縄とび運動のエネルギー代謝について

小 川 新 吉* 古 田 善 伯* 小 原 繁*
小 原 達 朗* 大 谷 和 寿* 徳 山 薫 平*
古 屋 三 郎**

ON THE ENERGY METABOLISM OF ROPE SKIPPING

SHINKICHI OGAWA, YOSHINORI FURUTA, SHIGERU OBARA, TATSURO OBARA,
KAZUTOSHI OTANI, KUNPEI TOKUYAMA AND SABURO FURUYA

In this study, energy consumption of three types of basic rope skipping was measured, together with an investigation of work intensities. The subjects were 5 healthy adult male. The results of this study were as follows :

1) The average relative metabolic rate (RMR) of 1 skip (one skip to one forward-turn of rope), 2 skip (double skip to one forward-turn of rope) and running skip were 13.6, 11.7 and 10.3, respectively, and it was noted that work intensities decrease in order of 1 skip, 2 skip and running skip.

2) On the three types of five minute rope skipping, the oxygen intake for the last one minute of exercise of 1 skip was equivalent to 63.7-78.0% of maximal oxygen intake, and in cases of 2 skip and running skip were 57.5-76.3% and 56.8-67.2%, respectively.

3) When skip frequencies of 1 skip were 92, 120 and 156 skips/min, respectively, oxygen requirement for 120 skips/min was the lowest, therefore, it was noted that skip frequency of 120 skips/min was optimal.

(J. Physical Fitness Japan 1974, 23 : 89~95)

I. は じ め に

縄とびは古くから子供の遊びとして親しまれており、また近年では、体力トレーニングの手段として用いられている。

この運動の特徴は、縄が一本あれば狭い場所でもできること、また、とび方に難易強弱いろいろの種類があり、各人の能力に応じたとび方を選択して実施することができることである。したがって、今日のように運動する場所が狭ばまりつつあるなかで、体力の保持増進をねらうとき、縄とびは極めて便利な運動であるといえよう。

ところで、縄とびに関する科学研究としては、エネルギー消費量¹⁴⁾¹⁵⁾、運動強度⁸⁾およびトレーニング効果⁹⁾等に関する報告が2・3なされてい

るが、体育科学的な面から系統的に解明するには十分とはいえない。

本研究は、縄とび運動中でも連続して呼吸を採集できる方法を考案し、エネルギー代謝、さらに心拍数、呼吸数等も同時測定し、縄とび運動の強度とその特徴を明らかにしようと試みたものである。

II. 研 究 方 法

(A) 被検者

被検者は、年令 20~26 才の体育研究室に所属する健康な成人男子5名であり、その身体特性は表-1 に示してある。

(B) 本実験で用いた縄とびの種類

縄とびは、縄の回かし方と跳躍のし方をいろいろ

* 東京教育大学スポーツ研究所 *Institute of Sport Science, The Faculty of Physical Education, Tokyo University of Education*

** 東京教育大学附属小学校 *The Elementary School Attached to Tokyo University of Education*

Table 1 Characteristics of subjects

Subject (male)	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}O_2$ (BM) (ml/min) *	$\dot{V}O_2$ max (l/min) **	$\dot{V}O_2$ max/kg (ml/kg·min) **	$\dot{V}_{Emax}$ (l/min) **	H.R.max (beats/min) **	R.R.max (breaths/min) **
T.O.	23	170.0	59.0	209	3.737	63.3	138.9	196	62
K.T.	20	175.0	56.5	209	3.237	57.3	136.3	186	63
K.O.	26	170.0	70.0	225	3.589	51.3	114.1	194	65
S.O.	24	170.5	59.5	211	3.426	57.6	132.3	193	63
Y.F.	26	175.4	69.5	229	3.606	51.9	142.9	191	63
Mean	23.8	172.2	62.9	216.6	3.519	56.3	132.9	192.0	63.2
S.D.	2.2	2.5	5.7	8.6	0.172	4.4	10.0	3.4	1.1

* Basal O_2 consumption

** Maximal values obtained by exhaustive running on treadmill (8.6% grade, gradual increment of speed)

ろ組み合わせることにより、種々のとび方が考えられる。今回は一般に普及している1回旋1跳躍前回旋両足とび（以後1 skip と略記する）、1回旋2跳躍前回旋両足とび（2 skip と略記する）、およびその場かけ足とび（Running skip と略記する）の基本的な3種類のとび方を選び、それぞれについて1分間および5分間の連続運動を負荷した。また、1分間の運動では、1 skip において跳躍頻度を92回/分、120回/分、156回/分に規定した場合と、跳躍頻度を規定せず自由に行なわせた Voluntary skip（以後 V.S. と略記する）の4

