

原著論文

国内女子トップウエイトリフティング選手を対象とした
スナッチを得意とする選手におけるスナッチのバイオメカニクスの分析
The biomechanical analysis of the snatch lift in top-class Japanese female weightlifters
–Characteristics of a good snatch player from a coach's point of view–

小畑直之^{1),2)}, 長尾秀行³⁾, 三浦智和⁴⁾
Naoyuki Kobatake^{1),2)}, Hideyuki Nagao³⁾, Tomokazu Miura⁴⁾

Abstract : This study aimed to identify the characteristics of snatch lift in top-class Japanese female weightlifters. The hypothesis was that lifters who are good at the snatch had lower barbell velocity in the 1st pull and longer heel contact time based on their weightlifting coaching points. Female lifters who competed in the 2021 All Japan Women's Weightlifting Championships were included in the study. Lifters who had a small difference in scores between the best attempts in snatch and clean & jerk lifts comprised Group A (good at snatch), while those who had a greater difference in scores comprised Group B (NOT good at snatch). The two-dimensional position coordinates of the barbell of each athlete's best snatch attempt during competition were calculated from video analysis to determine the kinematic variables of the barbell. Heel contact time was also determined from video images and compared between groups. The results supported the hypothesis: athletes in Group A had a significantly smaller mean vertical velocity of the barbell in the 1st pull phase than the athletes in Group B (0.45 ± 0.05 [m/s], 0.52 ± 0.05 [m/s], $p<0.001$, $d=1.179$). However, there were no significant differences in mean vertical velocity of the barbell in the 2nd pull phase or in vertical maximum velocity between groups. Heel contact time was also significantly larger in Group A (0.61 ± 0.04 [s], 0.53 ± 0.06 [s], $p<0.001$, $d=1.347$). Finally, there was a negative relationship between the mean vertical velocity of the barbell during the 1st pull phase of the snatch and the best snatch attempt that standardized body weight ($r=-0.287$, $p<0.05$). These results suggest that slow and careful execution of the 1st pull and keeping the feet flat in the snatch positively affect the performance.

Key words : weightlifting, biomechanics, kinematics, heel contact time

キーワード：ウエイトリフティング、バイオメカニクス、キネマティクス、踵接地時間

¹⁾日本体育大学体育学部体育学科, ²⁾日本ウエイトリフティング協会, ³⁾作新学院大学経営学部スポーツマネジメント学科, ⁴⁾国立スポーツ科学センター

¹⁾Nippon Sport Science University, Department of Physical Education, Faculty of Sport Science, ²⁾Japan Weightlifting Association,

³⁾Sakushin Gakuin University, Faculty of Business Management, Department of Sport Management, ⁴⁾Japan Institute of Sport Sciences

E-mail : kobatake@nittai.ac.jp

受付日：2022年4月22日

受理日：2022年8月16日

I. 背景

オリンピック競技大会において3大会連続でメダル獲得している日本女子ウエイトリフティング選手の活躍はスナッチ種目(SN)ではなく、クリーン&ジャーク種目(CJ)の競技力によって成立している。第31回オリンピック競技大会(2016/リオデジャネイロ)の女子48kg級において銅メダルを獲得した三宅宏実選手は、SNでは12人中8位であったが、続くCJで3位まで順位を上げた。第32回オリンピック競技大会(2020/東京)の女子59kg級において銅メダルを獲得した安藤美希子選手は、SNでは9人中6位であったがCJで3位まで順位を上げることができた。また、2021年の世界選手権大会で、女子49kg級の髙橋いぶき選手はSNでは13人中10位であったがCJで3位まで順位を上げた。このように、日本女子トップクラスのウエイトリフティング選手の主要国際大会における上位入賞は、SNでは低い順位を続くCJで逆転するケースが多い。このことから、SNの競技力向上は、現在の日本女子ウエイトリフティングの課題の一つと言える。

SNとCJは、最も大きな力およびパワーが発揮されるとされている2ndプル局面^{1),20)}までの動作は酷似しており、どちらも主に下肢関節の伸展運動によってバーベルを上前腸骨棘辺りまで挙上する動作(デッドリフト)である⁵⁾。その後はSNの場合は頭上まで、CJの場合は鎖骨の高さまでバーベルを挙上する必要がある。CJの方がSNよりも必要とするバーベルの挙上高が低いため、挙上重量はSNよりも一般的に大きくなる(2021年度全日本選手権大会の女子ではCJの挙上重量はSNの $125.5 \pm 5.7[\%]$ 。第32回オリンピック競技大会の女子では $124.8 \pm 5.9[\%]$ ¹³⁾)。SNとCJは、2ndプル以降の挙上高が異なり、また動作も違うため、必要とする挙上技術も異なると考えられる。競技大会でSNの順位が低くCJの順位が高い選手は、高重量でのデッドリフトが可能であるにも関わらず、SNの挙上技術が劣ることが原因の一つでSNの挙上重量が低いと考えられる。このような選手は、しばしばウエイトリフティング

