

## 肥満ラットにおける補整下着の着用による減量効果

細原 浩平<sup>1</sup>・国信 清香<sup>1</sup>・齋藤亜衣子<sup>1</sup>・杉原 由佳<sup>1</sup>

西田 由香<sup>2</sup>・渡邊 隆之<sup>3</sup>・加藤 秀夫<sup>1</sup>

### 緒 言

平成18年の国民健康・栄養調査の結果で、メタボリックシンドローム（内臓脂肪症候群）と疑われる者は、その予備群を含めると、40～74歳男性の約50%、女性の約20%を占めていることが明らかになった(1)。内臓脂肪型肥満は脂肪細胞が大きくなる肥大性肥満であり、脂肪細胞の数が増える皮下脂肪型肥満と違って、高頻度に代謝異常に連動しやすいことが知られている(2-4)。内臓脂肪の蓄積はインスリン感受性の低下や代謝異常によって生じる糖尿病や動脈硬化などの生活習慣病を誘発している(5)。このような生活習慣病を誘発するメタボリックシンドロームの予防・改善には、増大した腹部内臓脂肪つまり腹囲サイズの縮小が有効であると考えられている(6)。2008年4月より開始された特定保健指導により、生活習慣病及びメタボリックシンドローム予防・改善の大切さが浮き彫りにされている。このことを踏まえ、近年、肥満体型の人を対象に、着圧バランスを変化させた補整下着が開発され、着用によるダイエット及び体型の改善が試みられている。一方、このような補整下着を装着した際の生体への影響や効果のメカニズムは明らかでない。また、ヒトのライフスタイルを考慮すると、どのくらいの頻度で効果があるか、どのようなタイプの肥満に有効的であるかも明確にすべき課題である。

先行研究として、高脂肪・高糖質食を実験動物に与え、エネルギー摂取量の増加による肥満ラットに模擬補整下着を着用させた結果、体重と体脂肪量の増加が抑制されたことを見出した(7)。本研究では、卵巣摘除を行いエネルギー消費量の低下によって肥満化したラットを用いて補整下着の着用による肥満及びメタボリックシンドロームの改善効果と生体への影響も併せて検討した。

### 方 法

#### 1. 実験条件

実験動物として9週齢のWistar系雌ラットを用いた。飼育条件として、暗期を9:00～21:00とした12時間明暗サイクルの照明条件下で、暗期の10:00～16:00に市販の標準固形食(CRF-1)を与え、自由飲水させ、8日間予備飼育した。

予備飼育後にラットの卵巣摘出手術をし、60日間の飼育で活動量の低下により肥満化したラットに模擬補整下着(VANTAGE:株式会社ダイアナ)を週5日で約30日間着用させた。腹部周囲を約10%程度締め付けるよう、背部のマジックテープを調節して着用させた(写真1)。ラットは①着用なし群②6時間着用群③24時間着用群の3群に分けた。その間、交互にラット回転式運動量測定装置(KN-

1 県立広島大学大学院総合学術研究科

2 安田女子大学家政学部管理栄養学科

3 ダイアナ株式会社

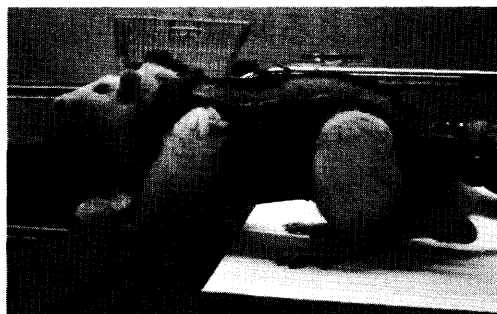


写真1 補整下着を着用した肥満モデルラット

78-R) に入れ替え、午前10時から翌日の午前10時までの24時間の自発的な活動量を毎日記録した。摂食量は毎日記録し、体重及び下腹部周囲長は週に2日計測した。また着用28日目に尾静脈より1日5回(9:00、14:00、18:00、23:00、9:00)の採血によって血糖成分の日内変動を調べた。

