

琉球大学学術リポジトリ

3軸加速度センサを用いたジャンプパフォーマンスの計測と有用性：デジタル垂直跳び測定器との比較

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学教育学部 公開日: 2015-09-07 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 砂川, カ也 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/31877

3軸加速度センサを用いたジャンプパフォーマンスの計測と有用性 —デジタル垂直跳び測定器との比較—

砂川 力也

Measurement of Jump Performance Using 3D Accelerometer and Usability —Comparison with digital vertical jump measuring instrument—

Rikiya SUNAKAWA

琉球大学教育学部 保健体育講座

要約

本研究は、デジタル垂直跳び計と3軸加速度センサを用いて跳躍運動（CMJおよびSQJ）を測定し比較することで、ジャンプパフォーマンス評価の有用性について検証することを目的とした。被験者は健康な大学生男子10名を対象とし、カウンタームーブメントジャンプ（CMJ）およびスクワットジャンプ（SQJ）を任意の強度でそれぞれ10回ずつ行った。その結果、デジタル垂直跳び計と3軸加速度センサで記録された跳躍高の間には非常に強い相関関係（ $p < 0.01$ ）が認められた。さらにSQJにおいて跳躍高とパワー、力、速度との間に中程度～強い相関関係（ $p < 0.01$ ）が認められたことから、フィールドテストにおいて跳躍高より脚の機能（パワー、力、速度）を評価できる可能性が示唆された。

1. 緒言

運動・スポーツに関連する体力要因やその動作を分析することは、個人の能力や技能を評価する上で非常に重要なファクターである。近年、体力や動作の計測に利用可能な測定装置の進歩は目覚ましく、多種多様なフィールドにおいて少ない労力で測定が行えるようになってきた。特にセンサを用いた計測は、研究分野での利用にとどまらず、センサの小型化、軽量化といった背景から最近では、スマートフォン、家庭用ゲーム機にも内蔵されており制御装置としての役割以外に、動作認識の評価にも利用されている¹⁸⁾。

このような測定装置を利用した研究は様々な場面で行われており、北村ら¹⁵⁾は、3軸加速度センサを用いて身体活動量を計測し、IPQA日本語版の信頼性、妥当性を検証している。また、3ヶ月間の毎日の日常活動量と対象者の体重減少の関係について加速度計を用いた研究¹³⁾も行われて

いる。さらに、運動・スポーツの関連動作については、フォースプレートおよび加速度計で算出されたパワー値の比較からデータの妥当性や信頼性が示されている^{6) 9) 10) 11) 12)}。

体力要因のひとつに脚筋力があるが、これらはスポーツ動作に重要な意味をもたらす機能であり、幅広い年代において多様な動きを司る基礎として指導者等から注目されている^{14) 20)}。スポーツ選手を対象にしばしば利用される等速性筋力計を用いた膝関節の屈曲・伸展筋力は体をシートに固定し、股関節および足関節の動作を制限し単関節運動として扱われる。これらの測定は、データの精度を確保するために動作や実験手順を厳密に決定する上で不可欠といえる。しかし、実際のスポーツ動作では多関節運動によって筋力を発揮することがほとんどであり、精度の高いデータであっても競技性を発揮しづらい可能性も否定できない。さらに、多関節運動の等速性脚伸展筋力（レッグパワー）においても同様に上半身を固

定し下肢三関節（股関節，膝関節，足関節）を同時に伸展させる方法である。この動きはスポーツ動作との類似性が高いともいえるが，足底面のプレートを前方へ押し出す動作であり実際の競技では，身体そのものを鉛直方向あるいは水平方向へ移動させる能力が問われる。

