

空圧式免荷時の運動が循環系及び体組成に及ぼす影響

山田 茂・佐野こころ・中野紗希・藤田 瞳

食生活科学科 スポーツ栄養学研究室

The effect of treadmill exercise on the circulatory system and body composition using
by reducing weight bearing with the air pressure

Shigeru YAMADA, Kokoro SANO, Saki NAKANO and Hitomi FUJITA

Department of Food and Health Sciences, Jissen Women's University

Recently, a method to reduce weight bearing by pressurizing the lower body sealed below abdomen was developed. This method is expected to be used effectively in the fields of medicine and sports. Hence, we examined the effect and the safety of lifting the body with air pressure on heart rate during the running.

Experiment 1

Influence of change in air pressure on the circulatory system and body composition. The subjects were five female college students aged 21 to 23 years. The experiment was conducted from 5 to 20 January, 2015 using an exercise machine equipped with weight bearing reduction system, DREAM HUNTER (Showa Electric Co., Ltd.). Before the experiment, the subjects were weighed on the exercise machine at no pressure as baseline, and then at 10, 20, 30, 40 and 50% increase in the air pressure. Each subject ran for 20 minutes at 50% HRmax intensity, and then at each air pressure. Ten minutes before, immediately after and 15 minutes after the run, the subjects heart rate was measured using POLAR RS800X and blood pressure was measured using CH-608 (Citizen Systems Co., Ltd.) Body composition was measured at the beginning and end of the experiment using INBODY 720 (Bio space, Inc. Ltd.). With the increase of the air pressure, the mean running speed significantly increased. However, at each pressure neither heart rate nor blood pressure changed. Compared to baseline, body weight significantly decreased after running at each air pressure. From the results above, the method of elevating the body by air pressure did not have an effect on the heart's workload in the short-term.

Experiment 2

The subjects were the same as experiment 1. The experimental period was 12 days. The body composition was measured at the beginning and end of the experiment using INBODY 720 (Bio space, Inc. Ltd.). Heart rate was measured at the same three time points as mentioned above. By day 12, the heart rate immediately after the running at the level of 50% air pressure increase was significantly lower than the baseline level without the air pressure at all of the running speeds. The heart rate 15 minutes after the running showed the same only at higher running speed. Our result suggests at the change in weight bearing with the air pressure may be an efficient exercise prescription in the long-term but not in a short-term.

Key words : body weight support exercise (体重免荷運動), heart rate (心拍数),
body composition (体組成)

1. 目的

体重は、意識的に、あるいは無意識的に身体の形態や機能に大きく影響を及ぼしている。特に発育発達過程の姿勢の変化は、重力に抗する抗重力筋に支えられる。老化に伴う筋力の低下は無意識的に姿勢の変化をもたらし、身体機能に大きな影響を及ぼす。さらに体重が軽減される微小重力下でも抗重力筋の萎縮を導き、宇宙からの帰還後は筋力が低下し立つことさえ困難になる。また、長期間ベットのレストにおいても同様な変化が臓器諸器官にみられる。従って、重力下での身体活動が如何に重要であるかが理解できる。一方、体重は歩行や身体活動やスポーツ活動のパフォーマンスに大きな影響を及ぼす。特に、体重が荷重となり運動器だけでなく呼吸循環器系にも変化をもたらす。従って、四肢に障害を持つ患者や肥満者の体重荷重を軽減するため、様々な工夫がなされている。

このように、身体にかかる負荷がもたらす影響の長所・短所を理解して、より安全に、より効果的に身体を改善・増強することができる方法が近年、編み出されている。アクアエクササイズなど水の浮力を利用した運動や、腹部（重心位）以下を密封下に加圧することによって身体を持ち上げ、免荷する方法などである。このような方法を活用した運動は、医療^{1) 2) 3) 4)}やスポーツ分野での有効利用が期待されている。しかしながら、それらの方法について、生理機能に及ぼす影響については不明なところがある。

そこで本研究では、加圧量で免荷量をコントロールする装置を利用して、その免荷効果と安全性について検討したので報告する。特に今回はトレッドミル走行時の免荷率の変化が循環系と体組成に及ぼす影響について検討した。

2. 方法

2-1. 実験1 免荷率の変化が循環系及び体組成に及ぼす影響

- 1) 被験者：本学に在籍する21～23歳の女子学生5名。
- 2) 実験期間：2015年1月5日～1月20日。
- 3) 運動負荷法：体重免荷運動装置として、空圧式免荷トレッドミル（昭和電機株式会社製：DREAM HUNTER IV）を用いた。運動負荷50% HRmax強度にて20分間走行した。免荷率0%、10%、20%、

30%、40%、50%の合計6回走行し、トレッドミル走行はいずれも午後1時～午後4時の間に行った。

- 4) 測定項目：走行10分前から走行後15分までポラール（POLAR RS800CX₂）を着用し安静時、走行時、回復時の心拍数を計った。さらに、走行10分前と走行後15分安静時状態で血圧（シチズン・システムズ株式会社製：CH-608）を測定した。また、実験開始日と実験終了日に体組成をInbody720（株式会社バイオスペース社）を用いて測定した。実験開始日に反重力トレッドミルに乗ったまま各免荷率の体重を体重計（KaradaScan, HBF-359omRon）を用いて計測した。
- 5) 統計的処理：各データ平均値±標準偏差を算出し、多重比較検定（Tukey法）を行った。有意水準は5%未満とした。

2-2. 実験2 一定の免荷率と歩行及び走行速度の違いが循環系及び体組成に及ぼす影響

- 1) 被験者：本学に在籍する21～22歳の女子学生5名。
- 2) 実験期間：実験期間12日間。実験は、午前9～12時。
- 3) 免荷率と運動：体重免荷運動装置として、実験1と同様の装置を用いて行った。0%免荷重、50%免荷重の二条件で実験を行った。歩行及び走行速度はそれぞれ80m/分、100m/分、120m/分、140m/分、160m/分、180m/分とし、歩行及び走行時間は5分間、回復時間は15分とした。
- 4) 測定項目：心拍数測定は、歩行・走行開始前から回復後にかけて実験1と同様の装置を用いて行った。さらに歩行・走行開始前、終了直後、回復後に血圧（シチズン・システムズ株式会社製：CH-608）を測定した。体組成の測定は実験1と同様の装置を用いて行った。
- 5) 統計的処理：各歩行・走行速度での心拍数と血圧の平均値±標準偏差をもとめ、Tukey法を用い、危険率5%未満を有意とした。

なお、この実験1・2は実践女子大学の倫理委員会に「人間を対象とした教育研究に関する研究倫理審査申請書」を提出し、承認を得たうえで実施されたものである。尚、予め被験者には実験内容を説明し、同意を得て行った。

3. 結果

3-1. 実験1

3-1-1.

空圧式加圧法による免荷が体重に及ぼす影響

図1は本来の体重を100%とした際、免荷が体重に及ぼす影響を示した結果である。免荷率0%時100%、免荷率10%時93%、免荷率20%時81%、免荷率30%時76%、免荷率40%時73%、免荷率50%時71%であった。免荷率が上がるにつれて、体重は統計的に有意に減少した。

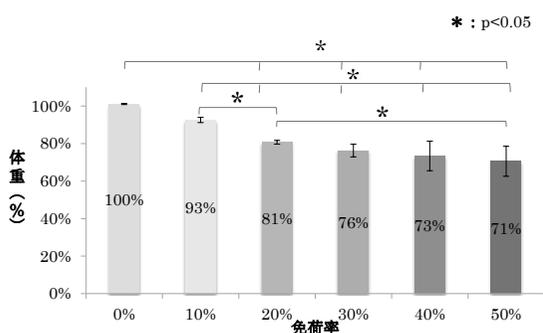


図1 免荷が体重に及ぼす影響

3-1-2.