の指導者から「CJの挙上重量が大きい割にはSNが弱い」などの表現で指摘され、SNの挙上重量の大きさは異なる観点から、SNが苦手な選手と評価される。一方で、SNとCJの挙上重量の差が小さい者は、SNが得意な選手と評価される。このSNが得意と言われる選手は、SNの挙上技術が高いため、SNとCJの挙上重量の差が小さいと考えられるが、その技術的要因について学術的に明らかにされていない。

日本ウエイトリフティング協会は、国内選手の競技レベルの底上げを目的の一つとして、ウエイトリフティング指導教本²³⁾を発行している。SNに関しては、局面毎にトレーニング上および指導上の要点をまとめているが、その中でも最重要姿勢と位置付けているのが2ndプル開始時の姿勢である。特に、2ndプル開始まで踵をできるだけ長く地面に付けておくべきであると指摘している。また、足裏全体で地面を加圧することが重要である、とも指摘していることから、足関節底屈運動をせずに足裏全体を接地させている時間の長さがSNのパフォーマンスに影響することを示唆している。この踵接地時間に関連して、ウエイトリフティングの指導者はSNの指導の際に「1stプルで我慢する」や「1stプルを丁寧に」という指導言語を用いることがある。これらの指導は、運動学的には1stプル局面(2ndプル開始前の局面)における踵接地時間を長くすることと、動作速度を大きくしないことを意図した指導と考えられる。これらのことから、SNの挙上技術が優れる者は、踵接地時間が長いことと、1stプル局面におけるバーベルの鉛直速度が小さいと推察されるが、学術的な根拠は示されていない。

そこで本研究の目的は、ウエイトリフティング指導者の観点に基づき、国内女子トップクラスのウエイトリフティング選手を対象として、SNが得意な者のSN時におけるバーベルのキネマティクスの変数および踵接地時間の特徴を明らかにし、SNのパフォーマンス向上のための知見を得ることであった。本研究の仮説は、1) SNが得意な選手は1stプル局面におけるバーベルの鉛直速

度が低く、2) 踵接地時間が長い、とした。

II. 方法

1. データ収集

本研究は、2021年度全日本女子ウエイトリフティング選手権大会を対象とした。競技中の挙上動作の映像の記録には、1台のデジタルビデオカメラを用いた（Panasonic, VX990M、解像度：1920 × 1080[px]、フレームレート：60[fps]、露光時間：1/250[s]）。デジタルカメラは、試技が行われるプラットホームの真正面を0[°]とした場合の右側（反時計回り）へ約70[°]、プラットホーム中心からの距離およそ10[m]、高さおよそ1.5[m]の位置に設置した。競技会中の映像の記録および研究目的での利用については、公益社団法人日本ウエイトリフティング協会の許可を得た。また、国立スポーツ科学センターにおける倫理審査委員会からの承認を得た（承認番号：20190826）。

本研究では、ウエイトリフティングの指導者の「CJの挙上重量が大きい割にはSNが弱い」という観点に基づいてSNの得意および不得意を定義するため、対象の大会においてSNとCJの両方とも記録を残した選手のCJとSNの差（CJ-SN_diff）を求め、CJ-SN_diffが小さい者の上位40[%]をSN得意群（24名）、下位40[%]をSN不得意群（25名）と定義した。本研究における“SNが得意”とは、SNとCJの挙上重量の差が小さい者のことを指し、SNの挙上重量が大きいことを意味しない。なお、対象の大会に出場した女子選手は64名、SNとCJの両方で記録を残した選手は54名であった。群分けのためのCJ-SN_diffの各群における上限と下限が同値の選手が複数いたため、各群の人数は54名の40[%]である21～22名より多くなっている。

2. 分析

分析対象選手におけるSNのベスト記録となった試技を対象に、選手の矢状面におけるバーベル左先端部の2次元位置座標を取得した。位置座標の取得には、Kanade-Lucas-Tomasi algorithm^{17), 21)}

を利用した先行研究の方法を用いた¹⁸⁾。この方法は、実験室条件であればバーベルの2次元位置座標を誤差±1[mm]で取得することが可能である。なお、座標系の原点はバーベルの挙上開始位置とし、X軸を水平方向（選手の見線方向が前方で正の方向）、Y軸を鉛直方向とした。得られた位置座標は先行研究^{3), 15)}の方法に基づき、遮断周波数6[Hz]の位相ずれのないButterworth type fourth-order low-pass digital filterを用いて平滑化した。本研究では、SN時におけるバーベルの運動を選手の矢状面における2次元の運動とみなして分析した。

先行研究^{8), 9), 11), 12)}に基づき、SNにおける5つのイベントおよび4つの局面（1stプル局面、2ndプル局面、ターンオーバー局面およびキャッチ局面）を定義した（図1）。

