunt, Lohman, & Boileau, 1989)。男性アスリートと比較して女性アスリートが減量をする割合は少ないが (Malliaropoulos et al., 2017)、現在も各大会で減量を実施する女性アスリートが存在する。しかしながら、女性体重階級制アスリートを対象とした研究は非常に少ないのが現状である。体重階級制競技を対象とした減量に関する知見は、男性選手を対象とした研究がほとんどである。これらの知見を女性アスリートに安易に適応できない理由として、女性の身体的・精神的な変化にホルモンが強く影響していることがあげられる。急速減量などのストレスが高い状態では内分泌系の調節機能が低下し、無月経を引き起こす可能性が高くなる。体重階級制であるがゆえに、各階級の女性アスリートの体組成は異なるため、個々に応じた減量計画が必要

となる。女性体重階級制競技アスリートに焦点をあて、減量計画と試合に向けた減量による体重変化を把握することは、今後の女性アスリートの減量計画や、日々のコンディショニングの一助となる貴重な基礎的データになりうると考えられる。

以上のことから、本研究では、女性体重階級制アスリートの減量の実態を把握することを第一の目的とした（研究課題Ⅰ）。また、男性レスリング選手を対象とし、異なる急速減量期間が酸化ストレスや電解質の恒常性の維持に及ぼす影響について検討することとした(研究課題Ⅱ)。

【研究課題Ⅰ】

女性体重階級制アスリートの減量の実態調査

【研究課題Ⅱ】

レスリング選手の急速減量による脱水が酸化ストレスや電解質の恒常性維持機能に及ぼす影響（異なる急速減量期間による比較）

第2章 文献考証

1. 急速減量の実態

アスリートが選択する急速減量の方法は様々であるが、共通して最も一般的な減量方法は、運動量の増加ならびに水分および食物摂取の制限である (Oppliger, Steen, & Scott, 2003)(Alderman, Landers, Carlson, & Scott, 2004) (Franchini, Brito, & Artioli, 2012). 食事内容の変更には、水分、炭水化物、脂質、食物繊維の制限が含まれ、総エネルギー摂取量は、公式計量の1週間前から通常より約35%の減少が報告されている (Alderman et al., 2004)(Brito, Roas A, et al., 2012)(S. Fleming & Costarelli, 2007)(Kinningham and Gorenflo 2001). さらに、栄養についてよく理解していないアスリートは、極度の脱水に頼って減量を達成するとの報告もある (Steen & McKinney, 1986).

試合前の減量率や減量を行う選手の割合は、年代や競技種目間で異なる (Reale et al., 2017). 柔道選手 (Artioli et al., 2010) および大学生レスリング選手 (Steen & Brownell, 1990) で約90%、高校生レスリング選手では約70%が定期的に減量を行っていることが報告されており (Steen & Brownell, 1990) (Kinningham and Gorenflo 2001), 男性と女性の間で減量を行う割合に差が認められる (Artioli et al., 2010). 試合前の減量率は、体重の2~13%の範囲で報告されているが、大部分のアスリートは通常シーズンを通して体重の3~6%の減量を繰り返している (Steen & Brownell, 1990)(Artioli et al., 2010)(Oppliger et al., 2003)(Popowski et al., 2001). また、大学生レスリング選手を対

象とした調査では、41%のアスリートが少なくとも1週間で5kgの減量をすることが報告されている(Steen & Brownell, 1990)。ボクシング、柔道、テコンドーおよびレスリング競技のアスリートを対象におこなった調査において、過去における最も高い減量率に対する回答は、ボクシングで8.3%、柔道で6.9%、テコンドーで9.3%、レスリングで11.0%であり、レスリング選手で最も高い値となった(Reale et al., 2017)。

現行のルールにおいて計量を実施される日は、柔道とテコンドーで試合の前日、ボクシングおよびウェイトリフティングで試合当日と規定されている。ただし柔道では、計量日翌朝に階級体重の5%の増量範囲内か再計量により確認している。レスリングでは2018年に計量ルールが改定された。ルール改正前までは試合前日の計量であったが、改正後は試合当日の計量となった。日本のレスリング選手を対象に、試合前日の計量であった2016年と、ルール改定後の当日計量である2018年における試合7日前からの減量率が調査され報告されている(西牧未央 & 近藤衣美, 2019)。2016年に試合7日前からの減量を行っていた男子選手の割合は62%であったが、2018年には30%まで減少していた。女子選手においても同様の変化が観察され、1週間前に体重の5%以上の減量が必要であった選手の割合は2016年の37%から2018年の4%まで減っており、アスリートは当日計量ルールにおいて減量率は低くなることが示唆された。以上より、減量率は計量のルールに影響を受けると示唆される。しかしながら、選手や指導者には短期間で減量し、計量後に体重を戻すことで試合時に対戦相手より体格的に優位にたつと

考え、結果、勝利につながると考えている者がいる (Marquart & Sobal, 1994)。急速減量が身体に及ぼす悪影響を明らかにしたうえで、科学的証拠を積み重ね啓蒙することが重要である。

2. 急速減量の脱水が生理機能に及ぼす影響

1) 急速減量による体水分量の変化が体組成に及ぼす影響

アスリートの急速減量は体水分量を有意に減少させる (Kondo et al., 2018) (Kondo et al., 2019)。急速減量をおこなうアスリートは重量級と比較して軽量級で圧倒的に多く (Oppliger et al., 2003)、体重当たりの脂肪量の割合は軽量級アスリートの方が低い (Reale, Cox, Slater, & Burke, 2016)。体重階級制アスリートの除脂肪体重が体重当たりに占める割合は、他の競技種目のアスリートと比較して高いため (設楽佳世 & 勝亦陽一, 2018)、体水分量が体重当たりに占める割合も高い可能性が考えられる (Craig A. Horswill, 1992)。減量を必要とするアスリートは、通常時より既に体脂肪率が低いため試合前に計量に向けて脂肪量を減らすことは困難である。したがって、特に軽量級のアスリートは体水分量を減らすことで急速減量を達成しようとする。

2) 急速減量に伴う尿排泄量の変化

平均的な一日当たりの尿排泄量は 1~2L/日の範囲であるが (Sawka, Cheuvront, &

Carter, 2005)(Maughan, Shirreffs, & Leiper, 2007), 急速減量は脱水を伴うため、急速減量中のレスリング選手は尿排泄量が低下する(Pross et al., 2013). レスリング選手の急速減量は尿排泄量を低下させ、尿浸透圧および尿比重を有意に上昇させると報告されている(Armstrong et al., 1998). 尿排泄量が低下するものの、目標とする体重まで減量する手段として、世界アンチドーピング機構の禁止物質に指定されている利尿剤を使用するアスリートさえいることが報告されている(Clare, Conroy, & Spelman, 2009)(Franchini et al., 2012)(Giannini Artioli et al., 2010).

尿の産生は体液を調整する主な方法である。このプロセスは腎臓によって厳密に制御されており、アルドステロンと抗利尿ホルモンが腎臓の Na 再吸収機能に作用して水分とナトリウムを保持または放出し、体の水分と血漿中のナトリウム濃度を維持している(Norsk et al., 1993). しかしながら急速減量により尿産生が抑制されることにより、尿産生による体液調節機能は影響を受ける可能性が高い。

3) 急速減量方法による発汗の促進

アスリートは急速減量をおこなう際に、発汗を促進させるためにサウナスーツを着用しての運動や、サウナ入浴をすることが報告されている(Brito, Roas, et al., 2012). 高温または多湿環境、あるいはその両方でヒトは発汗によって水分を損失する(Sawka et al., 2005). さらに、運動によってもたらされる体温上昇は発汗による水分の損失を増加さ

せる (Franchini et al., 2012)(Brito, Roas, et al., 2012)(Artioli et al., 2010). 能動的 (運動誘発) または受動的 (暑熱環境への曝露) 戦略によって発汗による体液損失の促進が可能となり, これらの戦略をアスリートは頻繁に選択している (Sawka et al., 2005).

発汗量は, 深部体温や皮膚温, 血漿電解質濃度, 血漿量, および体全体の水分量など, ささまざまな要因によって左右される (Johnson & Park, 1981). また女性は男性よりも相対的に除脂肪体重が低く, 体水分量が少ないことや, ホルモン分泌量の差 (Keizer, Janssen, Menheere, & Kranenburg, 1989) によって, 発汗量が低くなることが予想され, 減量の際に注意すべきである (Ichinose-Kuwahara et al., 2010).

4) 急速減量方法としてのナトリウム摂取量の調節

体重階級制スポーツアスリートにおいて, 減量期間中にナトリウム摂取量を減らすことが習慣となっている (S. Fleming & Costarelli, 2007). ヒトの体は, 腎排泄, 電解質および体液の保持を通じて浸透圧を厳密に調節している. ナトリウム摂取量の増加は体液貯留の増加をもたらす, その逆のナトリウム摂取量の減少は体液貯留の減少をもたらす (Shirreffs, Armstrong, & Chevront, 2004)(Sawka et al., 2005). 短期間に体水分量を減らすために, ナトリウム摂取量を減少させることは有用な方法であるが, 低ナトリウム血症や電解質不足による筋痙攣のリスクを伴う.

5) 急速減量とグリコーゲンの関連

体重階級制アスリートは、減量中に炭水化物の摂取量を減らすと報告されている (Reale et al., 2017). 炭水化物は、骨格筋や肝臓組織にグリコーゲンとして蓄えられる。グリコーゲンの貯蔵は、肝臓重量の 8 %、骨格筋重量の 1 ~ 2 % に寄与している (Hultman, 1967). グリコーゲンは、1 : 2.7 (水 : グリコーゲン) の比で水に結合することが知られている (Bergström & Hultman, 1972). それゆえアスリートはグリコーゲン貯蔵量を減らすことで、グリコーゲンと結合した水分を体内から減少させ、急速減量を達成しようとする。

先行研究によると、7 日間の低炭水化物食は無酸素性パワーを維持しながら、約 2% の体重減少を達成できる (Sawyer et al., 2013). しかしながら、6 週間の低炭水化物食では、最大発揮パワーと持久力の減少が認められた (J. Fleming et al., 2003). 炭水化物の摂取制限はグリコーゲンに結合する水分の喪失を利用して、急速減量を可能にする方法であるので、短期間であればパフォーマンスを落とさず効率的に減量を可能にさせるが、長期的な炭水化物制限は慢性的な利用可能エネルギー不足に陥らせる危険性がある。国際オリンピック委員会 (IOC) は、スポーツにおける相対的なエネルギー不足 (Relative Energy Deficiency in Sport : RED-S) が、男女すべてのアスリートの発育発達や代謝、精神、心血管、骨など全身へ悪影響を与え結果的にパフォーマンス低下をもたらすと警告している (Mountjoy et al., 2014).