一方，各スポーツに類似した能力や機能を測定する方法としてフィールドテストが挙げられる。これらは，一般的な体力を測定する「新体力テスト」¹⁷⁾をはじめ専門的な体力を考慮して測定項目が決められている。先述した筋力測定器などを用いるラボテストと比較した場合，簡易的，経済的に実施できることが最大の特徴といえる。その反面，測定者の熟達度によってはデータのばらつきが予想され測定の精度が劣ることが問題点として挙げられる。このようにどちらの測定方法であってもメリット，デメリットはあるが，競技特性の把握，トレーニング効果の検証のためにも測定結果の精度は一定基準確保される必要がある。

跳躍動作による脚の筋力発揮の測定で代表的なカウンタームーブメントジャンプ（以下 CMJ）はその跳躍高が評価値となる。フィールドテストとしては，壁に添って跳躍し，指先までの跳躍高を測る方法。専用の測定器を腰に巻き跳躍した際に出た糸の長さを跳躍高として測る方法がある。そして，3 軸加速度センサを用いた場合，跳躍高に加え接地時間，滞空時間，パワー，筋力，速度，ジャンプ指数などデータの情報が豊富になり，評価の充実につながると考える。さらに，跳躍運動において反動動作の影響を考慮し検討することも重要である。つまり短縮性収縮局面の評価であるスクワットジャンプ（以下 SQJ）を測定し比較検討することで，より精度の高いデータが得られることが予測されるため本研究のテスト課題に加えた。

本研究は，CMJ および SQJ を実施し，3 軸加速度センサにより算出された測定結果と体力テスト等で一般的に用いられるデジタル垂直跳び測定器のデータを比較し，跳躍高から脚の筋機能を推定するための回帰式を求めるとその有用性について検証することを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は健康な大学生男子 10 名を対象とした。身体的特性は，年齢：21.5 ± 1.6 歳，身長：169.5 ± 3.8cm，体重：66.8 ± 4.7kg，BMI：23.3 ± 2.0 であった。本研究において被験者には事前に研究の目的，方法，危険性を口頭および文書にて十分に説明し，実験への参加の同意を得た上で実施した。

2.2 測定方法

測定は，同一の被験者が 2 種目の跳躍を任意の強度（主観的努力度 60% ~ 100%）でそれぞれ 10 試技行った。記録された数値はすべて分析対象とした。また，疲労の影響を避けるため試技間は十分な休息を設け，種目間の跳躍には少なくとも 2 日以上の間隔を設けた。跳躍動作はいずれも上肢の動作を制限するために腰に手を当てて行うように指示した。動作の規定として，CMJ は一度，反動（直立姿勢からしゃがみ込む動作）をつけて跳躍する方法で実施し，しゃがみ込む深さと速さは任意とした。SQJ は膝関節が 90° になる姿勢から反動を使わずに跳躍する方法と定義した（図 1）。跳躍高は，デジタル垂直跳び測定器（竹井機器工業株式会社製 JUMP-MD）および 3 軸加速度センサ（スイス myotest 社製 myotest）を用いて測定し，前者は 1cm 単位，後者は 0.1cm 単位で記録した。また，パワー（W/kg），力（N/kg），速度（cm/sec）については 3 軸加速度センサにて算出された値を採用した。測定機器の装着は図 2 で示したように腰にベルトを巻き，3 軸加速度センサは左腰部に設置した。

2.3 統計処理

各測定値は，平均値 ± 標準偏差で示した。ジャンプテストの各種目間および計測機器の違いの差については対応のある t 検定を行った。デジタル垂直跳び測定器と 3 軸加速度センサで測定された跳躍高およびパワー，筋力，速度の関係については Pearson の相関係数を求めいずれも有意水準を 5% 未満とした。