項目を実施した。さらに、2 skip, Running skip においては跳躍頻度を120回/分に規定し、跳躍頻度はV.S.以外全てメトロノームに合わせて実施した。

なお、使用した縄は縄とび用に蠟びき加工した布製のものであり、縄とびの名称は古屋⁹⁾の方式に従った。

(C) 測定方法

縄とび運動中の呼気の採集は、ダグラスバック法で写真(図-1)に示すように、運動中でも連続して採気が可能な方法を考案し、呼気の分析は労研式ガス分析器を用いた。また、心拍数はテレメーター法、呼吸数はサーミスタで有線方式により描記、算出している。測定は昭和48年6月～9月にかけて実施した。

III. 実験結果

(A) 3種類の縄とびのエネルギー代謝

図-2 は、1 skip, 2 skip, Running skip の3種類のとび方を、120回/分の跳躍頻度で1分間実施したときの酸素需要量、酸素負債、運動中酸素摂取量(安静代謝を引いた値)、およびエネルギー代謝率(RMR)を個人別に示したものである。

酸素需要量は3種類のとび方に差がみられ、差の程度は個人によりかなり大きく異なるが、1 skip, 2 skip, Running skip の順で低くなる傾向にある。これをRMRで示すと、1 skip が11.1～14.6(平均13.6)、2 skip 10.9～12.2(平均11.7)、Running skip 10.5～11.1(平均10.3)となり、運動強度は1 skip, 2 skip, Running skip の順で

Fig. 1. A photograph of the experimental method

Fig. 2. Oxygen requirement, oxygen debt, net oxygen intake in exercise and RMR (relative metabolic rate) of three types of 1-minute rope skipping. 1S=1 skip, 2S=2 skip, RS=Running skip, Skip frequency=120skips/min.

低くなる。この関係は、5分間の連続とびにおいても、ほとんど同じ傾向が得られている。

また、これら3種類の縄とびを5分間連続して行なったときの心拍数、呼吸数、酸素摂取量、RQ

の変化について代表例を図-3 に示してある。

これらの項目において、3名に共通してみられた変化について記すと、運動中酸素摂取量は、いずれの被検者、いずれのとび方の場合においても3分目あたりから定常状態の成立がみられる。そこで、運動中4～5分の酸素摂取量を、負荷強度の指標として用いられている最大酸素摂取量に対する%¹⁾で示すと、TOでは1skipが63.7%、2skip 57.5%、Running skip 54.0%となり、KTの場合も同様の順に78.0%、76.3%、56.8%、KOは69.1%、68.5%、67.2%という値が得られ、とび方の違いあるいは個人間に若干差がみられる。

運動中の心拍数は1skipにおいて、徐々に増加の傾向がみられ、5分目の心拍数は155～169拍に達し、また2skipは145～166拍、Running skipは146～160拍に達しており、この両者には定常傾向もみられている。

RQは、運動初期にしばしば安静値より低下し、運動中止直後には急激な上昇がみられている。

(B) 跳躍頻度が異なる1skipのエネルギー消費量

1skipの縄とび運動について、跳躍頻度を92,

Fig. 3. Changes of heart rate, respiration rate, oxygen intake and respiratory quotient in three types of rope skipping.

Table 2 Physiological data on different frequency of 1-minute rope skipping (1 skip).

