

ウェイトリフティングのトレーニング負荷のモニタリングと定量化:
女子選手のケーススタディ

三好英次, 三宅敏博
東京国際大学

キーワード: ウェイトリフティング, トレーニング負荷の定量化, 心拍変動, 主観的運動強度

【要 旨】

本研究の目的は, ウェイトリフティング選手によって実行された連日のトレーニングのモニタリングデータを分析し, 外的負荷と内的負荷の関連性を調べることであった. 対象者は女子ウェイトリフティング選手 1 名, 10 週間にわたる 55 回のトレーニングセッションを分析した. 毎日のトレーニングセッションについて, 総負荷量 (total volume load (TVL): $\%1RM \times \text{反復回数} \times \text{セット数}$ の全エクササイズの総和), 心拍変動指標 (LnRMSSD) の練習前後の変化量, セッションの主観的運動強度 (sRPE) を取得した. TVL と LnRMSSD の変化量との, また TVL と sRPE の間の相関関係を求めた. TVL と LnRMSSD の変化量との間で ($r = 0.558$: $p < 0.01$), また TVL と sRPE との間で ($r = 0.700$: $p < 0.01$) で, それぞれ有意な相関関係が認められた. これらの結果から実際のウェイトリフティングの日々のトレーニングにおいて内的負荷は外的負荷に相関していることが示唆された.

スポーツパフォーマンス研究, 13, 15-29, 2021 年, 受付日: 2020 年 10 月 5 日, 受理日: 2021 年 1 月 15 日
責任著者: 三好英次 350-1198 川越市市場 2509, emiyoshi@tiu.ac.jp

Monitoring and quantifying the training load in weightlifting

Eiji Miyoshi, Toshihiro Miyake
Tokyo International University

Key words: weightlifting, quantification of training load, heart rate variability,
rating of perceived exertion

【Abstract】

The present study investigated relations between external load and internal load by monitoring and quantifying training data of a weightlifter. The participant was a female weightlifter, 20 years old, who did 55 training sessions in a 10-week period. The total volume load (TVL: $\%1RM \times \text{sets} \times \text{repetition}$) of all exercises, change in the heart rate

variability (HRV) index (log-transformed root mean square of successive R-R Intervals: LnrMSSD) from before to after training, and her rating of perceived exertion (sRPE) after each session of training were obtained. The total volume load for each session was correlated with the change in the heart rate variability index and the participant's rating of perceived exertion in the session. The heart rate variability index was significantly reduced when the total volume load was high, whereas it was not found to be significantly reduced when the total volume load was low. Significant correlations were found between the total volume load and both changes in the heart rate variability index ($r=0.558$, $p<0.01$) and rating of perceived exertion per session ($r=0.700$, $p<0.01$).

I. 緒言

近年、各種スポーツやトレーニングにおいて、トレーニング負荷のモニタリングと定量化の方法が研究され、多くのチームで採用されるようになってきた。トレーニングが身体に与えるストレスの大きさと疲労や回復の程度を把握することは、トレーニング効果を高めるだけでなく、オーバートレーニングの防止や傷害予防の点でも有益である。トレーニング負荷の定量化は外的負荷と内的負荷の双方において可能である (Impellizzeri et al., 2019)。外的負荷とはアスリートが実際に行った身体的な仕事量である。持久系の運動であれば走行距離や時間や速度などから求められ、レジスタンストレーニングではウェイトの挙上重量と回数などから算出される。内的負荷は、外的負荷に対する心理的または生理的反応、またはそれらを反映する指標である。内的負荷のモニタリングを通じて、実践されたトレーニングが選手の心身にどのくらいの負荷をかけたのかを確認することができる。そして外的負荷と内的負荷をそれぞれ定量化することにより、両者の関係性を確かめることができる。

これまでに持久系運動、レジスタンスエクササイズ、スプリントなど様々なタイプの運動において負荷の定量化の方法が研究されてきた (Saboul et al., 2016; Buchheit, 2014; Haff, 2010; Halson SL., 2014)。また選手が実際に行ったトレーニングの定量化の研究はサッカーやラグビーなどチームスポーツ (Flatt et al., 2017; McLaren et al., 2018)、また持久系の種目 (Buchheit et al., 2010) で多い。実験研究で検証された定量化の理論が実際のトレーニング現場に適用できるかどうかは選手やコーチにとっては重要な関心事である。

筆者らは、ウェイトリフティング選手の疲労と回復状態を把握するために、日々のトレーニングの状況を複数の方法でモニタリングしてきた。いうまでもなく、ウェイトリフティング競技においてもトレーニングのモニタリングと定量化はコーチの重要な仕事となる。ウェイトリフティング競技は、スナッチとクリーン&ジャークの最大挙上重量を競う競技である。選手には大きな筋力と瞬時の爆発的なパワー、さらに高度の挙上技術が求められ、それらの能力の向上がトレーニングの主な目的となる。ウェイトリフティング競技のトレーニングの多くはレジスタンストレーニングに分類することができるであろう。レジスタンストレーニングの定量化に関わる先行研究は多いが (Haff, 2010; Scott et al., 2016)、その中でウェイトリフティング選手を対象とした研究はわずかしかない (Busso et al., 1990; Hornsby et al., 2018)。Busso et al. (1990) はウェイトリフティング選手の 1 年間に及ぶトレーニングデータから、外的負荷と内的負荷 (生化学的指標) との関係性を調べており、外的負荷から計算されたフィットネスレベルおよび疲労レベルとテストステロン濃度との間に有意な相関があったことを報告している。そしてフィットネスレベル、疲労レベルが長期的な適応の良い指標になり得るが、短期的な変化を説明するには十分に正確ではないと述べている。Hornsby et al. (2018) はウェイトリフティング選手が実践したトレーニングの外的負荷の定量化について、バーベルの垂直変位を計算に含めた場合と含めない場合の 2 つの算出方法を比較しているが、内的負荷との関係性については検証していない。