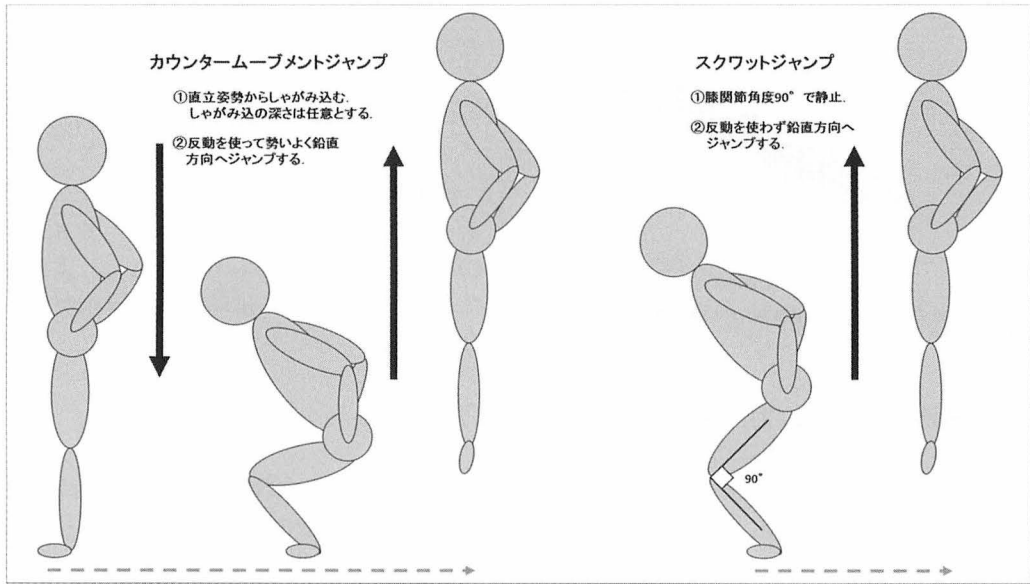


図1. CMJおよびSQJにおける跳躍動作規定



図2. 跳躍測定機器の設置

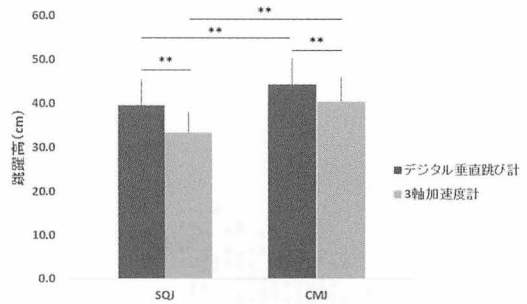


図3. SQJおよびCMJにおけるデジタル垂直跳び計と3軸加速度計で記録された跳躍高の比較 **: p<0.01

3. 結果

3.1 SQJおよびCMJの跳躍高

デジタル垂直跳び計および3軸加速度センサにて記録された跳躍高を図3に示した。デジタル垂直跳び計のSQJの高さは 39.6 ± 6.0 cm, CMJは 44.4 ± 5.9 cmであった。3軸加速度センサにて算出されたSQJの高さは 33.5 ± 4.6 cm, CMJは 40.5 ± 5.5 cmであり、両方の測定機器においてSQJとCMJの間に有意差が認められた($p < 0.01$)。さらに、SQJ, CMJの跳躍高を測定機器別で比較したところ有意差 ($p < 0.01$) が認められ、3軸加速度センサよりデジタル垂直跳び計の値が高

値を示した。その平均値の差はそれぞれ6.1cm, 4.0cm という結果であった。

3.2 デジタル垂直跳び計と3軸加速度センサで記録された跳躍高の関係

図4は、SQJとCMJの跳躍高をデジタル垂直跳び計および3軸加速度センサを用いて同時に計測し、データをプロットしたものである。SQJ ($r=0.937$, $p < 0.01$), CMJ ($r=0.924$, $p < 0.01$) のいずれも非常に強い有意な正の相関関係が認められた。