Subject	Frequency of skip	During exercise				O ₂ Requirement (l)	O ₂ Requirement /1 skip (ml)	O ₂ debt (l)	R.M.R.
		Net O ₂ Intake (l/min)	$\dot{V}_E$ BTPS (l/min)	H. R. (beats/min)	R. R. (breaths/min)				
T. O.	92	1.399	48.8	128	46	3.550	38.6	2.151	17.0
	120	0.999	40.9	128	43	2.320	19.3	1.321	11.1
	156	1.249	52.4	128	57	3.032	19.4	1.783	14.5
	V. S. 124	1.170	48.2	131	—	2.805	22.6	1.635	13.4
K. T.	92	1.387	46.4	123	29	4.097	44.5	2.710	19.6
	120	1.265	48.9	127	37	3.111	25.9	1.846	14.9
	156	1.474	51.4	131	35	3.759	24.1	2.285	18.0
	V. S. 117	0.904	49.5	122	32	2.624	22.4	1.720	12.6
K. O.	92	1.254	47.4	140	37	4.509	49.0	3.255	19.7
	120	1.143	38.9	—	—	3.373	28.1	2.230	14.7
	156	1.343	57.0	144	48	3.963	25.4	2.620	17.3
	V. S. 125	1.204	41.4	135	36	3.551	28.4	2.347	15.5
S. O.	92	1.152	43.7	125	41	3.352	36.4	2.220	15.9
	120	0.985	42.9	120	36	3.162	26.4	2.177	15.0
	156	1.195	61.4	135	54	3.255	20.9	2.060	15.4
Y. F.	92	1.594	50.0	150	40	6.047	65.7	4.453	26.4
	120	1.194	34.8	151	39	3.962	33.0	2.768	17.3
	156	1.620	51.9	150	—	4.742	30.4	3.122	20.7
$\bar{x}$	n=5	92	1.357	47.3		4.311	46.8	2.958	19.7
		120	1.117	41.3		3.186	26.5	2.068	14.6
		156	1.376	54.8		3.750	24.0	2.374	17.2
	n=3	V. S.	1.092	46.4		2.993	24.5	1.901	13.8

V.S.=Voluntary skip

120, 156回/分に規定した運動（5名）と、自由意志でとぶV.S.の4種類の運動（3名）を各被検者にそれぞれ1分間ずつ負荷し、その測定結果を表-2に示した。

跳躍頻度を規定したときの酸素需要量は、いずれの被検者においても120回/分のときが最小で、その平均値は3.186ℓ（RMR=14.6）となり、92回/分では4.311ℓ（RMR=19.7）と最大値を示し、156回/分の場合は3.750ℓ（RMR=17.2）と中間値を示している。

そこで、跳躍頻度の違いによる酸素需要量の差違について、酸素負債と運動中酸素摂取量とに分け、これら3者の関係を平均値で示すと図-4のようになり、酸素需要量は酸素負債に大きく影響されている。

また、1跳躍当りの酸素需要量を算出してみる

と、跳躍頻度が少ないほど1跳躍当りの酸素需要量は多くなる傾向にあり、92回/分は120, 156回/分より1.8~1.9倍高い値を示している。

次に跳躍頻度を規定しないでとんだV.S.についてみると、TOは124回/分、KT117回/分、KO125回/分といずれも120回/分前後の頻度でとんでおり、酸素需要量等も120回/分前後の値になっている。

IV. 考 察

本研究は縄とび運動の強度に関して検討を試みたものである。従来、運動強度の指標としてエネルギー代謝率(RMR)が一般に用いられているが、これは、運動に対する習熟度¹⁶⁾や個人の体力レベルの差¹⁷⁾が運動強度(RMR)に大きく影響してくる。本研究の場合でも、同一のとび方を同一跳

Fig. 4. Each average of oxygen requirement, oxygen debt, net oxygen intake in exercise, oxygen requirement/1 skip and RMR (relative metabolic rate) of three different frequencies of 1-minute rope skipping (1 skip).

躍頻度でとんだにもかからず、3種類のそれぞれのとび方においてRMRの値にかなり大きな個人差が認められている(図-2 参照)。また、同一個人について3種類の縄とびのRMRをみると、いずれの被検者においても1 skipが最も高く、次いで2 skip, Running skipの順で低くなることが認められた。しかし、これらの値はいずれも相当高い強度を示しており、他のスポーツと比較しても、これに匹敵する種目はラグビーの試合²⁴⁾(11.1), 軟式テニスの前衛²⁾(12.5), ボートのfour work²²⁾(14.7)などがあり、またマラソン²⁵⁾(15.6)より少し低い程度であることから、本実験で用いた縄とび運動はかなり激しい身体運動であり、長時間の持続運動はきわめて困難であるといえよう。

特に、強度の最も高かった1 skipにおいては、自転車エルゴメーターで得られた最大酸素摂取量よりも高い値を示したという榎木ら⁸⁾の報告もあり、一般の普通人では、この運動を5分間連続してとぶことはまず不可能といっても過言ではな

