

単純反応課題との複合が垂直跳び高のグレーディングに及ぼす影響

宮本 健史¹⁾ 木塚 朝博²⁾ 林 容市³⁾ 小野 誠司²⁾

Takeshi Miyamoto¹, Tomohiro Kizuka², Yoichi Hayashi³ and Seiji Ono²: Effects of a simple reaction task on grading ability in the vertical jump. *Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci.*

Abstract: The purpose of the present study was to determine differences in the grading abilities of the vertical jump between 2 different conditions. For this purpose, we evaluated grading abilities in a vertical jump with preferred timing (preferred condition) and a combination task involving simple reaction and vertical jump tests (quick condition). Fourteen healthy college students participated in the experiment. The participants were instructed to perform a vertical jump to 4 target levels, which were 25%, 50%, 75% and 100% of the maximum jump height, in each condition. The results showed that both jump height and relative jump height (%max) under each condition were shorter/lower under the quick condition than under the preferred condition. Correlation analysis demonstrated a significant correlation between the jump height and the maximum flexion angle of the knee, and the hip joint under both conditions. There was a significant correlation between jump height and maximum dorsal flexion angle of the ankle under the quick condition, but not under the preferred condition. From these results, it was suggested that combining a simple reaction task with a grading task might alter the behavioral properties during the grading task, as well as the relationship between subjective effort and jump height.

Key words: sense of effort, combination task, coordination

キーワード：努力感，複合課題，調整

I 緒言

スポーツ活動においては最大努力より，最大下での出力の調節を求められる場面が多い。出力を段階的に分けることはグレーディングと呼ばれる(大築，1988)。スポーツ動作におけるグレーディングは個々の筋活動の調節より，それらの総和として表出される距離や速さなどのパフォーマンスの調節を指す場合が多い。これらは競技のパフォーマンスと深く関連することから，さまざまな動作におけるグレーディングが調査されてきた(伊

藤・村木，1997；金子，2017)。これらの先行研究では，いずれも目標値と実測値との関係によってグレーディングを評価していることから，対象者の主観的な努力度（以下「努力度」と略す）と客観的な出力（以下「達成度」と略す）との対応関係を評価していると捉えることができる。

多くの種目で行われる基本的な動作の1つとして，跳躍が挙げられる。跳躍高は離地時点での身体重心速度によって決定されるため(深代，2007)，離地に至るまでの動作によって跳躍高は調節されている。先行研究においては，垂直跳び高のグレーディングには膝関節の最大屈曲角度

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
2) 筑波大学体育系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1
3) 法政大学文学部
〒102-8160 東京都千代田区富士見 2-17-1
連絡先 宮本健史

1. *Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
2. *Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba*
1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574
3. *Faculty of Letters, Hosei University*
2-17-1 Fujimi, Chiyoda-ku, Tokyo 102-8160
Corresponding author miyamoto.tsukuba11@gmail.com

(阿江ほか, 1994; 伊藤・村木, 1997; Kai et al., 2006; 定本・大築, 1977), 股関節の最大屈曲角度(阿江ほか, 1994; 伊藤・村木, 1997), 力の作用時間(定本・大築, 1977)が関連していること, 一方, 床反力と跳躍高との関連は少ないこと(定本・大築, 1977)が報告されており, 跳躍高のグレーディングは筋力の調節ではなく, 関節角度や動作時間を調節することによって行われていると考えられる。

他方でバレーボールやバスケットボールなどの種目ではボールや相手の動きに対応し, 素早く跳躍を行うことも重要である。素早い跳躍を行うためには動作時間を短くすることが必要であるが, それにより関節屈曲角度や沈み込み距離が減少するため(Domire and Challis, 2015), 動作時間の指定や制限のない状態(任意の動作時間)で跳躍を行う場合と動作が異なると推測される。先述の通り, 垂直跳び高のグレーディングは動作の調節によって行われているため, 素早く動作を行うことによる動作の変容はグレーディングに影響を及ぼす可能性があるが, 先行研究では任意の動作時間でのグレーディングを対象としており, 動作時間に着目した研究は見受けられない。動作時間がグレーディングに及ぼす影響が明らかになることで, 競技者のパフォーマンスを実践的に評価する新たな方法の構築に寄与できると考えられる。

