

キーワード：パワーリフティング，加速度，ウェアラブルセンサー，加速度測定システム

緒 言

近年，スポーツへの関心の高まりとともにスポーツマウスガードとパフォーマンスとの関連性について興味を持たれている。競技種目の1例として，パワーリフティング競技国際大会において咬合挙上スプリント（硬質素材の口腔内装置）がパフォーマンス向上に好影響を与えたとされる報告がある。しかし，実際にはパワーリフティングのほとんどの選手は口腔内装置を使用しておらず，その理由としてパフォーマンスに変化がないこと等があげられている¹⁾。パワーリフティングはバーベルを肩に担ぎ屈伸を行う「スクワット」，ベンチ台の上に横になりバーベルを胸につけて挙上する「ベンチプレス」，床に置いてあるバーベルを引き上げる「デッドリフト」の3種目で合計挙上重量を競うスポーツである。この競技においてはバーベル挙上時の身体のバランスとバーベル挙上時のパワーが重要と考えられる。咬合挙上スプリント装着により背筋力が大きくなる傾向にあるとの報告²⁾がある。しかし，パワーリフティング競技における，口腔内装置の効果についての詳細なメカニズムは解明されていない。そこで，スポーツマウスガード等の口腔内装置の装着がバーベル挙上時のパフォーマンスにどのような影響を及ぼすのかを検討する必要がある。バーベル挙上の技術とパフォーマンスを評価するためには，定量的な測定が必要とされる。定量的な測定をするためには，3次元モーションキャプチャーを備えた研究施設で動作解析を行うのが最も信頼性が高く正確な方法であるが，その施設の床の構造は一般的にバーベルの落下に耐えられるものとはなっていない。そのため，トレーニングルーム内でバーベル挙上時の動作を測定し，評価するための簡便な動作測定装置を使用することが必要である。バーベル挙上における一般的な測定変数は，バーベル挙上経路，バーベル挙上速度およびパワー値である。バーベル挙上時のパフォーマンスの向上はパワー値の増加として示される。しかし，バーベル挙上時のパワー値の変動を評価していくことは難しく，安全性の問題もあり，一定の重量のバーベルの挙上速度を調べることが適切であると考えられる。先行研究³⁾においてウェイト

トリフティングのスナッチにおける垂直方向のバーベル挙上速度が表示されたが，その解釈に関して十分な考察はなされなかった。バーベル挙上速度は運動分析のための基本的な変数である加速度として測定可能であるが，バーベル挙上時の加速度はあまり報告されていない。バーベル加速度はバーベルを挙上する力と比例すると考えられ，バーベル加速度はパワーリフティングのパフォーマンスを評価するうえで重要な変数である。バーベルを高い位置まで垂直に持ち上げる動作において，経済的なワイヤレス加速度センサーから得られたバーベル加速度は高価な高速度カメラから得られたバーベル加速度と高い相関を示すことが報告された⁴⁾。これにより，パワーリフティングのパフォーマンスを評価するデータ収集は研究施設ではなく，トレーニングルームで行うことができるということが示された。また，携帯用加速度センサーはアスリートのパフォーマンスの評価に有効であることも明らかにされてきた⁵⁾。さらに，ウェイトリフティングにおいて加速度センサーによるバーベル加速度の測定に信頼性があること⁶⁾も報告されている。このようにワイヤレス加速度センサーを使用することによりバーベル加速度を評価することができるので，身体各部位およびバーベルの加速度を加速度センサーで測定する方法の信頼性を確実にしておく必要がある。本邦ではランニング時における加速度データが3次元モーションキャプチャーによるデータと正の相関関係を示す⁷⁾と報告されている加速度/ジャイロセンサー付きメガネ JINS MEME (JINS Inc., Tokyo, Japan) が研究用に販売されている。この加速度/ジャイロセンサー付きメガネによる頭部の加速度を受信するソフトウェアに改良を加え，身体の他の部位やバーベルに貼付した市販の加速度センサーからの加速度データを同時に受信するシステムを構築した。本研究の目的は，パワーリフティングのバーベル挙上時の身体各部位およびバーベルに発生する加速度を測定する加速度測定システムにおける加速度測定について評価することである。

研究方法

日常的にウェイトトレーニングを実施している者

10名（健常男性，年齢：19～67歳（平均30歳））を対象とした。内訳は国体を目指してパワーリフティングを行っているパワーリフター（4名）と昭和大学の運動部に所属している学生（6名）である。被験者はデータ収集時に外傷および障害がない者で，シーズンオフに研究に参加した。