6) 急速減量がパフォーマンスへ及ぼす影響

すべてのアスリートは試合で勝利するため、最高のパフォーマンスを発揮するために、日々のトレーニングに励み、適切な栄養補給や休養などのコンディショニングを心掛けている。試合時のパフォーマンスに影響を与える要因のひとつとして急速減量あげられる。急速減量パフォーマンスに与える影響を説明するメカニズムは、脱水を促進するためにアスリートが選択する減量方法に伴う生理応答が深く関与している。

筋中のグリコーゲン貯蔵の枯渇と相まって、水分摂取量の低下または血漿容量の低下が、急速減量に関連するパフォーマンス低下の根底にあると提案されてきた(Burge, Carey, & Payne, 1993)。また、食事の炭水化物摂取量が大幅に減少すると、身体の酸・塩基平衡が酸性に傾く可能性がある(Greenhaff, Gleeson, & Maughan, 1988)。その他に、脱水症による酵素活性や筋小胞体機能の低下などがあげられ(Fitts, 1994)、温熱負荷は、中枢性疲労を誘引し、中枢神経系機能を低下させることも報告されている(Nybo & Nielsen, 2001)。これらのことより、体重階級制アスリートが行っている減量方法は生理機能に負の影響を及ぼすことが推測される。

急速減量とパフォーマンスの関連を検討した研究の多くは、実際の体重階級制スポーツの減量開始時から計量までのアスリートの減量行動をシミュレーションし実験デザインを組んでいる。パフォーマンス評価指標として垂直跳び、ベンチプレス、握力、腕エルゴメータによるウィングテストなど様々な測定が用いられている(Pallarés et

al., 2016)(Barbas et al., 2011). アスリートのパフォーマンス評価測定を行うタイミングは、減量開始前、減量後の計量時、そして計量から実際の試合までの回復期間後の3回であることが多い。減量後の計量からの回復期間で、アスリートは水分補給や食事摂取により、失った体水分量や体重を戻す。筋グリコーゲン量は、減量で有意に減少するが計量後 17 時間で減量前の値まで回復することが報告されている(Tarnopolsky et al., 1996). 減量後に十分な回復期間が確保された研究では、急速減量によるパフォーマンス指標の低下は認められないと報告されている(Mendes et al., 2013)(Koral & Dosseville, 2009). しかしながら、急速減量をおこなった選手には「パワーを発揮できない」「動きが鈍い」等のパフォーマンス低下を訴える者がいる(Garthe, Raastad, Refsnes, Koivisto, & Sundgot-Borgen, 2011). シミュレーション化された実験デザインの先行研究で使用された評価指標は、アスリートの実際の試合時のパフォーマンスを評価できていない可能性が高い。

レスリング競技における試合時のパフォーマンス発揮は、レスリングスキルとスキル熟練度のほかに、有酸素性および無酸素性能力パワー、心理状態を含む複数の要因によって決定される(C A Horswill, 1992). 体重階級制アスリートのパフォーマンスは個人の筋力や持久力などの体力の最高値で評価するのではなく、試合時に対戦相手よりパフォーマンス発揮に優れているか否かで比較すべきである。それゆえ個人が持つ体力や技術などの能力に悪影響を及ぼさず、最大限に試合時のパフォーマンスを発揮できるよう

な、必要ならば減量も含めたコンディショニングが重要である。

7) 女性アスリートの減量による健康問題

利用可能エネルギー不足、視床下部性無月経、骨粗鬆症の3つの疾患を「女性アスリートの三主徴」と定義し、IOC やアメリカスポーツ医学会では女性アスリートに多い健康問題として警笛を鳴らしている(De Souza et al., 2014)。競技種目にもよるが、コンディショニングの調節、プロポーションの維持のために、食事量の減少などにより体重減少を図る選手が多い。慢性的な体重コントロールがきっかけとなり、利用可能エネルギー不足となり摂食障害を発症することがある。過食症や拒食症などの摂食障害は、一般女性と比較するとアスリートで多く、特に10代のアスリートや審美系、体重階級制アスリートで多いことが報告されている(Torstveit & Sundgot-Borgen, 2005)(Joy, Kussman, & Nattiv, 2016)。

女性アスリートの体重減少は、運動性無月経の発現に大きく関与することがわかっている(Fishman, Boyar, & Hellman, 1975)。試合前の急速減量は男子アスリートだけでなく女子アスリートもおこなっており(Artioli et al., 2010)、体重階級制競技である女性レスリング選手を対象とした先行研究では、選手は試合前に通常時より有意に体重を減少させることが報告されている(Nishimaki & Sakamoto, 2018)。女性体重階級制アスリートの試合前の減量が、月経不順や無月経を引き起こすことは十分に考えられる。

第3章 女性体重階級制アスリートの減量の実態調査

1. 緒言

女性体重階級制アスリートの急速減量が、ホルモン調節に悪影響を及ぼす可能性がある。体重階級制アスリートにおいて、試合前に極度の食事制限、水分制限を用いて短期間に体重を減らす急速減量が男子アスリートだけでなく女子アスリートの間でもおこなわれている (Artioli et al., 2010)。アスリートが選択する減量方法は、女性アスリートにおける月経異常の要因となる利用可能エネルギー不足となり、摂食障害を引き起こすこともある (Torstveit & Sundgot-Borgen, 2005)。女性アスリートにおいて精神的・身体的ストレス、体重・体脂肪の減少、ホルモン環境の変化が誘因となり発症する運動性無月経が問題視されている (Otis, 1992)。運動性無月経は女性アスリートの生殖生理機能に異常をきたすだけでなく、摂食障害、無月経、骨粗鬆症という女性アスリートの三主徴と相互に関連していることが報告されている (Nattiv et al., 2007)。

減量時には月経周期を考慮したコンディショニングが必要と考えられる。女性アスリートの減量は男性アスリートよりも困難で、体への負担が大きいことが安易に予想できるが、女性の月経周期や月経異常など女性アスリート特有の減量時コンディションを考慮した減量指導は現段階ではほとんどなされていないといっても過言ではない。女性アスリートのコンディションを評価する方法のひとつが基礎体温の測定であり、この測定の主な目的は、「利用可能エネルギー不足の兆候」を確認することである。月経周期や

排卵が規則的にみられていたアスリートが利用可能エネルギー不足になると、まずは黄体期不全になるため高温期が短くなり、さらに利用可能エネルギー不足が改善されなければ無排卵となるため、低温期のみとなる(能勢さやか et al., 2018). 女性体重階級制アスリートの通常期、試合前の減量期と基礎体温の関連を観察することで、各期における適切な摂取エネルギー量の把握や、月経周期を考慮した減量計画の実施が可能となる。

本研究の目的は、女性体重階級制アスリートを対象に、女性体重階級制アスリートの減量の実態を把握することとした。

2. 方法

対象者

対象者は、大学に所属する女子レスリング選手 7 名、柔道選手 11 名、ウェイトリフティング選手 3 名の計 21 名 (年齢: 21 ± 1 歳, 身長: 159.0 ± 5.2 cm, 体重 60.2 ± 6.8 cm, $BMI 23.8 \pm 1.8 \text{ kg/m}^2$) であり、規則的にトレーニング (週に 6 日, 3 時間/日) を行っていた。対象者は、実験の前に実験の目的、内容および予想される危険について十分な説明を受け、同意書に署名したうえで実験に参加した。本実験の実施の前には、スクリーニングテスト (i.e. 身長, 体重, 体脂肪率, 血圧および質問票による既往歴と症状の調査) を行い、健康面に問題がないことを確認した。本研究は、国立スポーツ科学センターの「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得て行われた (承認番号

2017-041).

調査方法

調査期間は2018年4月から10月の6ヵ月間とし、調査期間中に対象者は基礎体温、体重、減量開始日、計量日、月経開始日および月経終了日を毎日記録した。体重は起床時体重または各所属のトレーニング場において行われる練習前の体重を記録用紙に記入した。

月経周期および月経異常の判定

月経開始初日から次の月経開始初日までを1周期とした。月経異常は、1周期が①25日未満または②39日以上である、③前回の周期の日数と比較し7日以上の変動がある、と定義し3つの条件のうち該当した場合とした。また、稀発性月経は39日以上、頻発性月経は25日未満と定義した。各対象者の月経異常率は以下の式で算出した。

各対象者の月経異常率 (%) = {(稀発性月経異常回数+頻発性月経異常回数+7日以上の変動回数)÷観察期間中の月経周期数} × 100

基礎体温測定

基礎体温測定は毎朝目が覚めた時、起き上がる前に横になった状態で測定してもらっ

た。起床時刻はできるだけ同時刻とし、異なる場合には±1時間とした。体温計（MC-652LC-PK、オムロン社製）を舌下に10秒間あてることで舌下温を測定した。対象者の基礎体温変移における二相性の有無の判定は、①性周期が25–38日、②低温期と高温期の差が0.2℃以上、③高温期が10–14日程度を示すもの(能勢さやか et al., 2018)とした。

統計処理

解析結果は全て平均値±標準偏差で示した。各群間比較には対応のないt検定を用いて検討した。月経異常発生率の比較は、Pearsonの χ^2 検定を用いた。統計処理は、IBM SPSS Statistics 24 software (SPSS Japan inc.)を用いて行い、統計学的有意水準は危険率5%未満とした。

4) 結果

対象者の特徴

対象者の特徴をTable.2に示す。試合前に体重を超過していた者を減量あり群(n=11)、超過していなかった者を減量無し群とした(n=10)。減量あり群と減量なし群で年齢、身長、体重、BMIおよび平均月経日数に有意な差は認められなかった。また、減量あり群の平均減量日数は 13.1 ± 6.1 日、平均減量率は $5.2 \pm 2.1\%$ であった。

Table 2 対象者の特徴

	減量あり (n=11)	減量なし (n=10)
年齢 (歳)	20±1.4	20±1.1
身長 (cm)	159.0±3.8	159.0±6.6
体重 (kg)	61.3±5.7	58.8±7.7
BMI (kg/m ²)	24.2±1.9	23.2±1.6
平均月経日数 (日)	5.8±1.0	5.7 ±1.1
	平均値±SD	

月経異常率

減量あり群，減量なし群の月経異常率と正常月経率を Figure 1 に示す．月経異常率は減量なし群で 30.0%，減量あり群において 54.6%であり，有意差は認められなかった．減量あり群および減量なし群における正常月経であった対象者の割合 (Figure 2)，月経異常を有した対象者の割合を示す (Figure 3)．月経異常は 1 周期が 25 日未満の頻発性月経，1 周期が 39 日以上ある遅発性月経，無月経の 3 種類で分類した．それぞれの延べ人数は頻発性月経 26 名，稀発性月経 13 名であった．無月経に関して，1 ヶ月以上月経がなかった対象者が減量あり群において 2 名，2 ヶ月なかった対象者が減量あり群において 1 名であった．

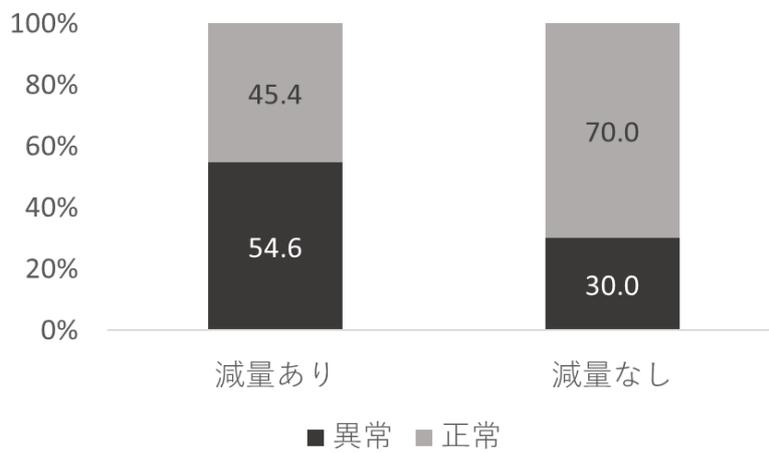


Figure 1 全月経回数の中の月経異常率および正常月経率の比較

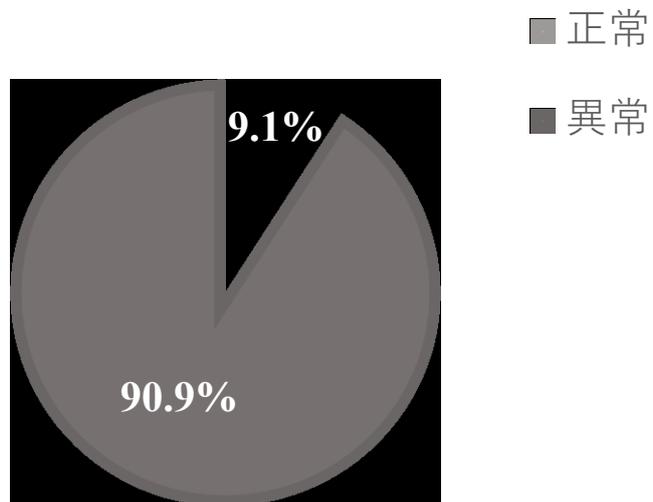


Figure 2 減量あり群における月経異常割合と正常月経割合の比較

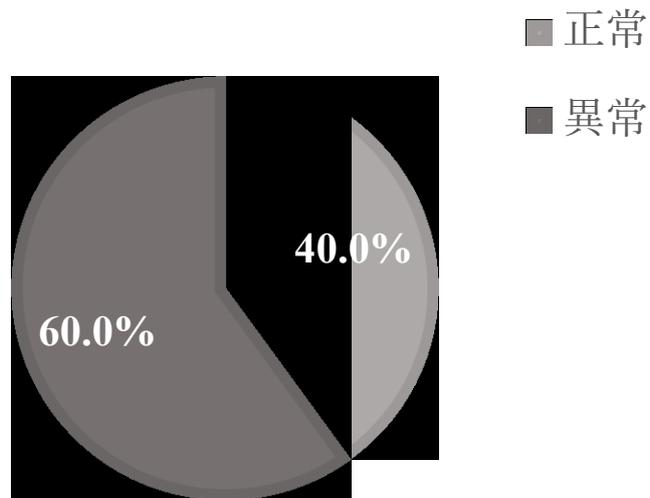


Figure 3 減量なし群における月経異常割合と正常月経割合の比較

典型例

減量あり群の対象者の中から二相性を示したデータ，示さなかったデータ，減量なし群の対象者の中から二相性を示したデータ，示さなかったデータを抽出し，それぞれ最も特徴的であったデータを典型例として示す (Figure 4, 5, 6, 7).