挙上開始はバーベルの鉛直の高さ（Y軸成分）が0.225[m]以上かつバーベルの鉛直速度が0.1[m/s]以上となった時点と定義し、キャッチポジションはバーベルが最大高に至った後の鉛直速度が最も0[m/s]に近い時点と定義した（バーベルに取り付けられているプレートの直径は0.45[m]）。得られたバーベル位置座標から、表1に示した定義に基づき、各キネマティクスの変数を算出した。また、踵接地時間（Heel contact time: HCT）を求めるために、各試技における挙上開始から左踵が地面から離れるまでのフレーム数を目視でカウントし、そのフレーム数とフレームレートの逆数の積からHCT[s]を算出した。さらに、左踵が地面から離れたフレームと2ndプル開始時点（図1のA）のフレームの差とフレームレートの逆数の積から2ndプル開始時点に対する踵離地のタイミング[s]（heel off to 2nd pull）を算出した。なお、記録した映像が60[fps]であることから、本研究におけるHCTおよびheel off to 2nd pullは潜在的に±0.016[s]程度の誤差があると考えられる。

3. 統計解析

SN得意群およびSN不得意群間における各変

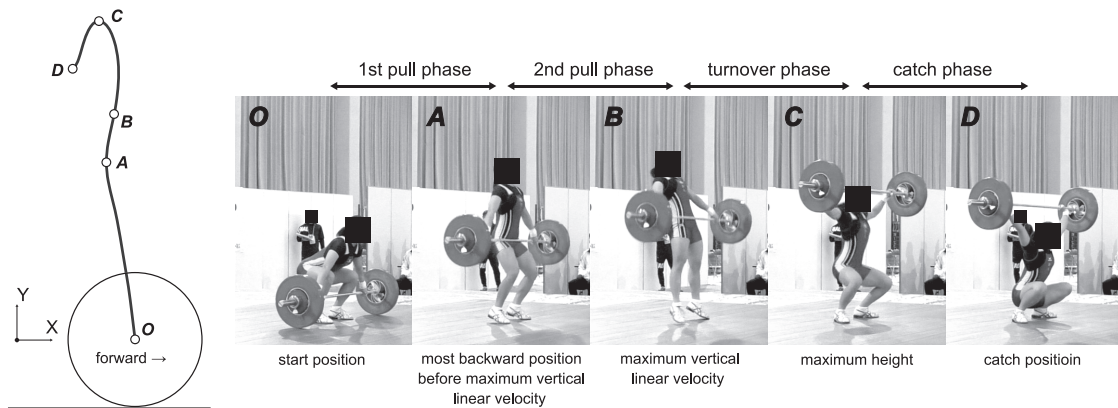


Figure 1. Definition of the phases and events of the snatch lift.

Table 1. Experimental variables of barbell kinematics.

Variable	Definition
Dy1 [m]	Start position to the maximum height
Dy2 [m]	Start position to the catch position
Dy3 [m]	Maximum height to the catch position (drop distance)
Dx1 [m]	Start position to the most backward position before the turnover phase
Dx2 [m]	Start position to the catch position
Dx3 [m]	Most backward position before the turnover phase to the most forward position
DxL [m]	Most forward position in the 2nd pull phase to the catch position
pVy [m/s]	Maximum vertical linear velocity
pVx+ [m/s]	Maximum horizontal linear velocity in the forward direction
pVx- [m/s]	Maximum horizontal linear velocity in the backward direction
mVy_1st [m/s]	Mean vertical linear velocity in the 1st pull phase
mVy_2nd [m/s]	Mean vertical linear velocity in the 2nd pull phase

数の差の検定には Un-paired t-test を用いた。なお、各変数の正規性の検定には Kolmogorov-Smirnov test を用いた。有意水準は危険率 5% 未満とした。平均値の差の大きさの程度の指標として効果量 Cohen の d 値を算出した。効果量の評価基準は 0.0 ~ 0.2: trivial, 0.2 ~ 0.5: small, 0.5 ~ 0.8: medium, 0.8 ~ : large とした⁴⁾。また、各変数間の相関関係の検討には、Pearson's correlation coefficient を用いた。

Ⅲ. 結果

1. 各群の競技力に関する基本的統計

表 2 に Category (階級)、Body weight (体重)、CJ-SN_diff、SN ベスト、CJ ベストおよび Total (SN ベストと CJ ベストの和) の各群における平均値を比較した結果を示した。体重、CJ-SN_diff、SN ベスト、CJ ベストおよび Total は SN 得意群の方が SN 不得意よりも有意に小さい値を示した。一方で、階級の効果量は medium (d=0.525) であったが、群間において有意差は認められなかった。

表3にSNベスト、CJベストおよびTotalの体重比の各群における平均値を比較した結果を示した。CJベストの体重比にのみ群間に有意差が認められ、SN得意群の方がSN不得意よりも有意に小さい値を示した。なお、各群における階級ごとの人数の内訳は、SN得意群で45kg級2人、49kg級3人、55kg級4人、59kg級6人、64kg級4人、71kg級2人、76kg級2人81kg級0人であり、SN不得意群で45kg級0人、49kg級2人、55kg級5人、59kg級3人、64kg級5人、71kg級3人、76kg級2人、81kg級3人であった。

2. バーベルのキネマティクスの変数

表4に、各群におけるバーベルの鉛直軸方向の変数(Dy1, Dy2 および Dy3) と水平軸方向の変数(Dx1, Dx2, Dx3 および DxL) を比較した結果を示した。バーベルの落下距離を示すDy3はSN得意群の方がSN不得意よりも有意に大きな値を示した。他の変数については群間において有意差は認められなかった。

