

インターバルの異なるジャンプトレーニングがラットの骨に及ぼす影響

梅村義久, 山内武巳, 原田 健, 黒野昌司

Effects of Different Interval Jump Training on Bones in Rats

Yoshihisa UMEMURA, Takeshi YAMAUCHI, Takeshi HARADA and Masashi KURONO

Abstract

Effects of different interval jump training on bone mass and bone strength of lower limbs were investigated in female Fischer 344 rats. Rats aged 5 weeks were assigned at random to two jump training groups (n=10, each) or control (n=10). Rats of the training group were made to jump 20 times/day at 3- or 30-second intervals, 5 days/wk for 8 weeks. Following the experimental period, the femur and tibia of the 30-second interval group had significantly greater fat-free dry weights and fat-free dry weights per body weight than the 3-second interval group. There was also a significant difference between the two jump groups in one of the bone strength indexes. The present results suggest that the training with long-interval impacts is more effective for bone hypertrophy than that with short-interval impacts.

I 緒 言

我々はラットを用いて骨重量を増加させ骨強度を高める運動様式について研究をしている。そして、ジャンプトレーニングはランニングよりも下肢の骨重量を増加させ、骨強度を高めるトレーニング様式として優れていることを、これまでの研究において報告してきた^{1),2)}。ジャンプトレーニングでは足に加わる衝撃の回数は限られるが、衝撃の強度を強く設定することができるため、骨への影響が大きいものと考えられる。これに対してランニングでは衝撃の回数が多いが、個々の衝撃は比較的大きくないと考えられる^{1),2)}。

ここで採用したジャンプトレーニングは比較的容易に設定条件を変えることが可能であると

いう特徴も持っている。従って、ジャンプトレーニングの条件を変えてラットの骨重量・強度を検討することによって、骨に影響を与える衝撃の特性について検討を試みることができる。本研究ではラットに異なるインターバルのジャンプトレーニングを行なわせ、骨への影響を検討することを目的とした。

II 方 法

1. 実験動物

実験には Fischer 344 系の雌ラットを用い、生後 4 週齢を購入し（日本エスエルシー）1 週間の予備飼育後の 8 週間をトレーニング期間とした。飼料（CE-2, 日本クレア）、水（水道水）は自由摂取とし、室温は飼育期間を通じて 23℃

に保った。人工照明により 12 時間サイクルの明期と暗期を設けた。

2. トレーニング方法

ラットをランダムに 2 種類の異なる設定のジャンプトレーニング群, またはコントロール群に分けた。1 群にはそれぞれ 10 匹ずつ割り当てた。

A. コントロール群

毎週の体重測定以外, トレーニング期間中に何も行わせなかった。

B. ジャンプトレーニング 3 秒群

4 方を板で囲んだ箱の底から, 電気刺激を用いて箱の上端に上肢で捕まるまでのジャンプをさせた。さらに箱の上に登ったラットを手で捉え, 次のジャンプをさせる為箱の底に置いた。この一連の動作を 3 秒に一回の割合で行ない, 1 日 20 回, 週 5 回行わせた。箱の高さ(4 方の板の高さ)は 25 cm から始め, 週に 5 cm ずつ高くして第 4 週からは 40 cm とした。

C. ジャンプトレーニング 30 秒群

B と同じ一連の動作を 30 秒に一回の割合で行なった。ラットは次のジャンプの時間が来るまでジャンプトレーニング装置の板の上で安静状態を保たせた。その他の条件は 3 秒群と等しくなるように設定した。

3. データの収集

8 週間のトレーニング終了後ジエチルエーテル麻酔下で失血死させ, 右大腿骨および右脛骨を摘出した。それぞれ軟部組織を取り除き, ノギスにて骨長(最大長)を測定した。その後直ちに, 骨の中間部において破断試験(アイテクノ, RX1600)を行って, 骨の最大曲げ荷重と, 破断までに要した破断エネルギーを測定した^{1),2)}。

その後, 被検骨をクロロフォルム・メタノール 2:1 混合液で 5 日間脱脂して, 120°C で 1 時間乾燥させた後, 脱脂乾燥重量を求めた。さらに, 破断した骨を接着剤で修復し, リゴラック, パーメック N, プロモーター E (以上 応研商事)を用いて包埋した。破断試験で破断が起こっ

た場所の近傍にて切断し横断面を得て, 皮質骨面積, 骨髄腔面積, 皮質骨外周囲, 内周囲および断面 2 次モーメントを求めた。断面 2 次モーメントと最大曲げ荷重から単位断面積当たりの骨強度を示す曲げ強度を算出した。