コーチがモニタリングデータを実際のトレーニングに生かすには、トレーニングに対する選手の疲労や回復の状態を逐次把握し、続いて適度な刺激を与えるためにトレーニング負荷を調整しなければならない。そのためには外的負荷と内的負荷のより正確な定量化の方法と両者の関係性を明らかにする必要がある。また連日のトレーニングに機敏に介入するためには、日々のトレーニングにおける正確な定量化が必要である。本研究では、ウェイトリフティング選手 1 名によって実践されたウェイトリフティン

グの専門的トレーニングデータとモニタリングデータを分析する. そして連日のトレーニングにおける外的負荷と内的負荷の関連性を示し, ウェイトリフティングのトレーニングのモニタリングと定量化の方法についての知見を提供することを目的とした.

II. 方法

1. 対象者

この研究の対象者は大学生女子ウェイトリフティング選手1名とした. 年齢は 20 歳, 競技歴は 5 年 6 ヶ月であった. 主な競技実績は, 国内大学選手権 2 位, 世界大学選手権 4 位, ユニバーシアード 9 位などである(いずれも女子 58 kg級). 表 1 に対象者のプロフィールを示した. スナッチとクリーン&ジャークのベスト記録および各エクササイズの最大挙上重量(1 Repetition Maximum: 1RM)は, 本研究のデータ取得開始時点での記録である. 対象者は研究の目的, 手順, および研究参加に関わるリスクについて説明を受けた後, 書面をもって研究参加に同意した. この研究は, 東京国際大学学術研究倫理審査委員会の承認(2017-8)を得て行った.

表 1. 研究対象者(ウェイトリフティング選手)のプロフィール

Sex	Female
Age	20
Height(cm)	164
Body mass(kg)	59
Weight Lifting Age (years)	5.5
Best record of lifting (kg)	
Snatch	83
Clean&Jerk	108
Snatch Dead Lift	135
Clean Dead Lift	145
Back Squat	146
Military Press	55

2. 手続き

本研究はシングルケーススタディである. データ取得期間は 2018 年 10 月からの 10 週間(66 日間)であった. この期間は国内大学選手権に向けての期間であり, 選手とチーム双方にとって 1 年間で最も重要な試合に向けてのトレーニング期間であった. トレーニングセッションは平日は午後に, 休日は午前か午後のどちらかで, 全ての日で 1 日に 1 回行われた. 全部で 55 回のトレーニングセッションを分析の対象とした.

毎日の練習開始直前に, 練習場所に隣接する部室内で, 選手の安静時心拍を取得した. この心拍を分析して内的負荷の評価指標とした(後述). 続いて, 選手はコーチによって事前に決められたその日のプロトコルに従ってトレーニングを行った. トレーニング内容は, トレーニングを進行しながら選手自身が逐次ノートに記録した. トレーニングセッションの最後のエクササイズが終了してから 30 分後に, 部室で再び心拍を取得した. その後, 選手自身のスマートフォンからそのセッションの主観的運動強度を

入力した。

3. 外的負荷の定量化

対象者が所属するチームでは、スナッチ、クリーン&ジャークほか、複数の種目について日常のトレーニングのプロセスの中で1RM を記録している。試合や日々のトレーニングで選手がその記録を上回るたびに随時更新され、トレーニング実施時の重量設定に参照される。本研究ではモニタリング開始時点での各種目の1RMを採用した。なお1RM が実測されていない種目については、他の種目の1RMを基準に、対象者が所属するチームのコーチが1RM 値を推定した。このコーチは JOC ナショナルコーチアカデミー課程を修了しており、全日本代表女子チームのコーチを4年間、社会人チームのコーチを7年間務めた実績を持つ。同コーチの豊富な指導経験の中で得られた知見を基準に1RM 値を推定した。

次に各トレーニングセッションで選手が行ったエクササイズについて、種目ごとに、また同種目であっても挙上重量を変えるごとに、負荷量を【 $\frac{1}{2} \times \%1RM \times \text{反復回数} \times \text{セット数}$ 】の式で計算した。体幹トレーニングなどの重量物を使用しないエクササイズについては、コーチ(同上)の判断で負荷量を決定した。続いてそのセッションで行われた全ての負荷量の総和を1日の総負荷量(Total Volume Load:TVL)として求めた。

4. 心拍変動(Heart Rate Variability:HRV)の取得

本研究ではトレーニングが身体に及ぼす内的負荷の生理的指標として心拍変動(Heart Rate Variability:HRV)を適用した。HRVは心拍のR-R間隔のばらつきから自律神経系の働きを分析する手法であり、スポーツトレーニングの疲労と回復の程度を示す生理的な指標として広く活用されている(Buchheit M., 2014)。またこの指標はレジスタンストレーニングによって誘発される身体的なストレスを評価する指標としても用いられている(Figueiredo et al., 2015 ;González et al., 2016;Heffernan et al., 2008;Kingsley et al., 2014)。本研究ではHRVの時間領域解析指標の一つであり、スポーツ選手の疲労と回復の評価に頻繁に使用されているLnRMSSD(natural logarithm of the root mean square of differences in R-R intervals)を採用した。計測機器はHosand Minicardio PRO(Hosand Technology, Verbania, Italy)を使用した(Cassirame et al., 2013)。選手は計測機器を電極を介して胸部に貼付し、安静仰臥位で5分間計測した。また選手には事前に呼吸のリズム(15回/分)を指導し、計測中はそのリズムを維持するように指示した。取得した心拍は、専用ソフトウェア TrainMe-Coach(Hosand Technology, Verbania, Italy)を利用してPCに読み込み、LnRMSSDを算出した。トレーニング終了30分後にも同様に計測を行った。そしてトレーニングセッション前後の変化量(練習前-練習後)を求めた。この値が大きいほど自律神経活動の減少幅が大きく、即ちトレーニングによる身体へのストレスが大きいことを意味する(González et al., 2016;Pareja et al., 2017)。