表5に、各群におけるバーベルの鉛直および水平軸方向の最大速度(pVy, pVx+ および pVx-) を比較した結果を示した。各軸方向の最大値に関する変数(pVv, pVx+ および pVx-) は群間において有意差は認められなかった。1stプル局面および2ndプル局面における平均鉛直速度(mVy_1st, mVy_2nd)については、mVy_1stにのみ有意差が認められ、SN得意群の方がSN不得意よりも有意に小さい値を示した。

図2に、各群における踵接地時間(HCT)および2ndプル開始に対する踵離地のタイミング(heel-off to 2nd pull)を比較した結果を示した。SN得意群およびSN不得意群のHCTはそれぞれ $0.61 \pm 0.05[s]$ および $0.53 \pm 0.07[s]$ であり、SN得意群の方がSN不得意群よりも有意に大きな値を示した。SN得意群およびSN不得意群のheel-off to 2nd pullは、はそれぞれ $-0.12 \pm 0.05[s]$ および $-0.12 \pm 0.04[s]$ であり(負の値は、踵離地が2ndプル開始時点よりも前の時点であったことを示す)、群間において有意差は認められなかった。

3. HCT

Table 2. Mean \pm SD of physical characteristics and lifting performance.

	good at SN (n=24)	NOT good at SN (n=25)	p	d
Category [kg]	60.33 \pm 10.35	66.08 \pm 11.51	0.073	0.525
Body weight [kg] *	58.82 \pm 9.53	65.07 \pm 10.94	0.038	0.609
CJ-SN_diff [kg] **	15.46 \pm 3.39	25.92 \pm 3.32	<0.001	3.121
SN Best [kg] *	76.92 \pm 10.17	83.52 \pm 8.35	0.016	0.710
CJ Best [kg] **	92.38 \pm 12.31	109.44 \pm 9.62	<0.001	1.545
Total [kg] **	169.29 \pm 22.33	192.96 \pm 17.70	<0.001	1.175

**p<0.001. *p<0.05

Table 3. Mean \pm SD of lifting performance that standardized by body weight.

	good at SN (n=24)	NOT good at SN (n=25)	p	d
SN Best /BW [-]	1.32 \pm 0.13	1.30 \pm 0.16	0.747	0.093
CJ Best /BW [-] *	1.58 \pm 0.16	1.71 \pm 0.24	0.030	0.642
Total /BW [-]	2.90 \pm 0.29	3.02 \pm 0.40	0.248	0.336

*p<0.05

Table 4. Mean ± SD of barbell displacement.

	good at SN (n=24)	NOT good at SN (n=25)	p	d
Dy1 [m]	0.94 ± 0.05	0.94 ± 0.06	0.092	0.092
Dy2 [m]	0.76 ± 0.07	0.79 ± 0.06	0.052	0.568
Dy3 [m]*	0.18 ± 0.04	0.15 ± 0.03	0.001	0.963
Dx1 [m]	0.06 ± 0.03	0.06 ± 0.03	0.612	0.146
Dx2 [m]	0.13 ± 0.05	0.13 ± 0.06	0.933	0.024
Dx3 [m]	0.05 ± 0.02	0.05 ± 0.02	0.880	0.043
DxL [m]	0.12 ± 0.03	0.12 ± 0.03	0.488	0.200

*p<0.05

Table 5. Mean ± SD of variables related to barbell kinematics.

	good at SN (n=24)	NOT good at SN (n=25)	p	d
pVy [m/s]	1.78 ± 0.11	1.80 ± 0.11	0.509	0.190
pVx+ [m/s]	0.45 ± 0.15	0.47 ± 0.13	0.607	0.148
pVx- [m/s]	-0.38 ± 0.08	-0.42 ± 0.09	0.173	0.396
mVy_1st [m/s]**	0.45 ± 0.05	0.52 ± 0.06	<0.001	1.179
mVy_2nd [m/s]	1.62 ± 0.12	1.67 ± 0.10	0.095	0.486

**p<0.001

4. 相関分析

図3 (左および中央) に、1st プル局面および2nd プル局面における平均鉛直速度 (mVy_1st、mVy_2nd) とSN ベスト体重比における相関分析の結果を示した。mVy_1st はSN ベストと有意な弱い負の相関関係 ($r=-0.29$) があることが示された。mVy_2nd とSN ベスト間には有意な関係性は認められなかった。また、図3 (右) に、HCT とSN ベスト体重比間における相関分析の結果を示した。両変数間に統計学的に有意な相関関係は認められなかった。

IV. 考察

1. スナッチが得意と定義した選手の特徴

SN 得意群はSN 不得意群と比較して Category (階級) に群間差はなかったが、Body weight (体重) はSN 得意群の方が有意に小さかった。また、SN ベスト、CJ ベストおよび Total もSN 得意群の方が小さかった (表2)。一方で、各種目および Total の体重比においては、CJ ベストの体

