

新式トレッドミルの開発とラットでの応用研究

益 子 詔 次 鈴 木 正 成

A New Treadmill and Its Application to Exercise Training in Rats

Shoji MASHIKO and Masashige SUZUKI

The most common methods employed in physical fitness studies on laboratory animals involve swimming, running on rotary cage, or running on treadmill. The treadmill method is the most widely-used method, but experience has shown that it has the following disadvantages:

- 1) Because of the employment of electric stimuli, the laboratory animal is subjected to stress other than that resulting from the exercise itself.
- 2) Only a small percentage of the total number of animals available can be selected for use in the training group.
- 3) The animal is apt to sustain injuries on the tail or feet.

The above defects were made clear in earlier studies, where it was observed that the food intake and body weight of training animals tends to be smaller than that of sedentary animals. This tendency differs markedly from that observed in human beings.

In attempting to avoid these defects, we have designed and constructed a new treadmill and applied it to preliminary experiments. Ordinary treadmills have been constructed so that the animal is forced to run on the outer surface of the rotating belt, but with the new treadmill, the animal runs on the inner surface of the rotating belt between the wheels driving the belt.

Three weeks old male JCL:SD rats (45~55 g) were used. They were divided into training group and control group of six rats each at random and fed ad libitum. The animals were kept in an environment of controlled temperature ($23 \pm 2^\circ\text{C}$) and humidity ($70 \pm 10\%$). They were alternately subjected to periods of light (0700~1900 hrs) and darkness (1900~0700 hrs). Treadmill exercise was conducted during the dark period from 2000 to 2100 hrs. For an initial 4-day period, the training rats were allowed to grow accustomed to the device. They were trained six days a week (Sunday excluded) over a period of about ten weeks, for a total of 59 days. During each training bout, the rats were first run for 25 minutes, accelerating to their maximum speed, and then run another 30 minutes at 90~95% maximum speed (a steady run). On the last day of each training week, the steady run was continued for 2 hours. Body weight and food intake were measured over the entire experimental period.

Results were as follows:

- 1) The rats were shown to run well with the new treadmill, and, despite the random selection, none of the rats were found to be unsuitable for running.
- 2) There was no difference in weight increase between the two groups.
- 3) The food intake of the training rats was slightly greater than that of the controls.
- 4) The training group displayed a steady increase in running performance over the first four weeks, after which performance remained steady or declined slightly.
- 5) At the end of the experiments, the weight of the internal organs (heart, liver, lungs and adrenals) of the training rats were greater than the weight of those in the control group,

but there was no statistical significance except adrenals.

It is very interesting that the training group consumed slightly more food than the control group while the weight increase of the two groups was approximately the same. This may be attributed in part to smaller stimuli external to the exercise itself in the new treadmill than in the ordinary treadmill. This indicates that the new treadmill is a superior instrument for use as a training device.

ラットなどの小動物を用いて、生体にたいする運動の影響をみる方法として、遊泳運動、ロータリーケージによるランニング運動、そして、トレッドミルによるランニング運動が主として用いられている。これらのうちでトレッドミルランニングは最も広く利用されている方法であるが、従来のラット用トレッドミルは、次のような欠点をもっていることが経験的に知られている。1. 電気刺激を与えるため運動以外のストレスが大きい。2. 運動群として選抜できるラット数の購入ラットに占める比率が小さい。3. 尻尾および足部のケガが多発する。これら従来のトレッドミルの持つ欠陥は、運動群が非運動群にくらべて食餌摂取量や体重増加量が小さい傾向が、多くの実験成績に認められる点などに明瞭に現われていると考える。このような傾向は運動負荷量にもよるが、ヒトの場合と著るしく異なるものである。そこで、著者らは従来のトレッドミルの持つ欠点を改善した新式トレッドミルの開発を試みた。同時にラットを用いて、開発したトレッドミルによる基礎的実験を行った。