動作の素早さは「動作開始の早さ」と「動作自体の速さ」に区別される(大築, 1988)。動作開始の早さは単純反応時間の測定によって評価することが可能である。単純反応時間の測定では, センサーマットからの離地(Kai et al., 2012)やボタン押し(Woods et al., 2015)などの簡易な動作が課題として用いられているが, これらを速い動作を用いた垂直跳び高のグレーディングにすることによって, 「動作開始の早さ」と「動作自体の速さ」の両要素を含めた素早い動作(短い動作時間)でのグレーディングを評価できる可能性がある。そこで本研究では垂直跳び高のグレーディングと単純反応課題とを複合することで, 短い動作時間でのグレーディングを評価し, 先行研究で行われてきた任意の動作時間でのグレーディングと

の差異を明らかにすることを目的とした。

II 方法

1. 対象者

本研究の対象者は運動習慣を有する男子大学生14名(年齢: 20.4 ± 1.7 歳, 身長: 177.0 ± 9.0 cm, 体重: 72.9 ± 9.9 kg, BMI: 23.2 ± 1.3 kg/m²)であった。対象者を募集するにあたって, 神経学および整形外科的な疾病がないことを調査確認した。なお, 本研究は筑波大学体育系研究倫理委員会の承認(課題番号: 第体 29-150 号)を得て行った。課題実施にあたっては, 事前に研究の主旨および目的を説明し, 安全面に十分配慮して行った。

2. 測定環境およびグレーディングの実施方法

垂直跳びは立位からとし, 腕の振込による影響を取り除くため, 両手を腰に当てた状態で跳躍を行わせた。対象者の第五中足骨骨頭, 外果, 膝関節裂隙, 大転子および肩峰(いずれも身体左側)にマーカーを貼付し, フォースプレート(KISTLER 社)上で試技を行わせた。対象者の左側に1.5 m離れた位置に動作分析用カメラ(V120: TRIO, OptiTrack 社)を設置し, 試技中の動作を120 fpsで記録した。測定は実験室で行い, 対象者の視界に跳躍の目標となるマーカーの設置は行わず, 壁や天井, 備品などが跳躍の目標物にならないよう対象者の正面に大きな白いパネルを設置した。また, 対象者の前方1.5mの位置に視覚刺激用ランプを設置し, ランプの位置が目線の高さになるように対象者ごとに高さを調節した。

先行研究(Kai et al., 2006; Vanrenterghem et al., 2004)を参考に, グレーディングの目標値は100%(最大努力)および最大努力での跳躍に対して25%, 50%, 75%の高さとした。目標値の説明に際して「最大努力での跳躍高に対して25%(または50, 75, 100%)の高さになるように跳躍を行ってください」と口頭で指示を行った。これらの目標値に対するグレーディングを, 動作時間を規定しない通常条件とグレーディングに単純反応

課題とを複合し素早い動作で行う複合条件の2条件で行わせた。

通常条件では試技ごとに目標値を口頭で指示し、任意のタイミングで試技を開始させ、指示された目標値に一致するように、動作時間の指定や制限のない状態（任意の動作時間）で跳躍を行わせた。複合条件では試技ごとに目標値を口頭で指示したあと、ランプが点灯したらなるべく早く試技を開始し、指示された目標値に一致するようになるべく短い動作時間で跳躍を行わせた。複合条件におけるランプ点灯のタイミングは、試技開始の合図後2秒から5秒の間で無作為とした。

各条件においてそれぞれの目標値における跳躍は3試技ずつとし、いずれの評価項目についても3試技の平均値を代表値とした。試技中に手が腰から離れたり、フォースプレート上に着地できなかつたりした場合は試技を無効とし、追加で試技を行わせた。各条件を行う順序は対象者ごとに無作為とし、条件内における目標値の順序も無作為に設定した。各条件において本試技を開始する前にいずれの目標値においても1回以上の練習試技を行わせた。練習試技、本試技いずれにおいても、実測値に関するフィードバックは行わなかった。

疲労の影響を考慮し、試技間で30秒程度、条件間で5分程度の休憩を設けたが、対象者からの要請があった場合、適宜追加で休憩を設けた。グレーディングを扱った先行研究においては、合計の試技数が10回程度のものが多く、本研究で設定した試技数がどの程度疲労を引き起こすのかについては不明瞭であったため、実験開始時と終了時に最大努力での跳躍を行わせ、跳躍高の低下の有無を確認した。

3. グレーディングの評価項目

大転子マーカールをもとに立位時から最高到達点までの変化量を跳躍高 (cm)、立位時から最大沈み込み位置までの距離を最大沈み込み距離 (cm) として算出し、それぞれ身長 (cm) で除した値を成績とした。各条件における100%の試技のうち、最も跳躍高が高かった試技の成績をそれぞれの条件における最大跳躍高とし、その値で相対値