重比のみ群間に有意差が認められ、SN 得意群の方がSN 不得意群よりも小さかった (表3)。これらのことから、SN 得意群の方がSN 不得意群よりも競技力が劣ることが示された。また、体重で規格化された場合の挙上重量においても、SN 得意群のSN は特に優れておらず、CJ はSN 不得意群よりも劣ることを示している。本研究におけるSN が得意とは、CJ とSN の挙上重量の差が小さい者と定義し、SN の挙上重量や競技大会におけるSN 種目の順位に基づいた定義ではない。そのため、CJ-SN_diff が小さく、かつCJ の挙上重量が小さい者がSN 得意群に分類された可能性がある。しかし、その場合であっても指導的観点の評価である「CJ の挙上重量が大きい割にはSN が弱い」には当てはまらない選手が、SN が得意と正しく分類されたことには変わりがない。また、本研究の分析対象選手が全日本選手権出場選手であることから、本研究で得られる知見は、SN に課題がある国内トップクラスからやや劣る競技レベルの選手に応用が可能と考える。

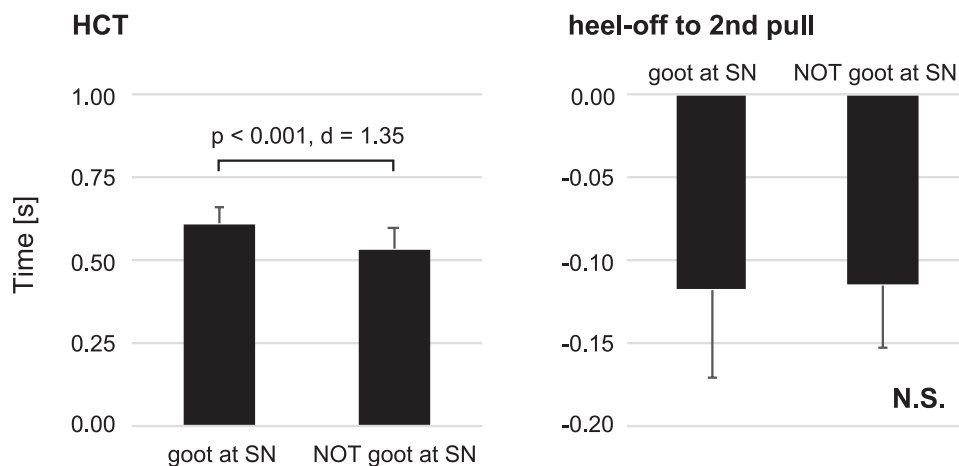


Figure 2. Comparison between groups on HCT and heel-off to 2nd pull.

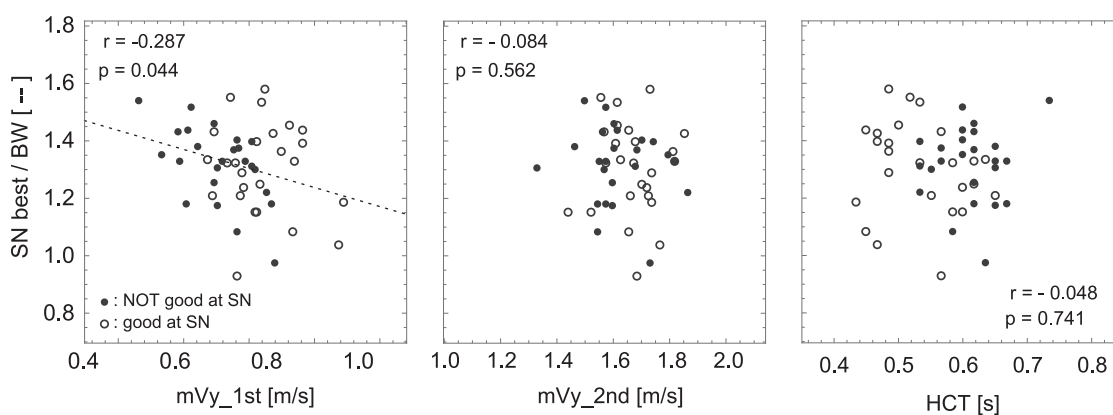


Figure 3. Results of correlation analysis and scatter plots.

2. バーベルの変位量

アジア選手権大会出場を含む台湾男子代表選手を対象とし、SNの挙上重量の体重比に基づいて上位群と下位群のバーベルのキネマティクスを比較した研究では、上位群の方が下位群に比べ、バーベルの後方変位量 (DxL) およびバーベルの挙上高 (Dy1) が小さかったと報告している³⁾。本研究においては、バーベルの変位量に関するキネマティクスの変数では、バーベルの落下距離 (Dy3) にのみ群間に有意差が認められ、SN得意群の方がSN不得意群よりも有意に大きな値を示した。しかし、Dy1やキャッチ時の高さ (Dy2) は群間

で同等であった。また、DxLを含む水平成分の変数についても群間に有意差は認められなかった。これらの結果はSNの挙上重量の体重比による群分けをした先行研究の結果と一致しない。これは、本研究がSNの挙上重量に着目した分析ではなく、SNが得意か不得意かに着目した研究であるためと考えられる。

SNにおけるバーベルの落下距離については、その他にもいくつかの報告があり、報告毎に見解が異なる。バーベルの落下距離が大きい場合は、バーベルの下へ体を移動させるための時間が長くなるため、キャッチに適した姿勢になるには有利