実験方法

[1] 新式トレッドミルの開発

Fig. 1-A に示すように、従来のトレッドミルは後部に電気刺激装置を取りつけて、ラットを回転ベルト上を走らせる方式である。開発したトレッドミルは Fig. 1-B のように回転ベルト内を走らせる方式である。Fig. 2 に示している新式トレッドミルは次のような内容からなっている。

- ・サイズ (75×180×150 cm)
- ・モーター (ミキプリー K. K, PDG, 1/60 750 W, 100 V, スピード 13~59 m/min.)
- ・ベルト (バンドー化学, サンライン A, SL: 8W)

- ・走行路仕切り (透明アクリル 6 mm 厚, 走路前方黒色スプレー加工)
- ・走行路幅 (1 コース 10 cm)

なお、前方に勾配調節用ジャッキが取り付けられている。

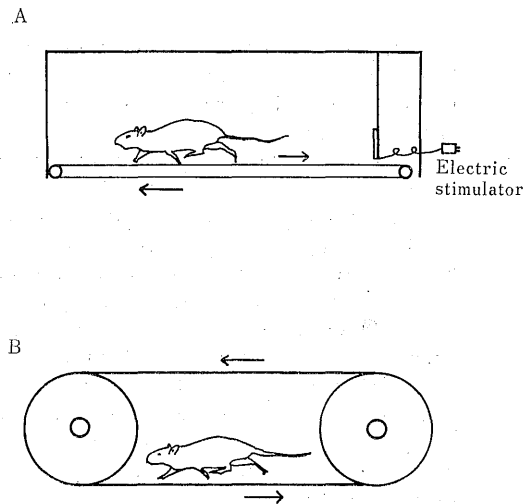


Fig. 1. Diagrams of the ordinary (A) and new (B) treadmill.

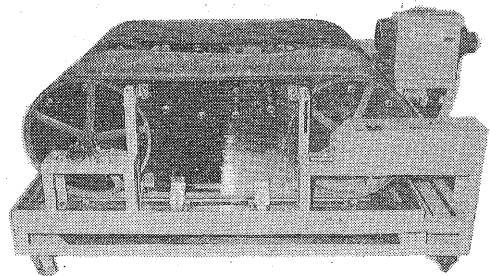


Fig. 2. Photograph of the new treadmill.

[2] ラットのトレッドミルにたいする応用

JCL: SD ラット, 雄 (45~55 g, 3 週令) を用い、運動群と非運動群にそれぞれ 6 匹ずつランダムに選別した。一匹ずつケージに入れ固形飼料

CA-1 (日本クレア K.K.) で自由給餌飼育した。飼育室の環境は 0700-1900 時を明期とする 12 時間の明暗サイクルで、室温 $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $70 \pm 10\%$ であった。最初の 4 日間を装置にたいする慣れの期間とし、装置に入れるだけで、トレッドミルは作動させず 30 分間ラットを放置した。その後、日曜を除く週 6 日間、約 10 週間、トレーニング日数にして 59 日間にわたりトレーニングを负荷した。Fig. 3 に示すように毎日のトレーニングプログラムは、ラットをトレッドミルに入れて 5 分間放置後、つぎの 25 分間で限界スピードに到達させ (ウォームアップランニング)、さらに 30 分間、その限界スピードの 90~95% スピードで走行させた (定速ランニング)。限界スピードの判断は、徐々にベルトスピードを上昇させていって、一匹のラットでもスピードについていけなくなる状況を目安としておこなった。週末日には定速ランニングを 2 時間负荷した。期間中、体重、食餌摂取量を毎日測定した。

[3] 臓器重量の測定

運動群および非運動群とも、実験最終日に 1900-2000 時にかけて屠殺解剖した。運動群は最終運動の 24 時間後に殺した。解剖後、心臓、肝臓、肺および副腎の生重量を測定した。