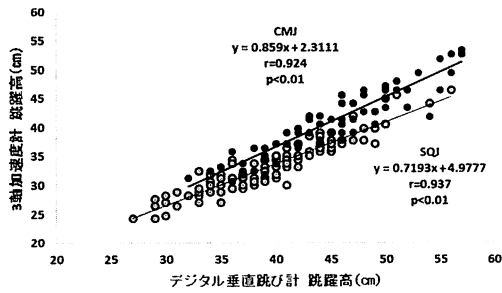


図4. SQJおよびCMJにおけるデジタル垂直跳び計と3軸加速度計で記録された跳躍高の関係

SQJにおけるパワーの算出には以下の回帰式が求められた。

$$[\text{パワー} = 0.8388 \times \text{SQJ 跳躍高} + 13.773]$$

跳躍高と力関係についてSQJでは、中程度の正の相関関係 ($r=0.515$, $p<0.01$) を示したが、CMJにおいては認められなかった。よってSQJにおける力の算出には以下の回帰式が求められた。

$$[\text{力} = 0.1598 \times \text{SQJ 跳躍高} + 17.135]$$

跳躍高と速度の関係について見てみると、SQJでは、強い正の相関関係 ($r=0.731$, $p<0.01$) が認められたが、CMJでは認められなかった。よってSQJにおける速度の算出には以下の回帰式が求められた。

$$[\text{速度} = 3.2405 \times \text{SQJ 跳躍高} + 127.21]$$

3. 3 跳躍高とパワー、力、速度の関係

両測定機器で計測された跳躍高との間に非常に強い相関関係が認められたことから、デジタル垂直跳び計で記録されたSQJおよびCMJの跳躍高と3軸加速度センサで算出されたパワー、力、速度との関係についてそれぞれ図5, 6, 7に示した。

跳躍高とパワーの関係についてSQJでは、強い正の相関関係 ($r=0.765$, $p<0.01$) を示したが、CMJにおいては、認められなかった。よって

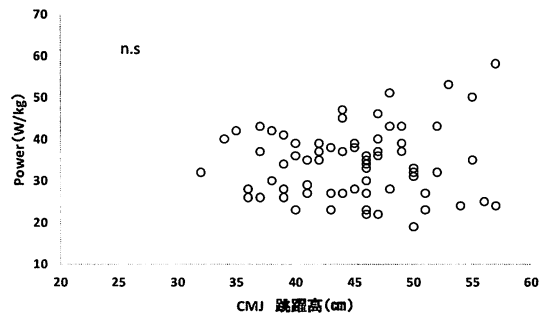
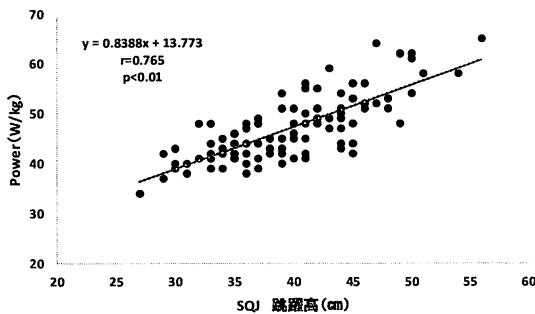


図5. デジタル垂直跳び計を用いたSQJおよびCMJの跳躍高と3軸加速度計で算出されたPowerとの関係

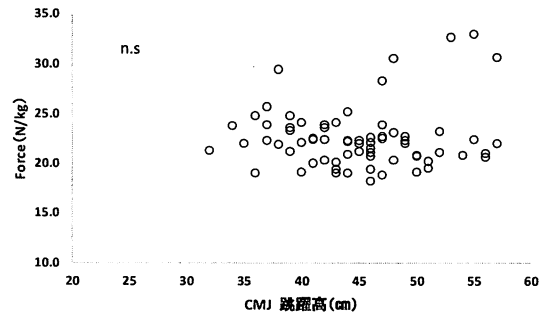
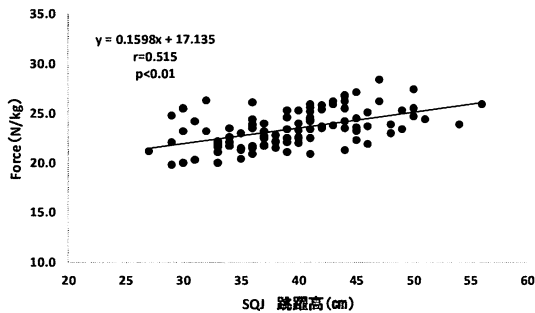