加速度の測定はウェアラブルデバイスである加速度/ジャイロセンサー付きメガネ（図1）と市販の三軸加速度センサー（AP-6X Braveridge Co. Ltd）（図2）を組み合わせを行った。加速度/ジャイロセンサー付きメガネはx, y およびz軸の3軸方向の加速度を計る加速度センサーと角速度（回転する速度）を計測するジャイロセンサーとの組み合わせによる6軸センサーにて頭部における体軸変化の測定が可能である。測定データはBluetooth Low Energy (BLE) によりワイヤレスでコンピュータのソフトウェアに蓄積される。さらに，三軸加速度センサーを腰背部とバーベルの加速度を測定するために使用し，Bluetooth Low Energy により加速度データを頭部の加速度データと同時にコンピュータで受信でき

るようソフトウェアを改変した。加速度センサーのサンプリング・レートは100 Hzであった。重量挙げ動作を捉えるには100 Hzが適当なサンプリング・レートであることが示されている⁴⁾。加速度データは，リアルタイムでコンピュータのディスプレイに示され，内部のメモリーにCSV形式で保存される。三軸加速度センサーは被験者の腰背部（図3）およびバーベルのシャフトのカラーの部分に直接貼り付けた（図4）。加速度/ジャイロセンサー付きメガネと加速度センサーの重さは，それぞれ36 gと2.5 gであり試技時に問題とならなかった。

試技はパワーリフティング競技のうち測定時の被験者の安全性を考慮しデッドリフトとし，試技時に

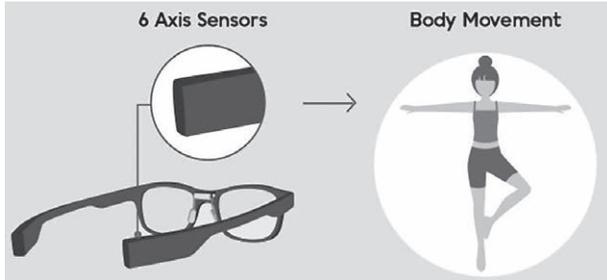


図1 加速度/ジャイロセンサー付きメガネ（JINS Inc., Tokyo, Japan; <https://jins-meme.com>）

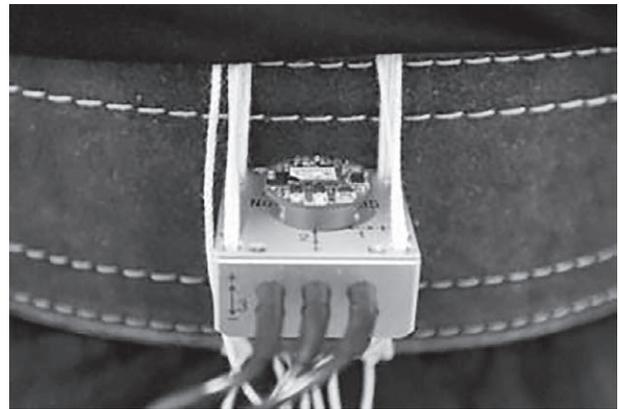


図3 被験者の腰背部に取り付けた三軸加速度センサー



図2 三軸加速度センサー（AP-6X Braveridge Co. Ltd）



図4 加速度センサーを取り付けたバーベルシャフトのカラーの部分に直接貼り付けた（↓）。

おける頭部、腰背部およびバーベルの加速度を測定した。デッドリフトの試技は口腔内装置を使用しない状態で合計3回行い、各加速度センサーの測定データについて検討を行った。バーベルの重量は本人の最大挙上重量（平均値：173.0 kg）の90%（平均値：153.3 kg）で行った。試技にあたり被験者はストレッチとバーベル挙上のウォームアップを行った。

加速度データは x (ACC_X), y (ACC_Y) および z (ACC_Z) 軸の3軸で記録されるが、静止時の加速度が必ずしも 0 m/s^2 となるわけではない。デッドリフトのバーベル加速度の典型的例を図5に示す。全ての被験者においてバーベル挙上開始時に最も速いバーベル加速度が発生することが示された。