結 果

1. 走行状況の変化

Fig. 3-B は Fig. 3-A に示したプログラムで行なった 1 週間の定速ランニングスピードの平均値を示している。トレーニング開始後、4~5 週目ぐらいまではランニングスピードの顕著な上昇がみられ、その後横ばいの傾向を示した。各週末における 2 時間の定速ランニングにおいては、いずれのラットも 2 時間以上走行できる状況にあった。

2. 体重、食餌摂取量の変化

Fig. 4 に示すように、食餌摂取量は全期間を通して運動群が非運動群よりやや上回ったが、統計的に有意差は見られなかった。また、体重変化においても、両群間にほとんど差は見られなかった。

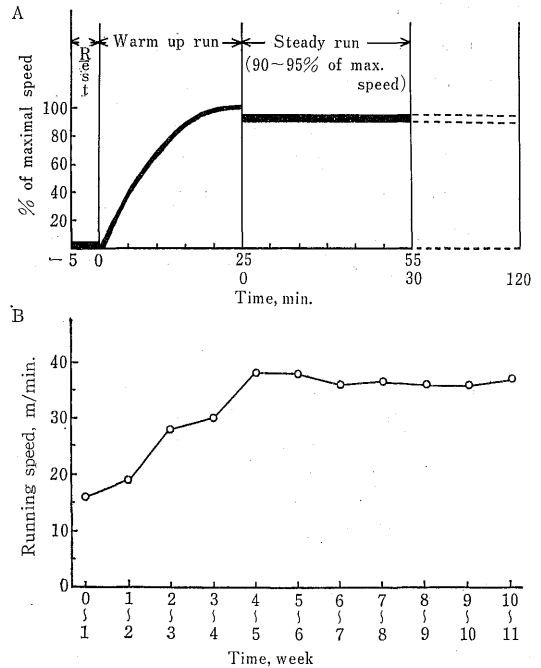


Fig. 3. Daily training schedule and the changes in running performance.

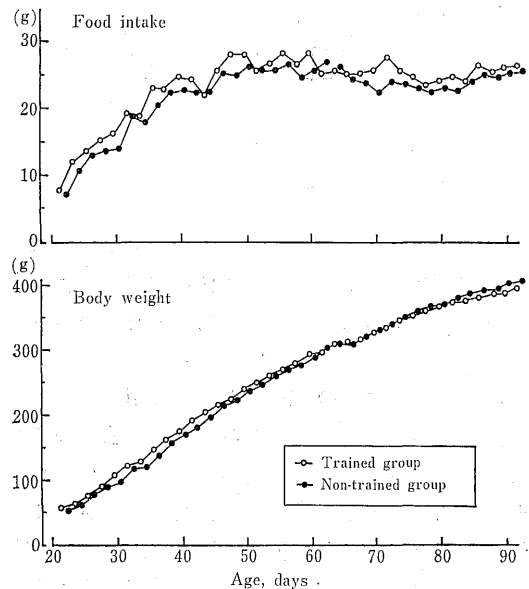


Fig. 4. Changes in daily food intake and body weight.

3. 臓器重量

約10週間のトレーニング終了後における運動群と非運動群の臓器重量と各臓器の体重当りの重量を Table 1 に示した。心臓、肝臓、肺においては運動群の方が非運動群よりやや重い傾向を示したが、統計的有意差は認められなかった。副腎重量においては運動群の方が有意に重い傾向が認められた ($P>0.05$)。

Table 1. Organ weight of rats after 59 days training period. Values are mean \pm SE.

