

走，跳，投動作のグレーディング能力に関する研究

A study on grading ability in sprinting, jumping, and throwing.

伊藤 浩志 (筑波大学体育研究科)

村木 征人 (筑波大学)

Koji Ito*

Yukito Muraki*

Abstract

The purpose of this study was to investigate the grading ability of the performance control in sprinting, jumping and throwing as focusing on the correspondence of objective performance to variable subjective efforts, the influential factors to the grading and the specific differences among those movements.

The results were summarized as follows:

- (1) There was a significant and similar linear relationship between the subjective effort and the objective performance in each movement.
- (2) The objective performance generated to each effort were significantly greater than the level of corresponded subjective effort in each movement.
- (3) Significantly influential factors were the step length at lower speed and the step frequency at higher speed in sprinting, both of the maximal joint angle and the angular extension velocity of the knee and the hip joint in jumping and forward horizontal displacement of the center of gravity in throwing, respectively.
- (4) In terms of the accuracy to correspond with the level of effort (a) and with the variable rate to change the effort (b), the grading abilities of (a) and (b) were common to jumping and throwing, and to running and jumping, respectively.

I. 研究の目的

人は未知である新しい運動を身に付けようとするとき、一般的に良いとされる動作を模倣しながら、その試行の中でうまくいったときの感じを手がかりに修正を繰り返して習熟していく。我々は運動場面において、そうした運動経験を基にした「運動感覚」によって必要な出力をコントロールしていると考えられる。

目的に合わせ身体諸機能を調節する随意的能力はスキルと呼ばれる。大築¹¹⁾は、スキルを「状況把握能力、正確さ、素早さ、持続性」の4要素に大別している。さらに、運動制御の出力面に関する能力は「正確さ」であり、そこには「体肢のポジショニング能力、タイミング能力、出力のリプロダクション能力、出力のグレーディング能力」が含まれるとしている。これらの中で目的に合わせ発揮する力を調節する能力はグレーディング能力であり、出力のコントロールには重要な役割を果たすものと考えられる。

身体の機能的、形態的な変化を目的とするトレーニングの場面では、トレーニング負荷の強度的側面の管理が主観的な努力度合に基づいて行われることがある。陸上競技のスプリント系種目では、トレーニングにおいて個人の主観的な努力度により強度が決定される場面がしばしば存在する。こうしたことから主観的な感覚によってグレーディングされた出力とパフォーマンスの客観的計測値との対応関係を知ることは、先に挙げた運動の習熟に対する動きの調節を考え合わせても、動きを自身の感覚により管理する上で重要な指標になると言えるだろう。

これまで主観的な努力度と客観的な出力の対応関係を取り扱った研究はStevens¹⁴⁾による握力を用いた主観的な努力度と表出強度の対応関係に関するものをはじめ数多くなされてきた。跳躍動作に関して取り扱ったものには、阿江ら¹⁾、大築と定本^{12,13)}による立幅跳と垂直跳、村木ら⁹⁾によるドロップジャンプを対象としたものがあり、さらに、垂直跳、立幅跳、ドロップジャンプの全てを対象とした加藤ら⁶⁾の報告もある。阿江ら、大築と定本、村木、加藤らの研究によれば、主観的な努力度と客観的な出

力の間には直線的対応関係があることが報告されている。また、走運動については、小野寺ら¹⁰⁾の持久性運動を対象にしたものや伊藤ら⁵⁾、村木⁸⁾のスプリント走において検討したものがある。いずれの研究においても主観的な努力度と客観的な出力の間には直線的対応関係が認められたと報告している。

こうした研究報告は、主観的な努力度合と客観的に計測される出力値との関係に対して有用な示唆を与えている。しかし、いずれの研究においても、ある特定の運動形態に限っての検討であり、異なる運動形態を持つ動作に対する共通要因という観点からグレーディング能力に検討を加えたものはない。