5. 主観的運動強度(RPE)の取得

内的負荷のもう一つの指標として主観的運動強度(Rating of Perceived Exertion:RPE)を適用した。RPEは、レジスタンストレーニング後のコルチゾール濃度(McGigan et al., 2004)、血中乳酸濃度(Lagally et al., 2002)、EMG(Duncan et al., 2006)などの生理的指標との関連が認められており、レジ

スタンストレーニングの内的負荷を定量化する指標として広く用いられている。本研究ではクラウドシステム(アスリートのデータ管理のためのツール「Atleta」 株式会社エムティーアイ CLIMB Factory スポーツ IT カンパニー)を使用して RPE を取得した。このシステムは、スマートフォンを通じてクラウドシステムに入力するものである。選手は毎日のトレーニングセッション終了 30 分後に、その日の練習が「どの程度きつかったか」を、選手自身のスマートフォンから入力した。スマートフォンの画面上にてスライドバー形式で設定し、0~100 の間で数値化された。本研究ではこの値を各トレーニングセッションの主観的運動強度(session rating of perceived exertion : sRPE)とした。この方法は先行研究で多く採用いられている Borg(1982)の 15 段階スケールや、10 段階の OMNI スケール(Robertson et al., 2003)とは異なり、むしろ Visual Analog Scale(VAS)に近い方法である。DellaValle and Haas(2013)は、女性ボート選手の日常のトレーニングにおいて VAS を用いて sRPE を取得しており、心拍数と時間から計算したトレーニング負荷量との間で有意な相関があったことを報告している。

6. トレーニングの内容

対象者が実施したトレーニングのプロトコルは、コーチ(同上)によって処方された。実行されたトレーニングは、選手の体調や練習時間の制限によって個々に変更されることがあった。エクササイズ種目やトレーニング方法は多種多様であった。それぞれのエクササイズの目的は、筋力強化、パワー向上、筋肥大などの生理学的適応を目指すだけでなく、スナッチとクリーン&ジャーク 2 種目の技術的な向上も重要なテーマとなる。また全身の筋力やパワーのトレーニングだけでなく、両種目に求められる上肢や下肢の各身体部位を個別に強化するエクササイズも含まれた。実施されたエクササイズのほとんどは、選手がシャフトを握り、床やラックから挙上するエクササイズであった。そのほかに器具を用いない体幹エクササイズや、短距離のランニングなども含まれていた。

表 2 に、本研究の期間中に行われた負荷量が多かったエクササイズについて、種目別負荷量(トレーニング期間中に行われた負荷量の和)、各セットの平均負荷、および平均反復回数を示した。エクササイズ間の 1RM の差を標準化するために負荷は%1RM で示した。エクササイズ別ではスナッチとクリーン&ジャークが最も多く、続いてスクワット系、デッドリフト系の種目が多かった。これらの種目を含む全エクササイズ実施時の平均負荷は 72%1RM、またセットの平均反復回数は 3.6 回であった。実行されたトレーニング内容は日によって異なるが、スナッチやクリーン&ジャークではウォーミングアップや技術練習として行われる場合には低重量でのセット(バーのみの時は 15 kg)も多く、低負荷から高負荷(90%1RM)まで幅広く行われた。

表 2 10 週間のトレーニング期間中に行われた主なエクササイズの種類別負荷量, 平均負荷 (%1RM), 平均反復回数

Exercise	種目別負荷量	平均負荷 (%1RM)	平均反復回数 / セット
Snatch	677	62%	3
Clean&Jerk	476	62%	2
Back Squat	415	74%	3
Snatch Dead Lift	204	59%	2
Clean Dead Lift	184	69%	2
Snatch High Pull	155	69%	3
Hang Snatch High Pull	142	63%	7
Front Squat	136	70%	3
Military Press	119	65%	3
High Snatch	112	72%	3
Front Squat and press	106	72%	5
Back wide Push Jerk Squat	104	75%	3
Box Clean Dead Lift	95	59%	4
Box Snatch High Pull	86	75%	3
Hexagon Dead Lift	79	81%	5

種目別負荷量:【%1RM×反復回数×セット数】の総和

7. 統計分析

対象者の毎日のトレーニングセッションの総負荷量(TVL)と, LnrMSSD の変化量との関係について, Pearson の積率相関係数を求めた. また TVL と sRPE との関係についても同様に Pearson の積率相関係数を求めた. 有意水準は 5%未満とした.

Ⅲ. 結果

選手が実践した毎日のトレーニングの総負荷量(TVL)と, LnrMSSD の練習前後の変化量, sRPE の推移を図 1 に示した. TVL は最大値の 156 から最小値8の範囲で推移していた. また LnrMSSD の変化量は 2.93 から-0.23 の範囲で, sRPE は 83 から 14 の範囲で推移していた. LnrMSSD 変化量と sRPE は, TVL の大きさに連動して増減していた. 一例として 10 月 14 日は TVL が 144 と高値を示したのに対し, LnrMSSD 変化量が 2.3, sRPE が 78 と, それぞれ高い値となった. 一方で, 10 月 11 日には TVL が 15 に対し, LnrMSSD 変化量が-0.2, sRPE が 18 とそれぞれ低かった. しかし両指標は, TVL とは異なる変動を示す日も散見された.