図6. デジタル垂直跳び計を用いたSQJおよびCMJの跳躍高と3軸加速度計で算出されたForceとの関係

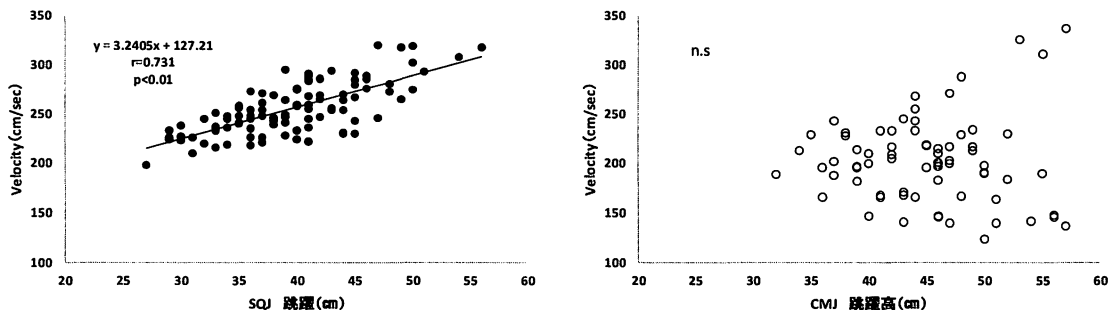


図7. デジタル垂直跳び計を用いたSQJおよびCMJの跳躍高と3軸加速度計で算出されたVelocityとの関係

4. 考察

本研究は、フィールドテストにおける脚筋力評価の代表的な項目としてCMJとSQJの跳躍高を測定し、3軸加速度センサより算出されたパワー、力、速度との関係を明らかにすることでフィールドでのテスト課題としての有用性を検討した。それぞれの測定機器で記録されたCMJおよびSQJの跳躍高に有意差が認められた。また、同じ跳躍動作による測定機器の違いの差に有意差が認められた。これまでの垂直跳び関連の先行研究では、事前に膝関節を屈曲した状態から跳躍するよりも、直立姿勢から一度、膝関節を屈曲した後、すぐさま膝を伸展させて跳躍する方が大きなパワー発揮が可能であり、より高く跳び上がることが出来るとの報告がある²⁾⁴⁾⁷⁾。このような現象は跳躍運動において反動動作を用いた方が伸張性収縮中に筋に蓄積された弾性エネルギーが再利用されるものと考えられている²⁾⁷⁾。このことは、反動動作の影響が跳躍高に反映されたことを意味しており、今回の実験でもその現象が確認された。つまり、同条件下においていずれの測定機器を使用した場合でも十分にデータの妥当性が得られたと考えられる。逆に同じ跳躍動作であっても測定機器の計測原理が異なるとデータに差が生じてしまうため使用する機器の選択には十分配慮する必要性が示唆された。本実験で使用したデジタル垂直跳び計は計測器より伸びた糸の距離を跳躍高として採用しており、3軸加速度センサでは滞空時間をもとに算出される。CMJ、SQJの跳躍高に5cm程度の差が生じたのは、これらの影響によるものと考えられる。

デジタル垂直跳び計および3軸加速度センサでの跳躍高を比較するといずれの跳躍動作においても1%水準で非常に強い相関が認められた。Casartelliら⁶⁾は、本研究と同型の3軸加速度センサ(Myotest)を用いて垂直跳びを実施しフォースプレート上で算出されたデータと比較することで信頼性および妥当性を示唆している。また男子学生10名を対象にCMJを行わせ、3軸加速度センサで評価されたパワー、力、速度について検証した研究では、高い信頼性($\alpha = 0.86$)が得られ、コーチや選手にとって有用性がある¹⁹⁾との報告もある。よって、本実験で得られたデータの信頼性は十分に確認することが出来た。また、本研究の被験者はCMJ、SQJをそれぞれ主観的努力度60%～100%の間で跳躍を行っており、その跳躍高は、20cm台～50cm台と幅広いスケールであった。これらは、跳躍能力の優劣、男女比較、年代別におけるパワー等の数値をフィールドレベルで評価することが可能であることを意味するものである。