このような条件下で飼育した後、各群のいずれも平均的に摂食3時間後に解剖処理を行った。採取した4種類の脂肪組織(腎周囲、後腹壁、子宮周囲、腸間膜)の重量を測定して観察を行い、血液と肝臓

及び筋肉は、分析に用いるまで $-80^{\circ}\text{C}$ で凍結保存した。

## 2. 測定方法

### (1) 血糖値

和光純薬工業㈱のグルコーステストワコーを用いて測定した。

### (2) インスリン

マイクロプレートのELISA法に基づいて、森永生科学研究所の超高感度ラットインスリン測定キットを用いて測定した。

### (3) 肝臓グリコーゲン

グリコーゲン以外の肝臓成分を強アルカリで加水分解し、残ったグリコーゲンを塩酸に溶かして煮沸湯中で加水分解した後、生成されたグルコースを和光純薬工業㈱のnグルコースCII-テストワコーを用いて測定した。

### (4) 筋肉グリコーゲン

グリコーゲン以外の筋肉成分を強アルカリで加水分解し、残ったグリコーゲンはフェノール硫酸法で測定した。

## 結 果

卵巣摘除した肥満モデルラット(Ovax)に模擬補整下着を着用させ、生体への影響を調べた。補整下着を着用させたOvaxラットの体重は着用なし群の $374 \pm 10\text{g}$ と比べて、6時間着用群で $336 \pm 10\text{g}$ 、24時間着用群で $312 \pm 14\text{g}$ と、着用時間に関係なく、着用なしに比べていずれも有意に減少した(図1)。ラットの腹部周囲長は着用なし群で $15.4 \pm 0.2\text{cm}$ 、6時間着用群で $14.0 \pm 0.2\text{cm}$ 、24時間着用群で $13.7 \pm 0.3\text{cm}$ と、着用させると顕著に減少し、週5日の6時間、24時間の着用時間による差がなかった。

摂食量は、新しい環境と着用に適応するまでの数日間で減少した。特に着用させた群は適応するまで約10日間要した。この間においてわずかに摂食量は減少するが、その後は適応し同等の摂食量を維持した。着用時間による摂食量の違いは認められなかった。また、1日平均摂食量はラットの体重100gあたりで換算して比較すると、着用による差が認められなかった。

ラットの体重100gあたりの内臓脂肪量は図2に示した。着用なし群で $3.1\text{g} \pm 0.4\text{g}$ 、6時間着用群 $1.8 \pm 0.3\text{g}$ で、24時間着用群で $1.8 \pm 0.3\text{g}$ と、ラットの体脂肪量は着用によって有意に減少した。また着用時間が6時間と24時間で同じような減少効果を示し、双方に差がなかった。次に、補整下着によって体脂肪のどの部位がどの程度減少するかを調べた。脂肪組織を部位別に比較してみると、後腹