化した跳躍高 (相対跳躍高: %max) を目標値ごとに算出した。また隣接するマーカール同士を結ぶ直線から足関節、膝関節、股関節の屈曲角度 (足関節は背屈角度) を算出し、立位時からの最大変化量を各関節の最大屈曲角度 (deg) とした。マーカールに基づいた跳躍高、最大沈み込み距離および各関節の最大屈曲角度の算出には、使用した動作分析用カメラの専用ソフトウェア (Motive: Tracker, OptiTrack 社) を用いた。

フォースプレートから得られた鉛直成分の床反力データから、立位時の試技開始前50msの平均値から ± 3 SD (標準偏差: Standard deviation) 変位した時点を動作の開始点として算出し、離地までの時間を動作時間 (ms) とした。また、複合条件においては、ランプとフォースプレートを同期させ、ランプ点灯から動作開始までの時間を算出し動作開始時間 (ms) とした。

4. 全身反応時間の測定方法

単独での反応時間を調査するため、複合条件でのグレーディングで用いた視覚刺激用ランプとフォースプレートをを用いて全身反応時間の測定を行った。立位からランプの点灯後なるべく早く跳躍を行うように指示し、ランプの点灯から動作の開始点 (床反力データにおいて立位時の試技開始前50msの平均値から ± 3 SD変位した時点) までの時間を全身反応時間 (ms) として算出した。練習試技を2回行ったあと、本試技を10回行い、その平均値 (ms) を代表値とした。

5. データ分析

複合条件における動作開始時間について目標値間の差異を明らかにするため、目標値 (25%, 50%, 75%, 100%) を独立変数とする1要因分散分析を行った。その後、複合条件における動作開始時間と全身反応時間との差異を明らかにするため、個人ごとに全ての目標値における動作開始時間の平均値を算出し、その値と全身反応時間との関係に対応のある t 検定を用いて分析した。

グレーディングの成績について条件間の差異を明らかにするため、跳躍高、相対跳躍高、最大沈

み込み距離、動作時間、および各関節の最大屈曲角度について条件（通常条件、複合条件）、目標値（25%、50%、75%、100%）を独立変数とする2要因の分散分析を行った。有意な交互作用が認められた場合、要因の水準ごとに単純主効果の検定を行い、有意な要因の主効果および単純主効果が認められた場合、Bonferroni法による多重比較検定を行った。また、跳躍高と最大沈み込み距離、動作時間および各関節の最大屈曲角度との関係について明らかにするため、各条件で跳躍高と各変数との相関係数を算出した。分析にはSPSS ver. 24 (IBM社)を使用し、いずれの分析においても有意水準は5%未満とした。

III 結果

グレーディングの結果および各関節の最大屈曲角度について表1に示す。なお、測定の中で疲労を理由とした休憩または過度な試技間隔を取った対象者はおらず、試技間および試技終了時まで

に心身の疲労を申し出た者もいなかった。また実験開始時と終了時に測定した最大努力での跳躍高の差異は-3.4 cmから3.9 cmの範囲であり、統計的な有意差は認められなかった ($t(13) = 0.28, p = 0.78$)。

複合条件における動作開始時間について、目標値間の差異は認められなかった ($F[3, 39] = 0.69, p = 0.57$)。また、複合条件における動作開始時間と全身反応時間との間にも有意な差異は認められなかった ($t(13) = 1.47, p = 0.17$)。

1. 跳躍高および相対跳躍高

跳躍高と相対跳躍高（図1）のいずれにおいても、有意な条件の主効果が認められ、通常条件のほうが複合条件より有意に高値を示した（跳躍高： $F[1, 13] = 25.52$ 、相対跳躍高： $F[1, 13] = .30$ 、いずれも $p < 0.05$ ）。またいずれも有意な目標値の主効果が認められたため、多重比較検定を行ったところ、全ての目標値の組み合わせで有意差が認められ、目標値の増大に伴い跳躍高および