そこで、本研究では「走・跳・投」の各種運動動作において、主観的な感覚による身体のグレーディング面での出力制御が、客観的に計測されるパフォーマンスに対してどの程度正確になされるのか、また、動作別で段階づけの仕方に関して、どういった身体の動きがパフォーマンスに影響しているのか、という観点から検討を加えた。さらに異なる運動形態を持つ動作間で、主観的な努力度と客観的な計測値の対応の正確性、変化の正確性という観点から見たグレーディング能力にはどのような違い、あるいは共通性を持つのかについても検討し、意識とパフォーマンスを関係づける方法論上の基礎的資料を得ることを目的とした。

II. 研究の方法

被験者にはA大学陸上競技部男子部員16名を用いた。その身体的特徴は平均年齢20.3 years (± 1.2)、平均身長175.2cm (± 4.5)、平均体重64.2 kg (± 4.2)であった(但しカッコ内は標準偏差)。

本研究では走、跳、投動作として、スプリント走、垂直跳、ハンドボール投げの3動作を採用した。上記3種目の選択の理由は、学校体育で実施されているスポーツ・テストのテスト種目に含まれるものであり、どの被験者も一様に、比較的運動経験を有すると考えられるからである。被験者にはそれぞれの動作のパフォーマンスである、走速度、跳躍高、ボール速度を意識して段階づけを

行うように指示した。

5段階程度は誰もが確実に段階づけを行うことができるとの報告¹¹⁾から、パフォーマンスのグレーディング水準は全力を100%とし、20%毎の等間隔、つまり5段階の主観的努力度で出力を段階づけることとした。試技は走，跳，投動作ともパフォーマンスに関するフィードバック情報は与えず、各自の感覚のみを頼りに、5段階の主観的努力度の中からランダムな順序で1段階ずつ行わせた。試技数は5段階の主観的努力度による5試技を1セットとし、走動作は計2セット，跳，投動作は計3セット行わせた。

走動作は光電管の使用および映像より区間平均速度を求めた。跳動作については跳躍高をTKK.MEASURE TYPE JUMPMETERにより実測した。また、投動作は映像解析法によりリリース直後のボール速度を算出した。

すべての試技は側方よりハイスピードカメラで撮影(200f.p.s)し、映像から以下の項目を算出した。走動作：ピッチ，ストライド，接地および滞空時間，跳動作：足，膝，股関節の最大屈曲角度および最大屈曲時から離地直前までの平均角速度，投動作：腕スイング速度，テイクバック距離，リリース時の前方への上体傾斜角度。

Ⅲ. 結果および考察

1. 走・跳・投動作のグレーディング様相

Table1は、全被験者の走，跳，投動作の各主観的努力度において発揮されたパフォーマンスの値とそれぞれの主観的努力度100%時を基準として百

分率で表したものを示している。

走，跳，投動作と各主観的努力度を2つの水準とする2元配置分散分析により、相対的なパフォーマンス値には、それぞれの水準間で有意な差が認められた。さらに、各水準内で多重比較を行った結果、すべての種目間及び主観的努力度間に高度に有意な差が認められた。

また、Fig.1は走，跳，投動作それぞれのグレーディング様相を見るために、意識した出力値を主観的努力度、実際に発揮されたパフォーマンスを客観的計測値として、その対応関係を示している。

Fig.1に示されたように、走，跳，投動作の全てにおいて、主観的努力度と客観的計測値の間に高度に有意な ($p < 0.01$) 直線回帰が認められた。実際に発揮されたパフォーマンスである客観的計測値が、その際に意識した主観的努力度の値を上まわる傾向が走，跳，投動作に共通して見られ、そ

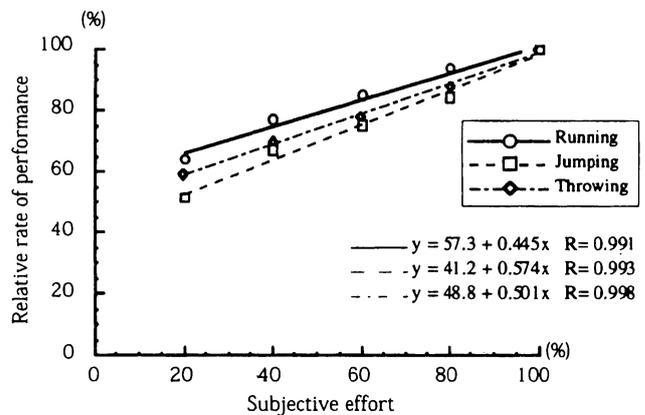


Fig. 1 Relationship between the subjective effort and the objective performance in sprinting, jumping and throwing movement.