*Significantly different ($P<0.05$)

$$\% = \frac{\text{organ weight}}{\text{body weight}} \times 100$$

Organ	Group	
	Non-trained	Trained
Heart	1.12 \pm 0.044	1.12 \pm 0.063
	0.28 \pm 0.012	0.29 \pm 0.013
Lungs	1.47 \pm 0.038	1.63 \pm 0.156
	0.37 \pm 0.009	0.44 \pm 0.049
Liver	13.41 \pm 0.495	14.07 \pm 1.049
	3.39 \pm 0.153	3.70 \pm 0.151
Adrenals	46.2 \pm 38	* 63.0 \pm 51
	0.01 \pm 0.001	0.01 \pm 0.001

考 察

近年におけるラットを用いてトレッドミル走行を负荷した先行研究を任意に15選出し、運動负荷法について検討を加えた。用いられているトレッドミルスピードの範囲は 5~42 m/min. と広く平均 25 m/min. のスピードが多く用いられている。それらの研究において運動负荷方法は多様である。遅いスピードから速いスピードへの慣らし期間を充分にとる方式が、しばしば採用されている。Holloszy⁶⁾はラットが12週間を要して、8°上り勾配で 22 m~31 m/min. 120分間走れるようにトレーニングしており、Owens ら⁷⁾は6週間で 22m/min., 40 分間、また、Terjung⁹⁾は4週間で 31m/min., 60分間ラットが走行できるように予備

訓練させている。一方、ランニングスピードを一定にして、走行時間を徐々に伸ばしていく方法も適用される。ラットをトレーニング開始時点より 18 m/min.⁸⁾ または 22 m/min.⁹⁾ で走行させ、走行時間を延長して4週間で60分間走行させた報告がある。このように、従来のトレッドミルを用いた例においては、ラットを 25 m/min. 前後のスピードで60分間程度走らせるのに4~6週間の期間を要していることが多い。これにたいして、著者らの新式トレッドミルを用いた本実験においては、ランダムに選別したラットを約2週間で 25 m/min., 60 分間の走行に順応させることができた。さらに、5週間以内に 40 m/min. 程度まで走行能力の向上が見られた。

体重変化については、Fröberg¹⁾, Terjung⁹⁾, Owens⁷⁾ が、運動群が非運動群よりもラットの体重が重い傾向を観察しているが、多くのトレッドミルによるトレーニング実験の場合、非運動群にくらべて運動群の体重増加が小さい傾向が認められている。また、食餌摂取量においては、非運動群にくらべて運動群の方が少ない傾向にあるとの報告が多い。従来の報告にくらべて本実験の結果は大きく異なった傾向を示している。すなわち本実験については、体重変化は両群間でほとんど変りなく、食餌摂取量においては、運動群が非運動群より、むしろ大きい傾向にあった (Fig. 4)。臓器重量においてみた場合、著者らの結果は、心臓、肝臓、肺の重量は運動群の方が重く、体重当りの臓器重量は、ほぼ同じであった。この結果を益子⁶⁾の研究と比較すると、副腎重量において運動群が非運動群より量い点では一致していた。しかし、心臓、肝臓、肺の重量においては全く逆の傾向にあり、益子の結果では非運動群の方が明らかに重い傾向にあった。

以上のように従来のトレッドミルを用いた研究と本研究の結果は種々の点で異なっている。この相違の原因については、まず第一にトレーニングに用いたトレッドミルの違いによる点が多大であると思われる。トレッドミルは運動负荷の生体への影響を研究する場合、遊泳運動やロータリーケージでのランニング運動にくらべて、個々の被検動物に一定量の運動を负荷できる有利さがある。

しかし、従来より電気刺激によるショックが大きいことや、ベルトと仕切り板との間に足部や尾をはさんだりすることによるケガの発生が多いことが指摘されている。新しく開発されたトレッドミルは電気刺激装置を取り付けず、各走行路の仕切り板下部は、ベルト上に貼りつけた2本の樹脂バンドの溝の中に隠されており、足部や尾が巻き込まれないように工夫してある。この改善によって被検動物にたいする運動以外のストレスがより軽減されたことが実験結果に反映されたと推測できる。さらに、運動負荷時間帯を考慮したことも見逃せない。鈴木⁸⁾はロータリーケージを用いてラットの自発運動量の日内リズムを見ているが、ラットの運動量は暗期においては明期より顕著に高く、しかも暗期のはじめの2時間位の時間帯に最も活動量が多いことが観察されている。この知見に基づき、本研究では運動時間帯を2000-2100時に設定したが、このことは走行能力、体重増加、食餌摂取量などに少なからず影響を及ぼしていると考えられる。