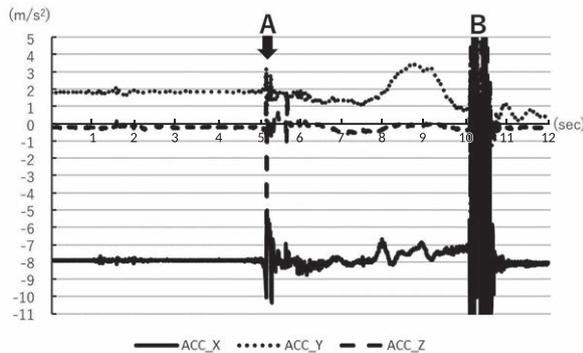


図5 デッドリフトのバーベル加速度の典型的例（生データ）
 加速度データは x (ACC_X), y (ACC_Y) および z (ACC_Z) 軸の3軸で記録される。静止時の加速度が必ずしも 0 m/s^2 となるわけではない。

A：バーベル挙上開始，B：バーベル落下

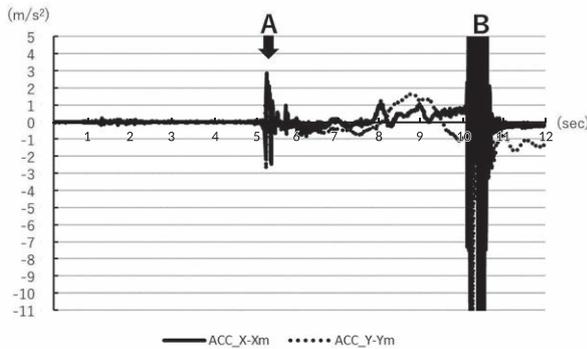


図6 基線補正後のバーベル加速度
 バーベルのシャフト方向が z 軸となるので x および y 軸の加速度成分 (ACC_X, ACC_Y) を対象とする。静止時の安定した2秒間における加速度の平均値 (ACC_Xm, ACC_Ym) を求め、基線を補正した加速度成分 (ACC_X-Xm, ACC_Y-Ym) に変換した。

A：バーベル挙上開始，B：バーベル落下

パワーリフティングにおけるバーベル挙上経路は矢状面において垂直方向だけでなく、S型カーブに近い³⁾。そこで、3軸加速度センサーから得られるバーベルの加速度 (x, y と z 軸成分) を上下および前後方向の合成加速度として分析した。バーベルのシャフト方向が z 軸となるので加速度成分 (ACC_X, ACC_Y) が対象となる。静止時の安定した2秒間における加速度の平均値 (ACC_Xm, ACC_Ym) を求め、基線を補正した加速度成分 (ACC_X-Xm, ACC_Y-Ym) に変換した (図6)。加速度センサーが記録した加速度は波形上において (+) 方向の山ならびに (-) 方向の谷のピークとして表されるので、加速度成分 (ACC_X-Xm, ACC_Y-Ym) を合成加速度 ($\sqrt{(\text{ACC_X-Xm})^2 + (\text{ACC_Y-Ym})^2}$) へ変換し分析対象とした (図7)。最も速い加速度のピークが最大となるので、最大ピークを示す加速度を最大ピーク値と呼ぶことにする。挙上方向 (加速度が (+) で記録される) の最大ピーク値を選択し、バーベルのピーク加速度とした (図7A)。頭部と腰背部については設置した加速度センサーと身体との位置関係から左右方向が x 軸成分となるので、前後および上下方向の加速度 (ACC_Y, ACC_Z) が分析対象となる。バーベルと同様に頭部と腰背部についても合成加速度 ($\sqrt{(\text{ACC_Y-Ym})^2 + (\text{ACC_Z-Zm})^2}$) から両部位のピーク加速度を求めた。

デッドリフトにおけるバーベル挙上3回の試技におけるピーク加速度の差について検討するために、統計解析を行った。検定に先立って各変数 (頭部、

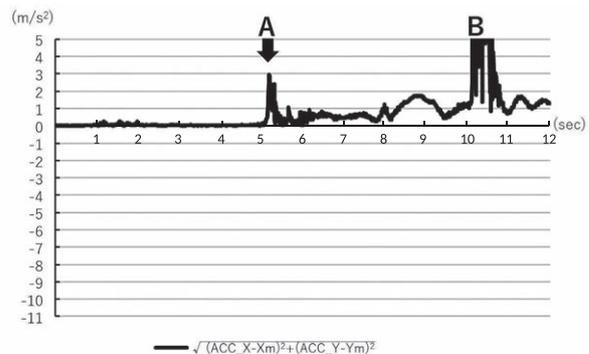


図7 加速度成分 (ACC_X-Xm, ACC_Y-Ym) を変換した合成加速度 ($\sqrt{(\text{ACC_X-Xm})^2 + (\text{ACC_Y-Ym})^2}$)
 最も速い加速度のピークが最大となるので、最大ピークを示す加速度を最大ピーク値と呼ぶ。挙上方向の最大ピーク値を選択し、バーベルのピーク加速度とした (A)。