免荷が速度に及ぼす影響

図2は運動強度50% HRmaxで走行した際の免荷が速度に及ぼす影響を示した結果である。各免荷ごとの、運動強度50% HRmaxになる目標心拍数に達し心拍数が安定した際の速度の平均である。免荷率0%時6.6 ± 0.2 km / 時、免荷率10%時7.1 ± 0.5 km / 時、免荷率20%時7.4 ± 0.6 km / 時、免荷率30%時7.7 ± 0.7 km / 時、免荷率40%時7.9 ± 0.7 km / 時、免荷率50%時8.2 ± 0.7 km / 時であった。

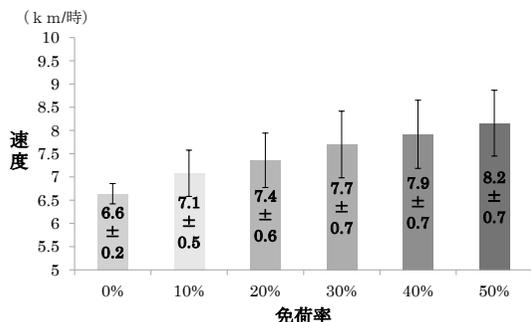


図2 運動強度50%HRmaxで走行した際の免荷と走行速度の関係

± 0.7 km / 時、免荷率40%時7.9 ± 0.7 km / 時、免荷率50%時8.2 ± 0.7 km / 時であった。免荷率が上がるにつれて、速度の平均値は統計的に有意に増加した。(p<0.05)

3-1-3.

空圧式加圧法による免荷が血圧に及ぼす影響

図3、4には運動前の免荷が血圧に及ぼす影響を示した。各免荷率の拡張期血圧の平均は免荷率0%時74 ± 6.0mmHg、免荷率10%時76 ± 3.5mmHg、免荷率20%時76 ± 9.8mmHg、免荷率30%時74 ± 8.7mmHg、免荷率40%時71 ± 6.7mmHg、免荷率50%時75 ± 6.2mmHgであった。各免荷率の収縮期血圧の平均は免荷率0%時121 ± 5.8mmHg、免荷率10%時122 ± 5.1mmHg、免荷率20%時124 ± 6.5mmHg、免荷率30%時123 ± 6.4、免荷率40%時116 ± 4.9mmHg、免荷率50%時123 ± 11.2mmHgであった。各免荷率の収縮期血圧と拡張期血圧の平均値には統計的な有意差

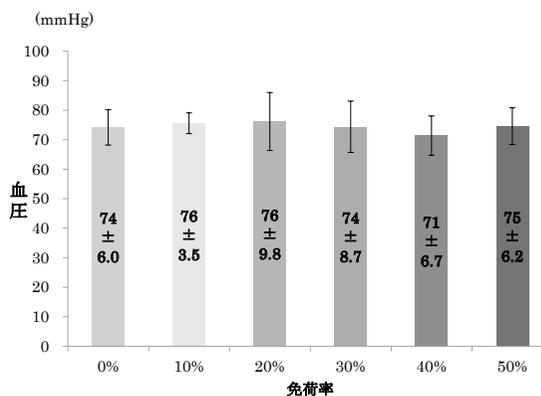


図3 免荷が運動前の血圧に及ぼす影響 拡張期血圧

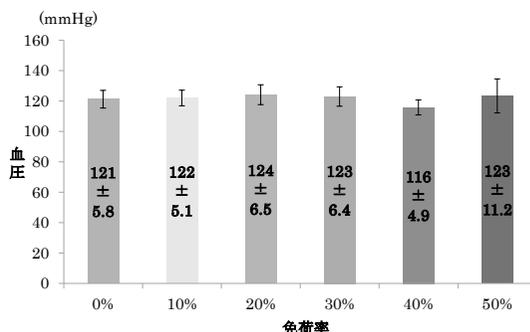


図4 免荷が運動前の血圧に及ぼす影響 収縮期血圧

は見られなかった。すなわち空圧式加圧そのもの安静時の血圧に及ぼす影響は観察されなかった。

図5、6には免荷が運動直後の血圧に及ぼす影響を示した。各免荷率の拡張期血圧の平均は免荷率0%時 $72 \pm 4.3\text{mmHg}$ 、免荷率10%時 $72 \pm 7.0\text{mmHg}$ 、免荷率20%時 $75 \pm 4.0\text{mmHg}$ 、免荷率30%時 $75 \pm 5.8\text{mmHg}$ 、免荷率40%時 $78 \pm 9.7\text{mmHg}$ 、免荷率50%時 $78 \pm 9.5\text{mmHg}$ であった。

各免荷率の収縮期血圧の平均は免荷率0%時 $121 \pm 9.6\text{mmHg}$ 、免荷率10%時 $121 \pm 8.4\text{mmHg}$ 、免荷率20%時 $125 \pm 4.1\text{mmHg}$ 、免荷率30%時 $119 \pm 3.3\text{mmHg}$ 、免荷率40%時 $117 \pm 5.1\text{mmHg}$ 、免荷率50%時 128 ± 13.3 であった。各免荷率の運動直後の収縮期血圧と拡張期血圧の平均値に統計的な有意差は見られなかった。

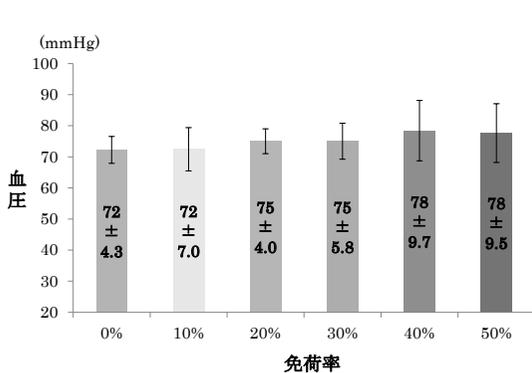


図5 免荷が運動直後の血圧に及ぼす影響
拡張期血圧

図7、8には回復15分後の免荷が血圧に及ぼす影響を示した。各免荷率の拡張期血圧の平均は免荷率0%時 $75 \pm 2.9\text{mmHg}$ 、免荷率10%時 81 ± 3.2 、免荷率20%時 $82 \pm 7.6\text{mmHg}$ 、免荷率30%時 $77 \pm 6.6\text{mmHg}$ 、免荷率40%時 $80 \pm 7.2\text{mmHg}$ 、免荷率50%時 $76 \pm 3.0\text{mmHg}$ であった。

各免荷率の収縮期血圧の平均は免荷率0%時 $137 \pm 10.2\text{mmHg}$ 、免荷率10%時 $135 \pm 5.4\text{mmHg}$ 、免荷率20%時 $136 \pm 3.4\text{mmHg}$ 、免荷率30%時 $130 \pm 8.6\text{mmHg}$ 、免荷率40%時 $137 \pm 10.4\text{mmHg}$ 、免荷率50%時 $136 \pm 7.2\text{mmHg}$ であった。各免荷率が回復期の収縮期血圧と拡張期血圧の平均値に統計的な有意差は見られなかった。

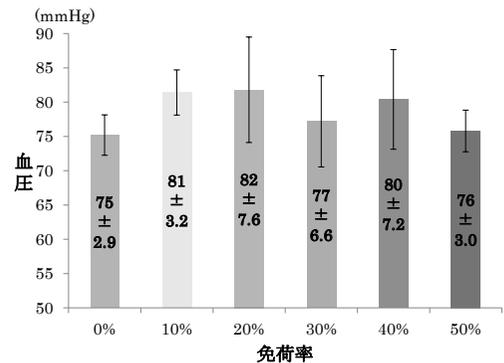


図7 免荷が回復15分後の血圧に及ぼす影響
拡張期血圧

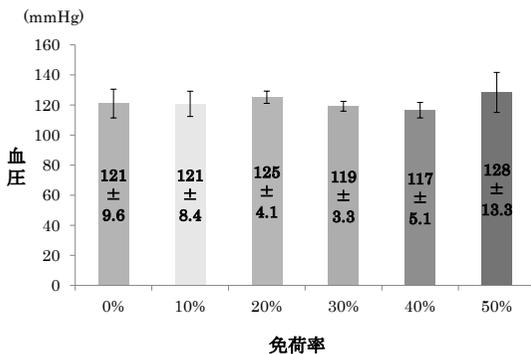


図6 免荷が運動直後の血圧に及ぼす影響
収縮期血圧

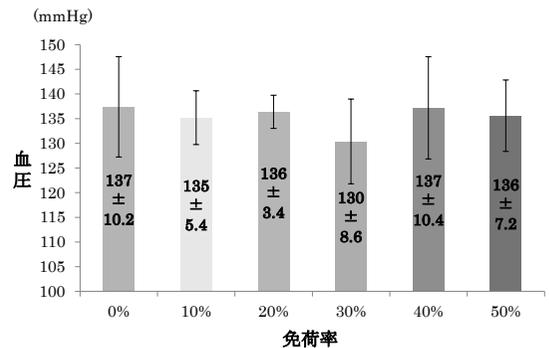


図8 免荷が回復15分後の血圧に及ぼす影響
収縮期血圧

表 1、2 には運動が血圧に及ぼす影響を示した。運動前・運動直後・回復 15 分後の血圧を、免荷関係なく合計し平均を算出し、解析した。拡張期血圧は運動前から運動直後は 74mmHg から 79mmHg と統計的に有意な上昇を示し ($p<0.05$)、運動直後から回復 15 分後は 79mmHg から 75mmHg と統計的に有意な減少を示した ($p<0.05$)。