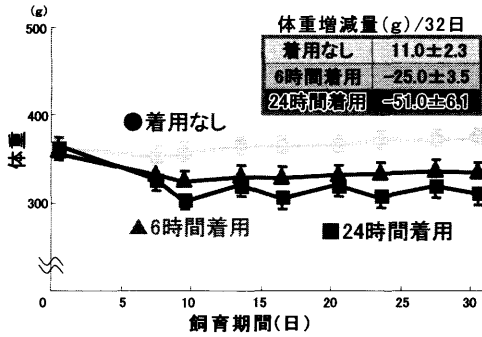


図1 補整下着の着用による体重の経時的変化

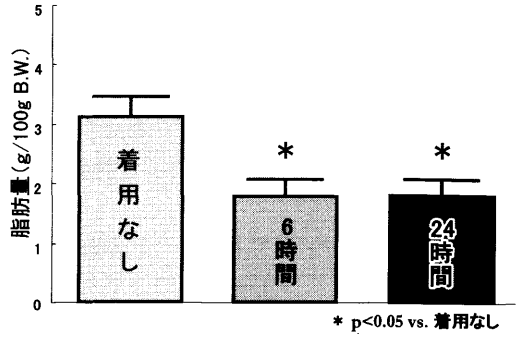


図2 補整下着の着用による内臓脂肪量の変化

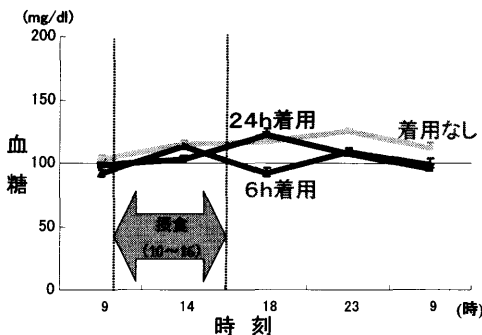


図3 補整下着の着用による血糖の日内リズムへの影響

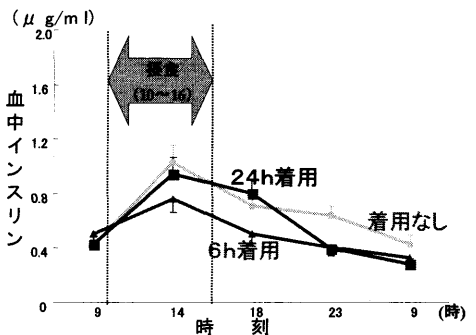


図4 補整下着の着用による血中インスリンの日内リズムへの影響

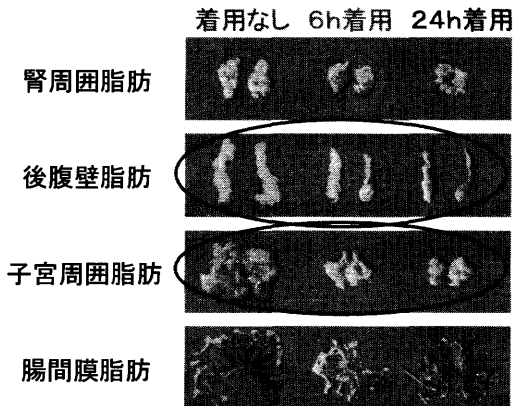


写真2 補整下着の着用による組織別の脂肪量の変化

壁で着用なし群 $0.7 \pm 0.08$  g に対して、6時間着用群で $0.4 \pm 0.06$  g、24時間着用群で $0.3 \pm 0.07$  g、子宮周囲で着用なし群 $1.4 \pm 0.14$  g に対して、6時間着用群で $0.8 \pm 0.15$  g、24時間着用群で $0.9 \pm 0.16$  g と、着用による減少効果が著しかった(写真2)。いずれの脂肪組織も同じように着用によって減少し、着用時間による差がなかった。

着用による生体への影響、つまりストレスの有無を明らかにするために血糖調節の日内変動、肝臓および筋肉のグリコーゲン量を調べた。ストレスの刺激によって分泌されるアドレナリンは筋肉グリコーゲンを直接分解するが、一方で膵臓β細胞に作用してインスリン分泌を抑制する。その結果、

グルカゴンの分泌が増加すると肝臓グリコーゲンの分解と糖新生によって、血糖が上昇することがよく知られている。すなわち、摂食サイクルによって調節される血糖の日内変動を調べることでストレスの有無及び強弱を調べることが可能である。本研究では、着用開始の28日目に摂食時刻前後を中心に24時間内の各時刻に採血を行い、血糖、インスリンの日内リズムを調べた(図3および4)。血糖は1日を通して、全ての群において正常範囲内で増減し調節されていた。血中インスリンも全ての

群で、摂食前の9時に低く、摂食後に増加してその後緩やかに低下する日内リズムが認められた。血糖、インスリンのいずれも、着用による影響と着用時間による差がなかった。

また、ストレス時に増大するアドレナリンは肝臓グリコーゲンの分解を促進する。よって、補整下着の着用によって問題となるようなストレスがあれば肝臓グリコーゲン量の著しい低下が起こる。結果として、補整下着の着用によって肝臓グリコーゲン量は減少せず、むしろ増加傾向を示した(図5)。

