トレッドミル歩行時の酸素摂取量に対する 継手付き体幹装具とダイエットベルトの効果

Effects of a Trunk Brace with Joints Providing Resistive Force and a Diet Belt on Energy Metabolism during Walking

屋嘉比 章紘^{1,2)} 勝平 純司³⁾ 新井 健介⁴⁾ 曾部 健太⁴⁾ 西川 智洋⁴⁾
藤原 光伸⁴⁾ 遠藤 裕伽⁴⁾ 齊藤 愛弥⁴⁾ 下重 絢香⁴⁾ 米川 茉希⁴⁾

AKIHIRO YAKABI, RPT, MS^{1,2)}, JUNJI KATSUHIRA, PhD³⁾, KENSUKE ARAI, PTS⁴⁾, KENTA SOBE, PTS⁴⁾,
TOMOHIRO NISHIKAWA, PTS⁴⁾, MITSUNOBU FUJIWARA, PTS⁴⁾, YUKA ENDO, PTS⁴⁾, MANAMI SAITO, PTS⁴⁾,
AYAKA SIMOJU, PTS⁴⁾, MAKI YONEKAWA, PTS⁴⁾

¹⁾ Department of Physical Therapy, Graduate School of Health and Welfare Sciences, International University of Health and Welfare: 2600-1 Kitakanemaru, Otawara-shi, Tochigi 324-8501, Japan TEL +81 90-1726-8986
E-mail: y.19890402.a@gmail.com

²⁾ Division of Rehabilitation, Shioya Hospital of International University of Health and Welfare

³⁾ School of Nursing and Rehabilitation Sciences at Odawara, International University of Health and Welfare.

⁴⁾ Department of Physical Therapy undergraduate, School of Health Science, International University of Health and Welfare

Rigakuryoho Kagaku 31(3): 455-459, 2016. Submitted Dec. 18, 2015. Accepted Feb. 6, 2016.

ABSTRACT: [Purpose] This study was conducted to examine the effect of wearing a Trunk Solution (TS) and a diet belt on the fat metabolic rate, represented by oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), and the respiratory quotient measured using an expiration gas analyzer during treadmill walking. [Subjects] The study subjects were 9 healthy men and 5 healthy women with no reported orthopedic diseases of the spine. All subjects understood the purpose of this study and provided their informed consent prior to the experiment. [Methods] Measurements were performed while the subjects walked on a treadmill at their optimal speed under three conditions: without any device, and wearing a TS, or a diet belt. Repeated-measures analysis of variance was used to compare the differences among the three experimental conditions, and the Bonferroni post hoc test was conducted. [Results] The respiratory quotient significantly increased when the diet belt was worn compared to the other two conditions. $\dot{V}O_2$ significantly increased when the TS belt was worn compared to no device. [Conclusion] The results suggest that the TS belt maybe the most effective for energy metabolism, because it increased $\dot{V}O_2$ and fat combustion.

Key words: spinal orthosis (Trunk Solution), oxygen uptake ($\dot{V}O_2$), fat combustion

要旨:〔目的〕本研究は呼気ガス分析により呼吸商と酸素摂取量を指標とし、トレッドミル歩行時の Trunk Solution (TS) とダイエットベルト (D ベルト) の装着の身体活動の代謝への影響を検討すること。〔対象〕説明の上、研究参加に同意を得た脊柱に整形外科疾患の既往のない健康成人男性 9 名、女性 5 名とした。〔方法〕用具なし、TS または D ベルトを装着の 3 条件とし、至適速度でトレッドミル上における歩行を行い、呼吸商と酸素摂取量を測定した。3 条件の比較には一元配置分散分析反復測定法を用いた後、多重比較検定 (Bonferroni 法) を実施した。有意水準は 5% とした。〔結果〕TS 装着と用具なしの間では呼吸商に有意差はみられなかったが、他の条件と比較して、D ベルト装着時では有意に増加した。酸素摂取量は、用具なしと比較して TS 装着時に有意に増加した。〔結語〕TS 装着時において酸素摂取量が高く、脂肪燃焼量も多いため、他の条件と比較して TS 装着下における歩行が身体活動の代謝に有効である可能性が示唆された。