Figure.4 の対象者は大会の計量日前の 27 日間で 2.8kg (4.2%) の減量を行っていた.

全減量期間のうち最初の 18 日間を赤線で示す. Figure 5 の対象者は大会の計量日前の 15 日間で 5.9kg (10.0%) の減量を行っていた.

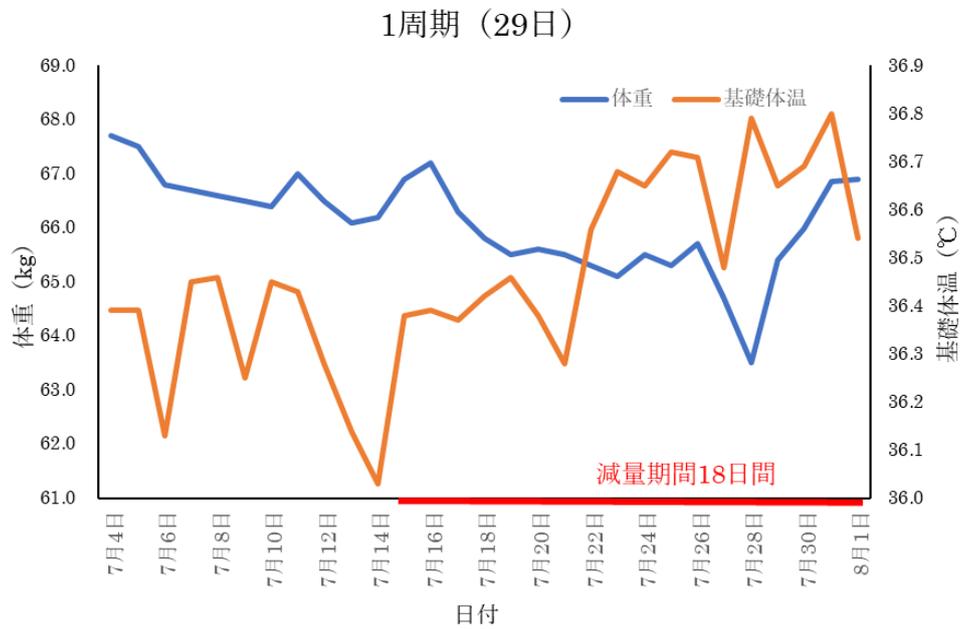


Figure 4 減量あり群で基礎体温が二相性を示す典型例

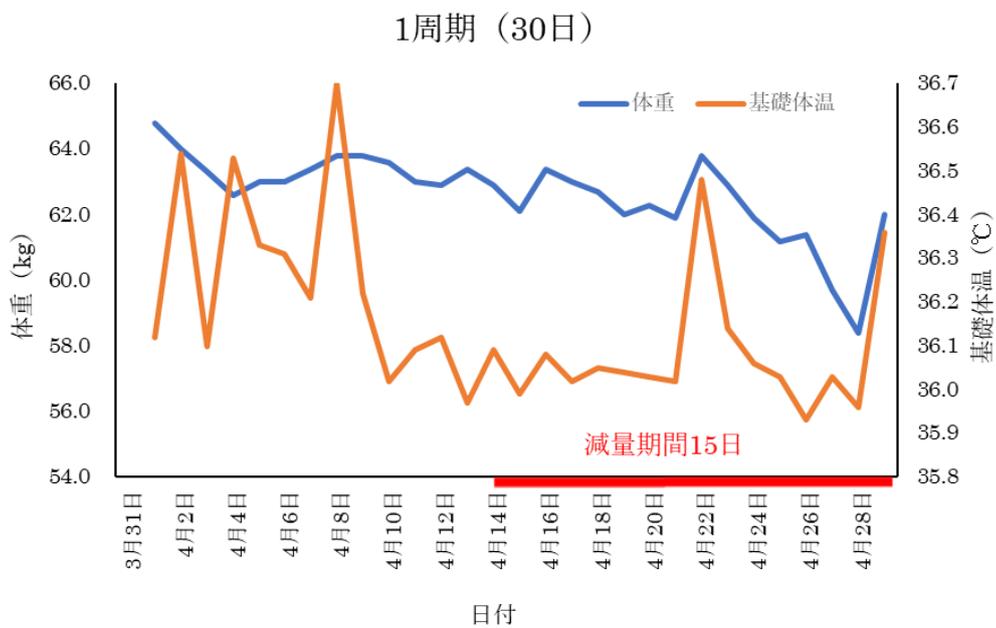


Figure 5 減量あり群で基礎体温が二相性を示さない典型例

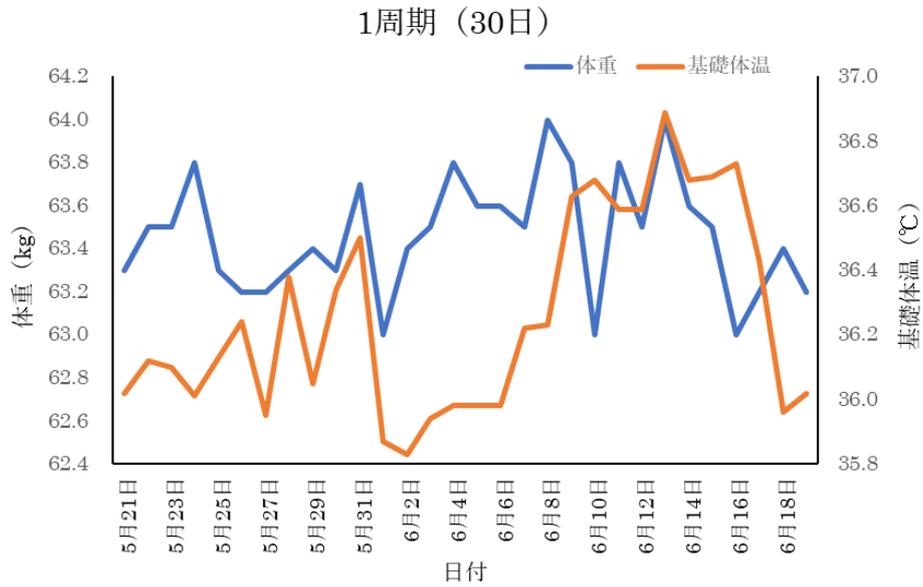


Figure 6 減量なし群で基礎体温が二相性を示す典型例

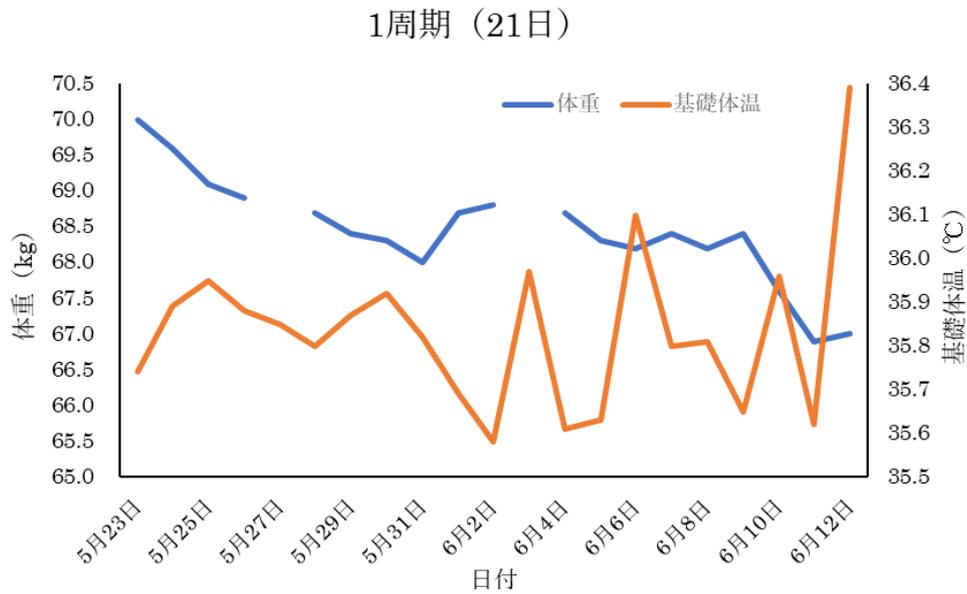


Figure 7 減量なし群で基礎体温が二相性を示さない典型例

5. 考察

本研究は女性体重階級制競技アスリートの減量が、月経周期や月経期の症状に与える影響について明らかにすることを目的とし、大学生の女性アスリートを対象に調査をおこなった。その結果、月経異常率において両群で有意な差は認められなかったが、月経異常を引き起こした選手の割合が、減量あり群において高い傾向を示したため、大会前の減量が月経異常に影響を与える可能性が示唆された。

月経異常率において、両群に有意な差は認められなかった。全月経回数の中の月経異常が生じた割合を個人毎に求めたところ、減量あり群で平均 54.6%、減量なし群で平均 30.0%であった。また、調査期間中に一度でも月経異常を起こした人数の割合でみると減量あり群では 91.9%、減量なし群では 60.0%のという結果であった。減量あり群において、調査期間中の全ての月経が異常と判定された対象者が 3 名、全て正常と判定された対象者が 1 名であったのに対し、減量なし群では、全て異常と判定された対象者は 0 名、全て正常と判定された対象者は 4 名であった。これらの原因として急速減量による利用可能エネルギー不足が月経異常を引き起こしている可能性が考えられる。ここでいう利用可能エネルギーとは「総エネルギー摂取量から運動によるエネルギー消費量を差し引いた値＝生体の機能のために利用するエネルギー量」である(De Souza et al., 2014)(能勢さやか et al., 2018)。これはアメリカスポーツ医学会で 2007 年に発表された女性アスリートの三大主徴と一致する。利用可能エネルギー不足が長期間続くことで

脳の下垂体からの黄体化ホルモン（LH）の周期的な分泌が抑えられ、排卵がなくなり（Loucks & Thuma, 2003）、排卵がみられなくなるとともに規則的に来ていた月経が不順になり、無月経になる（能勢さやか et al., 2018）。具体的には利用可能エネルギーが、体重から脂肪組織の重量を差し引いた除脂肪量（Fat Free Mass:FFM）1 kgあたり30kcal/日未満の状態になると黄体化ホルモン（LH）の周期的な分泌が抑制され月経周期以上につながると報告されている（Loucks & Thuma, 2003）。

正常な月経周期を示す場合、基礎体温の推移は二相性を示すが、対象者のうち、基礎体温が二相性を示さない者がいた。基礎体温の推移が二相性から一相性に変化を示す原因として、利用可能エネルギーの不足が長期間続くことにより、脳の下垂体からの黄体化ホルモンの周期的な分泌が抑えられ、排卵がなくなるためと報告されている（能勢さやか et al., 2018）。しかし、大会前に減量をおこなっていても基礎体温が二相性を示す対象者がいる一方、減量をおこなっていても基礎体温が二相性を示さない対象者もいた。また、各対象者の中でも減量の有無にかかわらず、二相性を示す周期と示さない周期があったことから、減量による利用可能エネルギー不足以外に、心身のストレス、生活環境、自律神経バランスの不均衡、免疫力の低下（相良洋子, 2009）など基礎体温が二相性を示すか示さないかに影響する要因があるのではないかと考えられる。しかしながら、本研究では血液検査をおこなっていないためホルモン分泌を測定できず、その要因については今後の検討が必要である。

