

平成 29 年 6 月 20 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16458

研究課題名(和文) 力学的エネルギーからみた跳躍動作の分類と発達過程

研究課題名(英文) Developmental process of drop jump from classification according to mechanical energy

研究代表者

杉本 和那美 (SUGIMOTO, Kanami)

筑波大学・体育系・研究員

研究者番号：40637196

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000 円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ドロップジャンプを跳び下りと跳び上がりの台高、台間の距離を変化させることで異なる条件下で行わせ、力学的エネルギーの観点から跳躍動作の発達を検討した。その結果、1) 正の仕事の大きさによって下肢のStiffnessが影響されること、2) 下肢Stiffnessは膝関節のStiffnessに影響されること、が明らかになった。そして、体重当たりの下肢の筋力が関係することが示唆された。これらは、大きな正のパワーを発揮するため、台からの跳び下りた際の着地動作で身体の力学的エネルギーを吸収しながら次の台へ跳び上がるために大きな力を立ち上げる上げることが跳躍動作の本質的な特徴であると考えられる。

研究成果の概要(英文)：In this study, female and male athletes perform drop jump in various conditions, the development of drop jump from the viewpoint of mechanical energy is 1) the influence of the lower limb stiffness depending on the size of the positive work, 2) the influence of the lower limb stiffness is affected by the knee joint stiffness. It was also suggested that muscular strength of the lower limbs per weight may be involved.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：跳躍動作 力学的エネルギー スティフネス

1. 研究開始当初の背景

跳躍動作は、垂直跳びや立幅跳びなどのその場からの跳躍ばかりでなく、連続した跳躍や助走を用いた跳躍など、踏切動作の前に着地動作を行なう場合が多い。スポーツではさまざまな跳躍動作、すなわち踏切動作と着地動作の習得を必要とする。

子どもの運動発達の順序として、Gallahue (1999) は基礎的運動スキルである「跳ぶ」の運動パターンをおおよその獲得年齢とともに示しており、生後 18 か月で低い台からまたぎ降りる、2 歳で片足踏切で台から跳び降りる、と着地動作から跳躍運動の発達が始まり、28 か月で両足をそろえて床から跳び上がり、5 歳で成熟したジャンプパターンになると報告している。着地動作は重力によって下向きに落下する身体を受け止める力が必要であるが、踏切動作はその重力により大きな上向きの力を発揮し、上方向の速度を獲得しなければならない (深代、1990)。そのため、着地動作を身につけ、跳躍動作へと発達していると考えられる。

着地動作は力学的エネルギーを吸収する、踏切動作は身体の力学的エネルギーを増大する動作である。Bobbert et al. (1987) は、両脚でのリバウンドドロップジャンプを高い台高に変化させて、より大きな運動エネルギーを受け止めた場合には、足底屈筋群は大きな運動エネルギーを吸収することができなくなり、接地とともに踵が地面に着き地面反力に鋭いピーク値が出現し始めること、そのために足底屈筋群の興奮性が抑制されて弾性エネルギーの貯蔵-再利用機構が有効に機能しなくなり、屈曲から伸展への移行にもかなりの時間のかかることを報告している。水平跳躍においても助走速度の増大により同様の变化やメカニズムが考えられるが、そのような観点から分析したものは見当たらない。

着地と踏切動作は、関節角度と関節トルクの関係に着目して関節 Stiffness として評価されている (McMahon and Cheng, 1990)。これまで跳躍動作において関節 Stiffness を評価した研究は多いが、エキセントリックとコンセントリック局面の関節 Stiffness の関係に着目した研究は少ない。さらに、これらの様相を弾性エネルギーの再利用と総評して、どのような動作や力発揮特性によって全体の力学的エネルギーが効果的に増大できるかに関する知見は乏しい。

2. 研究の目的

本研究では、跳躍動作における力学的エネルギーの観点から着地動作と踏切動作の組み合わせにおいて跳躍動作を分類し、発達過程をモデル化すること、そのモデルを用いてトレーニングを実施し、動作の習得や筋力・パワーの発達を評価することを目的とする。