Table 1 Means and standard deviations of the relative performance at variable efforts to the result obtained at the maximal effort as 100% and the output measured as running velocity, jumping height, and ball velocity in each subjective effort.

Subjective effort	Sprinting		Jumping		Throwing	
	%	m/sec	%	cm	%	m/sec
20%	64.1±9.2	5.63±0.84	51.4±11.6	33.0±7.81	59.2±7.9	9.80±1.53
40%	77.0±6.7	6.78±0.71	67.0±9.8	42.8±6.59	69.3±7.2	11.5±1.90
60%	84.9±6.3	7.47±0.63	75.2±9.1	48.2±7.12	78.2±7.0	13.0±1.71
80%	94.2±3.2	8.28±0.41	84.6±9.6	54.2±8.01	78.9±7.6	14.6±2.05
100%	100	8.79±0.38	100	64.2±7.12	100	16.6±1.76

の度合いは、走動作、投動作、跳動作の順で大きかった。

主観的努力度と出力（パフォーマンス）の客観的計測値の間に極めて高い相関関係が認められたことは、人が運動形態に関わらず、意識によってパフォーマンスを一定の間隔に調節可能であることを示した結果である。これらの結果は、村木の走動作⁸⁾、跳動作⁹⁾、大築らの跳動作¹²⁾の報告における「出力を数段階に分けて（グレーディングして）発揮できる」ことと同様であった。

本研究の試技順序は主観的努力度をランダムな順序で指示しており、100%時の動作を基準にして行えたとは限らない。また、パフォーマンスに関するフィードバック情報を被験者には与えていない。従って、ここでのグレーディングは必ずしも全力での対照試技を基準としたのではなく、被験者のこれまでの運動経験（感覚）に基づいて為されたものであると考えられる。

主観的努力度より実際のパフォーマンスとして出力された客観的計測値が高くなる傾向がみられたことに関しては様々な理由が考えられるが、一般に主観的努力度と客観的計測値との間にはStevensのベキ法則関係¹⁴⁾が成り立つと言われている。出力の大小によって、主観的努力度の一定量の変化に対して、客観的計測値の変化量は異なる。つまり、出力のレベルが大きくなるほど、主観的努力度を同じ割合で増加させても（意識する出力を一定に増加させても）、それに対する客観的計測値の増加量は小さくなるという傾向がある。このことは、動作内における客観的計測値の上昇傾向を説明することのほかに、動作間の上昇傾向の違いを説明するかもしれない。仮に、運動形態により動作それぞれが持つ絶対的な出力レベルに違いがあったとすると、高い出力レベルの動作ほど主観的努力度の変化に対して客観的計測値の変化が小さくなるので、主観的努力度と客観的計測値の回帰直線は傾きが減少し、より上部に位置することになる。このようなことが、走、投、跳動作の順に出力レベルが高くなっている理由の一つと考えられる。

Fig. 2は、各動作の各主観的努力度における被験

者ごとの客観的計測値の変化係数（標準偏差/平均値）を算出したものであり、グレーディングのばらつきを示している。

動作ごとに分布の傾向を見てみると、走動作は、高い主観的努力度での変化係数は、0.034と、他の動作と比べて小さくなる傾向が見られた。跳動作は20%の主観的努力度において、他の主観的努力度に比較して変化係数が0.226と、ばらつきが大きくなる傾向があった。投動作は、指数の変動率は小さいながらも、主観的努力度が低くなるにつれて、ばらつきが大きくなる傾向を示した。走、跳、投動作のいずれにおいても主観的努力度が低くなるほど動作の出力には各個人においてばらつきが大きくなることから、主観的努力度を下げるに従って、パフォーマンスのグレーディングが難しくなると考えられる。