4. 統計的手法

データはすべて平均値±標準偏差で示した。群間の比較は一元配置の分散分析を行い, 要因に有意差が認められた場合, Duncan test によって各 2 群間の有意性の検定を行った。5% を有意性の検出基準とした。

III 結 果

トレーニング終了後の体重には有意な群間差が認められなかった。大腿骨, 脛骨の脱脂乾燥重量はジャンプトレーニング 30 秒群(30-second)が他の 2 群に比べ有意に高い値を示し, ジャンプトレーニング 3 秒群(3-second)とコントロール群(Control)の間にも有意差が認められた。脱脂乾燥重量を体重比で見た場合にも, 30 秒群, 3 秒群, コントロール群の順に有意に高い値を示した。大腿骨, 脛骨の骨長は群間に有意差が認められなかった(Table 1, Fig. 1)。

大腿骨, 脛骨の最大曲げ荷重(Maximum load)および破断までに要した総エネルギー(Energy)は 2 つのジャンプトレーニング群がコントロール群に比べ有意に高い値を示した。また, 脛骨の総エネルギーでは 30 秒群が 3 秒群よりも有意に高値を示した。単位面積当たりの骨の強度を示す曲げ強度(Bending stress)は, 3 群間に有意差が認められなかった(Table 2, Fig. 2)。

横断面分析の結果, 大腿骨の皮質骨面積(Cortical area), 皮質骨内周囲(Endosteal perimeter), 骨髄腔面積(Medullary area), 皮質骨外周囲(Periosteal perimeter)および脛骨の皮質骨面積, 皮質骨外周囲は 2 つのジャンプトレーニング群がコントロール群よりも有意に高い値を示したが, 3 秒群と 30 秒群の間には有意差が認められなかった(Table 3)。

Table 1. Body weight and physical characteristics of the femur and tibia

	Control (n=10)	3-second (10)	30-second (10)
Body weight, g	170.6±8.6	165.2±8.8	166.6±5.5
Femur			
FFW, mg	313±16	343±18*	359±14*†
FFW/Body weight, %	0.184±0.011	0.208±0.005*	0.215±0.005*†
Length, mm	29.95±0.42	30.07±0.66	30.14±0.36
Tibia			
FFW, mg	241±10	273±14*	284±12*†
FFW/Body weight, %	0.141±0.005	0.165±0.005*	0.171±0.006*†
Length, mm	34.40±0.38	34.60±0.48	34.69±0.27

Values are means±SD. FFW : fat-free dry weight ; * Significantly different from the control group ; † between 3-second and 30-second groups ($P<0.05$).