収縮期血圧も運動前から運動直後は 122mmHg から 136mmHg と統計的に有意な上昇を示し ($p<0.05$)、運動直後から回復 15 分後は 136mmHg から 121mmHg と統計的に有意な減少を示した ($p<0.05$)。

すなわち、体重免荷率の違いが血圧に対する影響は観察されなかったが、運動前、に比べ運動直後は有意に増加し、回復期は運動直後に比較し有意に減少した。

表 1 運動が血圧に及ぼす影響 拡張期血圧 $*:p<0.05$

	0%	10%	20%	30%	40%	50%	MEAN	SD
走行10分前	74	76	76	74	71	75	74	1.9
走行終了直後	75	81	82	77	80	79	79	2.6
回復15分後	72	72	75	75	78	75	75	2.3

表 2 運動が血圧に及ぼす影響 収縮期血圧 $*:p<0.05$

	0%	10%	20%	30%	40%	50%	MEAN	SD
走行10分前	121	122	124	123	116	123	122	3.0
走行終了直後	137	135	136	130	137	138	136	2.8
回復15分後	121	121	125	119	117	126	121	3.6

3-1-4.

空圧式加圧法による免荷率が心拍数に及ぼす影響

心拍数は 1 分ごとに測定し、運動前・運動中・回復 15 分間の平均を算出している。

a) 免荷率が心拍数に及ぼす影響

図 9 は運動前の心拍数と免荷率との関係を示したものである。各免荷率の心拍数の平均は免荷率 0% 時 84 ± 5bpm、免荷率 10% 時 81 ± 5bpm、免荷率 20% 時 87 ± 13bpm、免荷率 30% 時 88 ± 6bpm、免荷率 40% 時 92 ± 9bpm、免荷率 50% 時 90 ± 11bpm であった。運動前の心拍数の平均値はどの免荷率においても統計的な有意差は見られなかった。

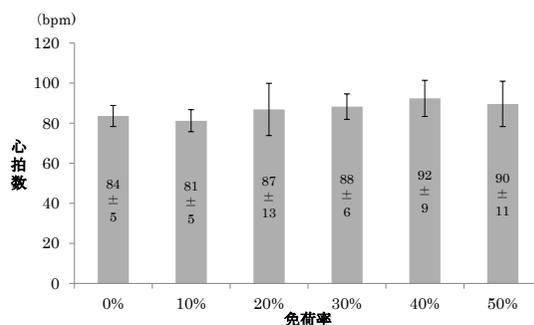


図 9 運動前の心拍数と免荷率の関係

図 10 は運動中の心拍数と免荷の関係を示した結果である。各免荷率の心拍数の平均は免荷率 0% 時 135 ± 5bpm、免荷率 10% 時 139 ± 6.7bpm、免荷率 20% 時 139 ± 9bpm、免荷率 30% 時 136 ± 6bpm、免荷率 40% 時 137 ± 10bpm、免荷率 50% 時 133 ± 6bpm であった。運動中の心拍数の平均値はどの免荷率においても統計的な有意差は見られなかった。

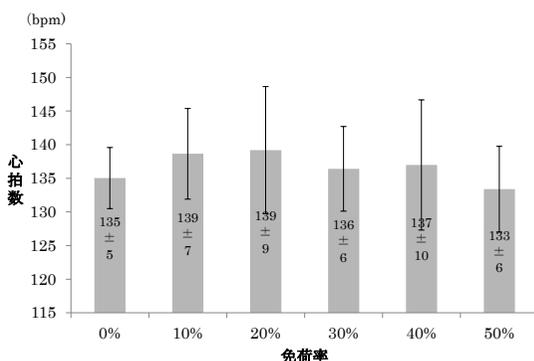


図 10 運動中の心拍数と免荷の関係

図 11 には回復 15 分間の心拍数と免荷の関係を示した。各免荷率の心拍数の平均は免荷率 0% 時 96 ± 6bpm、免荷率 10% 時 95 ± 4bpm、免荷率 20% 時 96 ± 10bpm、免荷率 30% 時 96 ± 7bpm、免荷率 40% 時 104 ± 11bpm、免荷率 50% 時 102 ± 5.6bpm であった。回復 15 分間の心拍数の平均値はどの免荷率においても統計的な有意差は見られなかった。

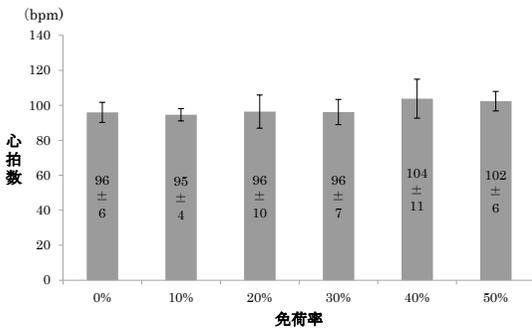


図 11 回復 15 分間の心拍数と免荷の関係

b) 各免荷率における運動前、運動中、回復 15 分間の心拍数の変化

図 12、13 は免荷率 0% 時と 10% 時の心拍数の変化である。免荷率 0% 時の心拍数の平均は運動前 84 ± 5bpm、運動中 135 ± 5bpm、回復 15 分間 96 ± 6bpm であった。免荷率 10% 時の心拍数の平均は運動前 81 ± 6bpm、運動中 139 ± 7bpm、回復 15 分間 95 ± 4bpm であった。免荷率 0% 時、免荷率 10% 時ともに運動前から運動中は統計的に有意な上昇を示し (p<0.05)、運動中から回復 15 分間は統計的に有意な減少を示した (p<0.05)。また、運動前から回復 15 分間は統計的に有意な上昇を示した (p<0.05)。

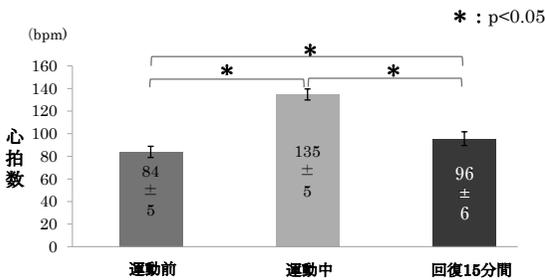


図 12 免荷率 0% 時の心拍数

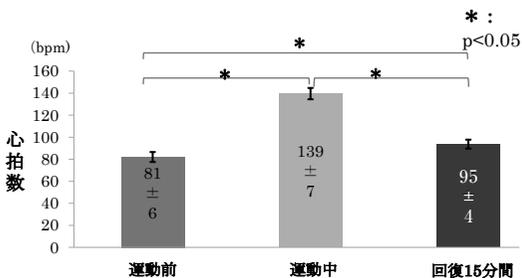


図 13 免荷率 10% 時の心拍数

図 14、15、16、17 は免荷率 20% 時、免荷率 30% 時、免荷率 40% 時、免荷率 50% 時の心拍数結果である。免荷率 20% 時の心拍数の平均は運動前 87 ± 13bpm、運動中 139 ± 9bpm、回復 15 分間 96 ± 10bpm であった。免荷率 30% 時の心拍数の平均は運動前 88 ± 7bpm、運動中 136 ± 6bpm、回復 15 分間 96 ± 7 であった。免荷率 40% 時の心拍数の平均は運動前 92 ± 9bpm、運動中 137 ± 10bpm、回復 15 分間 104 ± 11bpm であった。免荷率 50% 時の心拍数の平均は運動前 90 ± 11bpm、運動中 133 ± 6bpm、回復 15 分間 102 ± 6 であった。免荷率 20% 時、免荷率 30% 時、免荷率 40% 時、免荷率 50% 時いずれにおいても運動前から運動中は統計的に有意な上昇を示し、運動中から回復 15 分間は統計的に有意な減少を示したが、運動前から回復 15 分間は統計的な有意差は見られなかった。