であると論じる報告^{19), 22)}もあれば、バーベルの落下距離が小さい場合は、バーベルの落下時間が短くなり、その結果としてバーベルの鉛直成分の仕事が小さい時点でキャッチできるため効果的なキャッチ技術であると論じる報告¹⁴⁾もある。本研究では選手の身長や形態に関するデータは得られなかったため、身長に対する相対的なバーベルの挙上高は不明であるが、Dy1 および Dy2 は群間で同等である一方で、バーベルの落下距離のみはSN 得意群の方がSN 不得意群よりも大きかった。このことから、SN 得意群は力学的に有利な条件でのキャッチではなかったと考えられる。ウエイトリフティング指導教本²³⁾には、スナッチの受けの姿勢（キャッチポジション）における肩関節および股関節の柔軟性の重要性を指摘し、さらに股関節の柔軟性がバーベルをキャッチするポイントに影響すると述べている。このことから、SN 得意群は長いバーベルの落下時間を活かし、バーベルをキャッチするための適切な姿勢となるための柔軟性を有していた可能性がある。

3. バーベルの速度

SN が得意か不得意に着目した本研究では、1st プル局面におけるバーベルの鉛直平均速度 (mVy_1st) はSN 得意群の方がSN 不得意群よりも有意に小さな値を示した。一方で、バーベルの鉛直最大速度 (pVy) や2nd プル局面におけるバーベルの鉛直平均速度 (mVy_2nd) などの他の速度に関する変数は群間に有意差は認められなかった (表5)。この結果は、本研究の仮説の一つであるSN が得意な選手は1st プル局面におけるバーベルの鉛直速度が低い、を支持する結果である。また、SN が得意な選手はウエイトリフティング指導者の「1st プルで我慢する」や「1st プルを丁寧」 という指導に一致する動作をしていたと考えられる。

SN におけるバーベルの速度に関する変数については、2nd プル局面における最大鉛直速度 (pVy) に着目した研究が多い^{2), 6), 7), 8), 10), 19), 20)}。一方で1st プル局面におけるバーベルの速度に着目した研究

は、男女間で比較した報告⁶⁾や、個人内における1st プル局面と2nd プル局面間で比較した報告¹⁾は見られるが、競技パフォーマンスとの関係性に着目した研究は見られない。本研究の全分析対象選手におけるmVy_1stとSN ベスト体重比の間には、弱い負の相関関係があることが示された (図3)。このことから、ウエイトリフティング国内女子トップクラス選手においては、mVy_1stが小さいほどSNの挙上能力が高いという関係性があることが示唆された。しかし、バーベルに最も大きな力・パワーを作用させるのが2nd プルである。特に女子選手の場合は、バーベルに作用するパワーは2nd プル局面の方が1st プル局面の3倍程度大きいことが報告されている^{1), 6), 9)}。このことから、1st プル局面におけるバーベルの速度は、2nd プル局面に比べるとSNの挙上重量に及ぼす直接的な影響は小さいと考えられる。これらのことから、1st プルにおけるバーベルの速度そのものではなく、それに関連する身体運動が2nd プルに影響し、パフォーマンスにも影響したと考えられる。ウエイトリフティングの部分練習では、専用の台を用いてバーベルの初期位置の高さを2nd プル開始時程度とし、1st プル局面を省いたSNが広く実践されており、この方法によるSNの方が通常のSNよりも挙上重量が増大する選手が多く見受けられる。これは、任意の2nd プルポジションは力・パワー発揮にも有利となるためと考えられる。つまり、1st プルを遅く、丁寧にする事は、任意の2nd プルポジションに至りやすくするために有効な挙上戦略であると考えられる。本研究の結果から1st プル局面におけるバーベルの速度とSNのパフォーマンスとの因果関係やそのメカニズムを示す事は困難であるため、今後の実験室環境におけるバイオメカニクスの分析が期待される。

4. 踵接地時間 (HCT)

SN が得意か不得意かを比較の観点とした本研究の分析では、HCTはSN 得意群の方がSN 不得意群よりも大きな値を示した。また、2nd プル開

始に対する踵離地のタイミング (heel-off to 2nd pull) は群間で同等であった (図2)。このことから、2nd プル開始時点までできるだけ踵接地を保つことではなく、踵接地時間が長いことがSN 得意群の特徴の一つであったと言える。これは、本研究の仮説の一つであった、SN が得意な選手は踵接地時間が長い、を支持する結果である。

SN やCJ、さらには下肢関節の伸展運動が主要な動作である跳躍動作やスクワットおよびデッドリフトなどにおけるHCTに着目した研究は少なく、HCTと下肢関節における力発揮や、リフティング技術との関係は明らかにされていない。Stone et al.²⁰⁾ は、SN において足がフラットな状態を可能な限り保つことで、2nd プル開始時に足圧中心点を後方に移動させ、バーベルの後方への引き込みが可能になると指摘している。しかし、圧力中心点の位置やHCTのデータ、バーベルの後方変位量との統計学的な関係性は示されていない。本研究では、バーベルの後方変位量 (DxL) については群間に差異がなかったことから Stone

et al.²⁰⁾ の報告を全て支持することはできないと考えられる。また、国内のウエイトリフティング指導者の観点から、SN において踵をなるべく長く接地していることが重要であると指摘されていることから²³⁾、HCTはSNの挙上重量と関係性があると推察されたが、全分析対象選手におけるHCTとSNベスト体重比に相関関係は認められなかった (図3)。一方で、HCTはSN得意群の方がSN不得意群よりも有意に大きな値を示したことから (図2)、HCTを長くすることは、SNの挙上重量ではなく挙上技術に影響し、これがSN得意群を特徴付けていたと考えられる。