キーワード: 継手付き体幹装具 (Trunk Solution), 酸素摂取量, 脂肪燃焼

¹⁾ 国際医療福祉大学大学院 医療福祉学研究科 保健医療学専攻 理学療法学分野: 栃木県大田原市北金丸 2600-1 (〒324-8501) TEL 090-1726-8986

²⁾ 国際医療福祉大学塩谷病院 リハビリテーション室

³⁾ 国際医療福祉大学 小田原保健医療学部

⁴⁾ 国際医療福祉大学 保健医療学部 理学療法学科 学部生

I. はじめに

厚生労働省の国民健康・栄養調査（平成25年）によると、20歳以上の日本人の男性の肥満者の割合については平成15年から平成23年とでは29.5%から31.7%と増加傾向にあり、平成23年からは変化は無いと報告している。また、20歳以上の日本人の女性の肥満者の割合は平成25年で20.3%となっており、10年間で変化が見られていないと報告している。肥満症の治療方法には、食事療法、運動療法、行動療法、薬物療法等があり、基本となるのは食事療法と運動療法を併用して行われるのが一般的とされている。また、糖尿病などの先行研究では、運動により骨格筋でのエネルギー代謝が増加したことで、肥満の改善にもつながったと報告されている。また、糖尿病などの生活習慣病に対する運動療法において身体活動量の増加が重要であると言われている。加えて、身体活動の増加によって、虚血性心疾患、脳梗塞、悪性新生物（乳がんや大腸がん等）のリスクを低減できる可能性が示されており、これらの疾病の予防のためには、適切な身体活動を継続することが望ましいと報告されている²⁾。

身体活動と運動においては、一般的に有酸素運動の有用性が示されている。運動強度としては、軽度～中等度までの負荷が効果的とされており、有酸素運動の代表的な種目としてウォーキングの効果も報告されている³⁾。また、運動療法には、有酸素運動とレジスタンス（筋力）トレーニングがあり、インスリン抵抗性が障害されている肥満症患者には、有酸素運動とレジスタンストレーニングの併用が望ましいとされている⁴⁾。

勝平らは、体幹支持体と骨盤支持体とを抗力を具備した継手により連結した新しい体幹装具 Trunk Solution（以下TS）を開発した。TSの抗力によって歩行時に体幹前面筋群の活動が高まることを示している⁵⁾。また、一般書籍において手軽に使用できるダイエット用具であるダイエットベルト（以下Dベルト）は骨盤ベルトともよばれ、骨盤部に巻くだけで、弱化した骨盤周囲筋群をサポートし、エネルギー代謝の向上が期待できるとされている。これらの道具は胸を押す力と骨盤を固定する力によるレジスタンストレーニングの効果を有していると考えられるが、エネルギー代謝に対する影響を明らかにした研究はなされていない。

そこで我々は道具によるレジスタンストレーニングの効果が歩行の有酸素運動としてのエネルギー代謝の効果を高めるという仮説を立てた。本研究の目的は、Dベルトを骨盤部に巻いた歩行とTSを装着したそれぞれの歩行におけるエネルギー代謝を呼気ガス分析による呼吸商を含むエネルギー代謝を指標として、比較検討することとした。

II. 対象と方法

1. 対象

対象は脊柱に整形外科疾患の既往のない健康成人で男性9名、女性5名（平均年齢 21.5 ± 0.8 歳、身長 166.6 ± 7.3 cm、体重 63.6 ± 14.6 kg）とした。被験者に対して計測内容を詳細に説明した後、研究参加に同意を得た上で、ヘルシンキ宣言および国際医療福祉大学倫理審査委員会の規定を遵守して実施した。

2. 方法

今回の研究で条件分けを行うため使用した器具は、ダイエットベルト（骨盤矯正ベルト）と、勝平らが開発した、継手付き体幹装具の抗力によって胸部を押す力を与え、腹筋の活動を向上させると報告されているTS（図1）を用いた。

これらを用い、今回は用具なし歩行、TSまたはDベルトを装着しての歩行の3条件とし、至適速度（男性：4.8 km/h、女性：4.5 km/h）でトレッドミル上における歩行を行った。測定機器は呼気ガス分析装置（MINATO社製）とトレッドミル（BIODEX社製）を用いた。呼気ガス分析装置のマスクをそれぞれ被験者に装着し、安静時1分、ウォーミングアップ1分、本試験5分、クールダウン1分、安静5分間の計13分の測定とした。TSの体幹支持体による胸を押す力は先行研究⁶⁾より約20～25 Nに設定した。最初の安静時と最終の安静時では血圧・心拍数・ボルグスケールを測定し、また、本試験では血圧・心拍数・ボルグスケール・ステップ数を測定した。呼気ガス分析措置のデータとしては呼吸商と酸素摂取量を抽出した。