表1 各条件における跳躍高、相対跳躍高、最大沈み込み距離、動作時間および各関節の最大屈曲角度

	通常条件				複合条件			
	25%	50%	75%	100%	25%	50%	75%	100%
跳躍高 [†]	0.164 ± 0.038	0.195 ± 0.038	0.222 ± 0.039	0.253 ± 0.031	0.144 ± 0.040	0.179 ± 0.040	0.203 ± 0.035	0.238 ± 0.034
相対跳躍高 (%max)	63.0 ± 11.6	74.9 ± 9.2	85.2 ± 7.5	97.4 ± 2.3	58.1 ± 12.7	72.4 ± 10.7	82.3 ± 7.5	96.6 ± 4.0
最大 沈み込み距離 [†]	0.188 ± 0.036	0.204 ± 0.034	0.219 ± 0.037	0.240 ± 0.043	0.153 ± 0.030	0.173 ± 0.033	0.189 ± 0.029	0.212 ± 0.037
動作時間 (ms)	815.8 ± 163.9	813.3 ± 171.5	850.0 ± 133.2	832.9 ± 132.1	534.4 ± 127.4	589.7 ± 133.2	637.9 ± 142.1	697.7 ± 108.7
足関節 最大背屈角度 (deg)	22.7 ± 5.8	23.1 ± 5.9	23.8 ± 6.5	24.3 ± 6.9	19.4 ± 6.2	21.6 ± 6.2	23.1 ± 6.0	23.8 ± 6.3
膝関節 最大屈曲角度 (deg)	70.0 ± 15.3	75.0 ± 13.5	79.0 ± 14.7	84.9 ± 14.9	57.6 ± 12.4	64.9 ± 12.1	70.4 ± 11.0	76.9 ± 12.0
股関節 最大屈曲角度 (deg)	67.1 ± 17.6	77.8 ± 16.6	87.9 ± 17.1	104.9 ± 18.1	50.7 ± 15.7	63.5 ± 17.9	72.7 ± 17.0	90.0 ± 16.8

†: 測定値 (cm) を身長 (cm) で除した値。

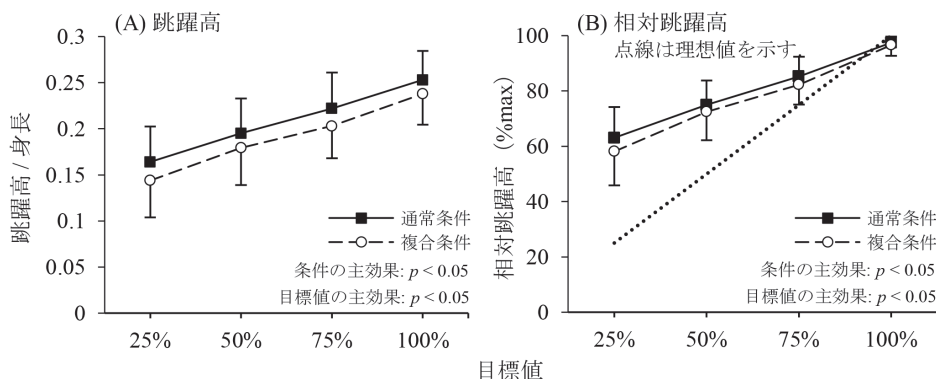


図1 各条件における跳躍高および相対跳躍高

相対跳躍高も増加していた（跳躍高： $F [3, 39] = 132.85$ ，相対跳躍高： $F [3, 39] = 144.26$ ，いずれも $p < 0.05$ ）。

2. 動作時間

動作時間について、有意な条件の主効果が認められ、通常条件のほうが複合条件より有意に動作時間が短かった（ $F [1, 13] = 58.12, p < 0.05$ ）（表1）。また有意な目標値の主効果が認められ、多重比較検定を行ったところ、目標値25%が目標値75, 100%より有意に動作時間が短かった（ $F [3, 39] = 7.57, p < 0.05$ ）。さらに有意な条件と目標値の交互作用（ $F [3, 39] = 7.92, p < 0.05$ ）が認められたため、単純主効果の検定を行ったところ、全ての目標値において有意な条件の単純主効果が認められ、いずれも通常条件のほうが複合条件より有意に動作時間が長かった（25%： $F [1, 13] = 49.16$, 50%： $F [1, 13] = 38.31$, 75%： $F [1, 13] = 53.69$, 100%： $F [1, 13] = 24.60$ 。いずれも $p < 0.05$ ）。また複合条件において有意な目標値間の単純主効果（ $F [3, 39] = 25.04, p < 0.05$ ）が認められ、多重比較検定を行ったところ、目標値25%で目標値75%, 100%より有意に短い動作時間、目標値50%で目標値100%より有意に短い動作時間が認められた。