SN 得意群の挙上技術の特徴を考察するため、図4に各群の代表例の連続写真を示した。図4の左から2番目のバーベルが膝関節を通過する時点においては、上段のSN得意群の方が体幹部の前傾を維持していると見てとれる (1st プルを「我慢」できている状態)。一方で、左から3番目の踵離地以降は、上段のSN得意群の方が体幹部の後傾の度合いが大きいと見てとれる。これらのことか

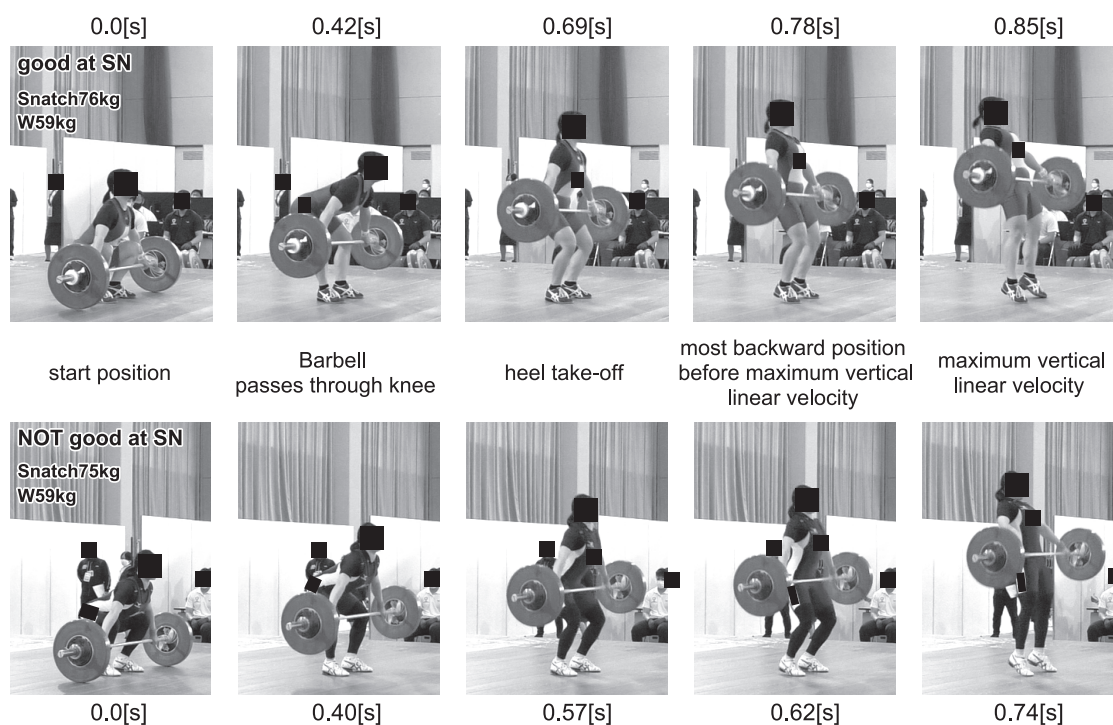


Figure 4. Sequential images of snatch lifts in typical examples of each group.

ら、SN 得意群の方がバーベルが膝関節を通過してから鉛直最大速度に至るまでの間において、股関節の角変位量が大きいと推察される。股関節の運動はSNにおいて、最も大きな関節トルクおよびパワーが発揮される関節であるため^{1), 6), 7), 16)}、バーベルの軌跡やパフォーマンスに影響を与えている可能性がある。将来の研究では、HCT および圧力中心点の振舞いがバーベルの軌跡および競技パフォーマンスに与える影響について実験的に検討することで、指導者による経験的仮説を科学的に検証できると期待される。

V. まとめ

本研究の目的は、ウエイトリフティング指導者の観点に基づき、国内女子トップクラスのウエイトリフティング選手を対象として、SN が得意な者のSN時におけるバーベルのキネマティクスの変数および踵接地時間の特徴を明らかにし、SNのパフォーマンス向上のための知見を得ることであった。2021年度全日本女子ウエイトリフティング選手権大会に出場した選手を対象に、SN ベストとCJ ベストの差が小さい者の上位40[%]をSN 得意群、下位40[%]をSN 不得意群と定義し、それぞれの各変数を比較した。分析の結果、SN が得意な選手の特徴として1) バーベルの落下距離が大きい、2) 踵接地時間が長い、3) 1st プル局面におけるバーベルの鉛直平均速度が低い、の3つが示された。また、1st プル局面におけるバーベルの鉛直平均速度はSN ベストの体重比と負の関係性がある事が示された。以上のことから、SNにおいて踵接地を長く、1st プル局面の動作をゆっくり丁寧にする事が、2nd プル開始時の状態およびパフォーマンスに影響を与えていると推察された。