2. グレーディングに影響する諸要因

グレーディングを行う際に何によって調節しているかを知るために、“動きによる調節”に焦点をあてた。動作を行う上で、走動作であれば脚といったように、直接、目的とする動作に関係する部分の動きとパフォーマンスとの関係は以下のものであった。

なお、本研究においては、主観的努力度と客観的計測値（パフォーマンス）の対応性は全力時を基準とする百分率で表したものをを用いており、以下の結果についても同様に扱った。

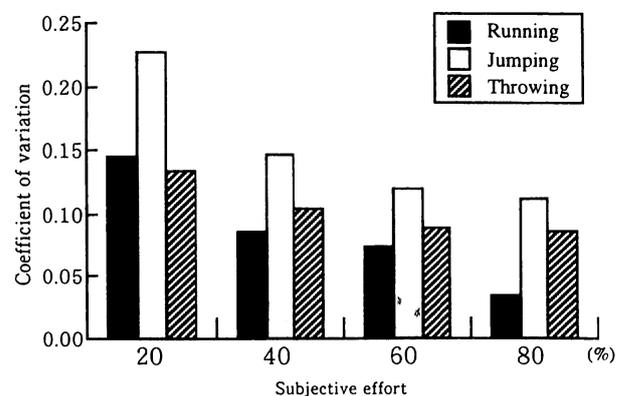


Fig. 2 Dispersions of the objective performance among subjects in each movement corresponded to the subjective effort.

(1) 走動作

走動作でグレーディングを行う際に調節を行うと考えられる動きとして，ストライド，ピッチ，そして，滞空時間を接地時間で除した滞空時間比を取り上げた。Fig.3は，これらを走速度のグレーディング結果と比較し，走速度とストライド，ピッチ，滞空時間比それぞれの対応関係を示したものである。

滞空時間比と走速度との間には，有意な ($p < 0.05$) 線形の相関関係がみられた。また，ストライドと走速度，ピッチと走速度の間には，有意な2次曲線の相関関係が認められた。つまり，ストライドは，低速から中程度まで93.3%から103%へと，走速度にともない増加傾向にあり，それ以後は103%強の値で頭打ち，80%から100%の主観的努力度にかけては，3%ほど減少傾向にあった。ピッチは，低速から中速にかけて走速度にともなう増加量は6%程度と低く，高速において増加量が9%程度と高くなっていった。こうしたことから，ピッチは，全ての主観的努力度で走速度に影響し，ストライドの影響は低い主観的努力度において大きくなるといえる。このことは，これまでに報告されている走速度とピッチ，ストライドとの関係^{4,8)}と同様の結果である。また，滞空時間比(滞空/接地時間)も走速度と正の相関関係があったが，滞空時間比の増大は接地時間の短縮によるところが大きいことから，動作としてはブレーキングや脚の後方への流れを減少させ速度を増加させたと考えられる。

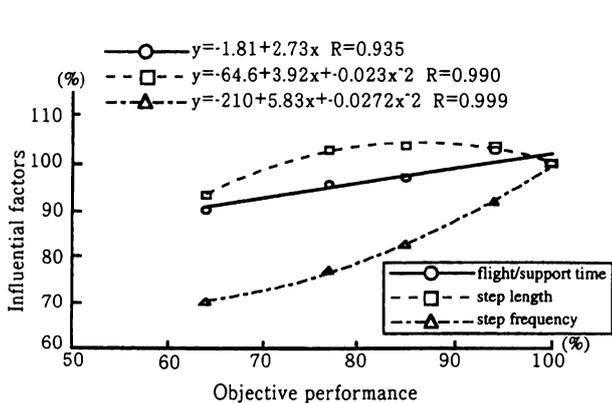


Fig. 3 Relationship between the relative objective performance of the sprint velocity (X-axis) and some related parameters (Y-axis) to each result obtained at the maximal effort as 100%.