A：バーベル挙上開始，B：バーベル落下

腰背部およびバーベルそれぞれにおける 10 名の被験者のピーク加速度) が正規分布に従うかを Shapiro-Wilk 検定で確認し, その結果に基づき, 頭部のピーク加速度については反復測定による分散分析を, 腰背部およびバーベルのピーク加速度についてはフリードマン検定を行った. 有意水準は 5% とした. 統計解析には JMP Pro13 (SAS Institute Japan Inc., Tokyo, Japan) を用いた.

なお, 本研究は, 昭和大学歯学部における人を対象とする研究等に関する倫理委員会の承認 (承認番号: 2016-009 号) を得て行った.

結 果

デッドリフト試技時における身体各部位とバーベルにおけるピーク加速度を表 1 に示す. 頭部におけるピーク加速度の 1 回目の平均値は 7.411 m/s², 2 回目は 7.334 m/s², 3 回目は 6.813 m/s² であった. 反復測定による分散分析の結果, 統計学的有意差は認められなかった (p=0.941). 腰背部におけるピーク加速度の 1 回目の平均値は 2.352 m/s², 2 回目は 2.488 m/s², 3 回目は 2.233 m/s² であった. フリードマン検定の結果, 統計学的に有意な差は認められなかった (p=0.074). バーベルにおけるピーク加速度の 1 回目の平均値は 2.186 m/s², 2 回目は 2.043 m/s², 3 回目は 1.629 m/s² であった. フリードマン検定の結果, 統計学的有意差は認められなかった (p=0.371).

考 察

本研究の目的は, パワーリフティングのバーベル

挙上時の身体各部位およびバーベルに発生する加速度を測定する加速度測定システムを構築し, その測定データを評価することである.

先行研究において, パフォーマンスの評価にピークパワー値を測定することの重要性が述べられている⁵⁾. しかし, パワーリフティングにおいてバーベルの重量を増加させていく研究デザインでは試技中の安全性に問題があると考えられた. そこで, パワー値と比例している加速度に注目し, ピーク加速度を測定することができる加速度センサーを用いた測定方法を採用することとした. 本研究のようにバーベルの重さを最大挙上重量の 90% に制限し, バーベル挙上時の加速度をパフォーマンスの指標として用いることは, 安全で容易に測定できるという利点がある. 加速度センサーにより測定されるバーベル加速度データについては, 同じサンプリング・レート (100 Hz) の高速度カメラによるバーベル加速度データと高い相関を示していた⁴⁾ という報告がある. しかし, バーベルのみの解析で身体各部位の加速度については検証されなかった. 本研究ではバーベル以外の腰背部にもワイヤレス加速度センサーを使用し, 頭部の加速度 / ジャイロセンサー付きメガネの加速度と同時記録する加速度測定システムを構築することにより身体を含めた動作解析に対処した. その結果, 各被験者の最大挙上重量の 90% のバーベル挙上時に測定された 3 部位 (頭部, 腰背部およびバーベル) におけるピーク加速度は, 3 回の試技で統計学的な有意差を認めず, 一定の傾向は示されなかった. このことから, 繰り返しのデータ測定において測定誤差に注意を払う必要があ

表 1 デッドリフト試技時における身体各部位とバーベルにおけるピーク加速度 (n=10)

部位	回数	中央値 (m/s ²)	最小値 (m/s ²)	最大値 (m/s ²)	平均±SD (m/s ²)
頭部	1	8.385	1.601	12.570	7.411±4.235
	2	8.416	1.825	12.329	7.334±4.359
	3	7.371	1.817	12.014	6.813±3.882
腰背部	1	2.121	1.703	3.426	2.352±0.565
	2	2.236	1.527	4.560	2.488±0.895
	3	1.977	1.565	3.868	2.233±0.702
バーベル	1	1.897	0.963	5.342	2.186±1.266
	2	1.873	0.950	3.220	2.043±0.781
	3	1.635	1.048	2.170	1.629±0.308

るが、加速度センサーを用いた加速度測定システムはトレーニングルームのような環境で間接的にパフォーマンスを測定することができると考えられる。本研究の限界は被験者数が少ないこと、被験者のパワーリフティングに対する経験年数が異なることおよび競技種目がデッドリフトの1種類であることである。しかし、この加速度測定システムは、今後、パワーリフティングにおける口腔内装置（スポーツマウスガード）を始めとするさまざまな介入による動作解析に役立つと考えられる。