3. 研究の方法

(1) 実験

被験者は、難易度の高い試技を実施させるため、普段トレーニングをしているものとし、大学生男女陸上競技者各 1 名を対象とした。

実験試技は、跳び下り台 (DH) と跳び上がり台 (UH) をそれぞれ 30cm と 60cm の 2 種類、台間の水平距離 (I) を 60cm、120cm、180cm の 3 種類を組み合わせた 11 種類のドロップジャンプを行わせた (図 1)。その跳躍動作を側方からデジタルビデオカメラで撮影するとともに地面反力を計測した。

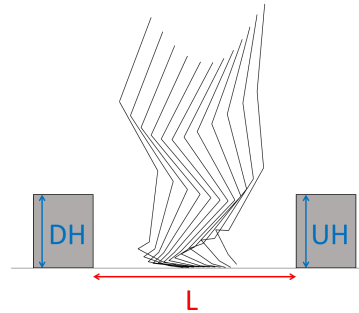


図 1 実験試技

(2) 分析方法

得られた映像から身体計測点 7 点 (つま先、母指球、踵、外踝、膝関節中心、大転子および肩) および校正マーク 4 点をビデオ動作解析システム (DKH 社製、Frame-DIAS V) を用いてデジタイズした。分析範囲は、接地 5 コマ前から離地 5 コマ後とした。得られた身体部分点の 2 次元座標は、校正マークをもとに実長換算し、平滑化を行った。なお進行方向を X 座標、鉛直方向を Y 座標とした。

平滑化したデータから、阿江ら (1992) の身体部分係数を用いて部分の重心を算出した後、身体の足、下腿、大腿および体幹の 4 セグメントモデル化し身体部分および関節角度を求めた。身体分析点、部分および関節角度の変位データを数値微分することで速度および加速度を求めた。

身体部分を剛体リンクモデルにみなして運動方程式をたて、身体の遠位部分から順次解くことによって関節力および関節トルクを算出した。関節トルクパワーは関節トルクと関節角度の積で求めた。さらに、関節トルクパワーを時間積分することで各関節の仕事量を算出した。また、脚 Stiffness をつま先と大転子を結んだ線分 (L) が接地時から最小値を示した時点 (L-min) までの短縮量 (ΔL) で L-min 時の地面反力の鉛直成分を除いた値、関節 Stiffness を各関節の最大屈曲角度で最大関節トルクを除いた値とした。