以上の結果、体重免荷による心拍数に対する影響は観察されなかったが、運動による影響は観察された。さらに免荷率が低い場合、回復が遅いことが判明した。

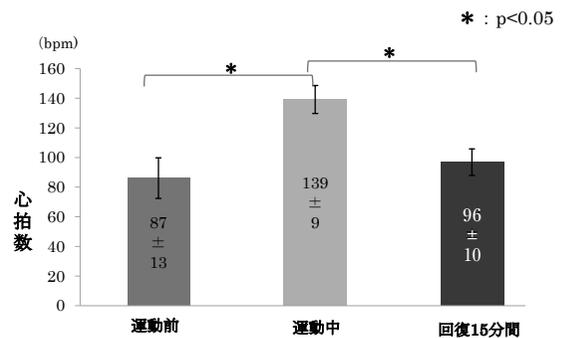


図 14 免荷率 20% 時の心拍数

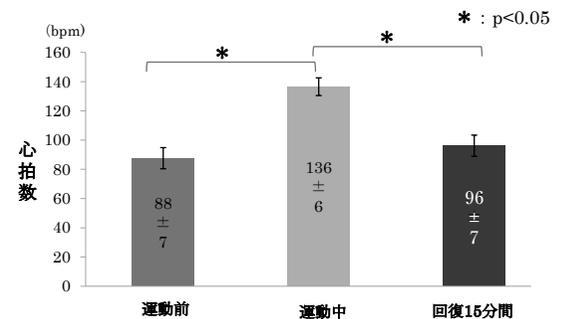


図 15 免荷率 30% 時の心拍数

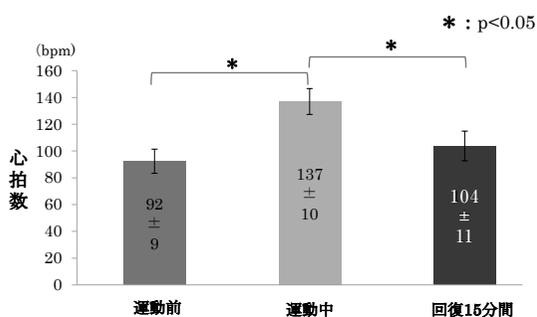


図 16 免荷率 40%時の心拍数

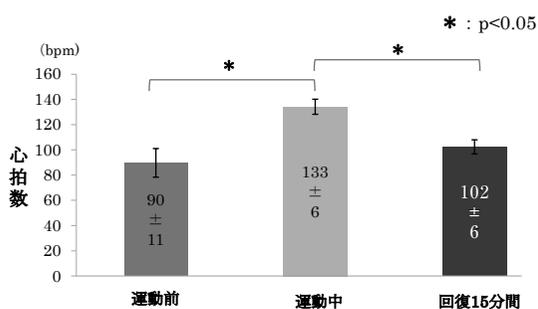


図 17 免荷率 50%時の心拍数

3-1-5.

空圧式加圧法による免荷実験介入前後での体組成の変化

これは、介入前と、全ての免荷率（計6回）で走行を行った後に体組成を計測したものである。

a) 体重への影響

図 18 には介入前後での体重の変化を示した。介入前 55.2 ± 4.3 kg、介入後 54.0 ± 4.6 kgであり、統計的に有意な減少が見られた (p<0.05)。

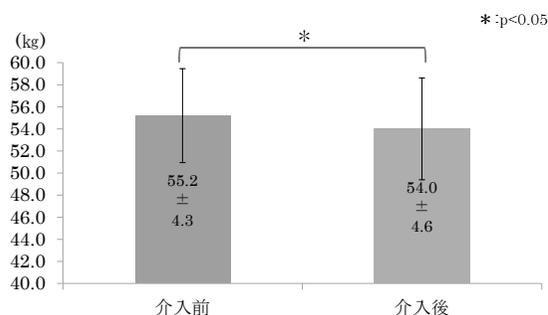


図 18 介入前後での体重の変化

b) BMI への影響

図 19 には介入前後での BMI の変化を示した。介入前 20.9 ± 1.3 kg / m²、介入後 20.4 ± 1.6 kg / m²であり統計的に有意な減少が見られた (p<0.05)。

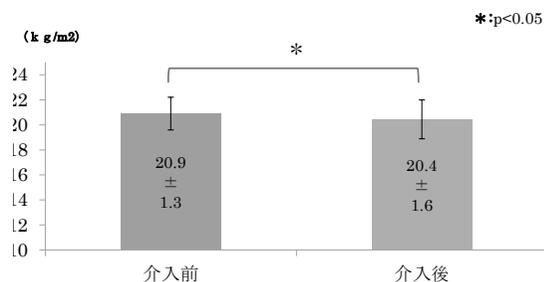


図 19 介入前後での BMI の変化

c) 体脂肪量への影響

図 20 には介入前後での体脂肪量の変化を示した。介入前は 15.0 ± 3.0 kg、介入後は 13.8 ± 3.7 kgであり、統計的に有意な減少が見られた (p<0.05)。

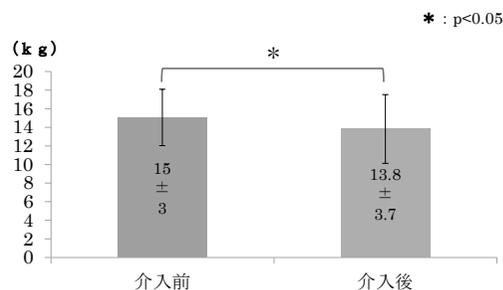


図 20 介入前後での体脂肪量の変化

d) 体脂肪率への影響

図 21 には介入前後での体脂肪率の変化を示した。介入前は 27.1 ± 3.8%、介入後は 25.3 ± 5.3%であり減少の傾向は見られたが、統計的な有意差は見られなかった。

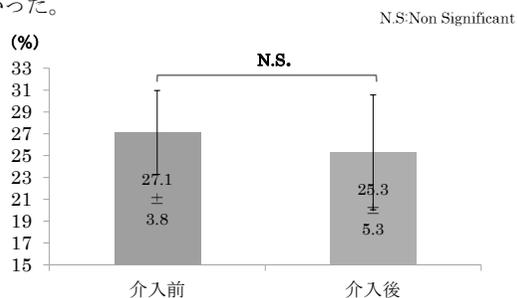


図 21 介入前後での体脂肪率の変化

e) 骨格筋量への影響

図 22 には介入前後での骨格筋量の変化を示した。介入前は 21.70 ± 1.34 kg、介入後は 21.72 ± 1.31 kg であり、統計的に有意差が見られなかった。

N.S: Non Significant

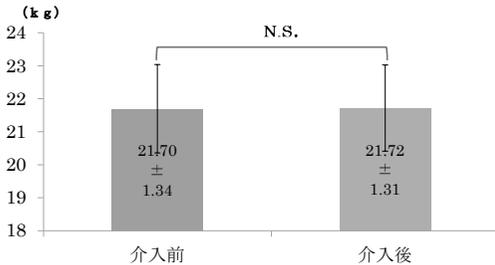


図 22 介入前後の骨格筋量の変化

f) 体幹筋肉量への影響

図 23 には介入前後での体幹筋肉量の変化を示した。介入前は 17.29 ± 1.10 kg、介入後は 16.92 ± 1.19 kg であり、統計的に有意な減少が見られた ($p < 0.05$)。

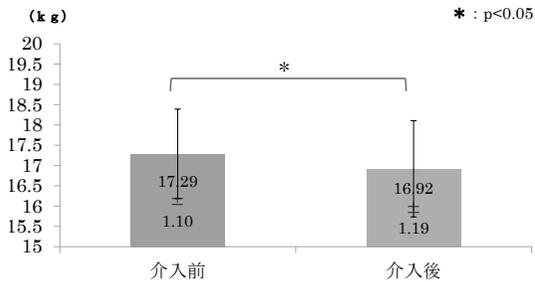


図 23 介入前後での体幹筋肉量の変化

g) 右腕筋肉量への影響

図 24 には介入前後での右腕筋肉量の変化を示した。介入前は 1.82 ± 0.15 kg、介入後は 1.77 ± 0.17 kg であり、統計的に有意な減少が見られた ($p < 0.05$)。