(2) 跳動作

跳動作のグレーディングを行うために調節する動きとして下肢の動きの変化を取り上げ，跳躍高との比較を行った。Fig.4は，跳躍高と足・膝・股関節の最大屈曲角度，足・膝・股関節の伸展時平均角速度との関係を示したものである。

これらの中で跳躍高と有意な相関があったものは，膝関節の最大屈曲角度 ($p < 0.01$) 及び伸展時平均角速度 ($p < 0.01$)，股関節の最大屈曲角度 ($p < 0.01$) 及び伸展時平均角速度 ($p < 0.01$) であった。足関節に関する諸変量で跳躍高と相関関係が認められるものはなかった。また，要素間同士でも，膝関節と股関節の間に最大屈曲角度，伸展時の平均角速度それぞれで高度に有意な ($p < 0.01$) 相関関係が認められた。

定本ら¹³⁾は，垂直跳と立幅跳における跳躍距離のグレーディングは膝関節角度変化量に高い相関関係があると述べている。また，阿江ら¹⁾は，努力度の異なる垂直跳において，異なった跳躍高での踏切時の下肢各部の貢献度を測定した結果，跳躍高の増大にともなって，腰及び膝関節の角変位，膝関節のモーメント及びパワーが増大したと報告している。

こうしたことから，跳躍高の増大には，パワー発揮能力の高い膝関節筋群のパワー増大や身体重心の変位を大きくするための胴体の動員が必要であると言える。本研究においても跳躍高と膝及び

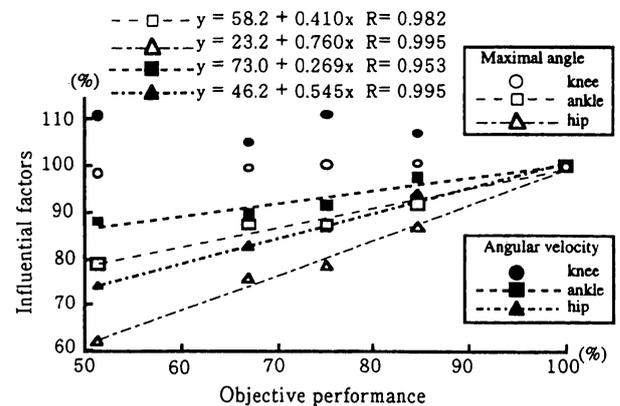


Fig. 4 Relationship between the relative objective performance of the jumping height (X-axis) and some related parameters (Y-axis) to each result obtained at the maximal effort as 100%.

股関節の最大屈曲角度に相関関係が認められたことから、跳躍高の変化にともない膝関節のパワー発揮や胴体の動員を調整していたと考えられる。

また、運動者側の感覚で捉えれば、膝および股関節の曲げの深さをグレーディングすることで重心の移動距離を変え、同時にキック時間を変化させ、踏切時の初速度を調節していると考えられる。さらに、伸展時関節角速度との相関も高かったことから関節の伸展の感覚的な“勢い”によってもパフォーマンスを段階づけていたと考えられる。

(3) 投動作

投動作でグレーディングの調節を行うと考えられる動きとして、腕のスイング速度、テイクバック時のボール位置の後方変位、前方への上体傾斜角度を取り上げ、ボール速度との対応性を比較した。Fig.5は、ボール速度と腕スイング速度、テイクバック距離、身体前方傾斜角度との関係を示したものである。

ボール速度と有意な相関関係が認められたものは、腕スイング速度 ($p < 0.01$)、上体傾斜角度 ($p < 0.01$) であった。また、要素間においても、腕スイング速度と上体傾斜角度の間に有意な ($p < 0.01$) 相関関係が認められた。

投動作は下肢、体幹のエネルギーを上肢からボールへと伝達する動作である。さらに、投動作の末端部位の速度増大の要因の1つとして、上肢のいわゆるムチ動作が重要であるとされる。

しかし、星川³⁾によれば、握れないボールではムチ動作が見られないと述べている。また、堀田ら²⁾

は、硬式野球ボール、ハンドボール、バスケットボールを使用した硬式野球選手の投げ動作の比較において、ハンドボール及びバスケットボールではムチ動作が見られず、上肢を棒状に使用して投げるため、体幹の動きがボールの速度発揮には重要であると報告している。