さらに、本実験では異なる条件で跳躍動作を行わせたため、その跳躍動作の評価指数として阿江ら (1996) の有効性指数 (EI) を算出した。

4. 研究成果

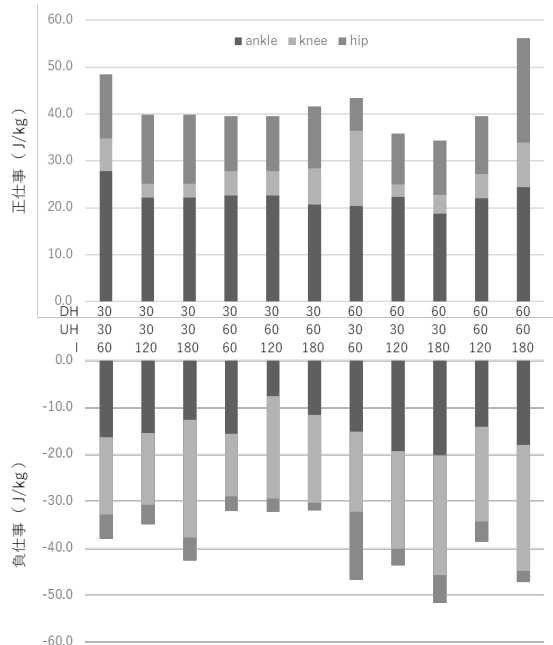


図2 女性競技者における各試技の仕事

得られた実験データをもとに力学的エネルギーの吸収と発生の大きさに着目して分類を行うことを課題とした。その結果、足関節と膝関節の力学的仕事の正と負の大きさを比較することで2種類に分類することができた。1種類目(P1)は両関節ともに負仕事为正仕事よりも大きな値を示し、2種類目(P2)は足関節における正仕事を負仕事よりも、膝関節における負仕事为正仕事よりも大きな値を示した(図2)。P1は、女性競技者のDH60-I180-UH30の1試技のみであった。このことから、阿江ら(1996)の有効性指数(EI)を用いて分類することを試みた。EIは分子にパフォーマンスの指標として跳躍高を位置エネルギーに換算したものを、分母には下肢関節の絶対仕事を代入して求めており、下肢関節によってなされた力学的仕事がどれくらい跳躍高に変換されたかを示すものである。EIは、女性競技者においてUHが大きいと有意に大きな値を示し($p<0.05$)、DHおよびIでは有意な差は認められなかった。一方、男性競技者においては、DH、UH、Iのいずれの条件においても有意な差は認められなかった。また、EIと各Stiffnessとの関係を見ると、女性競技者では脚および膝関節Stiffnessとの間に有意な正の相関関係が($r=.647$, $p<0.05$ および $r=.646$, $p<0.05$)、男性競技者では膝および股関節Stiffnessとの間に有意な正の相関関係が認められた($r=.761$, $p<0.05$ および $r=.734$, $p<0.05$)(図3)。

このことから、男女ともに跳躍動作の有効

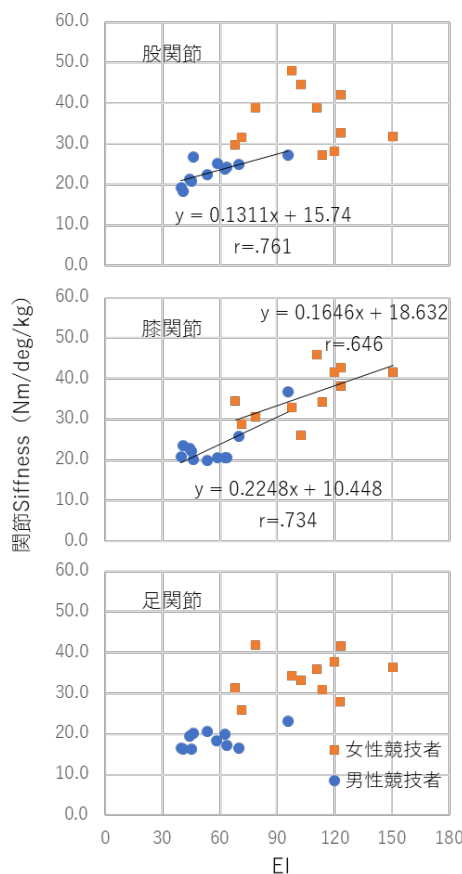


図3 EIと関節Stiffnessとの関係

性は各関節Stiffnessと関係があり、特に膝関節で調整していると考えられる。このことから、各関節Stiffnessと跳躍動作について考察した。

図4は、女性競技者における関節角度-トルク関係を示した。足および膝関節Stiffnessはどちらも最大関節トルクと有意な正の相関関係が認められ($r=.966$, $p<0.01$ および $r=.903$, $p<0.01$)、大きな力の立ち上がりが影響していることが示唆された。男性競技者も同様の結果であった。

本研究は、踏切動作と着地動作において大きな筋力やパワーを必要とするため、男女の差から体力の影響について検討を行った。表1は、各競技者の算出項目を示したものである。男女間で有意な差が認められた項目は、14項目中12項目であった。このことから、女性競技者は男性競技者より接地時間が短く下肢3関節の屈伸が小さい跳躍動作で有効性が高いものであり、男女で跳躍動作に違いがあることが示唆された。このことは、体重あたりの筋力およびパワーが下肢関節のパワー発揮特性、すなわちStiffnessの調節に影響している可能性を示唆していると考えられる。