本研究にはいくつかの問題点及び課題がある。今回は対象者の体組成を測定できなかったため、骨格筋量や体脂肪量の差が月経異常に影響を及ぼすか検討することができなかった。さらに、減量方法の聞き取り調査や食事調査を実施していないため、減量が月経異常につながる具体的な要因、特にエネルギーバランスの影響を明らかにすることができなかった。

【結論】

本研究は、体重階級制競技の女性アスリートの減量が月経周期や月経期の症状に与える影響について、大学生の女性アスリートを対象に明らかにすることを目的とした。減量と月経異常発生の間に関連があることが示唆された。

本研究の結果は、女性アスリートが減量を実施することは月経異常を引き起こす要因となりうることを示唆している。それゆえ、女性アスリートが減量をする場合は男性アスリート以上に注意すべきことと考えられる。また、食欲亢進、体重増加や水分貯留によるむくみといった症状が認められる減量のしにくい黄体期ではなく、卵胞期に合わせて減量計画を立てることも有用かもしれない。

第 4 章 レスリング選手の急速減量による脱水が酸化ストレスや電解質濃度に及ぼす影響（異なる急速減量期間による比較）

1. 緒言

急速減量は重篤な脱水状態を引き起こす可能性がある。急速減量は短時間で体水分量を減らす脱水によって達成される (Kondo et al., 2018) (Kondo et al., 2019)。選手は、食事量や水分摂取量を極端に減らす、サウナスーツを着用してのトレーニングや、サウナの利用によって発汗量を増やすなどの減量方法を選択している (Oppliger et al., 2003)。先行研究では脱水の評価指標として体水分量の変化を測定しており、レスリング選手のおこなう急速減量後に有意な体水分量の減少を確認している (Kondo et al., 2018) (Kondo et al., 2019)。しかし、体水分量の減少に対し生体内では恒常性を維持する機能が働くため (Charm & Kurland, 1998)、体水分量のみで脱水状態を判断することはできない。脱水の判定には血中の電解質濃度が用いられており (Popowski et al., 2001)、レスリング選手の急速減量時の脱水状態も血中の電解質濃度によって評価すべきである。しかしながら、これまでレスリング選手の急速減量が血中の電解質濃度に及ぼす影響は明らかになっていない。

急速減量を行うことは酸化ストレスを増加させる可能性も考えられる。一般男性を対象とした先行研究において、サウナ浴による体重の 3% の脱水が酸化ストレスを増加させたことを報告しており (Paik et al., 2009)、脱水は酸化ストレスの誘因とも考えられる。体内水分量が減少する際に、体内の電解質濃度を調節するホルモンであるアルドステロンが分泌さ

れる (Férraille & Doucet, 2001). アルドステロンは NADPH オキシダーゼを発現させ、活性酸素の産生を亢進させるため、結果として酸化ストレスが増加することが確認されている (Keaney et al., 2003). したがって、急速減量による脱水も酸化ストレスを増加させるかもしれない。実際、レスリング選手において 12 日間の減量が、尿中の酸化ストレス指標を増加させたと報告されている (Yanagawa et al., 2010). しかしながら急速減量の定義は 7 日以内の減量であり、7 日以内の減量が酸化ストレスに及ぼす影響を検討した研究はなされていない。全日本レスリング選手権に出場した選手を対象に実施した調査によると、大会に向けた減量に要した期間のほとんどが 7 日以内であった。本研究では選手が減量期間として選択する可能性のある 7 日間、3 日間、1 日間に着目し、大学生男子レスリング選手の異なる急速減量期間が脱水状態と酸化ストレスに及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

対象者

対象者は、男子大学生レスリング選手 9 名 (年齢: 20 ± 2 歳, 身長: 167.1 ± 4.3 cm, BMI: 24.9 ± 2.0 cm) であり、過去 3 年間で年に 5 回以上、試合前に 5%以上の減量をおこなっていた。対象者は、実験の前に実験の目的、内容および予想される危険について十分な説明を受け、同意書に署名したうえで実験に参加した。本実験の実施の前には、

スクリーニングテスト (i.e.身長, 体重, 体脂肪率, 血圧および質問票による既往歴と症状の調査, 心血管疾患および代謝性疾患に関する血液検査) を行い, 健康面に問題がないことを確認した. 本研究は, 早稲田大学の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」の承認を得て行われた (承認番号 2013-272).

実験プロトコル

実験プロトコルを Figure 8 に示す. 各対象者は, 実際の競技と同様に 25 時間(1 日), 73 時間 (3 日) または 169 時間 (7 日) 以内に体重を 5%減らすように指示された. 各試行は, ランダム化比較試験で実施された. 各試行間は 4 週間以上空けた. ベースライン (T1), 体重の 5%減量後 (T2), 14 時間の自由飲水食事摂取後 (T3) の 3 ポイントで体組成測定および肘静脈採血による血中指標の評価をおこなった. T1 の 24 時間前から対象者は, アルコール, カフェインおよび高脂肪食品を控え, 激しい運動をしないように指示された. T1 当日に対象者は, 840kcal (炭水化物:126g, たんぱく質 31.5g, 脂質 23.3 g) の標準的な昼食をとった. T1 の測定後, 対象者は 1 日, 3 日および 7 日間の減量をそれぞれ 1 日あたり 5%, 1.7%および 0.7%ずつ体重が減少するように指示を受け, 毎朝指定の体重になっているか確認がおこなわれた. 対象者は, 全試行を通して, T1 の一週間前よりビタミンやミネラルや代謝に影響を及ぼすサプリメントの摂取は禁止するよう指示を受けた.

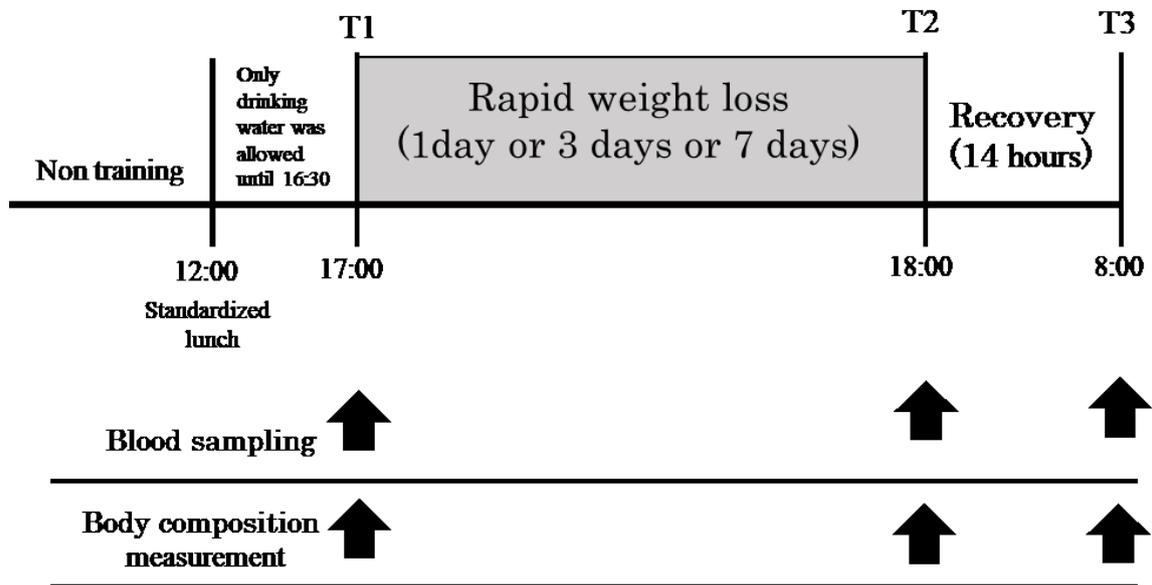


Figure 8. Study design.

体組成測定

体重 (BM), 除脂肪体重 (LBM), 細胞内液 (ICF), 細胞外液 (ECF) および総体水分量 (TBW) は生体電気インピーダンス法 (InBody710, Biospace 社, 日本) によって推定された。

血液生化学分析

血液採取後, 血清分析用血液は 30 分間室温で静置し, 血漿分析用血液はただちに遠心分離機 (KUBOTA 社製卓上小型遠心分離機) にて 3500rpm で 10 分間遠心分離した。遠心分離後, それぞれの採血管から血清, 血漿を抽出し, 測定まで冷蔵もしくは冷凍(-

80°C)保存した。得られた血漿および血清は分析まで-80°C以下にて冷凍保存した。分析項目は、酸化ストレス指標としてチオバルビツール酸反応性物質 (TBARS) および活性酸素代謝産物 (d-ROMs) および生物学的抗酸化能 (BAP) の測定を行った。酸化ストレス指標の分析は、TBARS assay kit (Cayman Chemical), dROMs・BAPtest kit (Diacron) を用いて原則一回としたが、異常と思われる値がでた場合は再測定を行い値の正確性に努めた。血清浸透圧 (Osm), 血清ナトリウム濃度 (Na), 血清クロール濃度 (Cl), 血清カリウム濃度 (K), 血清カルシウム濃度 (Ca), 血漿抗利尿ホルモン濃度 (ADH), 血漿アルドステロン濃度 (ALD) およびスーパーオキシドディスムターゼ活性 (SOD) の分析は、外部機関 (SRL, Inc. Tokyo, JAPAN) に依頼した。エチレンジアミン四酢酸 (EDTA) 処理した静脈血中のヘモグロビンおよびヘマトクリット値は、自動血球計数器 (pocH-100i, Sysmex, Japan) を用いて測定した。血液成分については、Dill and Costill (1974) の方法により濃縮補正した。

統計処理

解析結果は全て平均値±標準偏差で示した。各試行間における測定値の比較には、繰り返しのある2元配置の分散分析 (試行×時間) を行った。さらに、各項目の測定時間における差について、多重比較 (Bonferroni) を用いて検討を行った。統計処理は、IBM SPSS Statistics 24 software (SPSS Japan inc.) を用いて行い、統計学的有意水準は危険

率 5%未満とした。

3. 結果

急速減量による体組成および電解質濃度の変化

対象者は1日、3日および7日試行のすべての試行で体重の5%減量を達成した（それぞれ、 $5.06 \pm 0.52\%$ 、 $4.95 \pm 0.52\%$ 、 $4.91 \pm 0.34\%$ ）。BM, LBM, ICF, ECF および TBW において、T1 と比較し T2 で有意に減少し、T2 と比較し T3 で有意に増加した (Table 3)。HCT, Osm, Na, Cl, K, Ca, ADH および ALD において、試行間に有意な交互作用は認められなかった。HCT, Osm, Na, Cl, K, および ALD に対する時間の主効果 ($p < 0.05$) が認められた (Table 4)。Osm, Na および ALD において、T1 と比較し T2 で有意に増加した (Table 4)。Na および ALD において、T1 と比較し T3 で有意に高い値であった (Table 4)。HCT, Cl および K において、T2 と比較し T3 で有意に高い値を示した (Table 4)。

急速減量による酸化ストレス指標の変化

dROMs, BAP (Figure 9, 10) および TBARS (Table 5) において試行間に有意な交互作用は認められなかった。dROMs に対する時間の主効果が認められ T1 と比較し T2 で有意に高値を示した ($p < 0.05$) (Figure 9)。SOD において試行間に有意な交互作用が認められ、1日試行の T1 と比較し T2 で有意に高い値が認められ、T2 と比較し T3

で有意に低値が認められた ($p < 0.05$). 7 日試行において T1 と比較し T2 で有意に高値が認められた (Table 5).

Table 3. Change in body composition measurement, baseline (T1), immediately after weight loss (T2), weight regain (T3).