本研究での投動作の場合、構えの姿勢は前脚（スローイングを行う腕と逆側にある脚）を踏み出した位置に固定するよう指示した（但し、後脚の踏み出しは無制限）ため、上肢部の速度発揮、すなわちボール速度を発揮するためには上体を前方に倒し込まなければならない。このことから、この際の前方への上体傾斜角度は運動エネルギーを産むための重心の移動量を示唆すると考えられる。

ボール速度と上体傾斜角度に有意な相関が認められたこととハンドボール投げのボール速度発揮には体幹の動きが重要であることを考え合わせると、投動作のグレーディングは、前方への上体傾斜角度から示唆される重心の移動量の増減により為されたと考えられる。そして、その結果として上肢全体の速度が加減され、パフォーマンスを変化させたと考えられる。

3. 対応の正確性および変化の正確性からみたグレーディング能力の違い

各被験者の走・跳・投動作における主観的努力度と客観的計測値との相関関係による統計的なデータを用いて、種目間でのグレーディング能力の違いについて2つの面から検討した。

一方は、対応の正確性であり、主観的努力度と実際に発揮されたパフォーマンスの客観的計測値が一致するものを正確性が高いものと考え、回帰係数をその指標として、係数の値がより「1」に近いものを能力が高いものとした。

他方は、変化の正確性であり、主観的努力度の変化全般に対して一定の比率でパフォーマンスのグレーディングが行われているものを正確性が高いものとした。隣接する主観的努力度それぞれに対応する客観的計測値の増加率（微分値）を求め、そのばらつきを表す分散値を指標とし、値の小さいものをその能力が高いものとした。

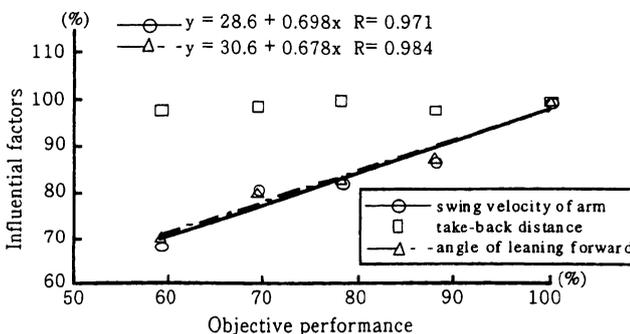


Fig. 5 Relationship between the relative objective performance of the ball velocity (X-axis) and some related parameters (Y-axis) to each result obtained at the maximal effort as 100%.

Table2は，それぞれの指標によって走，跳，投動作間での相関関係を算出し，その結果を示したものである。

主観的努力度と客観的計測値の対応の正確性という面では，跳動作と投動作の間に有意な ($p < 0.01$) 相関関係が認められた。また，グレーディング間隔の変化の正確性に関しては走動作と跳動作の間に有意な ($p < 0.05$) 相関関係が認められた。

グレーディング能力を対応と変化の正確性という2つの観点から評価した場合に，それらの能力が関係する動作に違いが見られたことには以下のような理由が考えられる。

跳動作と投動作は，共に非循環的な動作であることから，初期制御により動作を調節する。主観的努力度合と発揮されたパフォーマンスの対応の正確性は，この初期制御とその結果の対応について評価するものであると考えられる。従って，跳動作と投動作の動作の調節，グレーディング能力には共通の調節因子が作用している可能性がある。つまり，対応の正確性から見たグレーディング能力の共通性は，跳および投動作が，初期制御のパフォーマンスに与える影響が大きいためという，共通した非循環的運動構造の分節的な類似性を持つためと考えられる。

一方，変化の正確性に関して，走動作と跳動作に相関関係が認められたことは，2つの動作が共に運動者の身体そのものを制御の対象としていることが影響していると考えられる。さらに，この2つの動作は，主に脚の動作の変化によって運動を調節しており，グレーディング能力に同様な傾向を持ったと考えられる。

IV. まとめ

本研究では，走，跳，投動作におけるグレーディング能力について，主観的努力度と客観的計測値（パフォーマンス）の対応性，ばらつき，影響を与える要因，種目間のグレーディング能力の違いに関して検討し，その結果，以下のような結論を得た。

