

なわとびにおける跳躍周期の違いが床反力に及ぼす影響

山口英峰*¹ 山元健太*¹ 宮川 健*² 宮地元彦*² 小野寺昇*²

要 約

本研究は、なわとびにおける跳躍周期の違いが床反力に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。健康な成人男子6名を被験者とした。なわとびの跳躍周期を72, 80, 92, 100, 112, 120, 132回/分 (SPM: Skip Per Minute) の7つに設定した。なわとびは、両足での一回旋一跳躍とした。床反力、接地時間、滞空時間はフォースプレートの信号をコンピューターに取り込みそれぞれ解析した。床反力の垂直方向成分の最大値は、92 SPM~100 SPMを底部としたものであった ($p < 0.05$)。

この結果から、92~100 SPMのなわとびは、障害予防という観点で膝などの関節にかかる負担がもっとも少ない跳躍周期であると考えられた。

緒 言

有酸素性運動が生活習慣病の予防、改善に寄与していることはよく知られている。なわとびは、呼吸循環機能の改善効果をもつ簡便な有酸素性運動として¹⁾幅広い年齢層で行われており、古くから健康・体力づくりの手段として親しまれてきた。なわとびは、我が国の学校教育教材として明治35年にはすでに導入され、現在では小、中の体操領域の中で実施されている^{2,3)}。

これまでのなわとびに関する研究は、跳躍周期とエネルギー消費量⁴⁻⁷⁾、跳躍周期と運動強度⁸⁾の関係、トレーニング効果^{9,10)}など生理学的な応答(心拍数や酸素摂取量)を指標としたものがほとんどである。これらの報告は、跳躍周期の変化によって生理学的応答が異なることを示している。跳躍周期によって生理学的応答が変化する要因としては、跳んでいる回数の違いだけではなく、各筋群の寄与率、上肢の関与の割合、関節角度など力学的応答等の影響が考えられる。なわとびは、ホッピングに上肢の動きやなわを跳ぶという意識が加わり、単にホッピングで跳躍周期を変化させた状態とは異なる。なわとびにおいて跳躍周期を変化させると、跳んでいる高さが同等であれば、接地時間が変化し、跳躍周期の変化に対して床反力など力学的反応に影響を及ぼすと考えられる。これまで跳躍周期の違いと床反力、滞空時間、及び接地時間との関りについて論じた報告はほとんどない。

前田ら¹¹⁾は、一般に衝撃力を緩衝するとは床反力のピーク値を小さくすることを意味すると述べている。床反力を測定することは、障害予防という観点で膝などの関節にかかる負担の強弱を予測できると考える。これらのことから跳躍周期の違いが床反力に及ぼす影響について検討することは意義あることと考える。そこで本研究では、床反力の垂直方向成分、接地時間、滞空時間を測定し、なわとびにおける跳躍周期の違いが床反力に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

方 法

A. 対象

健康な成人男子6名(年齢 22 ± 1 歳、身長 172.4 ± 5.2 cm、体重 67.8 ± 5.6 kg; 平均値±標準偏差)を被験者とした。被験者に本研究の目的、方法を十分説明し、研究に参加することの同意を得た。

B. 測定項目及び測定条件

なわとびの跳躍周期を72, 80, 92, 100, 112, 120, 132回/分 (SPM: Skip Per Minute) の7つに設定した。なわとびは、両足での一回旋一跳躍とした。被験者は、7種類の跳躍周期をメトロノーム(SQ-77, 服部セイコー)のリズムに合わせて跳躍した。被験者は、実験に先立ちリズムに合わせたなわとび練習を行い、メトロノームのリズムとなわとびの跳躍周期が一致することを一人一人確認した。各

跳躍周期での条件をそろえるために、被験者に全ての跳躍周期で跳躍高が同等になるように指示した。試技に用いたなわは、全被験者同じなわ (asics 社製 jumping rope INF) を使用し、各個人の跳びやすいなわの長さに調節した。

床反力は、フォースプレート (竹井機器工業(株)) の信号をコンピューター (PC-9821V7, NEC) に取り込み解析した。同時に接地時間、滞空時間を算出した。全ての試技において、メトロノームのリズムと跳躍が合致した15跳躍を測定値とした。