	Trial	T1	T2	T3	P			Effect size
		Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	T1 vs T2	T1 vs T3	T2 vs T3	
BM(kg)	1day	68.5 ± 7.9	65.1 ± 7.5	67.5 ± 7.4				
	3days	69.0 ± 8.2	65.6 ± 7.7	67.5 ± 7.7	p<0.01	p<0.01	p<0.01	^d 0.969
	7days	68.3 ± 8.2	65.0 ± 7.7	67.2 ± 8.0				
LBM(kg)	1day	59.9 ± 6.9	57.6 ± 6.4	59.1 ± 6.6				
	3days	59.8 ± 6.7	57.6 ± 6.6	58.9 ± 6.0	p<0.01	p<0.01	p<0.01	^d 0.960
	7days	59.9 ± 6.8	57.5 ± 6.4	59.0 ± 6.9				
TBW(kg)	1day	45.2 ± 4.1	43.3 ± 3.8	44.4 ± 4.1				
	3days	44.9 ± 3.8	43.2 ± 4.1	44.0 ± 3.7	p<0.01	p<0.01	p<0.01	^d 0.958
	7days	45.0 ± 4.1	43.1 ± 3.8	44.3 ± 4.3				
ICF(kg)	1day	28.4 ± 2.6	27.5 ± 2.6	28.0 ± 2.8				
	3days	28.2 ± 2.4	27.3 ± 2.6	27.8 ± 2.4	p<0.01	p<0.01	p<0.01	^d 0.933
	7days	28.3 ± 2.7	27.3 ± 2.6	27.9 ± 2.8				
ECF(kg)	1day	16.8 ± 1.5	15.9 ± 1.2	16.4 ± 1.4				
	3days	16.7 ± 1.5	15.9 ± 1.5	16.2 ± 1.4	p<0.01	p<0.01	p<0.01	^d 0.962
	7days	16.7 ± 1.4	15.8 ± 1.2	16.4 ± 1.5				

BM body mass; LBM lean body mass; TBW total body water; ICF intracellular fluids; ECF extracellular fluids. Magnitudes of ES were classified as ^atrivial (0–0.19), ^bsmall (0.20–0.49), ^cmedium (0.50–0.79) and ^dlarge (≥ 0.80) effect size between time.

Table 4. Change in concentrations of hematological parameters at total of three points with all trials

	Trial	T1	T2	T3	P			Effect size	Reference range
		Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	T1 vs T2	T1 vs T3	T2 vs T3		
HCT (%)	1day	45.9 ± 2.6	47.0 ± 2.6	44.6 ± 2.2					
	3days	46.9 ± 2.4	47.0 ± 2.5	45.5 ± 1.4				^b 0.497	39.8 - 51.8
	7days	47.1 ± 2.3	48.3 ± 2.7	45.0 ± 2.6			p<0.05		
Na (mEq/L)	1day	141.8 ± 1.6	142.7 ± 1.6	141.1 ± 1.7					
	3days	140.7 ± 1.6	142.4 ± 1.4	141.2 ± 1.5	p<0.01	p<0.05		^c 0.605	136 - 147
	7days	140.9 ± 1.8	141.7 ± 1.1	141.3 ± 0.9					
Cl (mEq/L)	1day	105.3 ± 1.6	98.7 ± 12.1	113.1 ± 17.0					
	3days	103.1 ± 1.5	103.5 ± 12.1	107.8 ± 14.1				^b 0.382	98 - 109
	7days	103.8 ± 1.6	101.0 ± 17.0	116.2 ± 22.2			p<0.05		
K (mEq/L)	1day	4.1 ± 0.2	4.1 ± 0.5	4.6 ± 0.6					
	3days	4.2 ± 0.3	4.3 ± 0.5	4.3 ± 0.6				^b 0.373	3.6 - 5.0
	7days	4.2 ± 0.3	4.2 ± 0.7	4.7 ± 0.9			p<0.05		
Ca (mg/dL)	1day	9.3 ± 0.3	9.2 ± 1.2	10.2 ± 1.3					
	3days	9.4 ± 0.4	9.8 ± 1.0	9.8 ± 1.2				^b 0.291	8.5 - 10.2
	7days	9.4 ± 0.3	9.4 ± 1.4	10.2 ± 1.9					
Osm (mOSM/Kg)	1day	290.2 ± 8.2	294.0 ± 9.2	291.4 ± 8.9					
	3days	287.6 ± 5.3	291.0 ± 7.0	288.0 ± 6.3	p<0.05			^c 0.706	276 - 292
	7days	286.8 ± 6.6	289.9 ± 6.5	288.2 ± 7.8					
ADH (Pg/mL)	1day	3.4 ± 2.5	3.5 ± 1.5	4.5 ± 3.0					
	3days	4.2 ± 2.7	5.9 ± 4.3	5.5 ± 3.5				^b 0.207	< 3.8
	7days	3.6 ± 2.5	4.0 ± 2.1	4.5 ± 3.8					
ALD (Pg/mL)	1day	152.5 ± 74.4	219.6 ± 107.0	214.3 ± 89.1					
	3days	142.9 ± 34.6	233.3 ± 61.9	265.6 ± 89.0	p<0.01	p<0.05		^c 0.605	35.7 - 240
	7days	155.8 ± 72.5	296.3 ± 119.1	258.9 ± 164.1					

HCT hematocrit; Na sodium; Cl chloride; K potassium; Ca calcium; Osm osmotic pressure; ADH antidiuretic hormone; ALD aldosterone.

Magnitudes of ES were classified as ^atrivial (0–0.19), ^bsmall (0.20–0.49), ^cmedium (0.50–0.79) and ^dlarge (≥ 0.80) effect size between time.

Table 5. Change in oxidative stress and antioxidant capacity at total of three points with all trials

	Trial	T1	T2	T3	<i>P</i>			Interaction	Effect size	Reference range
		Mean \pm SD	Mean \pm SD	Mean \pm SD	T1 vs T2	T1 vs T3	T2 vs T3			
SOD (%)	1day	12.1 \pm 1.6	13.0 \pm 1.8	11.9 \pm 1.4	p<0.01	p<0.01	p<0.01	^b 0.403	6.4 - 12.8	
	3days	12.0 \pm 2.2	12.1 \pm 1.8	11.8 \pm 1.6						
	7days	12.9 \pm 0.7	11.5 \pm 1.1	12.1 \pm 0.6	p<0.05					
TBARS (μM)	1day	0.6 \pm 0.5	1.3 \pm 1.0	0.9 \pm 0.6	N.S			^b 0.255	< 2.5	
	3days	0.7 \pm 0.4	1.4 \pm 0.9	1.3 \pm 1.2						
	7days	0.7 \pm 0.5	1.1 \pm 1.0	1.3 \pm 1.5						

SOD superoxide dismutase; TBARS malondialdehyde. Magnitudes of ES were classified as ^atrivial (0–0.19), ^bsmall (0.20–0.49), ^cmedium (0.50–0.79) and ^dlarge (≥ 0.80) effect size between time.

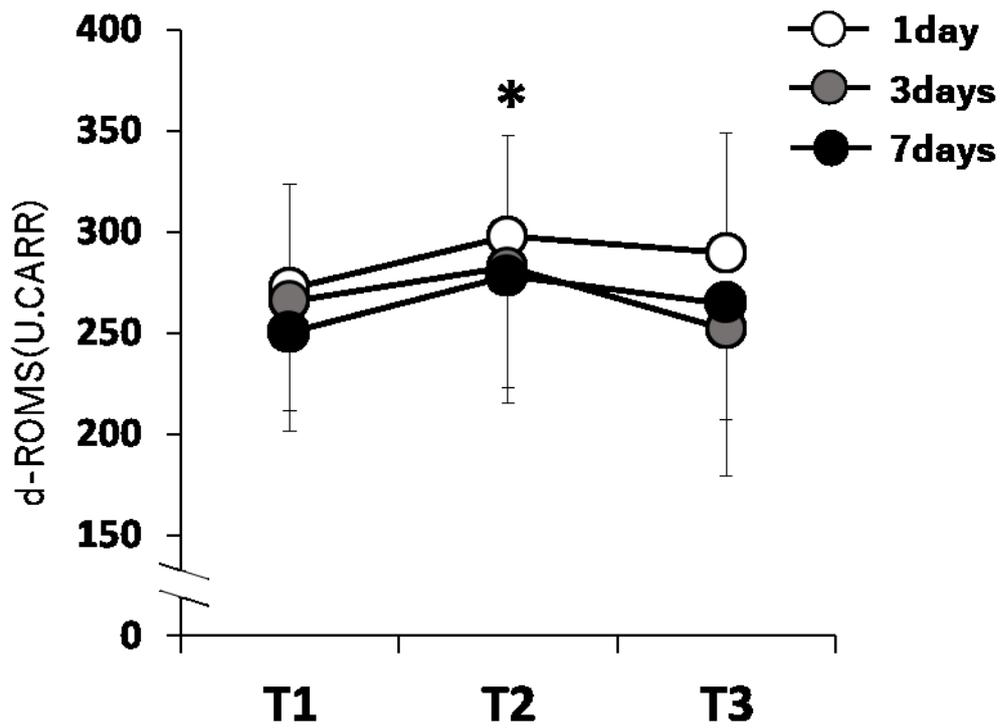


Figure 9. Serum d-ROMs (U.CARR) of serum samples taken at T1, T2, T3 during 1day, 3days, 7days. *Significantly different from T1. Points are mean values, with error bars representing SD.

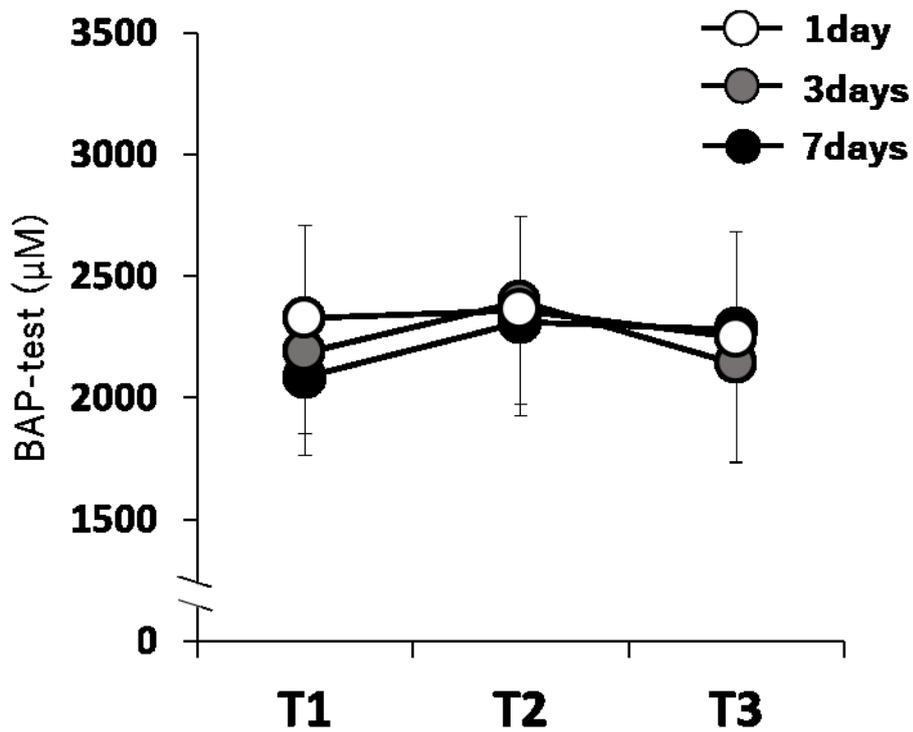


Figure 10. Serum BAP-test (μM) of serum samples taken at T1, T2, T3 during 1day, 3days, 7days. *Significantly different from T1. Points are mean values, with error bars representing SD.