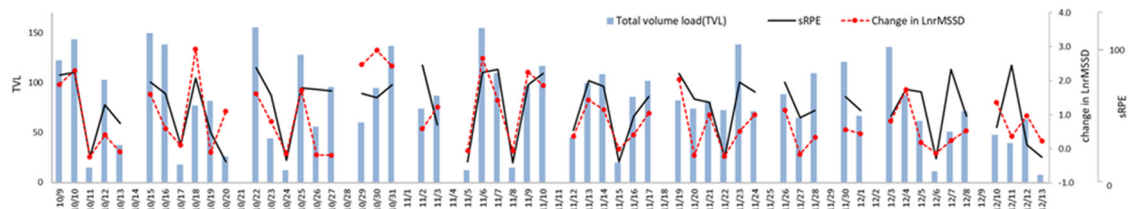


図 1 トレーニング期間中の毎日の総負荷量(TVL), HRV 指標(LnrMSSD)の変化量, 主観的運動強度(sRPE)の推移

LnrMSSD: natural logarithm of the root mean square of difference in R-R intervals
(連続して隣接する R-R 間隔の差の2乗の平均値の平方根)

図 2 に TVL と LnrMSSD の変化量との関係を示した. TVL と LnrMSSD との間に有意な相関関係が認められた ($r = 0.558$: $p < 0.01$). また図 3 に TVL と sRPE との関係を示した. TVL と sRPE との間に有意な相関関係が認められた ($r = 0.700$: $p < 0.01$).

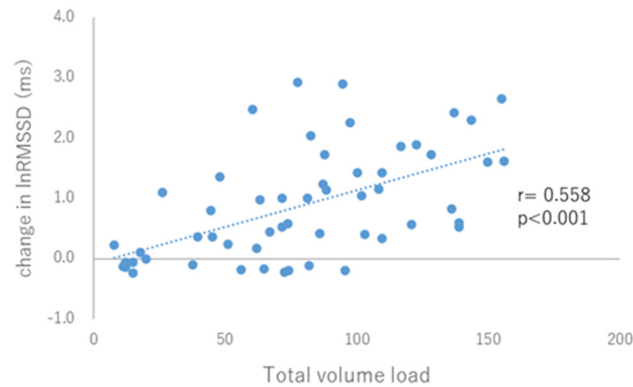


図 2 トレーニングセッションの総負荷量(TVL)とLnrMSSD の変化量の関係

LnrMSSD: natural logarithm of the root mean square of difference in R-R intervals
(連続して隣接する R-R 間隔の差の2乗の平均値の平方根. 心拍変動指標の一つ)

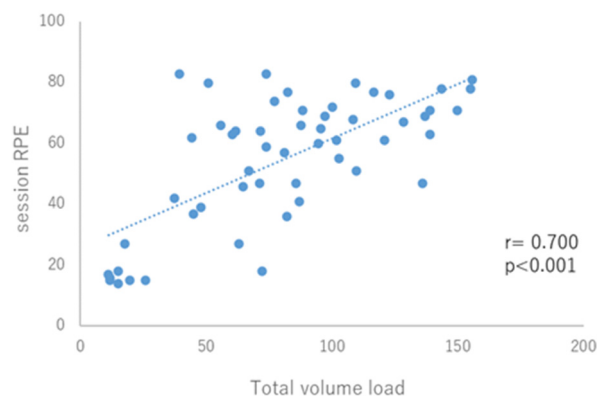


図 3 トレーニングセッションの総負荷量(TVL)と主観的運動強度(sRPE)の関係

LnrMSSD: natural logarithm of the root mean square of difference in R-R intervals
(連続して隣接する R-R 間隔の差の2乗の平均値の平方根. 心拍変動指標の一つ)

IV. 考察

本研究の目的は, ウエイトリフティング競技選手によって実行された日々のトレーニングのモニタリングデータから, トレーニング負荷の定量化に関する知見を得ることであった. 特に外的負荷である TVL と内的負荷を反映する生理的な指標としての HRV との関連について, または主観的な指標となる sRPE との関連性を示すことであった. 本ケーススタディでは, 毎日のトレーニングの総負荷量(TVL)に応じて, 内的負荷を反映する HRV (LnrMSSD の変化量)と sRPE が連動して増減していることが観察された(図 1). TVL が大きいときには LnrMSSD は大きく減少し, 逆に TVL が小さいときには LnrMSSD の変化は小さかった. そして TVL と LnrMSSD の変化量, また TVL と sRPE との間で, それぞれ有意な相関関係が認められた.

Chen et al.(2011)は, ウエイトリフティング選手のトレーニング後の疲労と回復過程を HRV 指標によ

って評価している. バックスクワット, ショルダープレス, デッドリフト, フロントスクワットの 4 種目について, 60%1RM×3 回, 70%1RM×3 回, 80%1RM×3 回, 90%1RM×2 回, 95%1RM×1 回, のプロトコルから成る 2 時間のトレーニングを行った後に, HRV の変化(自律神経活動全体の減退, 副交感神経活動の減退, 交感神経活動の上昇)を示した. Chen et al. (2011)の研究は, 対象者がウエイトリフティング選手であり, かつプロトコルが本研究にも頻繁に見られたようなウエイトリフティング競技の実際のトレーニングと類似している. またトレーニング後に, HRV 指標の減少に伴って血漿筋クレアチンキナーゼレベルの増加を示しており, 相当量の筋肉損傷を誘発したことを示唆している.