3. 最大沈み込み距離と各関節の最大屈曲角度

最大沈み込み距離および各関節の最大屈曲角度（図2）について、いずれも有意な条件の主効果が

が認められ、通常条件の方が複合条件より有意に大きい値を示した（最大沈み込み距離： $F [1, 13] = 29.15$ ，足関節： $F [1, 13] = 13.89$ ，膝関節： $F [1, 13] = 37.60$ ，股関節： $F [1, 13] = 38.19$ ，いずれも $p < 0.05$ ）。またいずれも有意な目標値の主効果が認められ、多重比較検定を行ったところ、最大沈み込み距離および膝関節、股関節の最大屈曲角度では全ての目標値の組み合わせで有意差が認められ、目標値の増大に伴い最大沈み込み距離および関節角度も増大していた（最大沈み込み距離： $F [3, 39] = 75.65$ ，膝関節： $F [1, 13] = 37.60$ ，股関節： $F [1, 13] = 38.19$ ，いずれも $p < 0.05$ ）。足関節の最大背屈角度については、目標値25%が目標値75%, 100%より有意に角度が小さく、目標値50%が目標値100%より有意に角度が小さかった（ $F [3, 39] = 16.00, p < 0.05$ ）。また、足関節の最大背屈角度にのみ有意な交互作用（ $F [3, 39] = 4.07, p < 0.05$ ）が認められたため、単純主効果の検定を行ったところ、目標値25%と50%における有意な条件の単純主効果が認められ、いずれも通常条件のほうが複合条件より有意に角度が大きかった（25%： $F [1, 13] = 13.32$, 50%： $F [1, 13] = 11.09$ 。いずれも $p < 0.05$ ）。また、有意な目標値の単純主効果（ $F [3, 39] = 14.61, p < 0.05$ ）が認められ、多重比較検定を行ったところ、複合条件においては目標値25%が目標値75%, 100%より有意に角度が小さく、目標値50%が目標値100%より有意に角度が小さかった。つまり、最大沈み込み距離と膝関節および股関節の最大屈

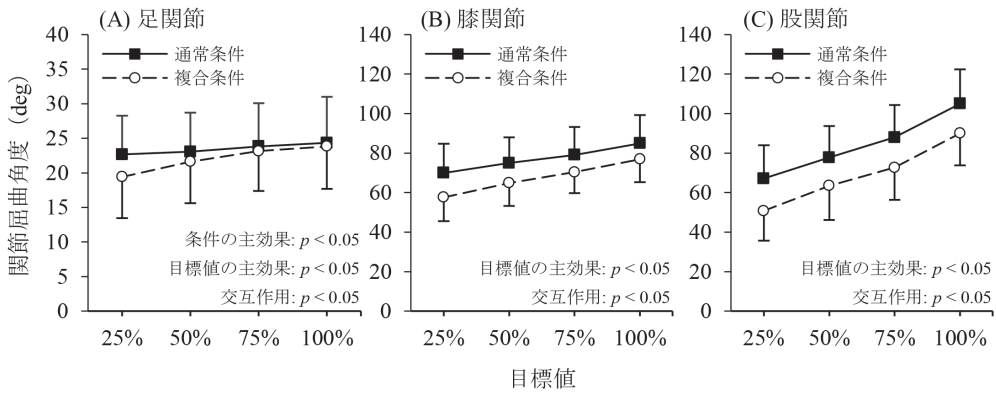


図2 各条件における各関節の最大屈曲角度

曲角度は、いずれも複合条件では通常条件より小さい値を示すものの、目標値の増大に伴い値が増大していた。しかし足関節でのみ、通常条件では目標値に関わらずほぼ一定の背屈角度であるが、複合条件では目標値の増大に伴い最大背屈角度が増大していた。

4. 跳躍高と最大沈み込み距離、動作時間および各関節の最大屈曲角度との関係

各群における跳躍高と最大沈み込み距離、動作時間および各関節の最大屈曲角度との関係について、相関係数を表2に示す。最大沈み込み角度、膝関節最大屈曲角度、股関節最大屈曲角度は両条件においても跳躍高と有意な相関関係が認められた。他方、足関節最大背屈角度、動作時間は複合条件でのみ跳躍高と有意な相関関係が認められた。

IV 考察

本研究の目的は、垂直跳び高のグレーディングと単純反応課題とを複合することで、短い動作時間におけるグレーディングを評価し、先行研究で

行われてきた動作時間の指定や制限のないグレーディング（任意の動作時間でのグレーディング）との差異を明らかにすることであった。本研究ではグレーディングの目標値を最大努力（100%）に対する相対値で指示したため、跳躍高に加えて各条件における最大跳躍高を基準とした相対跳躍高（%max）を用いて、各条件における努力度と達成度との関係を比較した。その結果、通常条件と比較して複合条件では跳躍高の低下だけでなく、相対跳躍高の低下が認められ、グレーディングと単純反応課題とを複合することで絶対的な跳躍高の低下だけでなく、努力度に対する達成度の低下も生じることが示された（図1）。