5. 考察

本研究では、大学生男子レスリング選手を対象とし、異なる急速減量期間が脱水状態および酸化ストレスに及ぼす影響を検討した。体重の 5%の減量によって血中 Na, ALD 濃度および血清浸透圧、酸化ストレス指標である dROMs の有意な上昇が認められたが、急速減量期間による違いはなかった。以上のことから、レスリング選手の電解質濃度および酸化ストレスに 1～7 日間といった急速減量期間の違いによる影響はないが、体重の 5%減量は、酸化ストレスを増加させる可能性が示唆された。

本研究において、対象者は 7 日間以内の減量期間で約 5%の減量をおこない、生体電気インピーダンス法(BIA 法)によって推定された体重、除脂肪体重、体脂肪量の有意な減少が認められた。先行研究において、レスリング選手に 53 時間で体重の 6%を減量させ、減量前後における体組成変化が報告されており、二重エネルギーX線吸収法や空気置換法と比較し、脂肪量の変化が過大評価されることが示唆されている(Kondo et al., 2018)。先行研究の 53 時間という減量期間は、本研究の 3 日間で 5%減量の条件に近いと考えられ、急速減量による体組成の変化は同程度であったと推察される。脱水を伴う減量における体組成のわずかな変化を評価する際に BIA 法を用いることは限界があるため(BARTOK, SCHOELLER, CLARK, SULLIVAN, & LANDRY, 2004)、今後は DXA 法など複数の測定方法で評価すべきであると考えられる。

減量前後において、カリウム、クロール、カルシウム濃度の有意な変化は認められな

かった。しかし、減量後に体内水分量の減少、Na および ALD 濃度、血清浸透圧の上昇が認められたため、急速減量によって脱水が生じたと考えられる。先行研究では、実際の試合前の減量によって血中ナトリウム濃度が有意に増加したと報告されており (Karila et al., 2008)、本研究の結果と一致している。ALD は腎臓での Na の再吸収を促進し、血中 Na 量を増加させる作用をもっている。副腎皮質から産生されたアルドステロンが、電解質や体液量の調節のために作用し恒常性が保たれたと推察される。急速減量後に体内水分量が有意に減少したにもかかわらず、HCT の変化は認められなかったが、いくつかの先行研究でも急速減量後に必ずしも HCT 値が増加しないことが確認されている (Karila et al., 2008)。

本研究において、体重の 5% の急速減量により酸化ストレスが増加することが示唆された。大学生男子レスリング選手を対象とした先行研究において、試合前 12 日間の減量が酸化ストレスに及ぼす影響について検討を行っている。その結果、計量日 12 日前と比較し計量日で酸化ストレスマーカーである尿中 8-ヒドロキシデオキシグアノシン (8-OHdG) とビオフィリン濃度の有意な増加が観察された (Yanagawa et al., 2010)。

本研究において先行研究と同様に血中の酸化ストレスマーカーが減量後に増加した。先行研究の減量の観察期間は本研究より長い 12 日間であるが、実際に選手が体重を減らし始めたポイントは明確ではない。また、実際の大会に出場する前での測定であるため、選手の減量幅が統一されていない。本研究では、全対象者の減量率を 5% に統一し、1

日に減少させる体重を均一にすることで、異なる減量期間による酸化ストレス応答および脱水状態を比較した。本研究の結果は、体重の5%の急速減量は酸化ストレスを増加させるが、減量期間による差は認められなかった。体重の5%の減量は7日以内の減量期間であれば、減量期間にかかわらず酸化ストレスを増加させることが示唆された。

温熱、脱水、浸透圧ストレスなどの環境要因は酸化ストレス増加の誘因となる(King et al., 2016)。減量後に酸化ストレスが増加した要因として、減量が脱水によって達成されたことが考えられる。本研究において、対象者に減量方法を指定しなかったが、ほとんどの対象者が食事制限、サウナ入浴、サウナスーツを着用しての運動によって体重の5%の減量を達成していた。これらの減量方法により脱水が促され、体内水分量(TBW)の有意な減少が認められた。体内水分量の減少により、体内ナトリウム量やクロール濃度が低下すると副腎皮質からアルドステロンが分泌される(SIMPSON & TAIT, 1953)。アルドステロンは腎臓Naの再吸収を促進させ、体内のカリウム排泄を促進する(Funder, 1998)。さらに、アルドステロンは心筋や血管平滑筋に作用し、酸化ストレスを増加させる(Amado et al., 1995)(Weber et al., 2003)。本研究において、減量前と比較し減量後に血中アルドステロン濃度の有意な増加が認められた。7日以内の5%の急速減量により脱水が生じ、アルドステロン濃度が上昇したことが酸化ストレス上昇のメカニズムと推察される。

5%の急速減量後に酸化ストレス指標の増加が認められたが、抗酸化指標である BAP

の有意な変化は観察されなかった。しかしながら、SOD 活性に減量期間の違いによる有意な差が認められた。中程度の酸化ストレスは抗酸化酵素を誘導し、内因性抗酸化剤の代謝を活性化することが知られている (OHNO et al., 1992)(Shashoua and Hesse 1996)。SOD は抗酸化酵素の中で最初に働く抗酸化バリアである (Halliwell, 1994)。しかしながら、本研究において抗酸化指標である BAP に有意な変化は認められなかった。これらの結果は、5%以内の減量であっても脱水を伴う急速減量はレスリング選手の身体にとって、負の影響である可能性がある。さらに、現状では多くの選手が体重の5%を大きく上回る減量率の急速減量を試合前に行っている実態が報告されているため、計量時には本結果より高い酸化ストレス状態であることに加え、抗酸化能力の低下も考えられる。今後は、異なる減量率による比較をし、レスリング選手の身体へ及ぼす影響について検討する必要がある。

本研究にはいくつかの限界がある。第一に対象者数が少なく、階級が限定されていることである。今後は重量級などの選手を対象に含め急速減量の酸化ストレスへの影響を検討する必要がある。第二に減量率が少ないことである。本研究では5%の減量で統一したが、実際の試合では多くの選手が5%以上減量している (Pettersson & Berg, 2014)(Reale et al., 2016)。5%以上の急速減量が酸化ストレスや抗酸化能力に及ぼす影響を検討する必要がある。第三に本研究において、急速減量期間中の食事調査をしていないことである。急速減量期間中は過度なエネルギー制限をしているため栄養摂取量は

極めて少ないと考えられる。しかしながら選手が食事からビタミンなどの微量栄養素を摂取していた場合にはビタミンが抗酸化指標に影響を及ぼす可能性がある(Sen, 1995)。今後は食事調査を含めて検討すべきである。

本研究は、大学生男子レスリング選手を対象に、体重の5%減量を異なる急速減量期間で比較し、酸化ストレスおよび脱水状態に及ぼす影響を検討した。減量期間による差は認められないが、体重の5%の急速減量は大学生レスリング選手の体水分量を減少させ、酸化ストレスを増加させることが示唆された。

5. 結論

体重の5%の急速減量は体水分量を減少させ、酸化ストレスを増加させる可能性が示唆された。

第5章 総合討論および今後の課題

1. 各研究課題の総括

【研究課題Ⅰ・女性体重階級制アスリートの減量の実態調査】

研究課題Ⅰでは、女性体重階級制アスリートを対象に、体重階級制競技の女性アスリートの減量が月経周期に与える影響について明らかにすることを目的とした。その結果、月経異常率や月経異常を引き起こした選手の割合が、減量あり群において高い傾向を示した。これらの知見から、減量が月経異常に影響を与える可能性が示唆された。

【研究課題Ⅱ・レスリング選手の急速減量による脱水が酸化ストレスや電解質濃度に及ぼす影響（異なる急速減量期間による比較）】

研究課題Ⅱでは、男子大学生レスリング選手を対象に急速減量による脱水が酸化ストレスや電解質濃度に及ぼす影響について、異なる急速減量期間による比較検討をおこなった。その結果、減量期間による差は認められなかったが、体重の5%の急速減量は電解質濃度を調節するアルドステロン濃度および酸化ストレスを増加させることが示唆された。抗酸化酵素の中で最初に働く抗酸化バリアであるSOD活性に減量期間の違いによる有意な差が認められた。これらの知見から、5%以内の減量であっても脱水を伴う急速減量はレスリング選手の身体にとって、負の影響である可能性がある

ことが示唆された。

2. 総合討論および今後の課題

体重階級制競技の女性アスリートの減量が月経周期に与える影響について、大学生の女性アスリートを対象に明らかにすることを目的とした。減量と月経異常発生の間に関連があることが示唆された。女性アスリートにおいても、大会前に体重の5%以上の減量をおこなっている実態が明らかとなった。体重階級制スポーツを対象とした減量に関する知見は、男性選手を対象とした研究が多く、それらを参考にすることが多いかもしれない。女性の月経周期や月経異常など女性アスリート特有の減量時コンディションを考慮した減量指導は現段階ではほとんどなされていないといっても過言ではない。今後は性差、発育発達等の様々な因子を考慮した減量方法の確立が求められるだろう。

最近の柔道選手を対象とした先行研究において、若い年齢で急速減量を開始したアスリートは、その後も減量行動を続けることが報告されている。早期から減量を繰り返す環境にあったアスリートは、減量行動が常習化し、より過酷な減量方法を選択する。日本レスリング協会医科学委員会においても、ジュニアレスラーに対し急速減量の危険性や減量時のコンディションについてスポーツ医科学の観点から情報提供するなどの教育啓発運動を行っており、このような情報発信や減量時コンディショニングプログラムの介入により、過度な減量行動を改善された例が報告されている。今後は、女子選手に

おける早期の減量開始が、その後の減量サイクリングに及ぼす誘引となるかどうかについて、検討が必要である。

本研究において、対象者に減量方法を指定しなかったが、ほとんどの対象者が食事制限、サウナ入浴、サウナスーツを着用しての運動によって体重の5%の減量を達成していた。これらの減量方法により脱水が促され、体内水分量(TBW)の有意な減少が認められた。体内水分量の減少により、体内ナトリウム濃度やクロール濃度が低下すると副腎皮質からアルドステロンが分泌される(SIMPSON & TAIT, 1953)。減量前と比較し減量後に血中アルドステロン濃度の有意な増加が認められた。アルドステロンは腎臓 Na の再吸収を促進させ、体内のカリウム排泄を促進する(Funder 1998)。さらに、アルドステロンは心筋や血管平滑筋に作用し、酸化ストレスを増加させることが報告されている(Amado et al. 1995)(Weber et al. 2003)。7日以内の5%の急速減量により脱水が生じ、アルドステロン濃度が上昇したことが酸化ストレス上昇のメカニズムと推察される。5%以内の減量であっても脱水を伴う急速減量はレスリング選手の身体にとって、負の影響になりうると推測される。さらに、現状では多くの選手が体重の5%を大きく上回る減量率の急速減量を試合前に行っている実態が報告されているため、計量時には本結果より高い酸化ストレス状態であることに加え、抗酸化能力の低下も推測される。今後は、異なる減量率による比較をし、レスリング選手の身体へ及ぼす影響について検討する必要がある。若年期から短期間での減量と増量を繰り返しおこなうことは、成年期の

肥満のリスクを高めることが報告されている(Saarni et al., 2006)(Kroke et al., 2002).

それゆえ体重階級制アスリートが急速減量を繰り返すことによって増加させる酸化ストレスと、彼らの中における糖尿病、がん、循環器系疾患、神経障害などの発症およびその進行との関係も検討すべきことと思われる。

結語

本研究の目的は、女性体重階級制アスリートの減量の実態および月経周期に及ぼす影響を明らかにすること（目的 I）、ならびに体重の 5%の急速減量による脱水が恒常性維持機能に及ぼす影響を明らかにすることであった。その結果、女性体重階級制アスリートは試合前に 5%以上の減量をおこなっている者もあり、減量をおこなうアスリートは月経異常をきたす危険性が高くなることが示唆された。また、体重の約 5%以上の急速減量による脱水は、電解質を調節しているアルドステロン分泌を刺激し、減量期間の違いに関わらず酸化ストレスを増加させることが示唆された。

【参考文献】

- Alderman, B. L., Landers, D. M., Carlson, J., & Scott, J. R. (2004). Factors related to rapid weight loss practices among International-style Wrestlers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 249–252. <https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000113668.03443.66>
- Amado, J. A., López-Espadas, F., Vázquez-Barquero, A., Salas, E., Riancho, J. A., López-Cordovilla, J. J., & García-Unzueta, M. T. (1995). Blood levels of cytokines in brain-dead patients: Relationship with circulating hormones and acute-phase reactants. *Metabolism*, 44(6), 812–816. [https://doi.org/10.1016/0026-0495\(95\)90198-1](https://doi.org/10.1016/0026-0495(95)90198-1)
- Andrade, F. H., Reid, M. B., & Westerblad, H. (2001). Contractile response of skeletal muscle to low peroxide concentrations: myofibrillar calcium sensitivity as a likely target for redox-modulation. *Federation of American Societies for Experimental Biology*, 15(2), 309–311. <https://doi.org/10.1096/fj.00-0507fje>
- Armstrong, L. E., Soto, J. A., Hacker, F. T., Casa, D. J., Kavouras, S. A., & Maresh, C. M. (1998). Urinary indices during dehydration, exercise, and rehydration. *International Journal of Sport Nutrition*, 8(4), 345-355. <https://doi.org/10.1123/ijns.8.4.345>
- Artioli, G. G., Gualano, B., Franchini, E., Scagliusi, F. B., Takesian, M., Fuchs, M., & Lancha, A. H. (2010). Prevalence, magnitude, and methods of rapid weight loss among judo competitors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(3), 436–442. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ba8055>
- Barbas, I., Fatouros, I. G., Douroudos, I. I., Chatzinikolaou, A., Michailidis, Y., Draganidis, D., Taxildaris, K. (2011). Physiological and performance adaptations of elite Greco-Roman wrestlers during a one-day tournament. *European Journal of Applied Physiology*, 111(7), 1421–1436. <https://doi.org/10.1007/s00421-010-1761-7>
- BARTOK, C., SCHOELLER, D. A., CLARK, R. R., SULLIVAN, J. C., & LANDRY, G. L.