走，跳，投動作それぞれにおいて，主観的努力度と客観的計測値の間には有意な相関関係が認められた。しかし，その対応関係には走，投，跳動作で違いがみられ，走動作，投動作，跳動作の順で主観的努力度よりも客観的計測値の方が高くなる傾向があった。また，客観的計測値として出力されるパフォーマンスの被験者ごとのばらつきの度合いは，主観的努力度が低くなるほど増大した。

グレーディングに影響する主な要因は，走動作では低い主観的努力度でストライド，高い主観的努力度ではピッチ，跳動作では膝，股関節の最大屈曲角度と伸展角速度，投動作では前方への重心の移動量であった。

グレーディング能力の走，跳，投動作の間での違いを対応の正確性と変化の正確性の観点から検討した結果，前者については跳動作と投動作間で，後者については走動作と跳動作間でグレーディング能力に共通の傾向が認められた。

謝辞

本稿を終えるにあたり，貴重なご助言をいただきました天野義裕先生，金子元彦氏に深謝致します。

Table 2 Coefficient of correlations among sprinting, jumping and throwing movement. : (a) accuracy to correspond with the level of effort, (b) accuracy to correspond with the variable rate to change the effort

(a)	Run	Jump	Throw
Run	1.000		
Jump	0.244	1.000	
Throw	0.156	0.684**	1.000

(b)	Run	Jump	Throw
Run	1.000		
Jump	0.555*	1.000	
Throw	0.222	0.050	1.000

(* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$)

引用・参考文献

- 1) 阿江通良, 安藤真太郎, 結城匡啓: 垂直跳びにおける努力度が下肢各部の貢献度に及ぼす影響, ジャンプ研究—日本バイオメカニクス学会編, pp.40-45, 1990.
- 2) 堀田朋基, 鶴賢 行, 河野信弘, 北村潔和: 硬式野球ボール, ハンドボール及びバスケットボール投げにおける動作の特徴, 第8回日本バイオメカニクス学会大会論集, pp.118-122, 1986.
- 3) 星川 保: 大きさと重さの異なるボールの投げ, J. J. Sports. Sci. vol.1, pp.104-109, 1982.
- 4) 星川 保, 宮下充正, 松井秀治: 歩及び走における歩幅と歩数に関する研究 — 各種速度における歩幅と歩数の関係 —, 体育学研究, 16 (3): 157-162, 1971.
- 5) 伊藤政信, 三條俊彦: 力量と疾走時間の表出における期待強度と表出強度の関係, 体育学研究, 29(4):307-314, 1985.
- 6) 加藤史夫, 小山祐三, 濱松亜紀, 小倉幸雄, 五十嵐聰, 澤井 博: スポーツ競技者の跳躍運動における主観的強度と客観的達成度の対応関係に関する一考察, 陸上競技研究, 23 (4): 19-24, 1995.
- 7) Meinel K: マイネル・スポーツ運動学 (金子明友訳), 大修館書店, 1981.
- 8) 村木征人: スプリント走における速度強度および歩幅と歩数に関する研究 — スプリント走の各種客観速度と主観速度および歩幅との関係 —, 「身体運動の科学V」日本バイオメカニクス学会編, pp.76-83, 1983.
- 9) 村木征人, 稲岡純史: 跳躍運動における主観的強度 (努力度合) と客観的出力との対応関係, スポーツ方法学研究, 9 (1): 73-79, 1996.
- 10) 小野寺孝一, 宮下充正: 全身耐久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性, 体育学研究, 21 (3):191-203, 1976.
- 11) 大築立志: 「現代スポーツの科学 — 『たくみ』の科学」, 朝倉書店, 1988.
- 12) 大築立志, 定本朋子: 前方跳躍および上方跳躍における運動制御, 「身体運動の科学III — 運動の制御」日本バイオメカニクス学会編, pp.191-204, 1979.
- 13) 定本朋子, 大築立志: 跳躍動作における出力制御の正確性 — 距離のgradingおよび再現の特性 —, 体育学研究, 22 (4): 215-229, 1977.
- 14) Stevens S S: On the psychophysical law, Psychological Review 64 (3): 153-181, 1957.