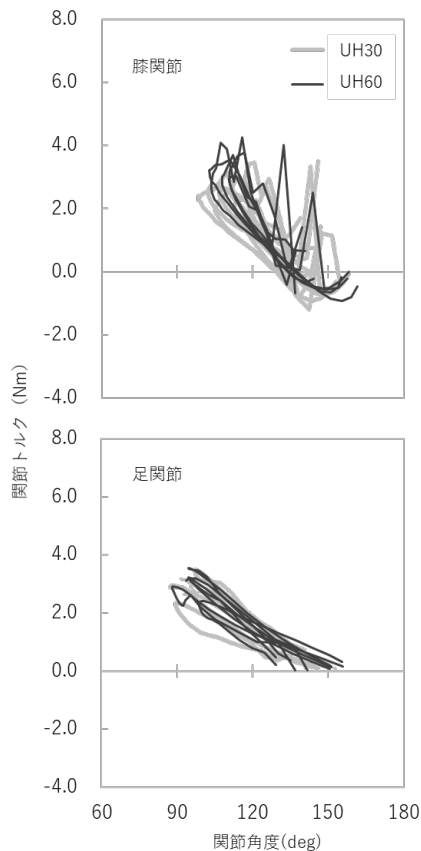


図4 女性競技者における関節角度-トルク関係

表1 各競技者における算出項目

	女性	男性	有意差
	平均値 (標準偏差)	平均値 (標準偏差)	
接地時間 (s)	0.227 (0.024)	0.365 (0.042)	**
地面反力鉛直成分最大値(kN)	3.45 (0.64)	4.17 (1.05)	n.s.
脚長短縮量 (m)	0.19 (0.03)	0.24 (0.03)	**
Leg stiffness (kN/m)	18.5 (4.0)	17.95 (4.8)	n.s.
股関節最大トルク (Nm/kg)	2.10 (0.41)	2.06 (0.34)	n.s.
膝関節最大トルク (Nm/kg)	2.61 (0.39)	2.12 (0.30)	**
足関節最大トルク (Nm/kg)	2.97 (0.41)	1.74 (0.22)	**
股関節最大屈曲角度 (deg)	121.0 (5.5)	90.6 (12.7)	**
膝関節最大屈曲角度 (deg)	107.1 (5.4)	87.2 (6.4)	**
足関節最大屈曲角度 (deg)	92.9 (3.7)	86.10 (3.2)	**
股関節stiffness (Nm/deg/kg)	35.2 (7.0)	23.12 (3.0)	**
膝関節stiffness (Nm/deg/kg)	35.4 (7.2)	23.1 (4.9)	**
足関節stiffness (Nm/deg/kg)	33.6 (4.5)	18.59 (2.3)	**
有効性指数	105.5 (25.1)	56.3 (16.5)	**

n.s.: not significant, *: p<0.05, **: p<0.01

本研究の結果から、跳躍動作の発達は、
 (1) 正の仕事の大きさによって下肢の
 Stiffness が影響されること、(2) 下肢
 Stiffness は膝関節の Stiffness に影響され
 ること、が明らかになった。そして、体重あ

りの下肢の筋力が関係することも示唆された。これまで跳躍動作は踏切時間、とくに踏切前半の時間および水平速度の影響が検討されることが多かったが、本研究からは、どちらも Stiffness の調節、そして正のパワー発揮に影響されていることが推測された。すなわち、大きな正のパワーを発揮するため、踏切前半における身体の力学的エネルギーを吸収しながら大きな力を立ち上げることが跳躍動作の本質的な特徴であると考えられる。結果として、踏切時間や水平速度の影響が評価されるのであろう。今後は、膝関節の Stiffness と正のパワー発揮、そして体重の影響を加味してトレーニングおよび発育段階における発達過程を評価することが課題である。

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

- ① Kanami Sugimoto, Yasushi Enomoto, and Keitaro Seki

The interrelationship of joint stiffness in drop jump under different conditions: A single-subject design. 35th International conference on biomechanics in sports, Cologne (German) 2017.6.17

- ② 杉本和那美、榎本靖士、関慶太郎 (2016) 異なる台高と水平距離におけるドロップジャンプのキネティクスの特徴. 第24回日本バイオメカニクス学会, 立命館大学 (滋賀県・草津市) 2016.9.14

6. 研究組織

(1) 研究代表者

杉本 和那美 (SUGIMOTO, Kanami)

筑波大学・体育系・研究員

研究者番号: 4 0 6 3 7 1 9 6