レジスタンストレーニング直後の HRV の動態を調査した実験研究は近年徐々に増えてきている. Figueiredo et al.(2015)は, 8 種目のエクササイズを 70%1RM で×8~10 回で, 1 セット, 3 セット, 5 セットの 3 つのプロトコルを比較しており, 5 セットの条件でほかと比べてより大きな心臓自律神経活動の変化(交感神経指標の向上と副交感神経指標の低下, RMSSD の減少)があったことを示した. また González et al.(2016)は, ベンチプレスとスクワットの 2 種目, 80%1RM で, 4 回×3 セットと 8 回×3 セットの 2 つのプロトコルを比較しており, 8×3 の方がトレーニング後に LnrRMSSD が大幅に減少したことに加え, 血漿クレアチンキナーゼ濃度も有意に向上したことを報告した. さらに Pareja et al.(2017) は, ベンチプレスとスクワットの 2 種目について, 70%1RM で 6 回×3 セットと 12 回×3 セットを比較し, 12×3 において運動直後の血中コルチゾール濃度が増加し, 48 時間後のクレアチンキナーゼレベルの増加をもたらした. またそれらが HRV の大幅な減少にも関連していたことを報告している. これらの研究は, より多くの負荷量が筋疲労を伴うより大きな自律神経系活動の減退を及ぼすことを示している.

本研究の結果は, 先行研究とは異なり個人内での TVL と LnrRMSSD の変化量との相関関係であるが, 上述した Figueiredo et al.(2015)や González et al.(2016)の示唆と同様の結果となった. HRV は筋損傷を直接的に反映するマーカーではないが, HRV の変化の大きいときには心臓自律神経系のストレスとともに, 筋損傷やホルモン反応が誘発されていた可能性を考慮しなければならない.

また内的負荷の主観的指標である sRPE と TVL との間でも有意な相関関係が認められた. sRPE は, レジスタンストレーニングの内的負荷をモニタリングする指標として複数の研究で適用されている. Lodo et al.(2012)は, 筋力, 筋肥大, 筋持久力を狙いとした 3 つのプロトコルにおいて, 総作業量(重量×総挙上回数)と sRPE の間に有意な相関を認めた. また Pritchett et al.(2009)も, 挙上重量が異なるプロトコルにおいて, 作業量と sRPE の間に強い相関があったことを報告している. これらはトレーニングの外的負荷と主観的な内的負荷との関係の存在を裏付けており, 本研究の結果もこれと同様である. 一方で, sRPE はトレーニングの負荷量よりも, 挙上する重量をより大きく反映するという研究もあり(Scott et al., 2016), 先行研究の見解は一様ではない.

外的負荷と内的負荷を反映する両変数の相関関係が見出されとはいえ, 実際には TVL が同程度の値であっても, HRV, sRPE の値は日によってばらつきが見られた(図 2, 図 3). このモニタリング方法を実際にトレーニング場面に適用することを想定した場合, コーチや選手の立場においてはこのばらつきの幅は看過できるものではない. この原因として外的負荷の定量化の方法や, 内的負荷の指標の妥当性, 計測の精度など複数の要因が考えられる. もちろんトレーニング負荷以外の要因(例えば選手の体調, 睡眠時間, 食事や心理的なストレス)の影響は考えられるが, ここでは, 外的負荷の定量化の方法について考察を加えたい.

分析期間中のセッションの中から、低重量で高反復回数のセットが多いセッション(12月3日)と、高重量で低反復回数のセットが多いセッション(12月4日)のプロトコルを比較した(表3)。またこの両セッションの平均負荷と反復回数、および TVL と LnrMSSD, sRPE を比較した(表4)。低重量で高反復のセットが多い日は、高重量で低反復の日に比べて TVL は大きい一方で、HRV 変化量と sRPE は小さく、両者の関係は相反していた。高重量のセッション(12月4日)では、スナッチ、クリーン&ジャークともに 90%1RM 以上のセットが繰り返された。1RM に近い重量であるために心身への負荷は大きいことが推測されるが、各エクササイズの挙上重量ごとの負荷量は比較的小さく留まっている。一方で低重量のセッション(12月3日)では、スナッチ、クリーン&ジャークの重量は 70%1RM 以下であり、各セットの反復回数は最高でも 5 回であった。これは日常的にハードトレーニングを積んでいるウエイトリフティング選手にとってはそれほどきつい負荷ではないために、LnrMSSD 変化量と sRPE は比較的小さく留まったのであろう。しかし総回数が多くなるために、各エクササイズの同重量での負荷量は大きくなり、総負荷量(TVL)も大きくなった。