両測定機器で記録された跳躍高の間には非常に強い相関が認められたことから、デジタル垂直跳び計の跳躍高と3軸加速度センサで算出されたパワー、力、速度との関係を見ると、SQJのみすべての項目で中程度～強い相関が認められた。このことは、反動を利用しない跳躍動作においてはその高さがパワー、力、速度に依存するものと考えられ、本研究より得られた回帰式により跳躍高からこれらの数値を算出することが可能であることが示唆された。相澤ら¹⁾は、股関節屈曲・伸展筋力とジャンプ能力の関連性を検討しており、屈曲筋力と垂直跳びの間に有意な相関関係が認めら

れ、角速度が速くなるにつれてその傾向は強くなったと報告している。また、ジャンプ能力と疾走能力との間に関連性が認められていることから³⁾⁵⁾⁸⁾、跳躍高から脚の機能的な発達を評価することは指導者および競技者にとって有効であるといえる。一方でCMJの跳躍高との間にはすべての項目で関係性が認められなかった。今回使用した加速度計は、伸張性収縮局面と短縮性収縮局面の両方を合成し算出している。つまり跳躍動作の跳び上がる速度に加えしゃがみ込む動作も含まれることになる。栗原ら¹⁶⁾の研究によるとCMJにおける反動動作を速くすると、上昇局面における床反力パワーが増大し、跳躍速度が大きくなることが認められ、反動動作の速さが運動効果に影響すると示唆している。本実験におけるCMJでは、しゃがみ込む深さや速さは任意としており、被験者によってそのばらつきが大きかったため今回のような結果に表れたと推測される。今後は、CMJにおけるしゃがみ込む深さや速さを検討する必要がある。

5. まとめ

本研究は、フィールドテストで利用されるデジタル垂直跳び計とパワー等の評価が可能である3軸加速度センサを用いて跳躍高の測定を行い、その妥当性について検証し、フィールドテストにおける有用性について検討した。得られた結果は以下の通りである。

- 1) デジタル垂直跳び計と3軸加速度センサの跳躍高には非常に強い相関関係が認められた。このことから、デジタル垂直跳び計での測定には跳躍能力の評価の妥当性が示唆された。
- 2) SQJにおいて、跳躍高とパワー、力、速度との間に1%水準で中程度～強い相関関係が認められ、回帰式が得られた。このことから、デジタル垂直跳び計で記録された跳躍高から脚の機能を評価できる可能性が示唆された。
- 3) CMJにおいて跳躍高とパワー、力、速度との間には関連性が認められなかった。これらは、反動動作における「しゃがみ込む深さや速さ」が関与していることが推察され、3軸加速度センサにおいてパワー等を評価する際は、下降局面の影響を考慮する必要があるといえる。

以上のことから、フィールドテストにおいてSQJ跳躍高の計測によりジャンプパフォーマンスの指標であるパワー、力、速度を推定することが可能であり、テスト課題として有用性はあると考えられるが、CMJをテスト課題とする場合には、反動動作の制限を設ける必要性が示唆された。