床反力の定義を図1に示した。二相性波形の場合、最初のピーク値を Fz1, 2つめのピーク値を Fz2, そして Fz1 と Fz2 間の最小値を Fz3 とした。単相性波形の場合、Fz4 を床反力の最大値とした。

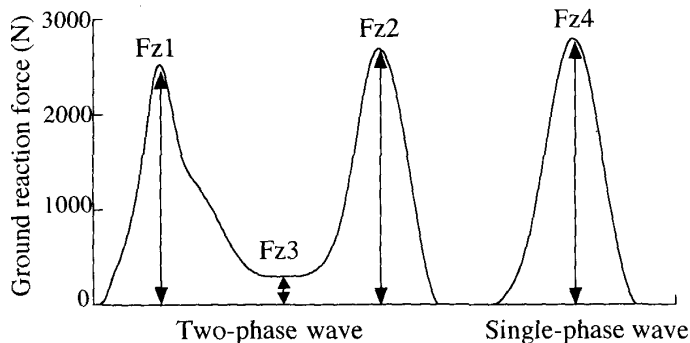


図1 The definition of the maximal peak on the vertical ground reaction force. When ground reaction force showed two-phase waves, Fz1 is maximal values of the first mountain, Fz2 is maximal values of two mountains and Fz3 is minimal values of ground reaction force. When ground reaction force showed single waves, Fz4 is maximal values of ground reaction force.

C. 統計処理

測定値は、平均値±標準偏差で表した。跳躍周期の変化と床反力の関係については反復測定を伴う分散分析を行った。分散分析で有意性が認められた場合は、contrast 法を用いて post hoc テストを行った。危険率 (p) 5%未満を有意な差とした。

結 果

A. 跳躍周期の変化と床反力との関係

跳躍周期の変化に対する床反力の垂直方向成分の最大値 (Peak force) の変化を図2に示した。二相性波形では Fz2の方が常に高値を示すことから、Fz2を二相性波形の Peak force とし、単相性波形では Fz4を Peak force とした。跳躍周期の変化と Peak force との関係について反復測定を伴う分散分析を行うと跳躍周期に対する一連の床反力変化は、有意な変化であった ($p < 0.01$)。また、体重当たりで換

算した値においても同様な統計的有意差を確認した (図2-B)。跳躍周期に対する絶対値、体重あたりの Peak force の変化は、92 SPM を底部とした U 字様の有意な変化を示した ($p < 0.05$)。

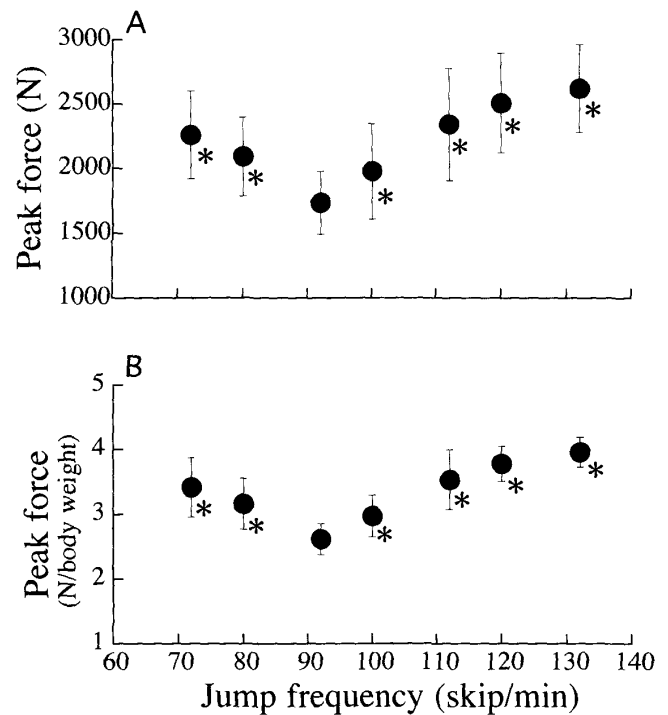


図2 Changes in peak force of absolute value (A) and relative value (B) at different frequencies. Values are mean \pm SD. * shows significant difference to the 92 SPM (* : $p < 0.05$).