い。したがって、実際のトレーニングあるいは準備運動などでこれを用いるときは、運動時間を30秒～1分間程度にするか、または回数を60～120回程度にして、これを繰り返し行なうようにするのが体験的に適当であると思われる。また、本実験の結果からみれば体力的に劣っている者には比較的強度の低いRunning skipとか2 skipから始めていくのが適当であろう。

ところで、一般に定常状態の成立限界は、RMRが5前後であるといわれている¹⁰⁾²⁰⁾²⁸⁾。本実験の連続5分間の縄とび運動の結果ではいずれもRMRが約10以上を示し、定常状態の成立はありえないと考えられたが、本実験の被検者はかなりトレーニングを積んでいるスポーツマンで、体重当りの最大酸素摂取量も51.3～63.3 mlと一般成人の49.1 ml⁶⁾より大きい能力の所有者であったためか、運動3分目ごろより酸素摂取量に定常状態の成立がみられている。しかし、その際の心拍数には漸増傾向が認められ、真の意味の定常状態¹⁰⁾可否かには問題があり、みかけの定常状態とみる方が妥当であろう。

そこで次に、縄とび運動中の酸素摂取レベルから運動強度を検討してみることにした。

本研究で用いた1 skip 5分間の縄とび運動の酸素摂取量が定常傾向を示したときの値は、トレッドミル走で得られた最大酸素摂取量の63.7～78.0%であった。この値は黒田ら¹¹⁾の報告によるマラソン走行中の63%, あるいはFerguson⁴⁾らのアイスホッケー試合中の66%に相当しており、また呼吸循環器系機能を中心とした全身持久性を養成する運動刺激としては有効⁷⁾¹⁸⁾と考えられる運動強度である。

一方、縄とびの運動強度といっても、とぶ速度、すなわち単位時間当りの跳躍頻度と回旋頻度(以下跳躍回旋速度と略す)が問題である。そこで、毎分92回、120回、156回の3種の異なる跳躍回旋速度で、1 skipの縄とび運動の酸素需要量について検討してみた(表-2, 図-4 参照)。

跳躍回旋速度が速くなれば、単位時間当りの仕事量が増し、エネルギーの消費量、換言すれば酸素需要量が増大していくことが予測される。ところで、面白いことには、毎分120回の跳躍回旋速度でとんだ場合が、全例において、毎分92回でとん

だ場合より酸素需要量が小さくなることが認められた。このことは、エネルギー消費量の面からみて、縄とび運動にもとび易い速度、すなわち、歩行運動¹⁸⁾¹⁹⁾²⁰⁾、階段昇降運動¹²⁾²¹⁾、天秤棒負荷歩行²¹⁾等にもみられるような至適速度が存在することが考えられ、本研究では被検者により若干異なるが、その跳躍回旋速度は毎分 120 回前後であることが実証されたことになる。しかし、今回は毎分 92~156 回の範囲内で実施しており、この範囲をはずれた速度においては今後検討する必要がある。

V. ま と め

本研究は、縄とび運動中においても、連続的にダグラスバックに呼気の採集が可能な方法を考案し、基本的な縄とび運動のエネルギー消費量について、とび方と跳躍回旋速度を変えて、実験的な測定を実施した。

縄とびの運動強度に関しては、エネルギー代謝率 (RMR)、および最大酸素摂取量に対する酸素摂取率の面から検討を試みた。結果を要約すると次のようになる。

(1) 運動の強度はとび方により異なり、1 回旋 1 跳躍前回旋両足とび (1 skip) の RMR は平均 13.6、1 回旋 2 跳躍前回旋両足とび (2 skip) は 11.7、その場かけ足とび (Running skip) は 10.3 となり、1 skip, 2 skip, Running skip の順で強度が低くなることが認められた。

(2) 5 分間の連続縄とび運動中 4~5 分の酸素摂取量は、1 skip の場合、最大酸素摂取量の 63.7~78.0%, 2 skip は 57.5~76.3%, Running skip は 56.8~67.2% にそれぞれ相当していることが認められ、いわゆる全身持久性のトレーニング手段として有効な方法と考えられる。

(3) 一方、同じ 1 skip でとぶ場合、跳躍回旋速度が毎分 120 回前後のときエネルギー需要量が最も少なく、至適な速度であることが認められた。

(受付 昭和 49 年 6 月 21 日)