参考文献

- 1) 相澤高治, 松田雅弘: 股関節屈曲・伸展筋力とジャンプ能力テストの関係性の検討. 理学療法科学 25(6): 889-892, 2010.
- 2) Asmussen E, Bonde-Petersen F: Storage of elastic energy in skeletal muscles in men. *Acta Physiol Scand* 91: 385-392, 1974.
- 3) Bosco C, Luhtanen P, Komi P.V: A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol* 50: 273-282, 1983.
- 4) Bosco C, Viitasalo J.T, Komi P.V, Luhtanen P: Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta Physiol Scand* 114: 557-565, 1982.
- 5) Bret C, Rahmani A, Dufour A.B, Messonnier L, Lacour JR: Leg strength and stiffness as ability factors in 100m sprint running. *J Sports Med Phys Fitness* 42: 274-281, 2002.
- 6) Casartelli N, Müller R, Maffiuletti NA: Validity and Reliability of the Myotest Accelerometric System for the Assessment of Vertical Jump Height. *J Strength Cond Res* 24(11): 3186-3193, 2010.
- 7) Cavagna G.A, Komarek L, Cittorio G, Margaria R: Power output of the previously stretched muscle. *Biomechanics II* kager and Basel: 157-167, 1971.
- 8) Chelly S.M, Denis C: Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports*

- Exerc 33 : 326-333, 2001.
- 9) Choukou M.A, Laffaye G, Taiar R : Reliability and validity of an accelerometer system for assessing vertical jumping performance. *Biol Sport* 31(1) : 55-62, 2014.
- 10) Comstock B.A, Solomon-Hill G, Flanagan S.D, Earp J.E, Luk H.Y, Dobbins K.A, Dunn-Lewis C, Fragala M.S, Ho J.Y, Hatfield D.L, Vingren J.L, Denegar C.R, Volek J.S, Kupchak B.R, Maresh C.M, Kraemer WJ : Validity of the Myotest® in measuring force and power production in the squat and bench press. *J Strength Cond Res* 25(8) : 2293-2297, 2011.
- 11) Crewther B.T, Kilduff L.P, Cunningham D.J, Cook C, Owen N, Yang G.Z : Validating two systems for estimating force and power. *Int J sports Med* 32(4) : 254-258, 2011.
- 12) Gomez-Piriz P.T, Sanchez E.T, Manrique D.C, Gonzalez E.P : Reliability and comparability of the accelerometer and the linear position measuring device in resistance training. *J Strength Cond Res* 27(6) : 1664-1670, 2013.
- 13) 原丈貴, 松村吉浩, 山本松樹, 北堂正晴, 中尾泰史, 中雄勇人, 鈴木崇士, 吉川貴仁, 藤本繁夫 : 3軸加速度センサを用いて評価した日常生活の活動強度と体重減少の関連性. *体力科学* 55(4) : 385-391, 2006.
- 14) 加藤卓郎, 星本正姫, 河合祥雄 : 中高齢者における筋力および柔軟性トレーニングが筋力および関節可動域に及ぼす影響. *順天堂大学スポーツ健康科学研究* 7 : 12-23, 2003.
- 15) 北村菜月, 佐藤拓, 川越厚良, 佐竹将広, 塩谷隆信 : 若年健常者の日常生活における身体活動量の評価—IPQA日本語版の信頼性・妥当性の3軸加速度センサを用いた検討—. *理学療法科学* 25(5) : 767-771, 2010.
- 16) 栗原崇志, 黒田英三, 生田香明 : 垂直跳における反動動作の速さの効果. *バイオメカニズム学会誌* 9(1) : 31-37, 1985.
- 17) 文部科学省 : 新体力テスト実施要項. http://www.mext.go.jp/a_menu/sports/stamina/03040901.htm 2014.11 現在
- 18) 村尾和哉, 寺田努 : 加速度センサの定常性判定による動作認識手法. *情報処理学会論文誌* 52(6) : 1968-1979, 2011.
- 19) Sasa Bubanj, Ratko Stankovic, Radoslav Bubanj, Ivana Bojic1, Boris Dindic, Aleksandar Dimic : Reliability of myotest tested by a countermovement jump *Acta Kinesiologica* 4(2):46-48, 2010.
- 20) 八木規夫, 並木洋子, 水谷四郎, 小林寛道 : 幼児の動的脚筋力と疾走能力. *三重大学教育学部研究紀要* 42 : 105-118, 1991.