跳躍周期の変化に対する床反力の最小値である Fz3 の変化を図3に示した。床反力波形が完全な二相性であった72, 80, 92 SPM を測定値とした。Fz3 は、跳躍周期が速くなるにつれて有意に高くなった ($p < 0.05$)。

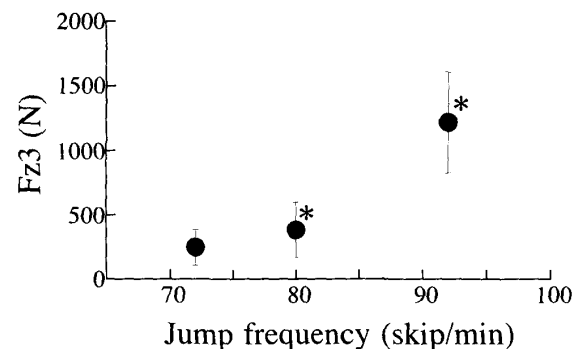


図3 Changes of Fz3 at different frequencies. Values are mean \pm SD. * shows significant difference to the 72 SPM (* : $p < 0.05$).

B. 跳躍周期の変化と床反力波形との関係

図4に異なる跳躍周期における床反力波形の変化について示した。足が床に接地してから次の足の接地までを1周期の動作とした。床反力波形は、72 SPM~92 SPM までは二相性の波形であった。100 SPM では不完全な単相性の波形であった。112

SPM 以上では完全な単相性の波形に移行した。つまり、72 SPM~92 SPM までは二相性波形、110 SPM からは単相性波形であった。

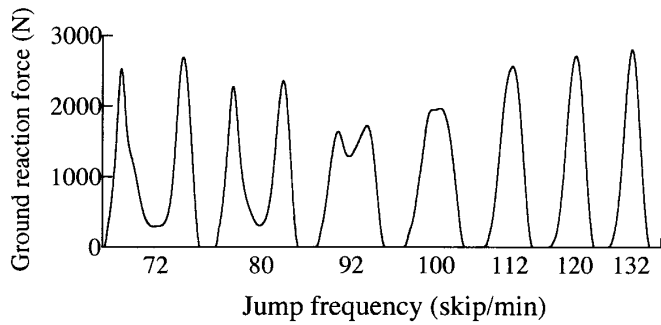


図4 Typical recordings of waves of ground reaction

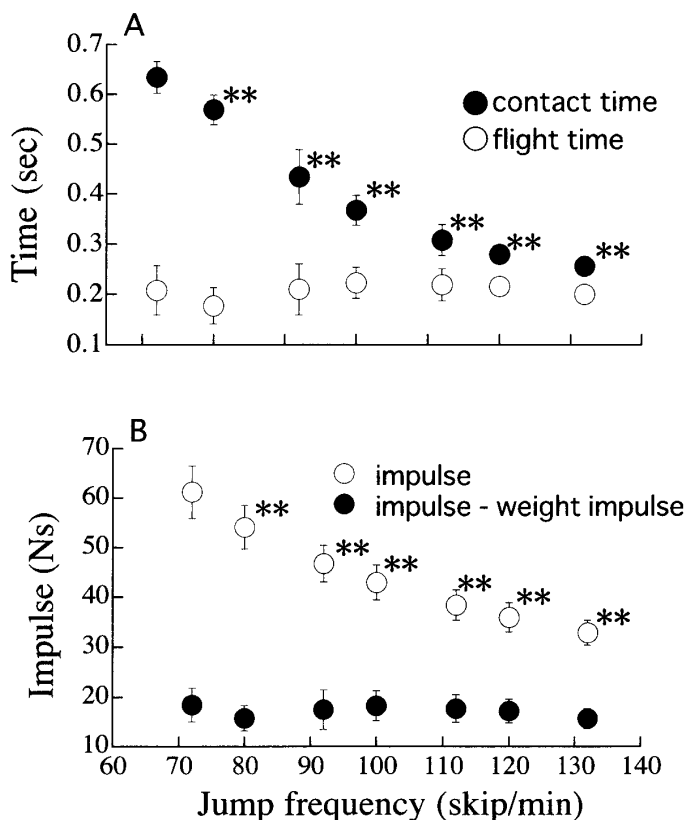


図5 Changes of contact and flight time (A) and impulse (B) at different frequencies. Values are mean \pm SD. *shows significant difference to the 72 SPM (** : $p < 0.01$).