- (2004). The Effect of Dehydration on Wrestling Minimum Weight Assessment. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(1), 160–167.
<https://doi.org/10.1249/01.MSS.0000106855.47276.CD>
- Bergström, J., & Hultman, E. (1972). Nutrition for maximal sports performance. *The Journal of the American Medical Association*, 221(9), 999–1006.
<https://doi.org/10.1001/jama.1972.03200220033009>
- Bloomer, R. J., Goldfarb, A. H., Wideman, L., McKenzie, M. J., & Consitt, L. A. (2005). Effects of acute aerobic and anaerobic exercise on blood markers of oxidative stress. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(2), 276-285. <https://doi.org/10.1519/14823.1>
- Brito, C. J., Roas, A. F. C. M., Brito, I. S. S., Marins, J. C. B., Córdova, C., & Franchini, E. (2012). Methods of body-mass reduction by combat sport athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22(2), 89–97.
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.22.2.89>
- Brito, C. J., Roas A, F. C. M., Brito I, S. S., Marins J, C. B., Córdova, C., & Franchini, E. (2012). Methods of body mass reduction by combat sport athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 22(2), 89–97.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22349031>
- Bunt, J. C., Lohman, T. G., & Boileau, R. A. (1989). Impact of total body water fluctuations on estimation of body fat from body density. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21(2), 96-100. <https://doi.org/10.1249/00005768-198902000-00017>
- Burge, C. M., Carey, M. F., & Payne, W. R. (1993). Rowing performance, fluid balance, and metabolic function following dehydration and rehydration. / Performance d'aviron, equilibre des fluides et fonction metabolique apres deshydratation et rehydratation. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 25(12), 1358-1364.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8107542>

Charm, S. E., & Kurland, G. S. (1998). Effects of exercise and training on Blood Rheology. *Sports Medicine*, 26(5), 281–292. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9858393>

Choma, C. W., Sforzo, G. A., & Keller, B. A. (1998). Impact of rapid weight loss on cognitive function in collegiate wrestlers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(5), 746–749. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/9588618>

Clare, B. A., Conroy, R. S., & Spelman, K. (2009). The diuretic effect in human subjects of an extract of *taraxacum officinale* folium over a single day. *The Journal of Alternative and Complementary Medicine*, 15(8), 929–934. <https://doi.org/10.1089/acm.2008.0152>

De Souza, M. J., Nattiv, A., Joy, E., Misra, M., Williams, N. I., Mallinson, R. J., Expert Panel. (2014). 2014 Female Athlete Triad Coalition Consensus Statement on Treatment and Return to Play of the Female Athlete Triad: 1st International Conference held in San Francisco, California, May 2012 and 2nd International Conference held in Indianapolis, Indiana, May 2013. *British Journal of Sports Medicine*, 48(4), 289–289. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-093218>

Dill, D B, and D L Costill. (1974). “Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration.” *JOURNAL OF APPLIED PHYSIOLOGY* Printed in U.S.-i 37(2).

Férraille, E., & Doucet, A. (2001). Sodium-potassium-adenosinetriphosphatase-dependent sodium transport in the kidney: hormonal control. *Physiological Reviews*, 81(1), 345–418. <https://doi.org/10.1152/physrev.2001.81.1.345>

Fishman, J., Boyar, R. M., & Hellman, L. (1975). Influence of body weight on estradiol metabolism in young women. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 41(5), 989-991. <https://doi.org/10.1210/jcem-41-5-989>

- Fitts, R. H. (1994). Cellular mechanisms of muscle fatigue. *Physiological Reviews*, 74(1), 49–94.
<https://doi.org/10.1152/physrev.1994.74.1.49>
- Fleming, J., Sharman, M. J., Avery, N. G., Love, D. M., Gómez, A. L., Scheett, T. P., Volek, J. S. (2003). Endurance capacity and high-intensity exercise performance responses to a high fat diet. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 13(4), 466–478.
Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14967870>
- Fleming, S., & Costarelli, V. (2007). Nutrient intake and body composition in relation to making weight in young male Taekwondo players. *Nutrition and Food Science*, 37(5), 358-366.
<https://doi.org/10.1108/00346650710828389>
- Fogelholm, M. (1994, October). Effects of bodyweight reduction on sports performance. *Sports Medicine*, 18(4), 249-267. <https://doi.org/10.2165/00007256-199418040-00004>
- Franchini, E., Brito, C. J., & Artioli, G. G. (2012). Weight loss in combat sports: physiological, psychological and performance effects. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1), 52. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-9-52>
- Funder, J. W. (1998). Aldosterone Action: Fact, Failure and the Future. *Clinical & Experimental Pharmacology & Physiology*, 25, S47–S50. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1681.1998.tb02300.x>
- Garthe, I., Raastad, T., Refsnes, P. E., Koivisto, A., & Sundgot-Borgen, J. (2011). Effect of two different weight-loss rates on body composition and strength and power-related performance in elite athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 21(2), 97–104. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.21.2.97>
- Giannini Artioli, G., Gualano, B., Franchini, E., Scagliusi, F. B., Takesian, M., Fuchs, M., & Lancha, A. H. (2010). Prevalence, magnitude, and methods of rapid weight loss among judo competitors. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(3), 436–442.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181ba8055>

Greenhaff, P. L., Gleeson, M., & Maughan, R. J. (1988). Diet-induced metabolic acidosis and the performance of high intensity exercise in man. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 57(5), 583-590. <https://doi.org/10.1007/BF00418466>

Halliwell, B. (1994). Free radicals, antioxidants, and human disease: Curiosity, cause, or consequence? *Lancet*, 344(8924), 721-724. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(94\)92211-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(94)92211-X)

Harman, D. (2006). Free radical theory of aging: An update - Increasing the functional life span. In *Annals of the New York Academy of Sciences*, May 1067, 10-21. <https://doi.org/10.1196/annals.1354.003>

Horswill, C A. (1992). Applied physiology of amateur wrestling. *Sports Medicine (Auckland, N.Z.)*, 14(2), 114-143. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1509226>

Horswill, Craig A. (1992). *Applied Physiology of Amateur Wrestling. Sports Medicine: An International Journal of Applied Medicine and Science in Sport and Exercise* (Vol. 14). <https://doi.org/10.2165/00007256-199214020-00004>

Hultman, E. (1967). Muscle Glycogen in Man Determined in Needle Biopsy Specimens Method and normal values. *Scandinavian Journal of Clinical and Laboratory Investigation*, 19(3), 209-217. <https://doi.org/10.3109/00365516709090628>

Ichinose-Kuwahara, T., Inoue, Y., Iseki, Y., Hara, S., Ogura, Y., & Kondo, N. (2010). Sex differences in the effects of physical training on sweat gland responses during a graded exercise. *Experimental Physiology*, 95(10), 1026-1032. <https://doi.org/10.1113/expphysiol.2010.053710>

Johnson, J. M., & Park, M. K. (1981). Effect of upright exercise on threshold for cutaneous vasodilation and sweating. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and*

- Exercise Physiology*, 50(4), 814–818. <https://doi.org/10.1152/jappl.1981.50.4.814>
- Joy, E., Kussman, A., & Nattiv, A. (2016). 2016 update on eating disorders in athletes: A comprehensive narrative review with a focus on clinical assessment and management. *British Journal of Sports Medicine*, 50(3), 154–162. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2015-095735>
- Karila, T. A. M., Sarkkinen, P., Marttinen, M., Seppälä, T., Mero, A., & Tallroth, K. (2008). Rapid weight loss decreases serum testosterone. *International Journal of Sports Medicine*, 29(11), 872–877. <https://doi.org/10.1055/s-2008-1038604>
- Keaney, J. F., Larson, M. G., Vasan, R. S., Wilson, P. W. F., Lipinska, I., Corey, D., Benjamin, E. J. (2003). Obesity and systemic oxidative stress: clinical correlates of oxidative stress in the Framingham Study. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 23(3), 434–439. <https://doi.org/10.1161/01.ATV.0000058402.34138.11>
- Keizer, H., Janssen, G. M., Menheere, P., & Kranenburg, G. (1989). Changes in basal plasma testosterone, cortisol, and dehydroepiandrosterone sulfate in previously untrained males and females preparing for a marathon. *International Journal of Sports Medicine*, 10 Suppl 3(S 3), S139-45. <https://doi.org/10.1055/s-2007-1024962>
- Khodaei, M., Olewinski, L., Shadgan, B., & Kiningham, R. R. (2015). Rapid weight loss in sports with weight classes. *Current Sports Medicine Reports*, 14(6), 435-441. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000206>
- King, M. A., Clanton, T. L., & Laitano, O. (2016). Hyperthermia, dehydration, and osmotic stress: unconventional sources of exercise-induced reactive oxygen species. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol American Journal of Physiology -Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*, 310, 105–114. <https://doi.org/10.1152/ajpregu.00395.2015>
- Kiningham, R. B., & Gorenflo, D. W. (2001). Weight loss methods of high school wrestlers.

- Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(5), 810–813.
- <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11323553>
- Kondo, E., Sagayama, H., Yamada, Y., Shiose, K., Osawa, T., Motonaga, K., Okamura, K. (2018). Energy Deficit Required for Rapid Weight Loss in Elite Collegiate Wrestlers. *Nutrients*, 10(5), 536. <https://doi.org/10.3390/nu10050536>
- Kondo, E., Shiose, K., Yamada, Y., Osawa, T., Sagayama, H., Motonaga, K., Okamura, K. (2019). Effect of Thoracic Gas Volume Changes on Body Composition Assessed by Air Displacement Plethysmography after Rapid Weight Loss and Regain in Elite Collegiate Wrestlers. *Sports*, 7(2), 48. <https://doi.org/10.3390/sports7020048>
- Koral, J., Dosseville, F. (2009). Combination of gradual and rapid weight loss: Effects on physical performance and psychological state of elite judo athletes. *Journal of Sports Sciences*, 27(2), 115–120. <https://doi.org/10.1080/02640410802413214>
- Kroke, A., Liese, A., Schulz, M., Bergmann, M., Klipstein-Grobusch, K., Hoffmann, K., & Boeing, H. (2002). PAPER Recent weight changes and weight cycling as predictors of subsequent two year weight change in a middle-aged cohort. *International Journal of Obesity*, 26, 403–409. <https://doi.org/10.1038=sj=ijo=0801920>
- Loucks, A. B., Thuma, J. R. (2003). Luteinizing hormone pulsatility is disrupted at a threshold of energy availability in regularly menstruating women. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 88(1), 297–311. <https://doi.org/10.1210/jc.2002-020369>
- Malliaropoulos, N., Rachid, S., Korakakis, V., Fraser, S. A., Bikos, G., Maffulli, N., & Angioi, M. (2017). Prevalence, techniques and knowledge of rapid weight loss amongst adult british judo athletes: a questionnaire based study. *Muscles, Ligaments and Tendons Journal*, 7(3), 459–466. <https://doi.org/10.11138/mltj/2017.7.3.459>
- Marquart, L. F., Sobal, J. (1994). Weight loss beliefs, practices and support systems for high