統計法としては、用具なし、TS装着、Dベルト装着の3条件における呼吸商、酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）、収縮期血圧、拡張期血圧、心拍数、歩行率をそれぞれ、一元配置分散分析反復測定法を用いた後、多重比較検定（Bonferroni法）を実施した。また、ボルグスケールはフリードマン検定を用い、多重比較検定（Tukey法）を行った。有意水準は5%とした。また、各条件間におけ

図1 Trunk Solution

る男女の比較として、Mann-Whitney のU検定を行った。有意水準は5%とした。統計には統計ソフト IBM SPSS Statistic 19 を使用した。

III. 結 果

呼吸商（表 1-A）は、用具なしで 0.83（0.76-0.90）、D ベルト装着時で 0.85（0.74-0.92）、TS 装着時は 0.83（0.72-0.91）であった。これより、D ベルト装着時と用具なし、D ベルト装着時と TS 装着時で有意差があり、共に D ベルト装着時が有意に大きくなっていた。酸素摂取量（表 1-B）は用具なしで 776.86（480-1081）ml/min・kg、D ベルト装着で 802.50（501-1116）ml/min・kg、TS 装着は 819.00（534-1166）ml/min・kg であった。用具なしと TS 装着時に有意差がみられ、TS 装着時に酸素摂取量は最大になった。収縮期血圧（表 1-C）は、用具なしで 134.5（106-156）mmHg、D ベルト装着で 136.7（115-166）mmHg、TS 装着は 135.1（108-156）mmHg であり有意差は認められなかった。拡張期血圧（表 1-D）は、用具なしで 66.5（55-95）mmHg、D ベルト装着で 64.4（42-93）mmHg、TS 装着で 73.7（56-101）mmHg であり有意差は認められなかった。心拍数（表 1-E）は、用具なしで 105.7（86-135）回/分、D ベルト装着で 103.7（84-134）回/分、TS 装着で 105.1（84-124）回/分であり有意差は認められなかった。歩行率（表 1-F）は、用具なしで 110.0（100-120）歩/分、D ベルト装着で 111.7（102-125）歩/分、TS 装着で 111.3（103-122）歩/分であり、有意差は認められなかった。ボルグスケール（表 1-G）は、用具なしで 0.21（0.00-0.50）、D ベルト装着で 0.29（0.00-1.00）、TS 装着で 0.46（0.00-2.00）であり、有意差は認められなかった。

表 2 に各データの男女間の比較を示す。呼吸商（表 2-A）、収縮期血圧（表 2-C）、拡張期血圧（表 2-D）、歩行率（表 2-F）そしてボルグスケール（表 2-G）には男女間に有意差は無かった。酸素摂取量（表 2-B）は、すべての条件において、男女間に有意差が見られたが、

条件間における変化の傾向は一致していた。心拍数（表 2-E）は、用具なしの条件において、男女間に有意差があり、条件間の変化の傾向が男女で異なっていた。

IV. 考 察

本研究では、呼気ガス分析装置による呼吸商を含むエネルギー代謝を指標として、TS 装着と D ベルト装着が酸素摂取量（エネルギー代謝）と身体活動の代謝に与える影響を検討した。

身体活動の代謝への効果の検討時に使用した呼吸商は「二酸化炭素排出量÷酸素摂取量」によって算出した。結果から TS 装着時と D ベルト装着時の呼吸商を比較すると TS 装着時が有意に低い値を示した。用具なしと TS 装着時の呼吸商の値が 0.83 であり、この値から算出される熱量比率⁷⁾は炭水化物 43.8%、脂質 56.2%となる。また、D ベルト装着時では呼吸商の値が 0.85 であり、熱量比率は炭水化物 50.7%、脂質 49.3%となる。これらの算出結果より、呼吸商の値が同値であった用具なしと比較して、TS 装着時の方が脂肪燃焼に適していると考えられる。