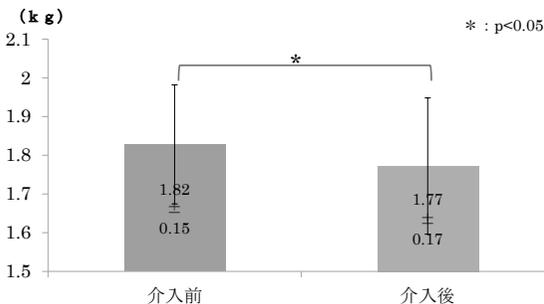


図 24 介入前後での右腕筋肉量の変化

h) 左腕筋肉量への影響

図 25 には介入前後での左腕筋肉量の変化を示した。介入前は 1.78 ± 0.19 kg、介入後は 1.72 ± 0.21 kg であり、統計的に有意な減少が見られた ($p < 0.05$)。

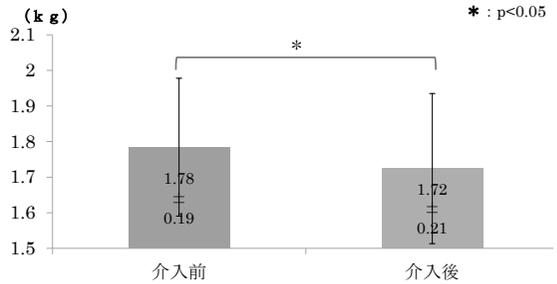


図 25 介入前後での左腕筋肉量の変化

i) 右足筋肉量への影響

図 26 には介入前後での右足筋肉量の変化を示した。介入前は 6.27 ± 0.31 kg、介入後は 6.46 ± 0.25 kg であり、統計的に有意な増加が見られた ($p < 0.05$)。

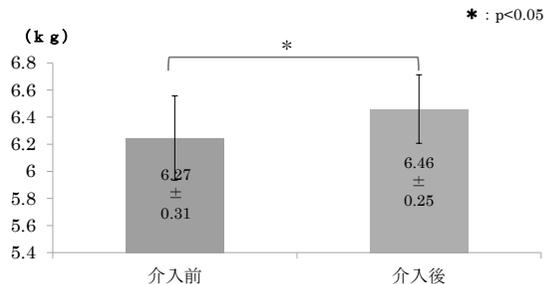


図 26 介入前後での右足筋肉量の変化

j) 左足筋肉量への影響

図 27 には介入前後での左足筋肉量の変化を示した。介入前は 6.21 ± 0.35 kg、介入後は 6.42 ± 0.28 kg であり、統計的に有意な増加が見られた ($p < 0.05$)。

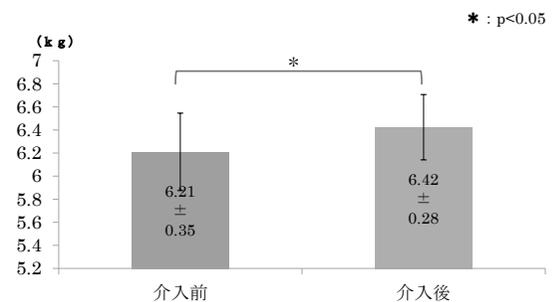


図 27 介入前後での左足筋肉量の変化

空圧式加圧法による免荷介入前後での体組成の変化の中で、注目すべきは運動に参加した足の筋肉が増加したことと、体脂肪量が減少し、BMI 値が減少したことである。

3-2. 実験2

3-2-1.

免荷率と体重との関係について—免荷率0%、免荷率50%の2条件の変化

図28には、免荷率と体重との関係について、免荷率0%、免荷率50%それぞれの平均値を示した。免荷率0% 51.16kg、免荷率50% 32.58kgであった。免荷率50%の場合は、体重が38.7%減少した。

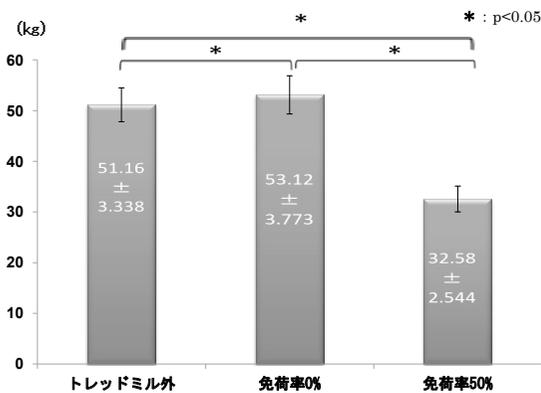


図28 免荷率と体重との関係

3-2-2.

免荷トレッドミルによる走行時の心拍数の変化

a) 免荷率0%の場合

図29に、免荷率0%時の走行前の心拍数を速度ごとに示した。80m/分 91.6 ± 13.441bpm、100m/分 89.8

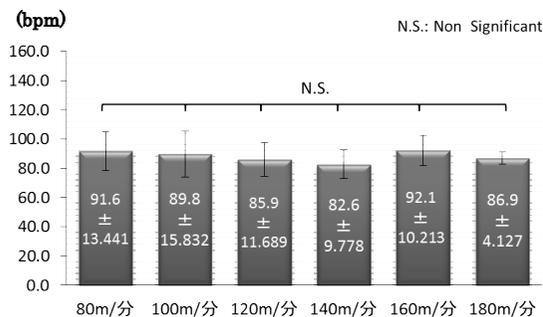


図29 免荷率0%時の速度別心拍数の変化 (走行前)

± 15.832 bpm、120m/分 85.9 ± 11.689 bpm、140m/分 82.6 ± 9.778 bpm、160m/分 92.1 ± 10.213 bpm、180m/分 86.9 ± 4.127 bpmであった。すべての速度間で統計的な有意差はみられなかった。

図30に、免荷率0%の走行直後の心拍数を速度ごとに示した。80m/分 103.1 ± 4.506 bpm、100m/分 118.0 ± 10.942 bpm、120m/分 130.2 ± 9.611 bpm、140m/分 140.2 ± 9.611 bpm、160m/分 149.8 ± 10.728 bpm、180m/分 150.1 ± 5.790 bpmであった。80m/分と120m/分速度走行間、80m/分と140m/分速度走行間、80m/分と160m/分速度走行間、80m/分と180m/分速度走行間、100m/分と140m/分速度走行間、100m/分と160m/分速度走行間、100m/分と180m/分速度走行間、120m/分と160m/分速度走行間、120m/分と180m/分速度走行間それぞれの速度走行間の平均値で統計的に有意な増加がみられた (p<0.05)。

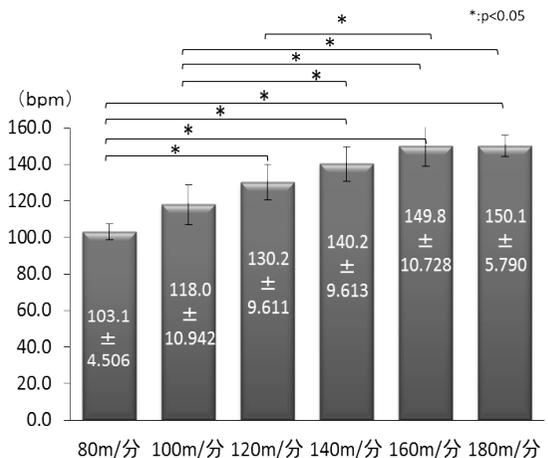


図30 免荷率0%時の速度別心拍数の変化 (走行中)

しかし、80m/分と100m/分速度走行間、100m/分と120m/分速度走行間、120m/分と140m/分速度走行間など、速度の差が少ない場合では統計的に有意な差はみられなかった。これは、免荷率の違いによる影響についての先行研究と同じく、速度の違いによる統計的な心拍数の増加はみられるが、速度の差が少ない場合は統計的な有意差はなかった⁸⁾。

図31には、免荷率0%の走行15分後の心拍数を速度ごとに示した。80m/分速度で82.6 ± 5.842 bpm、100m/分速度で84.4 ± 11.482 bpm、120m/分速度で83.3 ± 7.357 bpm、140m/分速度で87.5 ± 7.575 bpm、

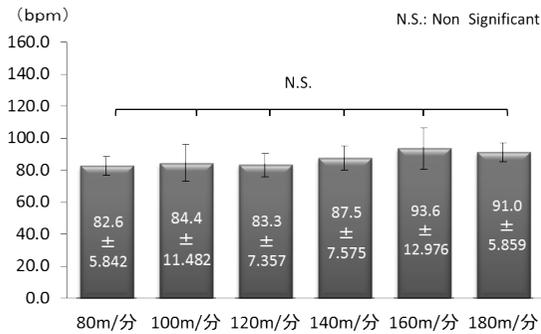


図 31 免荷率 0%時の速度別心拍数の変化 (走行 15 分)