筋肉グリコーゲンはアドレナリンの直接作用によって分解される。しかし、筋肉は赤筋と白筋の2種類に分けられる。赤筋はミトコンドリアを豊富に含み有酸素的な糖酸化能力を持ち、インスリンの感受性を高める。一方、白筋はミトコンドリアがなく嫌氣的解糖作用とグリコーゲン分解能力が強く、インスリンの感受性も低くなる。ストレスによる影響をより詳しく調べるために、このように異なった特性の筋肉を分別して、グリコーゲン量を測定した。本研究では、赤筋であるヒラメ筋と白筋である長指伸筋および腓腹筋に分類して、各種の筋肉グリコーゲン量を調べた。その結果、筋肉グリコーゲン量は、赤筋(ヒラメ筋)及び白筋(長指伸筋、腓腹筋)ともに補整下着の着用による減少がなかった。むしろ、着用することで増加傾向を示した(図6)。このように、内分泌・代謝系におけるストレス時の指標になる血糖調節機構や肝臓・筋肉グリコーゲン量の結果から、補整下着の着用によるストレスはほとんどなかった。

## 考 察

本研究は、肥満モデルラットに模擬補整下着を週5日で1日6時間または24時間連続着用させ、体重や体脂肪量の変化を調べることで補整下着による減量効果について検討した。また、日内リズムやストレスなど生体への影響についても同時に検討した。

卵巣を摘除したラットは自発的運動量の減少、すなわちエネルギー消費量の低下により肥満化することが知られている。卵巣機能が低下すると性ホルモンの分泌減少をはじめ、内分泌代謝機能の乱調が原因で、エネルギー収支のバランスが乱れて、内臓脂肪型肥満になることが知られている(8)。本研究でも、卵巣を摘除したラットは偽手術コントロール群と比較して、摂食量に差がないにもかかわらず体重が有意に増加した。また自発的運動量は卵巣摘除ラットで有意に低下したことから、体重増加の要因はエネルギー消費の低下であると考えられる。

模擬補整下着を着用した肥満ラットの体重、下腹部周囲長、体脂肪量は着用なし群と比較して有意に減少していたことから、補整下着を着用することで減量効果があったと考えられる。また、着用群

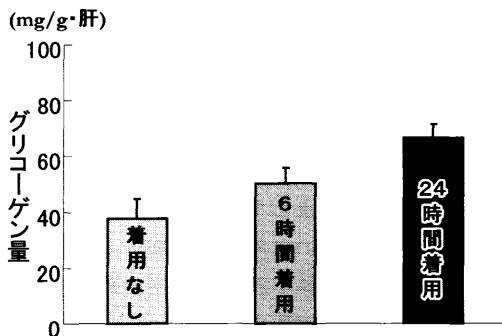


図5 補整下着の着用による肝臓グリコーゲンへの影響

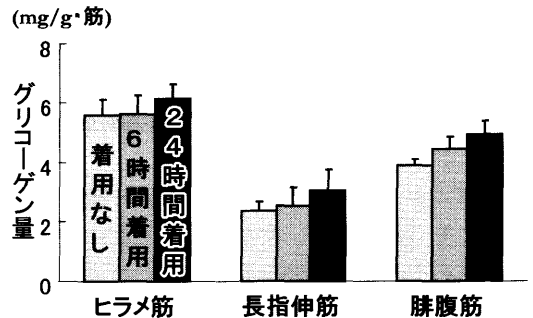


図6 補整下着の着用による筋肉グリコーゲンへの影響

の1日平均摂食量は着用なし群に比べてわずかに減少傾向にあったが、ラットの体重100gあたりで換算すると、摂食量はほぼ同等であった。今回の減量効果は摂食量の低下でなく、むしろ補整下着の着用によって起こったと推測できる。