跳躍高および相対跳躍高は各目標値間で有意差が認められたことから、いずれの条件においても対象者は努力度に基づいて跳躍高を区別できていた。垂直跳び高のグレーディングを調査した研究（Artur et al., 2017; 今西・太田, 2016; 伊藤・村木, 1997; 宮本ほか, 2017; 村木・稲岡, 1996; 定本・大築, 1977）と同様に、相対跳躍高では両条件において高い目標値に至るまで達成度が努力度を上回り、対象者が自身の発揮する跳躍高を過小評価していることが認められた（図1B）。また複合条

表2 各条件における跳躍高と各変数との相関関係

		最大沈み込み距離	動作時間	足関節最大背屈角度	膝関節最大屈曲角度	股関節最大屈曲角度
跳躍高	通常条件	0.437 *	-0.041	0.249	0.493 *	0.647 *
	複合条件	0.623 *	0.334 *	0.506 *	0.728 *	0.765 *

*: $p < 0.05$

件における動作開始時間と全身反応時間との間に有意な差は認められなかった。これらからグレーディングと単純反応課題とを複合しても、両課題を並行的に遂行することは可能であったと推察される。また、実験前後で最大跳躍高に差異が認められなかったことから、得られたデータに対する疲労の影響は小さかったと推察される。

1. 各条件における跳躍高および相対跳躍高と各関節の最大屈曲角度との関係

複合条件では通常条件と比較して足関節、膝関節、股関節における最大屈曲角度と最大沈み込み距離の減少が認められた(図2)。これらから複合条件においては、素早く跳躍を行うために反動動作を小さくしており、それにより各関節の最大屈曲角度や最大沈み込み距離が減少し、結果として跳躍高が低下したと考えられる。

足関節の最大背屈角度のみ有意な交互作用が認められ、通常条件では目標値間でほぼ一定の最大背屈角度であったのに対し、複合条件では目標値25%、50%での最大背屈角度が通常条件より小さく、同条件の目標値75%、100%よりも小さかった。また、通常条件では跳躍高と足関節の最大背屈角度との間に相関関係は認められなかったが、複合条件では中程度の正の相関関係($r = 0.506$)が認められ、目標値の増大とともに最大背屈角度が増大する傾向がみられた(表2, 図2A)。この条件間における足関節の関与の差異は、相対跳躍高の低下に影響を及ぼしていると考えられる。足関節の作用は跳躍高の獲得における重要な要素の1つであるが(Luhtanen and Komi, 1978; Robertson and Fleming, 1987), Vanrenterghem et al. (2004)は垂直跳び高の調節において、足関節は25%max程度の低強度での跳躍高の調節に寄与する一方で、その仕事量は50%max程度で頭打ちになり、それ以上の強度ではほとんど変化しないと報告している。阿江ら(1994)は40%maxから最大努力までの跳躍課題において、足関節の最大背屈角度が跳躍高に関わらずほぼ一定であったことを報告しており、Wade et al. (2018)も異なる跳躍高において足関節の最大背屈角度に差がないことを

報告している。これらから、40、50%max以上の跳躍では反動動作における足関節の最大背屈角度は上限に達しており、跳躍高のグレーディングに及ぼす影響は少なく、跳躍高の獲得にのみ作用していると考えられる。本研究で設定した最も低い目標値は25%であったが、その目標値で実際に発揮された跳躍高は60%max程度(通常条件で63.0%max, 複合条件で58.1%max)であったことから、通常条件において目標値間で足関節の最大背屈角度に有意差が認められず、目標値の増大に伴いわずかに漸増したものの、ほぼ一定の値を示したことは先行研究と同様の結果である。しかし複合条件では、目標値25%、50%での相対跳躍高はそれぞれ58.1%max, 72.4%maxと、先行研究(阿江ほか, 1994; Vanrenterghem et al., 2004; Wade et al., 2018)で報告されている足関節の最大背屈角度が頭打ちになる跳躍高を超えているのにも関わらず、足関節の最大背屈角度は通常条件より小さく、同条件の目標値75%、100%よりも小さかった(図2A)。以上を踏まえると、任意の動作時間でのグレーディングにおいて、本研究で発揮された跳躍高では足関節の最大背屈角度は頭打ちになるため跳躍高の獲得にのみ作用し、跳躍高のグレーディングは膝関節・股関節の最大屈曲角度の調節によって行われる(伊藤・村木, 1997; Kai et al., 2006; 定本・大築, 1977)。しかし複合条件においては、グレーディングで重要となる膝関節・股関節の最大屈曲角度だけでなく、足関節の最大背屈角度も減少することが、努力度と達成度との関係の変化を引き起こしていると考えられる。