160m/分速度で 93.6 ± 12.976 bpm、180m/分速度で 91.0 ± 5.859 bpm であった。すべての速度間において統計的に有意な差はみられなかった。

b) 免荷率 50%の場合

図 32 には、免荷率 50%の走行前の心拍数を速度ごとに示した。80m/分速度で 88.4 ± 11.879 bpm、100m/分速度で 86.9 ± 12.768 bpm、120m/分速度で 87.1 ± 12.242 bpm、140m/分速度で 88.3 ± 12.151 bpm、160m/分速度で 88.8 ± 14.125 bpm、180m/分速度で 86.3 ± 8.746 bpm であった。すべての速度間で統計的な有意差はみられなかった。

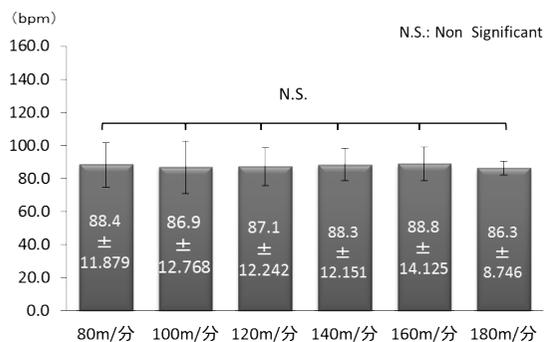


図 32 免荷率 50%時の速度別心拍数の変化 (走行前)

図 33 には、免荷率 50%の走行中の心拍数を速度ごとに比較した。80m/分速度で 101.5 ± 9.913 bpm、100m/分速度で 107.9 ± 10.465 bpm、120m/分速度で 110.5 ± 11.620 bpm、140m/分速度で 116.8 ± 11.943 bpm、160m/分速度で 127.9 ± 11.327 bpm、180m/分速度で 124.7 ± 7.095 bpm であった。80m/分速度と 160m/分速度、80m/分速度と 180m/分速度において統計的に有意な増加がみられた ($p < 0.05$)。

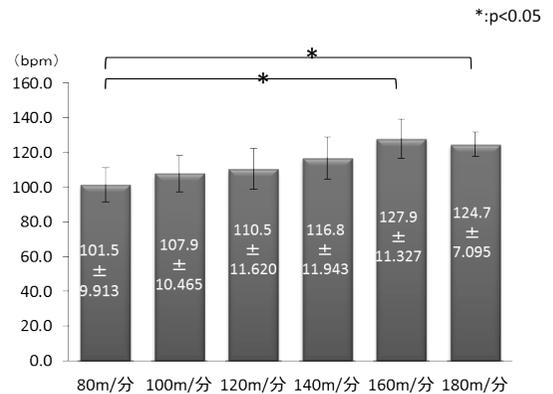


図 33 免荷率 50%時の速度別心拍数の変化 (走行中)

図 34 には、免荷率 50%の走行 15 分後の心拍数を速度ごとに示した。80m/分速度で 81.6 ± 12.464 bpm、100m/分速度で 76.8 ± 8.988 bpm、120m/分速度で 80.7 ± 12.485 bpm、140m/分速度で 79.9 ± 11.180 bpm、160m/分速度で 87.5 ± 11.167 bpm、180m/分速度で 80.3 ± 8.841 bpm であった。すべての速度間において統計的に有意な差はみられなかった。

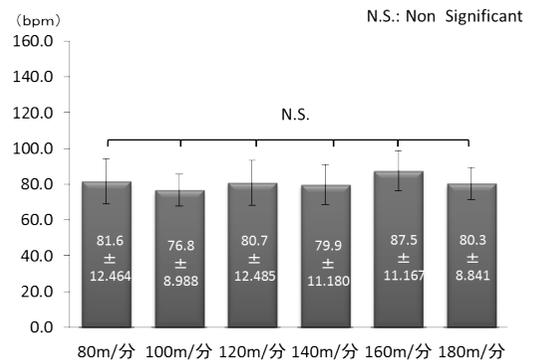


図 34 免荷率 50%時の速度別心拍数の変化 (走行 15 分後)

c) 免荷率の比較

図 35 には、免荷率 0%と免荷率 50%の走行前の心拍数を速度ごとに示した (数値は図 24、図 27 とそれぞれ同様)。いずれも統計的に有意な差はみられなかった。

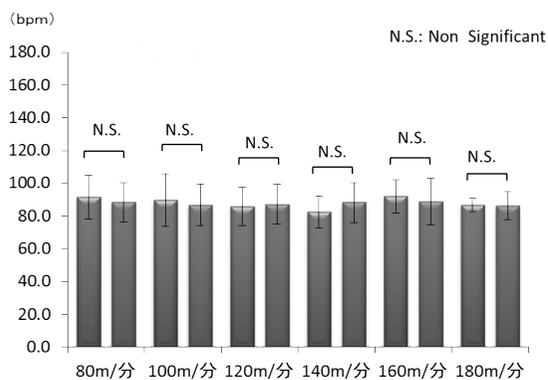


図 35 免荷率別にみた心拍数の変化 (走行前)

図 36 には、免荷率 0%と免荷率 50%の走行中の心拍数を速度ごとに示した (数値は図 29、図 32 とそれぞれ同様)。120m/分、140m/分、160m/分、180m/分それぞれの速度の免荷率間に統計的に有意な低下がみられた ($p<0.05$)。

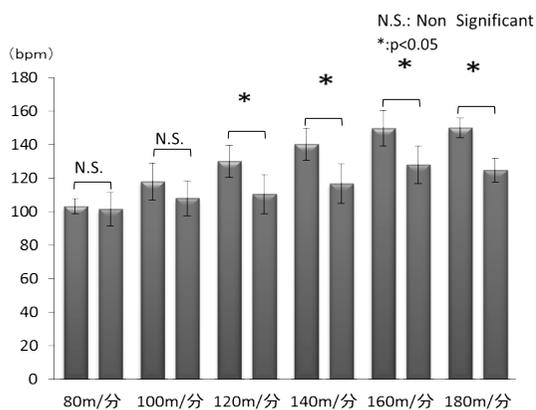


図 36 免荷率別にみた心拍数の変化 (走行中)

図 37 には、免荷率 0%と免荷率 50%の走行 15 分後の心拍数を速度ごとに示した (数値は図 30、図 33 とそれぞれ同様)。140m/分、160m/分、180m/分の免荷率間に統計的に有意な低下がみられた ($p<0.05$)。

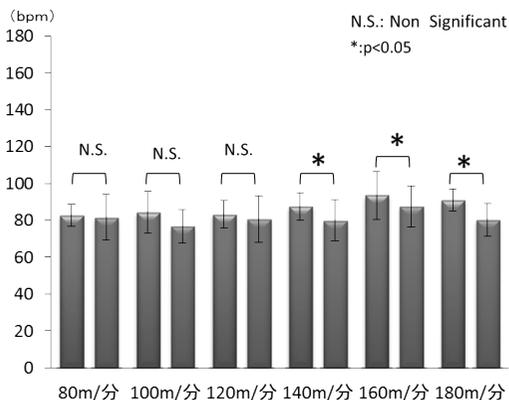


図 37 免荷率別にみた心拍数の変化 (走行 15 分後)

d) 走行前・走行直後・走行 15 分後の心拍数の比較

図 38 は、免荷率 0%の場合の走行前・走行直後・走行 15 分後の心拍数を速度別に示した (数値は図 29、図 30、図 31 とそれぞれ同様)。80m/分速度時の走行直後と走行 15 分後、100m/分速度時の走行前と走行直後、100m/分速度時の走行直後と走行 15 分後、120m/分速度時の走行前と走行直後、120m/分速度時の走行直後と走行 15 分後、140m/分速度時の走行前と走行直後、140m/分速度時の走行直後と走行 15 分後、160m/分速度時の走行前と走行直後、160m/分速度時の走行直後と走行 15 分後、180m/分速度時の走行前と走行直後、180m/分速度時の走行直後と走行 15 分後において統計的に有意な差がみられた ($p<0.05$)。