C. 跳躍周期の変化と接地時間、滞空時間、力積との関係

図5に跳躍周期の変化に対する接地時間と滞空時間 (A)、力積 (B) の変化を示した。接地時間は、跳躍周期が速くなるにつれて短くなった。跳躍周期の変化に対する一連の接地時間の減少は、分散分析において有意な変化であった ($p < 0.01$)。滞空時間は、変化しなかった。このことは、全てのリズムにおいて跳躍高がほぼ等しかったことを示している。一方、力積は、跳躍周期が速くなるにつれて有意に減少した ($p < 0.01$) が、力積から体重分の力積を引いた有効力積に有意な変化は見られなかった。

考 察

A. 跳躍周期の変化と床反力との関係

Peak force の変化は、92 SPM を U 字様の底部とした対称型の変化であった (図 2-A)。本研究において、被験者に全ての跳躍周期で跳躍高をそろえることを指示した結果、滞空時間に変化はなく、接地時間が有意に短くなった (図 5-A)。さらに、接地時間と床反力の積から求められる力積は、跳躍周期の増加に対して有意に少なくなったが、力積から体重分の力積を引いた有効力積に変化は見られなかった (図 5-B)。これらのことは、全ての跳躍周期でほぼ同じ跳躍高であったとともに、全ての跳躍周期でほぼ同じパフォーマンスが維持されていることを現わしている。92 SPM 以降、跳躍周期の増加に対して、Peak force は大きくなるものの、接地時間が短くなり、そのために力積が小さくなったと考えられる。深代¹²⁾ は、連続跳躍において 85~125 SPM まで設定し、膝関節角度と床反力との関係を検討し、跳躍周期が速くなるにつれて床反力は大きくなり、膝関節角度は浅くなることを報告した。これらのことから Peak force の大きさは、着地直後の膝関節角度の変化が関与していると推測された。

次に跳躍周期に対する体重あたりの Peak force について検討した。体重あたりの Peak force は、絶対値の Peak force と同様に 92 SPM を底部とした有意な変化を示した (図 2-B)。これまで Nilsson と Thorstensson¹³⁾ は、ウォーキング ($1 \sim 3 \text{ ms}^{-1}$) とランニング (約 $1.5 \sim 6 \text{ ms}^{-1}$) の Peak force に関して、それぞれ体重の約 1.0~1.5, 2.0~2.9 倍の力が垂直方向成分に加わることを報告している。本研究において体重あたりの Peak force は、遅い跳躍周期の 72 SPM では体重の約 3.4 倍、Peak force が最も少ない 92 SPM では体重の約 2.6 倍、速い跳躍周期の 132 SPM では体重の約 4 倍であった。これらのことから、なわとびはウォーキングやランニングに比べて垂直方向成分にかかる力が大きいことが明らかになった。Peak force が小さいことは、垂直方向成分にかかる衝撃力も同様に小さいと考えられる。

小川ら⁴⁾ は、92, 120, 156 SPM の酸素需要量について検討し、92 SPM の時、120, 150 SPM よりも酸素需要量が高くなることを報告した。この報告から 92 SPM でのなわとびは、他の跳躍周期と比較して運動強度が高いと考えられ、トレーニング効果も同様に高く、有酸素性能力の向上には十分な運動強度であると推測される。この報告と本研究の結果からなわとびは、垂直方向成分にかかる負担が少なく、循環器系のトレーニング効果が高いと推測され

る92~100 SPMで行うことが、力学的そして生理学的観点から考察すると望ましい跳躍周期と考えられた。

連続跳躍運動に移行する。従って112 SPMは、抜重を伴わない連続跳躍を始める最初のポイントであると推測された。

B. 跳躍周期の変化と床反力波形との関係

床反力波形は、72 SPM~92 SPMまでは二相性の波形であり、100 SPMでは不完全な単相性の波形であった。また、112 SPM以上では完全な単相性の波形に移行した(図4)。72, 80, 92 SPMの二相性波形が形成される要因は、接地期に抜重期間があるためと考えられる。抜重を現わしていると考えられるFz3は、92 SPMまで跳躍周期の増加に対して有意に高くなった(図3)。しかしながら、100 SPMでは不完全な単相性の波形であり、112 SPM以上では完全な単相性の波形に移行するため、100 SPM以降はFz3を確認することができなかった。72 SPM~92 SPMまでは、着地の衝撃を一度抜重によって放出した後、次の跳躍に移ると考えられる。一方、112 SPM以上では着地の際に蓄えられたエネルギーを次の跳躍に利用していると考えられる。つまり、92 SPM~112 SPMを境界に抜重を伴わない