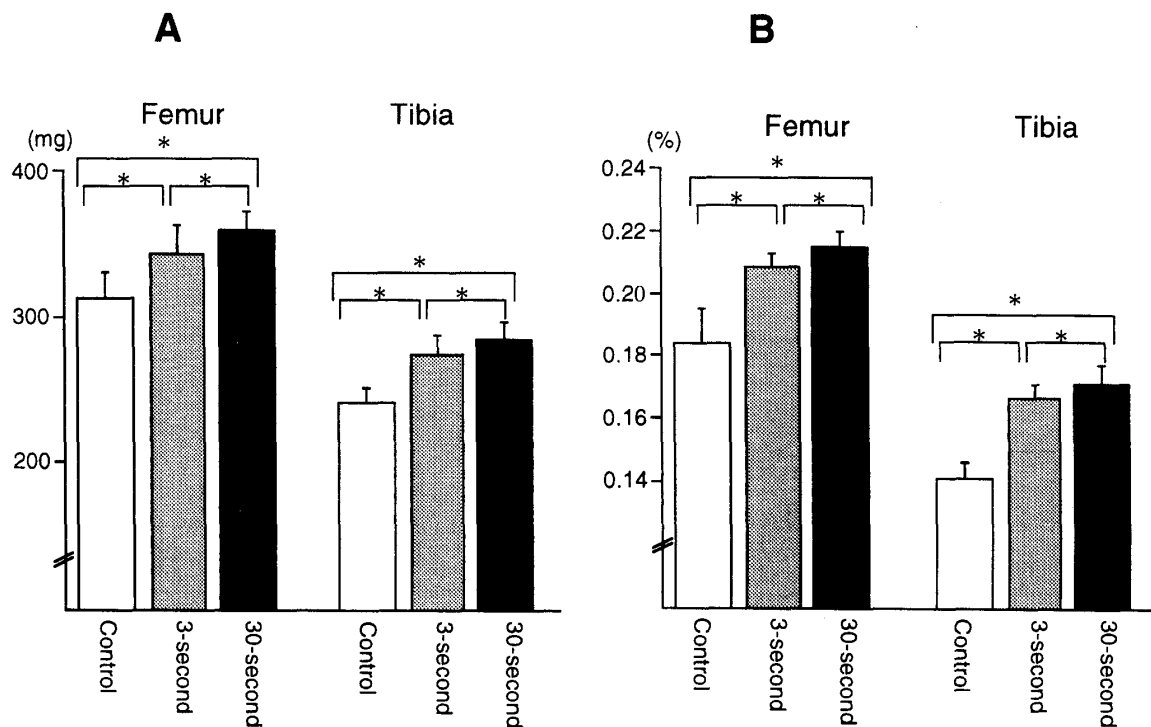


Fig. 1. Fat-free dry weight (A) and Fat-free dry weight per body weight (B) of the femur and tibia. Error bars represent SD of the means. * significant difference, $p<0.05$

Table 2. Mechanical properties of the femur and tibia at the fracture test

	Control (n=10)	3-second (10)	30-second (10)
Femur			
Maximum load, N	87.5±6.2	99.3±6.1*	103.1±3.4*
Energy, J×10 ⁻²	1.25±0.18	1.67±0.20*	1.55±0.18*
Bending stress, N/mm ²	177±9	170±14	179±12
Tibia			
Maximum load, N	50.3±2.8	67.0±4.1*	69.3±3.9*
Energy, J×10 ⁻²	0.81±0.13	1.26±0.17*	1.44±0.18*†
Bending stress, N/mm ²	240±20	227±29	242±22

Values are means±SD. * Significantly different from the control group ;

† between 3-second and 30-second groups ($P < 0.05$).

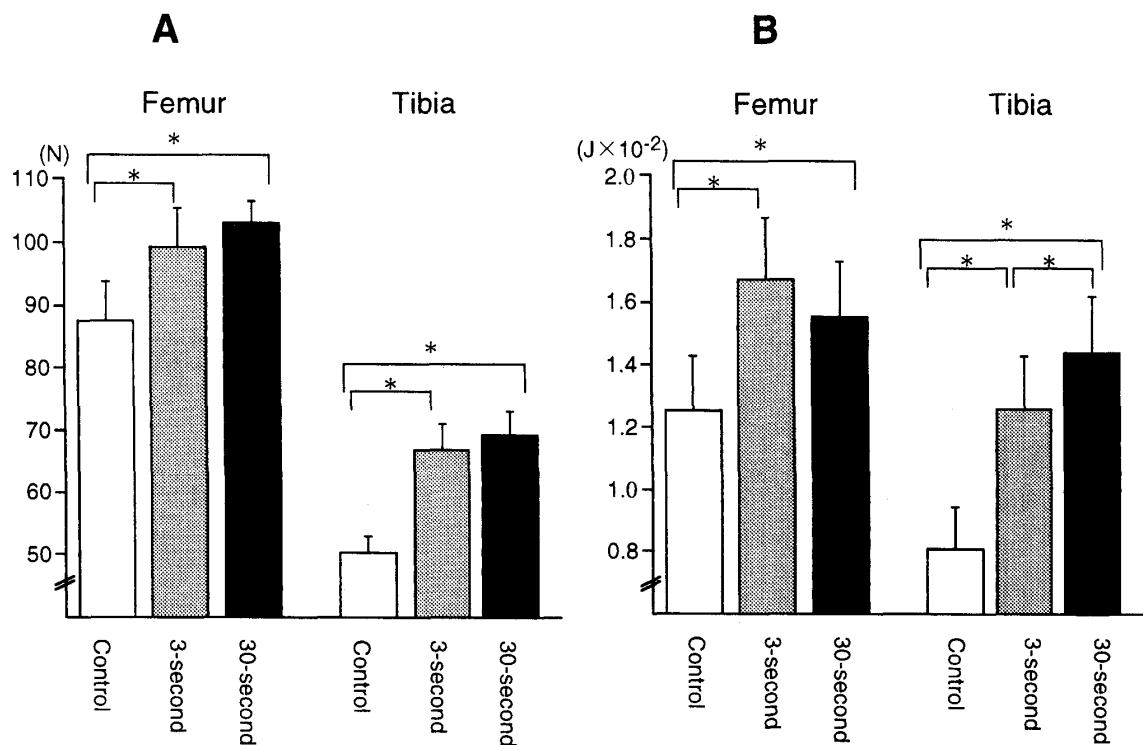


Fig. 2. Maximum load (A) and Energy (B) at the fracture test in the femur and tibia. Error bars represent SD of the means. * significant difference, $p < 0.05$