謝辞

本研究のための競技場における試技の撮影に協力頂いた松田柊斗氏（日本体育大学）と稲谷名鷹氏（早稲田大学）に感謝の意を表する。

文献

- 1) Akkus H. Kinematic analysis of the snatch lift with elite female weightlifters during the 2010 World Weightlifting Championship. *J Strength Cond Res*, 26(4): 897–905, 2012.
- 2) Campos J, Poletaev P, Cuesta A, Pablos C, Carratala V. Kinematic analysis of the snatch in elite male junior weightlifters of different weight categories. *J Strength Cond Res*, 20(4): 845–850, 2006.
- 3) Chiu H, Wang C, Cheng K. The three-dimensional kinematics of barbell during the snatch of Taiwanese weightlifters. *J Strength Cond Res*, 24(6): 1520–1526, 2010.
- 4) Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd Edition, Lawrence Erlbaum Associates, 1988.
- 5) Everett G. *Olympic weightlifting: A complete guide for athletes and coaches*. 3rd Edition, Catalyst Athletics, 2016.
- 6) Gourgoulis V, Aggeloussis N, Antoniou P, Christoforidis C, Mavromatis G, Garas A. Comparative 3-dimensional kinematic analysis of the snatch technique in elite male and female Greek weightlifters. *J Strength Cond Res*, 16(3): 359–366, 2002.
- 7) Gourgoulis V, Aggeloussis N, Kalivas V, Antoniou P, Mavromatis G. Snatch lift kinematics and bar energetics in male adolescent and adult weightlifters. *J Sports Med Phys Fitness*, 44: 126–131, 2004.
- 8) Gourgoulis V, Aggeloussis N, Mavromatis G, Garas A. Three-dimensional kinematic analysis of the snatch of elite Greek weightlifters. *J Sports Sci*, 18(8): 643–652, 2000.
- 9) Harbili E. A gender-based kinematic and kinetic analysis of the snatch lift in elite weightlifters in 69-kg category. *J Sports Sci Med*, 11(1): 162–169, 2012.
- 10) Hoover DL, Carlson KM, Christensen BK,

- Zebas CJ. Biomechanical analysis of women weightlifters during the snatch. *J Strength Cond Res*, 20(3): 627–633, 2006.
- 11) Ikeda Y, Jinji T, Matsubayashi T, Matsuo A, Inagaki E, Takemata T, Kikuta M. Comparison of the Snatch Technique for Female Weightlifters at the 2008 Asian Championships. *J Strength Cond Res*, 26(5): 1281–1295, 2012.
 - 12) 池田祐介, 松尾彰文, 立正伸, 船渡和男, 淵本隆文, 菊田三代治. スナッチ種目における日本人男子選手のバーベルのキネマティクス分析. *Japanese Journal of Elite Sports Support*, 5: 15–31, 2012.
 - 13) International Weightlifting Federation. Results by events XXXII Olympic games. https://iwf.sport/results/results-by-events/?event_id=518 (2022年9月14日)
 - 14) Isaka T, Okada J, Funato K. Kinematic analysis of the barbell during the snatch technique of elite Asian weightlifters. *J Appl Biomech*, 12(4): 508–516, 1996.
 - 15) Kipp K, Harris C. Patterns of barbell acceleration during the snatch in weightlifting competition. *J Sports Sci*, 33(14): 1467–1471, 2015.
 - 16) Lee S, DeRosia KD, Lamie LM. Evaluating the contribution of lower extremity kinetics to whole body power output during the power snatch. *Sports Biomech*, 17(4): 554–556, 2018.
 - 17) Lucas BD, Kanade T. An iterative image registration technique with an application to stereo vision. *Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, pp. 674–679, 1981.
 - 18) Nagao H, Yamashita D. Validation of video analysis of marker-less barbell auto-tracking in weightlifting. *PLoS ONE*, 17(1): e0263224, 2022.
 - 19) Okada J, Iijima K, Fukunaga T, Kikuchi T, Kato K. Kinematic analysis of the snatch technique by Japanese and international female weightlifters at the 2006 junior world championship. *Int J Sport Health Sci*, 6: 194–202, 2008.
 - 20) Stone MH, O’Bryant HS, Williams FE, Johnson RL, Pierce KC. Analysis of bar paths during the snatch in elite male weightlifters. *Strength Cond J*, 20(4): 30–38, 1998.
 - 21) Tomasi C, Kanade T. Shape and motion from image streams: a factorization method—part 3 detection and tracking of point features. *Technical Report CMU-CS: 91-132*, 1991.
 - 22) Wang X. Chinese woman weightlifter snatch excellent biomechanical analysis technology. *Pedagog Psychol Med-biol Probl Phys Train Sports*, 8: 182–185, 2009.
 - 23) ウエイトリフティング指導者育成専門委員会. ウエイトリフティング指導教本. 日本ウエイトリフティング協会, 2015.