表3 低重量と高重量のセッションのトレーニングプロトコルの比較

a. 低重量/高反復回数のセットが多い日(12/3)								b. 高重量/低反復回数のセットが多い日(12/4)							
No.	Exercise	1RM	load (kg)	%1RM	回数	セット数	負荷量	No.	Exercise	1RM	load (kg)	%1RM	回数	セット数	負荷量
1	Bwp	44	15	34%	5	2	3.4	1	Snatch	83	15	18%	5	2	1.8
2	Bwp	44	35	80%	5	5	19.9	2	Snatch	83	35	42%	5	2	4.2
3	Snatch	83	15	18%	5	5	4.5	3	Snatch	83	45	54%	4	1	2.2
4	Snatch	83	35	42%	5	5	10.5	4	Snatch	83	55	66%	3	1	2.0
5	Snatch	83	45	54%	3	3	4.9	5	Snatch	83	60	72%	3	1	2.2
6	Snatch	83	55	66%	3	3	6.0	6	Snatch	83	65	78%	3	1	2.3
7	Snatch	83	60	72%	2	2	2.9	7	Snatch	83	70	84%	3	1	2.5
8	Snatch	83	45	54%	5	5	13.6	8	Snatch	83	75	90%	2	1	1.8
9	C&J	108	15	14%	4	2	1.1	9	Snatch	83	78	94%	1	1	0.9
10	C&J	108	45	42%	4	2	3.3	10	Snatch	83	80	96%	1	3	2.9
11	C&J	108	65	60%	4	1	2.4	11	Snatch	83	75	90%	1	1	0.9
12	C&J	108	75	69%	3	1	2.1	12	Snatch	83	65	78%	5	1	3.9
13	C&J	108	80	74%	3	3	6.7	13	Snatch	83	45	54%	5	1	2.7
14	C&J	108	45	42%	4	4	6.7	14	C&J	108	15	14%	3	2	0.8
15	SDL	135	55	41%	3	3	3.7	15	C&J	108	45	42%	3	2	2.5
16	SDL	135	85	63%	3	3	5.7	16	C&J	108	65	60%	2	1	1.2
17	CDL	145	105	72%	2	1	1.4	17	C&J	108	80	74%	2	1	1.5
18	CDL	145	110	76%	2	3	4.6	18	C&J	108	85	79%	1	1	0.8
19	Jerk Finish	135	65	48%	5	3	7.2	19	C&J	108	90	83%	1	1	0.8
20	Jerk Finish	135	98	73%	5	3	10.9	20	C&J	108	95	88%	1	1	0.9
21	SDL	135	55	41%	3	1	1.2	21	C&J	108	100	93%	1	1	0.9
22	SDL	135	85	63%	3	4	7.6	22	C&J	108	85	79%	1	1	0.8
23	CDL	145	105	72%	2	1	1.4	23	C&J	108	95	88%	1	1	0.9
24	CDL	145	110	76%	2	3	4.6	24	C&J	108	100	93%	1	1	0.9
								25	C&J	108	103	95%	1	1	1.0
								26	C&J	108	95	88%	3	1	2.6
								27	C&J	108	65	60%	5	2	6.0
								28	Bsq	146	130	89%	1	3	2.7
								29	SHP	108	45	42%	3	1	1.3
								30	SHP	108	85	79%	3	1	2.4
								31	SHP	108	95	88%	3	2	5.3
								32	SHP	108	90	83%	3	2	5.0
								33	Bor	70	45	64%	6	5	19.3

RM: repetition maximum, Bwp: Back wide press, C&J: Clean& Jerk, SDL: Snatch dead Lift, CDL: Clean dead lift, SHP: Snatch high pull, Bsq: Back squat, Bor: Bent over rowing

表 4 低重量と高重量のセッションのトレーニング変数と定量化指標の比較.

DATE	平均負荷 (%1RM)	平均反復回数 (回/セット)	総負荷量 (TVL)	主観的運動強度 (sRPE)	lnRMSSD 変化量
a. 低強度 (12/3)	56%	3.8	136	47	0.82
b. 高強度 (12/4)	73%	2.6	88	66	1.73

LnRMSSD: natural logarithm of the root mean square of difference in R-R intervals
(連続して隣接する R-R 間隔の差の2乗の平均値の平方根)

本研究では外的負荷をエクササイズごとに、%1RM×反復回数×セット数で算出した。この計算方法では、反復回数とセット数が異なる場合(例えば 80%1RM で 10 回×3set と 80%1RM で 3 回×10 セット)や、挙上重量が異なる場合(例えば 60%1RM× 10 回 ×4 セット)でも、TVL が同値となる。しかし算出された負荷量の値が同じでも、挙上重量や反復回数が異なれば、心身に及ぼすストレスが異なることは容易に推測できる。McCaulley et al.(2009)は、75%1RM で 10 回×4 セットと、90%1RM で 3 回×11 セットを比較した結果、各エクササイズ実施後のホルモン濃度(総テストステロン、コルチゾール、性ホルモン結合グロブリン濃度)の変化率が異なったことから、負荷量は同等であるにも関わらず発生する生理学的ストレスが異なることを示唆した。本研究で使用された単純な計算によって外的負荷値と内的負荷との関係性を明示することは理論的にも限界があり、同様の点は Scott et al.(2016)や Haff (2010)も指摘している。

Lagally et al.(2002)は、負荷量を統一した 3 つの条件(90%1RM×4 回, 60%×6 回, 30%×12 回)を比較し、高重量の条件で sRPE が高くなるだけでなく、筋活動(EMG)と血中乳酸濃度についても、高重量の方が大きかったことを報告した($p<0.01$)。負荷量と同じでも重量が重い方が sRPE や生理的指標が増加するという見解は、Sweet et al.(2004)、Duncan et al.(2006)、Gonzalez et al.(2016)、Gearhart et al.(2001)らによっても報告されている。これらの先行研究は負荷量と同じであっても、挙上重量がより重くなるほど、内的負荷は主観的にも生理的にも大きくなることを示唆している。本研究において、高重量のセッションが低重量のセッションに比べて TVL が小さいにも関わらず HRV 変化量と sRPE が大きかったことは、上述の先行研究と同様の原因によるものと捉えることができる。

一方で先行研究ではこれらと異なる見解もみられる。Genner and Weston(2014)は、各セットで限界近くまで回数を繰り返すという条件で、80%, 70%, 55%1RM の 3 つの異なる挙上重量(5 種目 3 セットのプログラム)を比較した。その結果、低重量(55%1RM)において負荷量が最大となり、sRPE と血中乳酸も低重量において最大となったこと、さらに sRPE と血中乳酸値は挙上重量よりも負荷量との関連が強かったことを報告した。同様の見解は Pritchett et al.(2009)も報告している。これらの研究は、比較的低重量で限界近くまで追い込むような、つまり筋肥大を目的としたプログラムにおいては、内的負荷は主観的にも生理的にも負荷量との関係がより強くなることを示している。このように、レジスタンスエクササイズの外的負荷と内的負荷の関係性についての先行研究の見解は一樣ではない。