開発したトレッドミルでは、走行路前方を暗くして前方に走る動機づけを促進しようとしたが、これはラットがトレーニング初期の重要な時期において、より速かにトレーニングに馴れさせるための一手段として有効であることも明らかになった。ラットは本来、好んで走る習性をもたないため充分にラットの特性を考慮した運動負荷装置の開発が必要であることは当然であるが、運動を負荷する手法においても細心の注意が要求される。ラットの走行能力以上のスピードでの走行を強制したり、ケガなどを発生させたりすると、その後に良好な走行を示すことはきわめて稀である。ラットを使つてのトレーニングでは、特に初期の注意が重要となってくる。また、実験者の都合に合わせて運動負荷時間帯が設定されていることが多いが、被検動物の生体リズムを考慮することが必要といえる。

今回の研究により少なくとも、明暗サイクルを考慮した運動負荷タイミングや、目的になかった給餌タイミングを設定することの必要性が強く示唆された。

要 約

従来のトレッドミルはラットを回転ベルト上で走らせるのにたいして、著者らはベルト内で走らせる新式トレッドミルを開発した。この装置を用いてラットに走行トレーニングを施し、その走行状態、食餌摂取量、体重変化、臓器重量などを調べた。その結果、1. 開発したトレッドミルにおいては、ラットはきわめて良好な走行状態を示し、ランダム選別による走行不適格ラットは見られなかった。2. 体重増加量は運動群、非運動群においてほぼ同じであった。3. 食餌摂取量は全期間を通して運動群が非運動群より大きかった。4. トレーニング開始後、4~5週目まで順応走行速度は顕著に上昇したが、その後、横ばい傾向を示した。5. 臓器重量は心臓、肝臓、肺においては運動群の方が重かった。また副腎重量においては、運動群の方が有意に重かった。

本研究にあたって本学体育専門学群生、加重剛、早崎竜一君に多大な協力をいただいた。紙上に感謝致します。

文 献

- 1) Fröberg, S. O., "Effect of acute exercise on tissue lipid in rats," *Metabolism*, 20 : 714-20, 1971.
- 2) Judd, W. T. & Poland, J. L., "Myocardial glycogen changes with exercise," *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 140 : 955-57, 1972.
- 3) Heikkinen, E. & Vuori, I., "Effect of physical activity on the metabolism of collagen in aged mice," *Acta. Physiol. Scand.*, 84 : 543-49, 1972.
- 4) Hickson, R. C., Rennie, M. J., Conlee, R. K., Windfr, W. W. & Holloszy, J. O., "Effect of increased plasma fatty acid on glycogen utilization and endurance," *J. Appl. Physiol.*, 43 : 829-33, 1977.
- 5) Holloszy, J. O., "Biochemical adaptation in muscle. Effect of exercise on mitochondrial oxygen uptake and respiratory enzyme activity in skeletal muscle," *J. Biol. Chem.*, 242 : 2278-87, 1967.
- 6) 益子詔次, "ラットに長期間強度な段階別持久走トレーニングさせた場合の発育発達および Exhaustive running 時の血液学的変化," 東大体育学部紀要, 16, 61-72, 1977.

- 7) Owens, J. L., Fuller, E. O., Nutter, D. O. & Digiroland, M., "Influence of moderate exercise on adipocyte metabolism and hormonal responsiveness," **J. Appl. Physiol.**, 43 : 425-30, 1977.
- 8) 鈴木正成, 他, 未発表
- 9) Terjung, R. L., "Effect of running to exhaustion on skeletal muscle mitochondria," **Am. J. Physiol.**, 222 : 545, 54, 1972.