また、用具なしと TS 装着時を比較すると、呼吸商に有意差は見られなかったが、酸素摂取量が TS 装着時に有意に増加していた。先行研究において、Austin ら⁸⁾は健康成人を対象に、立位では胸椎後弯を軽減させることで、最大口腔内圧が有意に高値となると報告している。草刈ら⁹⁾は円背姿勢では運動時に酸素脈、一回換気量、酸素摂取量が低下し、運動時には必要となる生体の呼吸循環応答に不利に作用すると推察され、円背姿勢の改善が運動耐容能の低下を予防することに効果があると報告している。また、市川ら¹⁰⁾は、効率的な呼吸運動を獲得させるためには、矢状面上にける胸郭と骨盤の前後位置が一致する方向に近づくように、動作トレーニングを行うことや胸椎後弯の軽減を目的としたモビライゼーションやストレッチを行う必要があると報告している。飯島ら⁶⁾は TS 装着が骨盤前傾、体幹伸展を促すことを報告している。つまり、本研究においても TS 装着

表 1 3 条件における各データの値

	用具なし	D ベルト装着時	TS 装着時
A 呼吸商	0.83 (0.76-0.90)	0.85 (0.74-0.92) ^{ab}	0.83 (0.72-0.91)
B 酸素摂取量 (ml/min)	776.86 (480-1081)	802.50 (501-1116)	819.00 (534-1166) ^a
C 収縮期血圧 (mmHg)	134.5 (106-156)	136.7 (115-166)	135.1 (108-156)
D 拡張期血圧 (mmHg)	66.5 (55-95)	64.4 (42-93)	73.7 (56-101)
E 心拍数 (回/分)	105.7 (86-135)	103.7 (84-134)	105.1 (84-124)
F 歩行率 (歩/分)	110.0 (100-120)	111.7 (102-125)	111.3 (103-122)
G ボルグスケール	0.21 (0.00-0.50)	0.29 (0.00-1.00)	0.46 (0.00-2.00)

^a: 用具なしと比較して有意差あり, ^b: D ベルトと比較して有意差あり。

表2 3条件における男女間の比較の各データの値

		用具なし		Dベルト装着時		TS装着時	
A 呼吸商	男	0.82	(0.76-0.90)	0.84	(0.77-0.92)	0.83	(0.77-0.91)
	女	0.85	(0.77-0.90)	0.86	(0.74-0.91)	0.83	(0.72-0.89)
B 酸素摂取量 (ml/min)	男	866.8	(687-1081) ^a	901.1	(749-1116) ^a	922.6	(712-1166) ^a
	女	615.0	(480-674)	625.0	(501-726)	632.6	(534-732)
C 収縮期血圧 (mmHg)	男	138.2	(124.0-155.0)	137.9	(123.0-164.0)	138.4	(114.0-156.0)
	女	129.0	(106.0-156.0)	134.8	(115.0-166.0)	130.0	(108.0-152.0)
D 拡張期血圧 (mmHg)	男	69.6	(56.0-95.0)	69.2	(42.0-93.0)	75.7	(63.0-101.0)
	女	62.0	(55.0-83.0)	57.0	(44.0-69.0)	70.8	(56.0-87.0)
E 心拍数 (回/分)	男	99.6	(86.0-113.0)	104.6	(93.0-134.0)	101.2	(84.0-116.0)
	女	115.0	(103.0-135.0) ^a	102.4	(84.0-119.0)	110.8	(91.0-124.0)
F 歩行率 (歩/分)	男	109.9	(103.0-118.0)	111.4	(103.0-121.0)	111.1	(104.0-120.0)
	女	110.2	(100.0-120.0)	112.2	(102.0-125.0)	111.6	(103.0-122.0)
G ボルグスケール	男	0.2	(0.0-0.5)	0.3	(0.0-1.0)	0.6	(0.0-2.0)
	女	0.2	(0.0-0.5)	0.2	(0.0-0.5)	0.3	(0.0-0.5)

^a: 男女間で有意差あり.