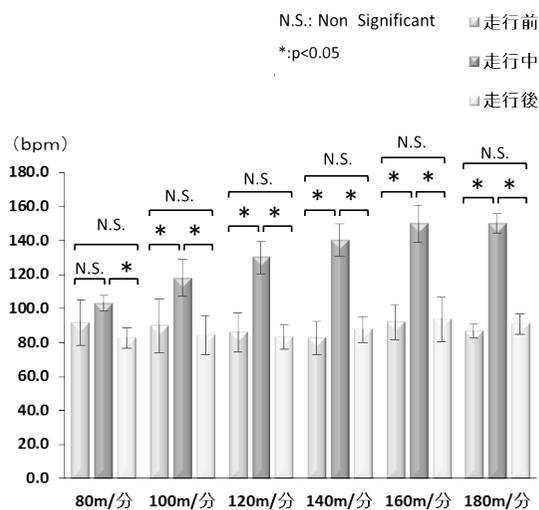


図 38 免荷率 0%の時の走行前・走行中・走行 15 分後の心拍数の速度別変化

図 39 には、免荷率 50% の場合の走行前・走行直後・走行 15 分後の心拍数を速度別に示した。80m/分速度時の走行直後と走行 15 分後、100m/分速度時の走行前と走行直後、100m/分速度時の走行直後と走行 15 分後、120m/分速度時の走行前と走行直後、120m/分速度時の走行直後と走行 15 分後、140m/分速度時の走行前と走行直後、140m/分速度時の走行直後と走行 15 分後、160m/分速度時の走行前と走行直後、160m/分速度時の走行直後と走行 15 分後、180m/分速度時の走行前と走行直後、180m/分速度時の走行直後と走行 15 分後において統計的に有意な差がみられた ($p < 0.05$)。

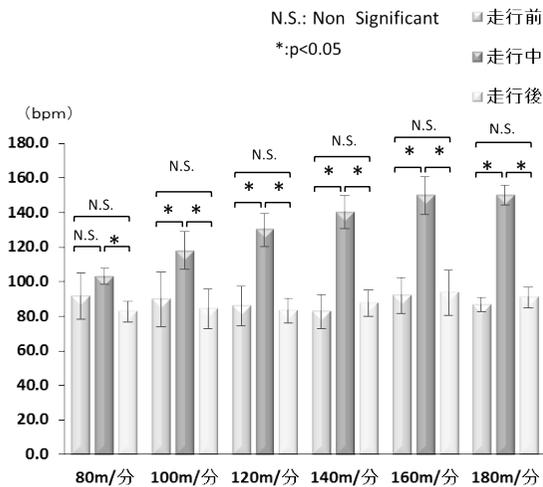


図 39 免荷率 50% の時の走行前・走行中・走行 15 分後の心拍数の速度別変化

3-2-3.

介入前後での体組成の変化

これは、介入前と、一定の免荷率で速度を変えて(計 13 回) 走行を行った後に体組成を計測したものである。

a) 体重に対する影響

図 40 には、介入前後の体重の平均値を示した。介入前 $50.94 \pm 3.7273\text{kg}$ 、介入後 $51.00 \pm 3.7303\text{kg}$ であり、平均値間には統計的な有意差はみられなかった。

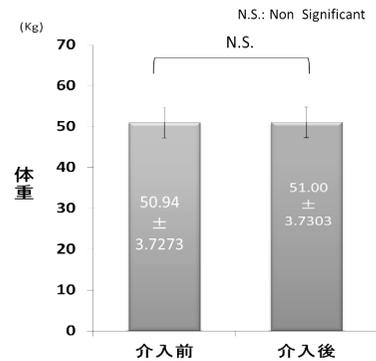


図 40 介入前後での体重の変化

b) 体脂肪量に対する影響

図 41 には、介入前後の体脂肪量を体重で除した。平均値を示した。介入前 $0.245 \pm 0.025\text{kg/kg}$ 、介入後 $0.235 \pm 0.031\text{kg/kg}$ であり、平均値間には統計的な有意差はみられなかった。

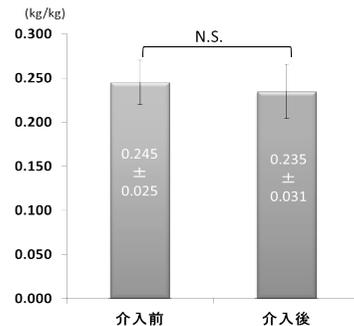


図 41 介入前後での体脂肪量の変化

c) 骨格筋量に対する影響

図 42 には、骨格筋量を体重で除した平均値を示した。介入前 $0.409 \pm 0.015\text{kg/kg}$ 、介入後 $0.414 \pm 0.016\text{kg/kg}$ であり、平均値間には統計的な有意差はみられなかった。

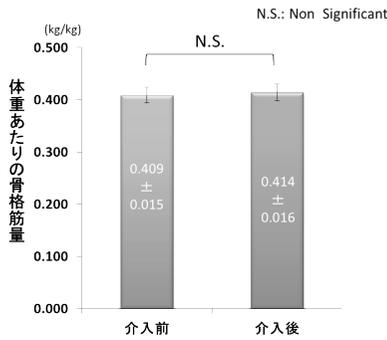


図 42 介入前後での骨格筋量の変化

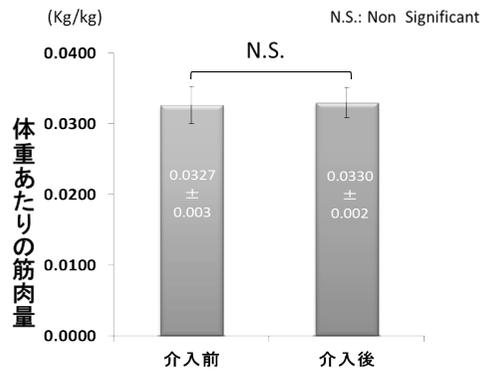


図 44 介入前後での左腕筋肉量の変化

d) 両腕筋肉量に対する影響

図 43 には、介入前後の右腕筋肉量を体重で除した平均値を示した。介入前 $0.0337 \pm 0.002\text{kg/kg}$ 、介入後 $0.0342 \pm 0.001\text{kg/kg}$ であり、平均値間には統計的な有意差はみられなかった。

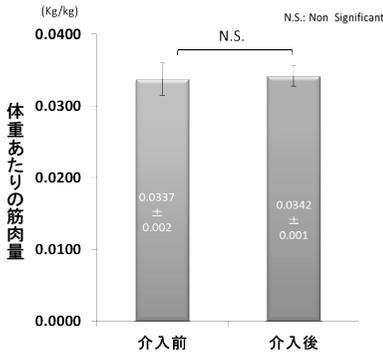


図 43 介入前後での右腕筋肉量の変化

e) 両脚筋肉量に対する影響

図 45 には、介入前後の右脚筋肉量を体重で除した平均値を示した。介入前 $0.118 \pm 0.003\text{kg/kg}$ 、介入後 $0.120 \pm 0.005\text{kg/kg}$ であり、平均値間には統計的に有意な増加がみられた ($p < 0.05$)。

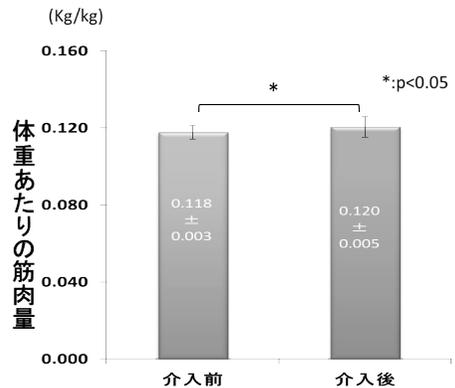


図 45 介入前後での右脚筋肉量の変化

図 44 には、介入前後の左腕筋肉量の平均値を示した。介入前 $0.0327 \pm 0.003\text{kg/kg}$ 、介入後 $0.0330 \pm 0.002\text{kg/kg}$ であり、平均値間には統計的な有意差はみられなかった。

図 46 には、介入前後の左脚筋肉量を体重で除した平均値を示した。介入前 $0.119 \pm 0.004\text{kg/kg}$ 、介入後 $0.122 \pm 0.006\text{kg/kg}$ であり、平均値間には統計的に有意な増加がみられた ($p < 0.05$)。