2. 複合課題における跳躍高および相対跳躍高の低下とその他の要因との関係

複合条件における相対跳躍高の低下に影響しているその他の要因として、筋腱複合体が持つ弾性作用の影響が減少したことが挙げられる。垂直跳びにおいては、反動動作によって受動的に伸筋群の筋腱複合体が引き伸ばされることで、腱に貯蔵された弾性エネルギーの一部が、後続する伸筋の収縮時に利用されることで跳躍高の獲得に寄与す

ることが知られている (Bosco et al., 1982; Finni et al., 2000; Komi and Bosco, 1978). 最大下での垂直跳びにおいても腱の弾性作用は跳躍高の獲得に寄与しているが (Vanrenterghem et al., 2004; Wade et al., 2018), 複合条件では各関節の最大屈曲角度は通常条件よりも小さく, 反動動作から得られる弾性エネルギーは小さかったと推察される. 先述の通り, 跳躍高のグレーディングは膝関節や股関節の最大屈曲角度の調節によって行われていると考えられるが, 跳躍高に対する筋腱複合体の弾性作用の影響は随意的な動作に付随して起きる受動的なものであるため, 対象者の努力度に基づく随意的なグレーディングとは独立して跳躍高に影響している可能性がある. つまり, 両条件においても対象者は同程度の努力度に基づいて跳躍高のグレーディングを行っているにも関わらず, 複合条件では各関節の屈曲角度が小さくなるなどの動作の大きさが異なることで, 筋腱複合体の弾性作用など跳躍高の獲得に関わる不随意的な影響が減少し, 結果として努力度に対する達成度が低下した可能性がある. この点については, スクワットジャンプなどの反動動作を伴わない跳躍動作やアイソメトリックな動作を用いた筋腱複合体の弾性作用による影響を取り除いた条件下で検証する必要がある.

3. 今後の課題と展望

本研究で用いた複合条件では, 通常条件と異なり, 跳躍高と足関節の最大背屈角度および動作時間との間に相関関係が認められたことに加え, 通常条件で有意であった最大沈み込み距離, 膝関節および股関節の最大屈曲角度などの要因も複合条件ではより高い相関係数を示した (表2). つまり, 複合条件ではより動作的な調節によって跳躍高のグレーディングが行われていることを示唆している. 時間的余裕のある通常条件では, 沈み込み距離の長さや各関節角度などの動作的な調節に加え, 下肢の伸筋群の筋発揮の程度を調節して跳躍高のグレーディングを行っているのかもしれない. しかし時間的余裕のない複合条件では, 調節する要因を減らし, 関節の屈曲角度の調節など動

作の大きさの調節を主としたグレーディングに切り替えていた可能性がある. この点については, 今後筋活動の計測を含めたキネティクスの分析によって検証する必要がある.

本研究では垂直跳び高のグレーディングに単純反応課題を複合することで, 跳躍高の低下や関節角度の減少だけでなく, 努力度と達成度との関係の変化を生じさせることが明らかになった. 冒頭でも述べた通り, 競技場面においては, 任意のタイミングで動作を行うだけでなく, ボールや相手に合わせて素早く動作を行うことも重要であることから, 任意の動作時間でのグレーディングだけでは競技者のパフォーマンスを評価するうえで十分でない可能性がある. 今後は単純反応課題に限らず, スポーツ場面に関連した課題とグレーディングとを複合することで, 競技者のパフォーマンスをより実践的に評価できると考えられる.

V 結 語

本研究では垂直跳び高のグレーディングと単純反応課題とを複合することで, 短い動作時間におけるグレーディングを評価し, 先行研究で行われてきた動作時間の指定や制限のないグレーディング (任意の動作時間でのグレーディング) との差異を調査した. その結果, 全ての目標値での跳躍高および各条件における最大跳躍高に対する相対跳躍高が複合条件で有意に低値を示した. 跳躍高と足関節, 膝関節, 股関節の最大屈曲角度との相関係数を算出したところ, 両条件とも共通して跳躍高と膝関節, 股関節の最大屈曲角度との間に有意な相関関係が認められた. しかし足関節の最大背屈角度は, 通常条件では目標値に関わらずほぼ一定の値を示し, 跳躍高との間に相関関係は認められなかった. 一方, 複合条件では足関節の最大背屈角度は目標値の増大に伴い増大し, 跳躍高と中程度の正の相関関係が認められた. これらから, 垂直跳び高のグレーディングと単純反応課題とを複合することで, グレーディングにおける動作が変容するとともに努力度と達成度との関係も変容することが示唆された.