によって歩行時の姿勢が矯正され、呼吸筋（腹筋群）の筋活動が促され、運動強度が増したことで筋の酸素摂取量（供給量）が増加したと考えられる。胸郭の可動性が向上することで呼吸循環応答に有利に作用し、酸素摂取量の向上が見られたのだと考える。また、持続的トレーニングでは、運動強度が高いほど脂質代謝系の適応を促進し、運動時間は短くても高い運動強度であれば脂質代謝系の適応を引き起こすと考えられると報告¹¹⁾されており、TSの効果により脂質代謝が促されたと考えられる。これらの結果をまとめると、TS装着は体幹のアライメントを整え、呼吸筋筋活動を促し、これにより運動強度が増すことで、酸素摂取量と脂質代謝が向上し、用具なしやDベルトに比べ身体活動の代謝に有用であるということがいえる。

また、先行研究によりTS装着では骨盤を有意に前傾させる効果を持ち、股関節外転モーメントが増加するとの報告がある¹²⁾。また、骨盤を前傾させることで大殿筋や中殿筋の外転モーメントへの作用が増大する¹²⁾と報告されている。それらを考慮するとTSを装着した歩行では、骨盤の前傾が促されたことで、歩行中に比較的大きな筋である大殿筋や中殿筋の筋活動が増大したことでエネルギー代謝が有意に増大したことが考えられる。

本研究では酸素摂取量（エネルギー代謝）と身体活動の代謝を示すパラメータについて男女混合で条件間の比較を行ったため、その差異についても検討した。酸素摂取量はすべての条件において有意差がみとめられたが、条件間の変化の傾向は男女で一致していたため、条件間の比較に影響はなかったと考えられる。心拍数については、条件間の変化の傾向が男女で異なっていたため、今後被

験者数を増やしてその影響を再度検討する必要がある。

本研究の限界として、TSの重量が約1 kgあることを考慮すると、その重量によって歩行時における筋活動が変化し、エネルギー代謝が向上したことも考えられる。そのため、今回のTS歩行でのエネルギー代謝の向上が重量によるものなのか、それともTSの効果であるのか今後調査する必要がある。

引用文献

- 1) 古川和郎, 曾根博仁: 運動療法の効果と実践的運動療法のありかたと実際. *Medical Practice*, 2015, 32(1): 122-128.
- 2) 厚生労働省: 健康づくりのための身体活動基準 2013. <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000002xp1e-att/2r9852000002xpqt.pdf> (閲覧日2016年1月25日).
- 3) 平木幸治: 脂質異常症に対する理学療法. *理学療法学*, 2013, 40(5): 386-391.
- 4) Schwingshackl L, Missbach B, Dias S, et al.: Impact of different training modalities on glycaemic control and blood lipids in patients with type 2 diabetes: A systematic review and network meta-analysis. *Diabetologia*, 2014, 57(9): 1789-1797.
- 5) 勝平純司, 吉川幸次郎: 抗力を具備した継手付き体幹装具の開発と評価: 平地歩行における体幹活動の計測. *日本義肢装具学会誌*, 2011, 27(2): 112-119.
- 6) 飯島進乃, 勝平純司, 伊藤晃洋: 抗力を具備した骨盤前傾を促す継手付き体幹装具が高齢者の歩行に与える影響. *理学療法学*, 2014, 41(6): 355-363.
- 7) Lusk G: Animal calorimetry: Analysis of the oxidation of mixtures of carbohydrate and fat. *J Biol Chem*, 1924, 59: 41-42.
- 8) Austin JH, Ausubel P: Enhanced respiratory muscular

- function in normal adults after lessons in proprioceptive musculoskeletal education without exercises. *Chest*, 1992, 102(2): 486-490.
- 9) 草刈佳子, 佐々木誠: 円背姿勢が呼吸循環反応ならびに運動耐容能に及ぼす影響. *理学療法科学*, 2003, 18(4): 187-191.
- 10) 市川 毅, 木村雅彦, 室崎朋美他: 立位姿勢の違いが呼吸筋活動, 胸郭運動および呼吸機能に及ぼす影響—胸郭と骨盤の位置関係に着目して—. *臨床理学療法研究*, 2009, 26: 39-42.
- 11) 鈴木淳一, 平塚勇介, 東浦拓郎: 持久的走行トレーニング初期段階における骨格筋の脂質代謝関連酵素活性の変化課程. *冬季スポーツ研究*, 2004, 7(1): 914.
- 12) 姫野信吉: 剛体バネモデルによる股関節骨頭合力の推定について. *関節の外科*, 1991, 18(1): 1-6.