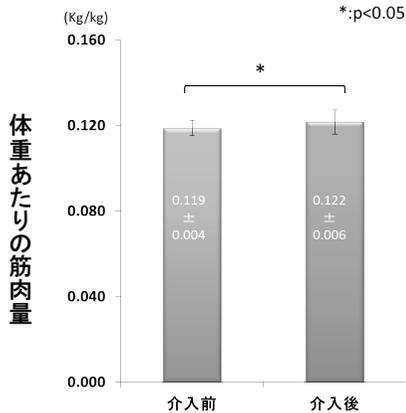


図 46 介入前後での左脚筋肉量の変化

f) 体幹筋肉量に対する影響

図 47 には、介入前後の体幹筋肉量を体重で除した平均値を示した。介入前 $0.325 \pm 0.007 \text{kg/kg}$ 、介入後 $0.326 \pm 0.007 \text{kg/kg}$ であり、平均値間には統計的な有意差はみられなかった。

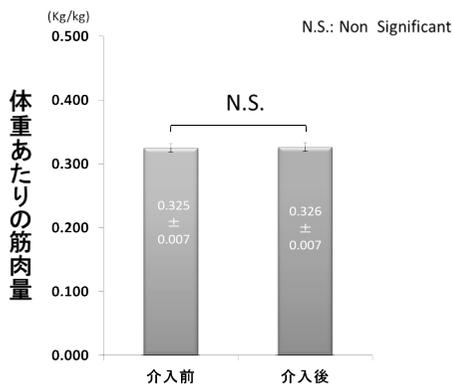


図 47 介入前後での体幹筋肉量の変化

4. 考察

実験 1 において 50% HRmax で空圧式加圧率を変え、トレーニングすることによって体重が減少することを確認した。この原因は、体組成の測定結果から脂肪量の減少によるものであると判断される。すなわち、空圧式加圧が原因で脂肪燃焼が増大することによるものと考えられる。その作用機序については不明であるが、位高ら⁵⁾は、免荷することによって走行運動によって血中乳酸値の有意な減少を報告している。その

原因として免荷によりエネルギー源として乳酸や脂肪をより多く利用したことが考えられるとしている。さらに、下肢の高圧状態が筋ポンプ作用を亢進する可能性を示唆している。各免荷率ごとの、運動強度 50% HRmax になる目標心拍数に達し心拍数が安定した際、速度は免荷率が上がるにつれて、速度の平均値は統計的に有意に増加したことから、運動量が免荷率の上昇に伴い増加したことが体重の減少を誘導したものと考えられる。

免荷が循環系の指標である血圧に及ぼす影響を検討した結果、空圧式加圧そのものが安静時の血圧に及ぼす影響は観察されなかった。すなわち空圧式加圧の一時的な筋ポンプ作用が働いていたとしても、運動前の血圧を変えるほどの影響はなかった。また運動直後の血圧は免荷率を変えても収縮期血圧、拡張期血圧は大きな変化を示さなかった。すなわち、免荷時に、血圧は運動強度である 50% HRmax に依存し、走スピードや運動量に依存しないことが判明した。土本ら⁶⁾は、空気圧による免荷トレッドミル歩行における血流変化について報告している。それによると血圧は空気圧加圧に変化によって収縮期気圧、拡張期気圧とも大きな変化がないことを示している。しかしながら下腿部、大腿部の血流は空気圧加圧の増大に伴い、統計的に有意に減少することを示している。また、体重免荷の方法は異なるが高尾ら⁷⁾は免荷率が変わっても血圧や心拍数に大きな違いがないことを報告している。また、古川ら⁸⁾は上方牽引による免荷歩行時の呼吸循環応答を報告し、その中で収縮期血圧、拡張期血圧の経時的変化をみると、体重の 0%、25%、50% 免荷率の 3 条件下とも、安静時の SBP、DBP は、ほぼ一定値を示した。一方、運動時における SBP 平均値は、50% 条件での値が他条件に比較し有意に高値を示した。また、DBP の平均値は 3 条件下において、運動中・運動後を通じ統計的有意差は認められなかった。HR の平均値は 3 条件間に統計的な有意差は認められなかったとしている。このように実験方法によって血圧に対する応答は異なり、牽引法と空圧法では異なるものと思われる。

空圧式加圧法による免荷が心拍数に及ぼす影響については心拍数は 1 分ごとに測定し、運動前・運動中・回復 15 分間の平均を算出した。免荷率が心拍数に及ぼす影響において、運動前の心拍数の平均値はどの免

荷率においても統計的な有意差は見られなかった。同様に運動中の心拍数の平均値ほどの免荷率においても統計的な有意差は見られなかった。回復 15 分間の心拍数の平均値ほどの免荷率においても統計的な有意差は見られなかった。しかしながら体重免荷による心拍数に対する影響は観察されなかったが、運動による影響は観察された。さらに免荷率が低い場合、回復率が低いことが判明した。以上の実験空圧式加圧により体重が減少しても血圧や心拍数に対しては殆ど影響ないことが判明した。また実験 2 では、免荷率 0% と免荷率 50% の走行前の心拍数は統計的に有意な差はみられなかった。また免荷率 0% と免荷率 50% の走行直後の心拍数は 120m/分、140m/分、160m/分、180m/分の免荷率間の平均値に統計的に有意な低下がみられた。さらに免荷率 0% と免荷率 50% の走行 15 分後の心拍数は 140m/分、160m/分、180m/分の免荷率間の平均値に統計的に有意な低下がみられた。

小島ら⁹⁾は、反重力トレッドミルの荷重率 100%、75%、50% における心拍数の平均値は、時速 4km でそれぞれ 107.38 ± 9.04 , 102.75 ± 9.21 , 98.13 ± 5.96 bpm, 時速 2km でそれぞれは 94.00 ± 5.66 , 9.00 ± 6.87 , 85.25 ± 7.09 bpm であった。心拍数の二元配置分散分析の結果は、歩行速度と荷重率の交互作用は有意ではなかったが、歩行速度と荷重率の主効果は有意であったことを報告している。

すなわち空圧式免荷トレッドミル上での歩行において、荷重率の低下及び歩行速度の低下に伴う心拍数の減少を認め、同様の結果を示した。このように、運動耐容能が低下した患者、あるいは障害者（スポーツ障害も含む）、高齢者、に対しても、歩行速度及び荷重率を変化させることで適切な運動強度での歩行・走行練習を提供できるものと考えている。

参考文献

- 1) 松瀬博夫、志波直人、名護 健、荻野美佐、梅津祐一、永田見生：免荷が大腿骨近位部骨密度へ与える影響、リハビリテーション医学 2006、43、537-541 (2006)
- 2) 中澤公孝：免荷式トレッドミル歩行トレーニングの理論と実際、国立リハビリテーション研究所紀要、30号、3-7 (2009)
- 3) 高橋一揮、佐藤洋一郎、鈴木誠、村上賢一、小野部純、

藤澤宏幸：体重免荷トレッドミル歩行における下肢筋活動と呼吸循環応答、理学療法科学 26、83-88、(2011)

- 4) Pamela W. Duncan et al : Body-weight-supported treadmill rehabilitation after stroke. N Engl J Med., 011 (364), 2026-36 (2011).
- 5) 位高駿夫、高木一正、西川 康、柴田ちひろ、宮崎誠司：重力トレッドミルによる体重負荷の違いの検討－乳酸値・心拍数・酸素摂取量の分析－、Tokai J. Sports Med、26、127-131 (2014)
- 6) 土本浩司、黒木裕士、鳥居勇輔、井上裕之、三浦美樹子、家城弘、南木学、柿木良介：空気圧による免荷トレッドミル歩行における血流量変化について 第 45 回日本理学療法学会大会 理学療法基礎系 25 (2010)
- 7) 古川順光、大森圭、内田勝雄、宮下智、丹羽健市：上方牽引による免荷歩行時の呼吸循環応答、体力科学、56、339-346 (2007)
- 8) 高尾敏文、田中直樹、飯塚陽、斎藤秀行、山口普巳、柳久子、奥野純子、小関迪：慢性期脳卒中方麻痺患者に対する体重免荷トレッドミル歩行練習の即時効果、第 44 回、日本理学療法学会大会、神経系理学療法 25、3-325 (2009)
- 9) 小島尚子、千葉健、堀弘明、由利真、堀享一：反重力トレッドミルの荷重率・歩行速度の変化が酸素摂取量・心拍数に与える影響、第 50 回日本理学療法学会大会（東京）、P3-A-0939 (2015)