ま と め

1. Peak forceは、跳躍周期の違いで変化することが明らかになった。Peak forceは、92 SPMの時最小となった。
2. 床反力波形は、92 SPM以下では二相性波形であり、112 SPM以上では単相性波形であった。112 SPMは、抜重を伴わない連続跳躍を始める最初の周期であると推測された。

これらのことから、92~100 SPMのなわとびが適切な跳躍周期であることが明らかになり、同時に障害予防という観点で膝などの関節にかかる負担がもっとも少ない跳躍周期であると考えられた。

本研究を遂行するにあたり、御協力頂きました川崎医療福祉大学大学院博士課程の枝松千尋氏、本大学第5期生の山下仁美氏に深謝致します。

文 献

- 1) Jones DM, Squires C and Rodahl K (1962) The effect of rope skipping on physical work capacity. *Research Quarterly*, **33**, 236-238.
- 2) 文部省(1994)中学校指導書—保健体育編—四版。保健体育科の目標及び内容。大日本図書、東京、pp16-17.
- 3) 文部省(1999)小学校学習指導要領解説—体育編—。体育科の目標及び内容。東山書房、東京、p18.
- 4) 小川新吉, 古田善伯, 小原 繁, 小原達郎, 大谷和寿, 徳山薫平, 古屋三郎(1974)縄跳び運動のエネルギー代謝について。体力科学, **23**, 89-95.
- 5) Jette M, Mongeon J and Routhier R (1979) The energy cost of rope skipping. *Journal of Sports Medicine Physical Fitness*, **19**, 33-37.
- 6) Town GP, Sol N and Sinning WE (1980) The effect of rope skipping rate on energy expenditure of males and female. *Medicine Science in Sports Exercise*, **12**, 295-298.
- 7) Quirk JE and Sinning WE (1982) Anerobic and aerobic responses of male and females to rope skipping. *Medicine Science in Sports Exercise*, **14**, 26-29.
- 8) Myles WS, Dick MR and Jantti R (1981) Heart rate and rope skipping intensity. *Research Quarterly for Exercise and Sports*, **52**, 76-79.
- 9) Baker JA (1968) Comparison of rope skipping and jogging as methods of improving cardiovascular efficiency of college men. *Research Quarterly*, **39**, 240.
- 10) Buyze MT, Foster C, Pollock ML, Sennett SM, Hare J and Sol N (1986) Comparative training responses to rope skipping and jogging. *The Physician and Sports Medicine*, **14**, 65-69.
- 11) 前田 明(1997)着地衝撃の緩衝能。体育の科学, **47**, 781-787.
- 12) 深代千之(1990)跳ぶ科学。大修館書店、東京。pp154-155.
- 13) Nilsson J and Thorstensson A (1989) Ground reaction force at different speeds of human walking and running. *Acta Physiologica Scandinavica*, **136**, 217-227.

Effects of Differences in Jump Frequency on Ground Reaction Force during Rope Skipping

Hidetaka YAMAGUCHI, Kenta YAMAMOTO, Takeshi MIYAKAWA,
Motohiko MIYACHI and Sho ONODERA

(Accepted Dec. 12, 2000)

Key words : ROPE SKIPPING, GROUND REACTION FORCE, JUMP FREQUENCY

Abstract

The purpose of this study was to analyze the effects of differences in jump frequency during rope skipping on ground reaction force (GRF). Six male subjects volunteered to participate in this experiment. They jumped to different frequencies of 72, 80, 92, 100, 112, 120, 132 skips per minute (SPM) in synchronization with a metronome. Ground reaction force, contact time and flight time were analyzed with a force plate. Maximal peak value of the vertical GRF from 92 to 100 SPM was the lowest of all jump frequencies. The result suggest burden to the knee is the smallest for rope skipping at 90~100 SPM.

Correspondence to : Hidetaka YAMAGUCHI Doctoral Program in Health Science, Graduate School of
Medical Professions, Kawasaki University of Medical Welfare
Kurashiki, 701-0193, Japan
(Kawasaki Medical Welfare Journal Vol.10, No.2, 2000 329-333)