予想されるメカニズムの1つには、補整下着着用によるエネルギー代謝の亢進が考えられる。肥満の治療として用いられる運動療法は基礎代謝量の減少を防ぎ、負のエネルギー出納を大きくして体重の増加を減少することが知られている。例えば、有酸素運動は脂肪の利用を高め、基礎代謝も亢進させる(6)。先行研究では、補整下着を着用することで6時間後に着用なし群に比べて血中遊離脂肪酸が増加していることから脂肪の利用の増加が認められた(7)。したがって、ほどよい着圧で1日6時間および24時間補整下着を着用することが刺激となって、体内脂肪のエネルギー代謝が亢進した可能性が考えられる。また、運動によって、骨格筋の筋血流量増加に伴う糖の取り込みの増加と、肝臓での糖取り込み率の亢進が報告されている(9、10)。本研究では、着用なし群と比較して、6時間、24時間の着用群で肝臓及び筋肉グリコーゲン量が増加傾向を示した。これより、補整下着の着用によって、肝臓や筋肉で糖の取り込みが増加し、むしろ体脂肪のエネルギー代謝が円滑に行なわれたと考えられる。補整下着とエネルギー代謝の亢進の関係を明らかにするためには、基礎代謝や筋肉と脂肪組織の糖輸送担体であるGLUT4の動態を調べることも大切である。

体脂肪のエネルギー代謝の亢進以外に、補整下着の着用が脂肪細胞への直接的な力学的刺激によって、減量効果を示したことも考えられる。田辺ら(2004)によると、未分化脂肪細胞に力学的刺激を与えることで成熟脂肪細胞への分化を抑制することが見出した(11)。本研究のように個体レベルで脂肪組織に力学的刺激を与えることによって、つまり補整下着の着圧が腹部への物理学的な刺激で体脂肪量の代謝亢進低下が起こった可能性もある。

しかし、補整下着の着圧による刺激が、生体に悪影響を及ぼすストレスかどうかを詳細に検討することが重要である。ラットでは拘束ストレスや電撃ストレスにより、ノルアドレナリンやアドレナリンの分泌が亢進する。(12)。アドレナリンは直接筋肉グリコーゲンの分解を促進するだけでなく、インスリン分泌を抑制し、肝臓グリコーゲンの分解や糖新生を促進することで血糖を上昇させる(13、14)。よって、長期のストレス負荷は高血糖やインスリン抵抗性など血糖調節機構の異常や、肝臓及び筋肉グリコーゲン量の分解を誘発すると考えられる。しかし、本研究では、血糖の日内リズムは1日を通して正常値範囲内で増減し高血糖は見られず、インスリンは摂食に伴った日内リズムで高インスリン血症が見られず、耐糖能も正常に維持されていた。肝臓及び筋肉グリコーゲン量においても補整下着の着用による減少が見られなかった。また、拘束ストレスにより摂食量が減少することが知られているが(15)1日平均摂食量はラットの体重100gあたりで換算して比較すると、着用による摂食量の低下もなかった。なお、先行研究において、補整下着の着用によりノルアドレナリンとアドレナリンの上昇が見られたが、生体に悪影響を与えるほどの値ではなく、むしろ遊離脂肪酸を増加させて緩やかに体脂肪の動員を促すものであると考えられる(7)。これより、補整下着の着用やその着圧による刺激はストレスになることはほとんどなく、生体への悪影響がなかったと考えられる。

以上のことから、補整下着の着用は過食による肥満ラットだけでなく、エネルギー消費低下による肥満ラットでも、減量効果があることを示唆した。さらに、生体への影響も少ないため肥満の改善に健康的な減量法の一つである。また、着用時間による差はほとんどなかったことや、生体への負担やライフスタイルを考慮すると、1日6時間の着用で十分効果を得ることができると考えられる。メタボリックシンドロームが社会問題として取り上げられる状況下で、その改善に食事や運動が強調されており、今回の研究成果は、衣食住の生活習慣のなかで「衣と健康」に着目したもので、健康増進と肥満改善に新しい方向性を与えるものである。