文 献

- 阿江通良・大木昭一郎・高松潤二 (1994) 垂直跳おおよび着地動作におけるパワー発揮の大きさと下肢関節の貢献度. *バイオメカニズム*, 12 : 97-108.
- Artur, S., Bogdan, P., Kawczyński, A., Winiarski, S., Grzegorz, J., and Andrzej, R. (2017) Manifestations of proprioception during vertical jumps to specific height. *J. Strength Cond. Res.*, 31(6): 1694-1701.
- Bosco, C., Viitasalo, J.T., Komi, P.V., and Luhtanen, P. (1982) Combined effect of elastic energy and myoelectrical potentiation during stretch-shortening cycle exercise. *Acta. Physiol. Scand.* 114: 557-565.
- Domire, Z.J. and Challis, J.H. (2015) Maximum height and minimum time vertical jumping. *J. Biomech.*, 48: 2865-2870.
- Finni, T., Komi, P.V., and Lepola, V. (2000) In vivo human triceps surae and quadriceps femoris muscle function in a squat jump and counter movement jump. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 83: 416-426.
- 深代千之 (2007) 跳躍の仕組み. *体育の科学*, 57 : 492-500.
- 今西平・太田洋一 (2016) 垂直跳と下肢等尺性筋力発揮のグレーディング能力の関連性. *トレーニング科学*, 27(4) : 133-139.
- 伊藤浩志・村木征人 (1997) 走, 跳, 投動作のグレーディング能力に関する研究. *スポーツ法理学研究*, 10(1) : 17-24.
- Kai, S., Nakahara, M., Watari, K., Murakami, S., and Yoshimoto, R. (2006) Knee joint angle at the time of adjustment to submaximal jumping in healthy men. *J. Phys. Ther. Sci.*, 18: 11-13.
- Kai, S., Nagino, K., Nomura, T., Shigemori, K., Mitani, Y., Hiroshima, R., Okamoto, K., and Takeda, K. (2012) Relationship between whole body reaction time and the motion-silent period and the action period in jump. *J. Phys. Ther. Sci.*, 24: 227-229.
- 金子元彦 (2017) 投・打動作におけるグレーディング. *体育の科学*, 67(12) : 809-814.
- Komi, P.V. and Bosco, C. (1978) Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 10(4): 261-265.
- Luhtanen, S. and Komi, P.V. (1978) Segmental contribution to forces in vertical jump. *European J. Appl. Physiol.*, 38: 181-188.
- 宮本健史・林谷市・高橋信二・速水達也 (2017) 青年期における垂直跳びの跳躍高調節能力と各就学年代の運動量との関係—開眼および閉眼条件を用いた検討—. *体育測定評価学研究*, 17 : 37-46.
- 村木征人・稲岡純史 (1996) 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.
- 大築立志 (1988) 「たくみ」の科学. 朝倉書店, pp.74-76, 134-139.
- Robertson, D.G.E. and Fleming, D. (1987) Kinetics of standing broad and vertical jumping. *Can. J. Appl. Sports Sci.*, 12(1): 19-23.
- 定本朋子・大築立志 (1977) 跳躍動作における出力制御の正確性—跳躍距離の grading および再現の特性—. *体育学研究*, 22 : 215-229.
- Vanrenterghem, J., Lees, A., Lenoir, M., Peter, A., and De Clercq, D. (2004) Performing the vertical jump: Movement adaptations for submaximal jumping. *Hum. Mov. Sci.*, 22: 713-727.
- Wade, L., Lichtwark, G., and Farris, D.J. (2018) Movement strategies for countermovement jumping are potentially influenced by elastic energy stored and released from tendons. *Sci. Rep.*, 8: 2300.
- Woods, D.L., Wyma, J.M., Yund, E.W., Herron, T. J., and Reed, B. (2015) Factors influencing the latency of simple reaction time. *Front Hum. Neurosci.*, 9: 131.

(2018年6月1日受付)
(2018年10月23日受理)

Advance Publication by J-STAGE
Published online 2019/2/8