ウエイトリフティングのトレーニングは競技特性上、高重量で低回数のセットは多い。一方で筋肥大を目的としたセットも行われるなど、多様なプログラムが存在する。また各エクササイズはレジスタンストレ

ニングであると同時に技術トレーニングとしての側面もある。技術向上のためには反復練習は必須であり、練習量の増加に伴い必然的に総負荷量も増加する。本研究では技術練習とレジスタンストレーニングの区分はしていないが、バーのみの低重量から 70%1RM 以下の中程度の重量で行われたセットも多く、それらによる TVL の増加が身体的負荷として反映されない事例は既に示したとおりである。

さらに、ウェイトリフティングのトレーニングの心理的側面にも着目する必要がある。1RM に近い重量でのスナッチやクリーン&ジャークでは、選手はシャフトをキャッチできずに、“失敗”して床に落としてしまうことも少なくない。このような試技においては精密なテクニックが要求される。またキャッチの失敗による受傷のリスクもあり、選手は高度の集中力を求められ、心理的な負荷も大きくなることが推測される。高重量でのスナッチ、クリーン&ジャークが心身ともに「きつい」という選手のコメントは本研究の遂行中にも度々聞かれた。高重量かつ技術的にも要求度の高い心身両面への負荷がかかるトレーニングの定量化の方法も検討しなければならない。Banister (1986) は持久系トレーニングの定量化について、身体への負荷は運動強度(予備心拍(最大心拍数と安静時心拍数の差)に対する運動時心拍数の比率)に対して比例的に増加するのではなく、指数関数的に増加するというモデルを示している。ウェイトリフティングのトレーニングについて持久系トレーニングの定量化のモデルを適用することには慎重さが必要である。しかし本研究で得られた事象、さらにウェイトリフティングのトレーニングの多様性を考慮するならば、これらの知見も含めて検討する価値はあると思われる。

この他にも、バーベルの垂直方向の変位量(Hornsby et al., 2018)、エクササイズの動作速度(McBride et al., 2009)、セット間の休憩間隔の長さ(Bird et al., 2005; Genner・Weston, 2014)など、外的負荷量を算出する様々な方法が試されている。これらの先行研究をもとに、ウェイトリフティング競技のトレーニング現場で適用可能な、かつ正確な定量化の方法を見出すためには、多くの観点を考慮しなければならない。さらに多くの研究が必要である。また本研究はケーススタディであるため、得られた知見は対象者の個人内共変に基づく推測である。本研究で示した外的負荷と内的負荷の関連性がウェイトリフティング選手全般に普遍的に成立するものか否かは別途検証する必要がある。

V. まとめ

本研究の目的は、ウェイトリフティング競技選手 1 名によって実行された日々のトレーニング実績とモニタリングデータを分析し、外的負荷と内的負荷の関係性からトレーニング負荷の定量化に関する知見を得ることであった。毎日のトレーニングの総負荷量(TVL)に応じて、内的負荷を反映する HRV と sRPE が連動して増減していることが観察された。そして TVL と HRV の変化量、また TVL と sRPE との間で、それぞれ有意な相関関係が認められた。これらの結果は選手 1 名についてのみ検証されたものであるが、ウェイトリフティング選手のトレーニングの定量化の方法を検討するための土台となる基礎的な知見のひとつと言えよう。しかし本研究で示した定量化の方法ではトレーニングの現場に適用するには十分な精度に至っているとはいえず、改善の必要がある。今後は先行研究の知見を参考としつつ、ウェイトリフティング競技のトレーニングのより精度の高い定量化の方法を検討したい。

謝辞

本研究の作成にあたり、協力をいただいたチームの関係者の方に心から感謝申し上げます。

References

- Banister, E. W., Good, P., Holman, G., & Hamilton, C. (1986). Modeling the training response in athletes. Paper presented at the The 1984 Olympic Scientific Congress Proceedings sport and elite performers.
- Bird SP, Tarpenning KM, Marino FE. (2005) Designing resistance training programs to enhance muscular fitness: a review of the acute program variables. *Sports Med* 35 (10) 841-51.
- Borg G (1982) Ratings of perceived exertion and heart rates during short-term cycle exercise and their use in a new cycling strength test. *Int J Sports Med* 3:153-158
- Buchheit, M., Chivot, A., Parouty, J., Mercier, D., Al Haddad, H., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2010). Monitoring endurance running performance using cardiac parasympathetic function. *European Journal of Applied Physiology*, 108(6), 1153-1167
- Buchheit M. (2014) Monitoring training status with HR measures: do all roads lead to Rome? *Front Physiol.* 2014 Feb 27;5:73
- Busso T1, Häkkinen K, Pakarinen A, Carasso C, Lacour JR, Komi PV, Kauhanen H. (1990) A systems model of training responses and its relationship to hormonal responses in elite weight-lifters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*;61 (1-2):48-54.
- Cassirame J, Stuckey MI, Sheppard F, Tordi N (2013) Accuracy of the Minicardio system for heart rate variability analysis compared to ECG. *J Sports Med Phys Fitness.* Jun;53 (3):248-54.
- Chen JL, Yeh DP, Lee JP, Chen CY, Huang CY, Lee SD, Chen CC, Kuo TB, Kao CL, Kuo CH. (2011) Parasympathetic nervous activity mirrors recovery status in weightlifting performance after training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Jun;25 (6):1546-52
- DellaValle DM, Haas JD. (2013) Quantification of training load and intensity in female collegiate rowers: validation of a daily assessment tool. *J Strength Conditioning Reserch.* Feb :27 (2) :540-548
- Duncan MJ, Al-Nakeeb Y, Scurr (2006) Perceived exertion is related to muscle activity during leg extension exercise. *J.Res Sports Med.* Jul-Sep; 14 (3):179-89.
- Fisher, J, Steele, J, Bruce-Low, S, and Smith, D. (2011) Evidence based resistance training recommendations. *Med Sport* 15: 147–162
- Figueiredo T, Rhea MR, Peterson M, Miranda H, Bentes CM, dos Reis VM, Simão R. (2015) Influence of number of sets on blood pressure and heart rate variability after a strength training session. *J Strength Cond Res.* Jun;29 (6):1556-63
- Flatt AA, Esco MR, Nakamura FY, Plews DJ. (2017) Interpreting Daily Heart Rate Variability Changes in Collegiate Female Soccer Players. *J Sports Med Phys Fitness.*

57(6): 907-915.