Table 3. Cross-sectional perimeters and areas of the femur and tibia

	Control (n=10)	3-second (10)	30-second (10)
Femur			
Endosteal perimeter, mm	6.17±0.14	6.38±0.22*	6.41±0.13*
Periosteal perimeter, mm	9.30±0.15	9.80±0.24*	9.76±0.16*
Medullary area, mm ²	2.90±0.14	3.11±0.20*	3.14±0.10*
Cortical area, mm ²	3.69±0.12	4.23±0.30*	4.14±0.23*
Tibia			
Endosteal perimeter, mm	3.35±0.19	3.35±0.14	3.38±0.14
Periosteal perimeter, mm	6.87±0.22	7.60±0.24*	7.49±0.19*
Medullary area, mm ²	0.80±0.08	0.83±0.08	0.84±0.06
Cortical area, mm ²	2.59±0.15	3.31±0.25*	3.19±0.18*

Values are means±SD. * Significantly different from the control group ($P < 0.05$).

IV 考 察

この実験で明らかとなったことは、ラットのジャンプトレーニングにおいてジャンプ間のインターバルを3秒に設定するよりも、30秒に設定した方が骨に対する効果が大きいことである。この差は横断面積の指標には表れなかったが、脱脂乾燥重量、体重あたりの脱脂乾燥重量および骨強度の一部の指標に有意差として示された。

実験動物に外力を加えて骨量の増加をみる研究において、外力は静的な力よりも動的な力の方が効果が大きく^{3),4)}、与える力の大きさと効果には密接な関係があるが^{5),6)}、与える力の回数には少なくともよいことが知られている⁷⁾。しかし、与える刺激のインターバルと骨への影響をを検討した研究は、我々の知る限り見当たらない。我々はジャンプトレーニングがランニングよりも下肢の骨重量を増加させ、骨強度を高めるトレーニング様式として優れていることを、これまでの研究において報告してきた^{1),2)}。ジャンプトレーニングでは足に加わる衝撃の回数は限られるが、衝撃の強度を強く設定することができることが骨への影響を大きくしていると考えられる^{1),2)}。さらに、一日に行なわせるジャンプの回数は、本実験で採用した20回でも十分な効果が期待できることについても検証している⁸⁾。

本研究ではいくつかの実験設定上の問題点が

指摘される。まず、ジャンプ時に足に加わる力を実測せず、ジャンプの高さを設定して足にかかる負荷が同一であると仮定している。しかし、群間でジャンプ時に加わる負荷が異なっていた可能性も考えられる。3秒群の方が疲労が大きくジャンプが小さかったとの考えが否定できない。第二に、トレーニングの為にラットを飼育ケージから出していた時間が3秒群と30秒群で異なることも指摘される。しかし、この点については骨に影響を与える力は大きさが問題となるため、ジャンプ以外に加わった力が骨に大きな影響を及ぼすとは考えられない。これらの実験設定については今後の検討課題である。

本実験の結果から、骨重量・強度を高める負荷は30秒程度にインターバルを充分に開けても、その効果が減弱されないことが示唆された。

参考文献

- 1) 梅村義久, 石河利寛, 桜井佳世, 益子詔次. ジャンプトレーニングがラットの骨形態・強度に及ぼす影響. 体力科学 45: 311-318, 1996.
- 2) Umemura Y, Ishiko T, Tsujimoto H, Miura H, Mokushi N, Suzuki H. Effects of jump training on bone hypertrophy in young and old rats. Int. J. Sports Med. 16: 364-367, 1995.

- 3) Lanyon LE, Rubin CT. Static vs dynamic loads as an influence on bone remodeling. *J. Biomech.* 17 : 897-905, 1984.
- 4) Perren SM, Huggler A, Russenburge M. The reaction of cortical bone to compression. *Acta. Orthop. Scand.* 125 (suppl) : 19-29, 1969.
- 5) Carter, DR. Mechanical loading histories and cortical bone remodeling. *Calcif. Tissue Int.* 36 : S19-S24, 1984.
- 6) Rubin CT, Lanyon LE. Regulation of bone mass by mechanical strain magnitude. *Calcif. Tissue Int.* 37 : 411-417, 1985.
- 7) Rubin CT, Lanyon LE. Regulation of bone formation by applied dynamic loads. *J. Bone Joint Surg.* 66A : 397-402, 1984.
- 8) Umemura Y, Ishiko T, Yamauchi T, Kurono M, Mashiko S. Five jumps per day increase bone mass and breaking force in rats. (unpublished)