## 文 献

- 1) 日本厚生労働省ホームページ：平成18年国民健康・栄養調査の概要について
- 2) Vague J: The degree of masculine differentiation of obesities: a factor determining predisposition to diabetes, atherosclerosis, gout, and uric calculous disease. *Am J Clinical Nutrition* (4) 20-34 (1956)
- 3) Salans LB, Cushman SW, Weismann RE. Studies of human adipose tissue. Adipose cell size and number in nonobese and obese patients. *J Clin Invest* (52) 929-941 (1973)
- 4) Yourka D Tchoukalova, Christina Koutsari: Subcutaneous adipocyte size and body fat distribution. *Am J Nutri* (58) 56-73 (2008)
- 5) 日本肥満学会肥満症診断基準検討委員会：新しい肥満の判定と肥満症の診断
- 6) メタボリックシンドロームと生活習慣予防（診断と治療社2007）
- 7) 渡邊隆之ら（ダイアナ株式会社）：Primitive study into scientific basis of manipulating undergarment (2006)
- 8) 鄭 継華ら：果糖の適切な摂取量とその栄養学的効果について（2007）
- 9) Bak JF et al: Exercise-enhanced activation of glycogen synthase in human skeletal muscle. *Am J Physiol* (258) 957-963 (1990)
- 10) Matsuhisa M et al: Prior muscular contraction enhances disposal of glucose analog in the liver and muscle. *Metabolism* (47) 44-49 (1998)
- 11) Yoshiyuki T., Koichi N., et al: Inhibition of adipocyte differentiation by mechanical stretching through ERK-mediated downregulation of PPAR $\gamma$ <sub>2</sub>. *J Cell Sci.* (117) 3606-3614 (2004)
- 12) 運動とストレス科学：竹宮隆、下光輝一（杏林書院 2003）
- 13) Vranic, M., Miles, P., Rastogi, K. et al: Effect of stress on glucoregulation in physiology and diabetes. *Adv. Exp. Med. Bziol.*(291) 163-183 (1991)
- 14) ストレスとホルモンー内分泌系からみる生体のストレス反応ー：出村博（MEDICAL VIEW 1993）
- 15) Shibasaki T., Yamauchi N., Kato Y., et al: Involvement of corticotropin-releasing factor in restraint stress-induced anorexia and reversion of the anorexia by somatos- tatin in the rat. *Life Sci* (43) 1103-1110 (1998)

**Abstract**

## **Effect of manipulating underwear on body fat loss in obese rat by ovariectomy**

Kohei HOSOHARA<sup>1</sup>, Kiyoka KUNINOBU<sup>1</sup>, Aiko SAITO<sup>1</sup>, Yuka SUGIHARA<sup>1</sup>,  
Yuka NISHIDA<sup>2</sup>, Takayuki WATANABE<sup>1</sup>, Hideo KATO<sup>1</sup>

Recently, for improvement of obesity, manipulating underwear that can alter pressure on the body has been developed. However, the mechanism of action and the influence on the body are not clear. Therefore, this study investigated the effect of manipulating underwear on weight loss and the level of stress on the body in obese rats. Our results showed that in rats wearing the undergarment, weight and body fat decreased more notably than in control rats. Hepatic and muscular (red and white muscle) glycogen that are decreased by stress did not change. Furthermore, glycemic control (plasma glucose and insulin) was normal. Thus, it can be suggested that little stress resulted from wearing manipulating underwear. Therefore, we concluded that the use of manipulating underwear was a new method of assisting in weight loss with little stress on the body.

---

<sup>1</sup> Graduate School of Synthetic Science, Prefectural Hiroshima University

<sup>2</sup> Faculty of Human Ecology, Department of Nutritional Sciences, Yasuda Women's University

<sup>3</sup> Diana Co.,Ltd