文 献

- 朝比奈一男, 浅野勝己, 草野勝彦, 砂本秀義 (1971): 作業強度の生理的基準について, 体力科学 20(4): 190-194.
- 浅野辰三(1955): 軟式庭球試合におけるエネルギー代謝に関する研究, 第 2 報, 軟式庭球試合におけるエネルギー需要量——男子の部, 体育学研究 2(9): 550-576.
- 榎木繁男, 渡辺和彦, 山地啓司, 手塚政孝 (1973): なわとびの運動効果, 体育の科学 23(6): 396-401.
- Ferguson, R.J., G.G. Marcotte, and R.R. Montpetit(1969): A maximal oxygen uptake test during ice skating. Med. Sci. Sports, 1: 207-211.
- 古屋三郎(1972): なわとび, 5 版, 不昧堂出版 東京, 33-94.
- Ikai, M., M. Shindo, and M. Miyamura(1970): Aerobic work capacity of Japanese people. Res. J. Phys. Ed., 14(3): 137-142.
- 猪飼道夫, 福永哲夫, 芳賀脩光(1973): 心拍出量からみた 70% $\dot{V}O_2 \max$ 強度による持久性トレーニング効果の検討, 体育科学 1: 67-72.
- 井上 章(1946): 筋の作業の持久力に関する研究, 其の 2, 重筋の作業に於ける酸素摂取状況と作業持続能力, 日本生理誌 10: 82-87.
- Jones, D.M., C. Squires, and K. Rodahl(1962): Effect of rope skipping on physical work capacity. Res. Quart. 33(2): 66-73.
- 河合清敬(1954): 筋労作の定常状態の成立について, 体力科学 4(2): 66-73.
- 黒田善雄, 加賀谷照彦, 塚越克己, 雨宮輝也, 太田裕造, 成沢三雄(1969): 陸上長距離走時の呼吸循環機能の変動, 日本体育協会スポーツ科学研究報告 NoV., 1-10.
- Lupton, H. (1923): An analysis of the effects of speed on the mechanical efficiency of human muscular movement. J. Physiol. 57: 337-353.
- 松井秀治, 宮下充正, 三浦望慶, 小林寛道, 長沢 弘, 水谷四郎, 亀井貞次, 村瀬 豊, 袖山 紘(1973): 健康成人の Aerobic Work Capacity のトレーニング——Submaximal な運動を継続することに対する生体反応——, 体育科学 1: 125-133.
- 三宅義雄, 川畑愛義, 大山良徳, 八木 保, 三木直之, 瀬戸 進, 小西博喜, 北橋久子, 高木敬一(1970): なわなし「なわとび」動作のエネルギー代謝に関する研究, 学校保健研究 12(7): 324-327.

- 15) 丹羽 正, 家治川豊, 和久田賢夫(1960): 各種スポーツの部分的動作に要するエネルギー消費について, 体力科学 9(2): 57-64.
- 16) 沼尻幸吉(1970): 労働の強さと適正作業量, 8版, 労働科学研究所, 東京, 27
- 17) 沼尻幸吉(1965): エネルギー代謝率の恒常性に関する研究, 労働科学 41(9): 435-440.
- 18) 奥山美佐雄(1933): 無負荷歩行時の瓦斯代謝, 労働科学研究 10: 156-179.
- 19) 奥山美佐雄(1933): 負荷歩行時の瓦斯代謝, 労働科学研究 10: 305-317.
- 20) 白井伊三郎, 河合正光, 池田 駿(1955): 昇降作業のエネルギー需要量とその個人差に就て, 体力科学 4(4): 134-142.
- 21) 白井伊三郎(1939): 諸種筋労作に於ける経済速度に就て, 体育研究 6(4): 272-293.
- 22) 鈴木義明(1956): エネルギー代謝の側からみた力漕の限界について, 体力科学 5(5): 180-184.
- 23) 鈴木義明(1956): 脈搏数を示標としてみた運動の質量の限界について, 体力科学 6(1): 1-6.
- 24) 山岡誠一, 他 7 名(1952): ラグビー試合のエネルギー代謝, スポーツのエネルギー代謝に関する研究 (第 4 報), 体育学研究 2(3): 220-225.
- 25) Yamaoka, S. (1965): Studies on energy metabolism in athletic sports. Res. J. Phys. Ed. (9)3: 28-40.