- school wrestlers. *Journal of Adolescent Health*, 15(5), 410–415.
[https://doi.org/10.1016/1054-139X\(94\)90266-6](https://doi.org/10.1016/1054-139X(94)90266-6)
- Maughan, R. J., Shirreffs, S. M., & Leiper, J. B. (2007). Errors in the estimation of hydration status from changes in body mass. *Journal of Sports Sciences*, 25(7), 797–804.
<https://doi.org/10.1080/02640410600875143>
- McKenna, M. J., Medved, I., Goodman, C. A., Brown, M. J., Bjorksten, A. R., Murphy, K. T., Gong, X. (2006). *N*-acetylcysteine attenuates the decline in muscle Na⁺, K⁺-pump activity and delays fatigue during prolonged exercise in humans. *The Journal of Physiology*, 576(1), 279–288. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2006.115352>
- Mendes, S. H., Tritto, A. C., Guilherme, J. P. L. F., Solis, M. Y., Vieira, D. E., Franchini, E., Artioli, G. G. (2013). Effect of rapid weight loss on performance in combat sport male athletes: does adaptation to chronic weight cycling play a role? *British Journal of Sports Medicine*, 47(18), 1155–1160. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2013-092689>
- Morgan, R. M., Patterson, M. J., Nimmo, M. A. (2004). Acute effects of dehydration on sweat composition in men during prolonged exercise in the heat. *Acta Physiologica Scandinavica*, 182(1), 37–43. <https://doi.org/10.1111/j.1365-201X.2004.01305.x>
- Mountjoy, M., Sundgot-Borgen, J., Burke, L., Carter, S., Constantini, N., Lebrun, C., Ljungqvist, A. (2014). The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad-Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). *British Journal of Sports Medicine*, 48(7), 491–497. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-093502>
- Nattiv, A., Loucks, A. B., Manore, M. M., Sanborn, C. F., Sundgot-Borgen, J., & Warren, M. P. (2007). The female athlete triad. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 39(10), 1867–1882. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318149f111>
- Nishimaki, M., Sakamoto, S. (2018). *Effect of obesity-related gene polymorphisms on weight*

- loss of female wrestlers. Archives of Budo*, Vol. 14, 97-103.
<http://archbudo.com/view/abstract/id/11935>
- Norsk, P., Stadeager, C., Johansen, L. B., Warberg, J., Bie, P., Foldager, N., & Christensen, N. J. (1993). Volume-homeostatic mechanisms in humans during a 12-h posture change. *Journal of Applied Physiology*, *75*(1), 349–356. <https://doi.org/10.1152/jappl.1993.75.1.349>
- Nybo, L., & Nielsen, B. (2001). Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, *91*(3), 1055–1060.
<https://doi.org/10.1152/jappl.2001.91.3.1055>
- Ohono, H., Yamashita, H., Ookawara, T., Saitho, D., Wakabayashi, K., Taniguchi, N. (1992). Training effects on concentrations of immunoreactive superoxide dismutase iso - enzymes in human plasma. *Acta Physiologica Scandinavica*, *146*(2), 291–292.
<https://doi.org/10.1111/j.1748-1716.1992.tb09421.x>
- Oppliger, R. a, Steen, S. a N., & Scott, J. R. (2003). Weight loss practices of college wrestlers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, *13*(1), 29–46.
<https://doi.org/10.1123/ijsnem.13.1.29>
- Otis, C. L. (1992). Exercise-associated amenorrhea. *Clinics in Sports Medicine*, *11*(2), 351–362.
Retrieved from <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/1591791>
- Paik, I. Y., Jeong, M. H., Jin, H. E., Kim, Y. Il, Suh, A. R., Cho, S. Y., Suh, S. H. (2009). Fluid replacement following dehydration reduces oxidative stress during recovery. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, *383*(1), 103–107.
<https://doi.org/10.1016/j.bbrc.2009.03.135>
- Pallarés, J. G., Martínez-Abellán, A., López-Gullón, J. M., Morán-Navarro, R., De la Cruz-Sánchez, E., & Mora-Rodríguez, R. (2016). Muscle contraction velocity, strength and power output changes following different degrees of hypohydration in competitive olympic

- combat sports. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 13(10).
<https://doi.org/10.1186/s12970-016-0121-3>
- Pettersson, S., & Berg, C. M. (2014). Hydration status in elite wrestlers, judokas, boxers, and taekwondo athletes on competition day. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24(3), 267–275. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2013-0100>
- Popowski, L. a., Oppliger, R. a., Lambert, G. P., Johnson, R. F., Johnson, A. K. I. M., & Gisolfi, C. V. (2001). Blood and urinary measures of hydration status during progressive acute dehydration. *Med Sci Sports Exerc*, 33(5), 747–753. <https://doi.org/10.1097/00005768-200105000-00011>
- Pross, N., Demazières, A., Girard, N., Barnouin, R., Santoro, F., Chevillotte, E., Le Bellego, L. (2013). Influence of progressive fluid restriction on mood and physiological markers of dehydration in women. *The British Journal of Nutrition*, 109(2), 313–321.
<https://doi.org/10.1017/S0007114512001080>
- Reale, R., Cox, G. R., Slater, G., & Burke, L. M. (2016). Regain in body mass after weigh-in is linked to success in real life judo competition, *International Journal of Sports and exercise metabolism*, 26(6), 525–530. <https://doi.org/10.1123/ijsnem.2015-0359>
- Reale, R., Slater, G., & Burke, L. M. (2017). Acute-weight-loss strategies for combat sports and applications to olympic success. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 12(2), 142–151. <https://doi.org/10.1123/ijsp.2016-0211>
- Remick D, Chancellor K, Pederson J, et al. (1998). Hyperthermia and dehydration-related deaths associated with intentional rapid weight loss in three collegiate wrestlers--North Carolina, Wisconsin, and Michigan, November-December 1997. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*. <https://doi.org/10.1001/jama.279.11.824>
- Saarni, S., Rissanen, A., Sarna, S., Koskenvuo, M., & Kaprio, J. (2006). Weight cycling of athletes

- and subsequent weight gain in middleage. *International Journal of Obesity*, 30, 1639–1644.
<https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803325>
- Sawka, M. N., Cheuvront, S. N., & Carter, R. (2005). Human water needs. *Nutrition Reviews*, 63(6 Pt 2), S30-9. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2005.tb00152.x>
- Sawyer, J. C., Wood, R. J., Davidson, P. W., Collins, S. M., Matthews, T. D., Gregory, S. M., & Paolone, V. J. (2013). Effects of a short-term carbohydrate-restricted diet on strength and power performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(8), 2255–2262.
<https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e31827da314>
- Sen, C. K. (1995). Oxidants and antioxidants in exercise. *J Appl Physiol*, 79(3), 675–686.
Retrieved from <http://jap.physiology.org.ez.wul.waseda.ac.jp/content/79/3/675.long>
- Shashoua, V. E., & Hesse, G. W. (1996). N-docosahexaenoyl, 3 hydroxytyramine: A dopaminergic compound that penetrates the blood-brain barrier and suppresses appetite. *Life Sciences*, 58(16), 1347–1357. [https://doi.org/10.1016/0024-3205\(96\)00101-4](https://doi.org/10.1016/0024-3205(96)00101-4)
- Shirreffs, S. M., Armstrong, L. E., & Cheuvront, S. N. (2004). Fluid and electrolyte needs for preparation and recovery from training and competition. In *Journal of Sports Sciences* (Vol. 22, pp. 57–63). <https://doi.org/10.1080/0264041031000140572>
- SIMPSON, S. A., & TAIT, J. F. (1953). The nature of the circulating hormones of the adrenal cortex in man. *Archives. Middlesex Hospital*, 3(4), 209–218.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/13093182>
- Steen, S. N., & Brownell, K. D. (1990). Patterns of weight loss and regain in wrestlers: has the tradition changed? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(6), 762–768.
<http://europepmc.org/abstract/med/2287253>
- Steen, S. N., & McKinney, S. (1986). Nutrition assessment of college wrestlers. *Physician and Sportsmedicine*, 14(11), 100-116. <https://doi.org/10.1080/00913847.1986.11709226>

Tarnopolsky, M. A., Cipriano, N., Woodcroft, C., Pulkkinen, W. J., Robinson, D. C., Henderson, J. M., & MacDougall, J. D. (1996). Effects of rapid weight loss and wrestling on muscle glycogen concentration. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 6(2), 78-84.

<https://doi.org/10.1097/00042752-199604000-00003>

Torstveit, M. K., & Sundgot-Borgen, J. (2005). The female athlete triad exists in both elite athletes and controls. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(9), 1449-1459.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16177594>

Weber, K. T., Sun, Y., Wodi, L. A., Munir, A., Jahangir, E., Ahokas, R. A., Warrington, K. J.

(2003). Toward a broader understanding of aldosterone in congestive heart failure. *Journal of the Renin-Angiotensin-Aldosterone System*. 4(3), 155-163.

<https://doi.org/10.3317/jraas.2003.024>

Wroble, R. R., & Moxley, D. P. (1998). Acute weight gain and its relationship to success in high school wrestlers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 30(6), 949-951.

<https://doi.org/10.1097/00005768-199806000-00026>

Yanagawa, Y., Morimura, T., Tsunekawa, K., Seki, K., Ogiwara, T., Kotajima, N., Murakami, M.

(2010, January). Oxidative stress associated with rapid weight reduction decreases circulating adiponectin concentrations. *Endocrine Journal*, 57(4), 339-345.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20179358>

相良洋子. (2009). 月経随伴症状に対する心身医学的対応. *Japanese Journal of Psychosom*

Medicine, 49(11), 1163-1170.

能勢さやか, 中村真理子, 小清水孝子, 石井美子, 須永美歌子, 関口邦子, & 瀧川稚也. (2018).

Health Management for Female Athletes Ver.3.

<https://www.jpnsport.go.jp/Portals/0/HMFAver3.pdf>

西牧未央, 近藤衣美. (2019). ハイパフォーマンスのためのレスリングサイエンスレター「減

量」 Vol.1, 1-2.

設楽佳世, 勝亦陽一. (2018). トップアスリートにおける形態及び身体組成の競技種目差. *トレーニング科学*, 29(4), 295-303.

謝辞

本学位論文は、早稲田大学スポーツ科学学術院 坂本静男教授の指導のもと行われました。本研究を遂行するにあたり、終始懇切丁寧なご指導と多方面にわたるご支援を賜りました。心より謝意を表します。

副査として本学位論文の審査を快く引き受けてくださった早稲田大学スポーツ科学学術院 岡田純一教授、鈴木克彦教授、桜美林大学 緑川泰史准教授に感謝申し上げます。

本研究において研究計画の作成から研究遂行、論文執筆に至るすべてのご支援とご指導を賜りました常葉大学 小西真幸専任講師に深く感謝申し上げます。

本研究遂行にあたり、測定ならびに研究をまとめるための度重なる議論に貴重な時間を割いてくださった田端宏樹さんをはじめとする坂本研究室の皆様我心より感謝致します。

専修大学 相澤勝治教授、国立スポーツ科学センター 山下大地研究員ならびに近藤衣美研究員には、減量研究における実験実施から分析方法、データの解釈まで大変なご支援をいただきました。

2012年春、早稲田大学博士後期課程に進学した私を大変温かく受け入れてくださった、早稲田大学レスリング部 太田拓弥監督をはじめとする早稲田大学レスリング部関係者の皆様には大変感謝しております。

本研究に対象者としてご協力いただきました全ての選手の皆様のおかげで貴重なデータを得ることができました。このデータを少しでも皆様のお役に立てるようなものにすべく、これからも努めてまいります。

Kära Yulia och Fari. Jag vill tacka er för allt ni har gjort och att ni alltid finns där! Ni betyder oerhört mycket för mig!

最後に、私のことをいつも応援し、温かく見守り支えてくれた家族に心から感謝します。

本当にありがとうございました。

2019年7月 西牧 未央