- Genner KM, Weston M. (2014) A comparison of workload quantification methods in relation to physiological responses to resistance exercise. *J Strength Cond Res.* 28 (9):2621-7.
- Gearhart RE, Goss FL, Lagally KM, et al. (2001) Standardized scaling procedures for rating perceived exertion during resistance exercise. *J Strength Cond Res.* 15:320-325.
- González-Badillo JJ, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Ribas J, López-López C, Mora-Custodio R, Yañez-García JM, Pareja-Blanco F. (2016) Short-term Recovery Following Resistance Exercise Leading or not to Failure. *Int J Sports Med.* Apr; 37 (4):295-304.
- Haddad M, Stylianides G, Djaoui L, Dellal A, Chamari K. (2017) Session-RPE Method for Training Load Monitoring: Validity, Ecological Usefulness, and Influencing Factors. *Frontiers Neurosci.* Nov 2;11:612.
- Haff, G. (2010) Quantifying workloads in resistance training: A brief review. *Prof Strength Conditioning* 19: 4-13
- Halson SL. (2014) Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Med.* 44, 2: 139-147.
- Heffernan KS, Sosnoff JJ, Jae SY, Gates GJ, Fernhall B. (2007) Acute resistance exercise reduces heart rate complexity and increases QTc interval. *Int J Sports Med.* 2008 Apr;29(4):289-93
- Hornsby WG, Gentles JA, Comfort P, Suchomel TJ, Mizuguchi S, Stone MH. (2018). Resistance Training Volume Load with and without Exercise Displacement. *Sports.* 6 (4)1-10.
- Impellizzeri FM, Marcora SM, Coutts AJ (2019) Internal and External Training Load: 15 Years On. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4, 270-273
- Kingsley JD, Hochgesang S, Brewer A, Buxton E, Martinson M, Heidner G. (2014) Autonomic Modulation in Resistance-Trained Individuals after Acute Resistance Exercise. *International Journal of Sports Medicine* Sep;35(10):851-856.
- Lagally, K, Robertson, R, Gallagher, K, Goss, F, Jakicic, J, Lephart, S, McCaw, S, and Goodpaster, B. (2002) Perceived exertion, electromyography, and blood lactate during acute bouts of resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 34:552-559.
- Lodo L, Moreira A, Zavanela PM, Newton MJ, McGuigan MR, et al. (2012) Is there a relationship between the total volume of load lifted in bench press exercise and the rating of perceived exertion? *J Sports Med Phys Fitness* 52: 483-488.
- McBride J.M., McCaulley G.O., Cormie P., Nuzzo J.L, Cavill M.J., Triplett N.T. (2009) Comparison of methods to quantify volume during resistance exercise. *J. Strength Cond. Res.* 23(1), 106-110.

- ・ Mccauley G.O, McBride J.M, Cormie P, Nuzzo J.L, Quindry J.C, and Triplett N. T (2009) Acute hormonal and neuromuscular responses to hypertrophy, strength and power type resistance exercise. *Eur J Appl Physiol.* 105:695-704.
- ・ McGuigan MR, Egan AD, Foster C. (2014) Salivary Cortisol Responses and Perceived Exertion during High Intensity and Low Intensity Bouts of Resistance Exercise. *J Sports Sci Med.* 2004 Mar 1;3(1):8-15.
- ・ McLaren SJ, Macpherson TW, Coutts AJ, Hurst C, Spears IR, Weston M. (2018) The Relationships Between Internal and External Measures of Training Load and Intensity in Team Sports: A Meta-Analysis. *Sports Medicine* volume8, 641–658
- ・ Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Ribas-Serna J, López-López C, Mora-Custodio R, Yáñez-García JM, González-Badillo JJ. (2017) Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clin Physiol Funct Imaging.* Nov;37 (6):630-639.
- ・ Pritchett R, Green J, Wickwire P, Pritchett K, Kovacs M. (2009) Acute and session RPE responses during resistance training: Bouts to failure at 60% and 90% of 1RM. *S Afr J Sports Med* 21: 23–26.
- ・ Robertson RJ, Goss FL, Rutkowski J, Lenz B, Dixon C, Timmer J, Frazee K, Dube J, and Andreacci J. (2003) Concurrent validation of the OMNI perceived exertion scale for resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc* 35: 333-341.
- ・ Saboul, D., Balducci, P, Millet, G., Pialoux, V., & Hautier, C. (2016). A pilot study on quantification of training load: The use of HRV in training practice. *European Journal of Sport Science*, 16(2), 172–181
- ・ Scott BR, Duthie GM, Thornton HR, Dascombe BJ. (2016) Training monitoring for resistance exercise: theory and applications. *Sports Med.* 46(5):687-698.
- ・ Sweet TW, Foster C, McGuigan MR, Brice G (2004) Quantitation of resistance training using the session rating of perceived exertion method. *J Strength Cond Res* 18: 796-802.