結 語

複数の加速度センサーを使用した加速度測定システムを構築することができ、10名の被験者におけるデッドリフトの3回の試技におけるピーク加速度に一定の傾向は示されなかった。

研究資金

本研究は昭和大学スポーツ運動科学研究所研究助成金（2016年度）の助成により行った。

利益相反

本研究に関し開示すべき利益相反はない。

文 献

- 1) 下里武巳, 江種敦男, 竹内正敏. パワーリフティング選手のオーラルアプライアンスに関するアンケート調査. *スポーツ歯*. 2014;17:76-81.
- 2) 月村直樹. 顎口腔系の状態と全身状態との関連に関する研究 垂直的顎間関係位の変化が背筋力に及ぼす影響. *日補綴歯会誌*. 1992;36:705-719.
- 3) Gourgoulis V, Aggeloussis N, Antoniou P, *et al.* Comparative 3-dimensional kinematic analysis of the snatch technique in elite male and female greek weightlifters. *J Strength Cond Res*. 2002;16:359-366.
- 4) Sato K, Smith SL, Sands WA. Validation of accelerometer for measuring sport performance. *J Strength Cond Res*. 2009;23:341-347.
- 5) Casatelli N, Muller R, Maffioletti NA. Validity and reliability of the Myotest accelerometric system for the assessment of vertical jump height. *J Strength Cond Res*. 2010;24:3186-3193.
- 6) Sato K, Sands WA, Stone MH. The reliability of accelerometry to measure weightlifting performance. *Sports Biomech*. 2012;11:524-531.
- 7) 木畑実麻, 橋本健史, 勝川史憲. 加速度計を内蔵したメガネ型ウェアラブルセンサーとモーションキャプチャーによるデータとの相関性について ランニングフォーム異常の早期発見に向けて. *日臨スポーツ医会誌*. 2018;26:423-430.

THE ACCELERATION MEASURING SYSTEM FOR PERFORMANCE EVALUATIONS IN POWERLIFTING

Masahiko FUNATO^{1,2)}, Mitsugu HACHISU^{1,3)}, Hiroataka OCHIAI^{1,4)},
Shugo HAGA^{1,5)}, Masayuki OHBAYASHI^{1,3)}, Yuji UEMA⁶⁾
and Takeyuki SAMBE¹⁾

¹⁾ Showa University Research Institute for Sport and Exercise Sciences

²⁾ Department of Special Needs Dentistry, Division of Temporomandibular Disorders and Orofacial Pain, Showa University School of Dentistry

³⁾ Department of Clinical Pharmacy, Division of Pharmacotherapeutics, Showa University School of Pharmacy

⁴⁾ Department of Hygiene, Public Health and Preventive Medicine, Showa University School of Medicine

⁵⁾ Department of Orthodontics, Showa University School of Dentistry

⁶⁾ JINS Incorporated Company

Abstract — When powerlifters use an oral appliance, their performance may be improved in the international powerlifting competition. The detailed mechanism of the effect of the oral appliance was not clarified. It is necessary to examine the effect on the performance of the barbell movement during powerlifting with an oral appliance. The data from the three-dimensional motion capture system were effective considering reliability and accuracy. However, the measurements of the barbell movement during powerlifting were difficult at the research institute using 3D motion capture, as the heavy barbell was able to go down onto floor. It was important to easily measure the barbell movement in the training room. We used a commercially available accelerometer together with a commercially available eyewear with a three-axis accelerometer, and built an acceleration measuring system which measures physical and barbell acceleration at the same time. The purpose of this study was to evaluate the acceleration measuring system when we measure the physical and barbell acceleration during the deadlift. Accelerometer values were obtained from 10 volunteers (healthy males) performing 3 trials each of a barbell deadlift. The wireless accelerometers were attached to the waist back and the left side of the barbell to measure peak acceleration during the deadlift. The data were analyzed using repeated measures analysis of variance for the head and Friedman test for the waist back and the barbell. There were no statistically significant differences in the peak accelerations (head: $p=0.941$, waist back: $p=0.074$ and barbell: $p=0.371$) among the 3 lifting trials. This acceleration measuring system using multiple acceleration sensors can be a valuable tool to measure the peak acceleration during the deadlift.

Key words: powerlifting, acceleration, wearable sensor, acceleration measuring system

[受付 : 12 月 13 日, 2018, 受理 : 1 月 23 日, 2019]