

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 7 月 5 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00378

研究課題名(和文) 肥満症改善のための実効性を有する運動効果促進ウェアの提案

研究課題名(英文) Development of effective exercise wear with promoting energy consumption for resolving adiposity

研究代表者

金井 博幸 (Kanai, Hiroyuki)

信州大学・学術研究院繊維学系・准教授

研究者番号：60362109

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：我々は、これまでに生活習慣病の誘因となる肥満症の予防・改善に資すると期待される「運動効果を促進するウェア」の開発に取り組んできた。この運動効果を促進するウェアは、大別してベース用編物と低伸縮性テープ状編物で構成される。

本研究では、この運動効果促進ウェアの実効性を担保することを目標に、温熱快適性に関わる熱と水分の移動性能を高めるベース用編物の仕様、および動作適応性を改善するための低伸縮性テープ状編物の積層パターンについて考慮した試作を行った。さらに、試作ウェアを着用し、筋電図と酸素摂取量の計測を行って、運動促進効果の評価を実施し、これらの有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々は、これまでに生活習慣病の誘因となる肥満症の予防・改善を目指して「運動効果を促進するウェア」の開発に取り組んできた(特許第6156834号)。このウェアが真に実効性を担保するためには、着用者が継続して着用できる快適性を備えていることが必要である。本研究では一般的な肌着と同等の熱・水分の移動性能を備えること、並びに低伸縮性テープ状編物の使用面積を1/6程度に抑えることで、ウェアの着用快適性の改善に取り組んだ。本研究で提案する運動効果促進ウェアが、我が国の第4次国民健康づくり対策の中で指摘されている「科学技術の進歩を踏まえた効果的なアプローチ」の一つとなり得ることが本研究の社会的意義である。

研究成果の概要(英文)：Our research group have been developed exercise wear promoting energy consumption in daily walking for preventing adiposity. The exercise wear is consisted of a knitted fabric with high elongation layered partially by a tape-shaped fabric with low elongation. In this research, the new prototype of exercise wear was experimentally produced in considering with following two requirements. First requirement was improving the heat transfer and the moisture permeability of basement material. And second requirement was improving the motion adaptability with changing the layer pattern on the low elongation taping shaped knitted fabric. Furthermore, the effect of the exercise promotion on the prototype were evaluated by measuring EMG and Oxygen uptake in treadmill walking.

研究分野：感覚計測工学、繊維工学

キーワード：運動効果促進ウェア 酸素摂取量 筋電図 トレッドミル歩行 ベース用編物の仕様設計 低伸縮性テープ状編物の積層パターン設計

1. 研究開始当初の背景

老若男女を問わず、我々人類にとって「健康」は何物にも代え難いものである。「健康増進」の考え方は1946年にWHOが提唱した「健康」の定義を基礎とし、現在では「個人の生活習慣だけでなく、周辺環境の整備を合わせたもの」と定義されている。我が国でもこの定義に従って、厚生労働省主導のもと「国民健康づくり対策」として第1次(昭和53年～)、第2次(昭和63年～)、第3次(平成12年～)がそれぞれ実施され、平成25年からは第4次国民健康づくり対策が実施されている。第3次の主眼は、生活習慣病の予防対策として生活習慣改善に取り組むことで「健康寿命の延伸」と「生活の質の向上」を目指し、9分野80項目の具体的な方針に基づく取り組みがなされてきた。特に先進諸国において死因の上位を占める循環系疾患や糖尿病、高脂血症などの慢性疾患は、肥満症との間に強い関連が指摘されており、代表的な日常生活動作の一つである歩行においては10000歩/日という具体的な目標値を設定することで、肥満症の予防・改善が図られてきた。第3次に実施された80項目は第4次の方針策定に先立ち達成状況が評価された。これによれば全80項目のうち59.3%は「目標に達した」または「目標に達していないが改善傾向にある」とされた。一方、「メタボリックシンドロームの該当者・予備群の減少」を含む23.7%の項目では「変わらない」、「日常生活における歩数の増加」を含む15.3%の項目はむしろ「悪化している」とされた。実際、20歳以上の男女において1日の平均歩数は6200～7200歩、前期高齢者群に至っては4000歩程度との報告があることから、目標の10000歩には遠く及ばないのが現状である。この現状を踏まえて第4次の方針が策定されているが、その一つに「科学技術の進歩を踏まえた効果的なアプローチ」を積極的に活用することが明記されている。

このような背景に基づいて、近年歩行動作中のエネルギー消費量と筋活動水準の増大をもたらすウェアやシューズがスポーツアパレル設計工学分野を中心として研究・開発され、製品として市販されるに至っている。これらの製品は運動不足を感じるが多忙な生活の中で十分な運動時間がとれない消費者層から多大な指示を得ており、第4次国民健康づくり対策にある「科学技術の進歩を踏まえた効果的なアプローチ」の一つとして期待されている。

2. 研究の目的

我々は、これまでに(1)運動促進効果を訴求点とする国内外の市販ウェア上下衣の計11種類を収集し、述べ57人の被験者にウェアを着用させて、時速4km/hで12分間歩行させた時のエネルギー消費量を測定した(計110トライアル)。肥満解消の効果が期待できるエネルギー消費量は、通常のウェアを着用した場合と比較して相対的に22%増加させると試算できるので、この値を肥満改善のための要求レベルとした。この要求レベルに対して、試験に供したウェア上衣では1.2～5.0%の増加、ウェア下衣では0～3.5%の増加となり、いずれも単一のウェア着用では要求レベルの充足に至らないことを明らかにした。また、(2)一層の運動効果を促進し得るウェアの提案を目標として、歩行時に観測される身体動作、すなわち上肢の腕振り動作、並びに下肢の前後運動・股関節の回旋運動に起因して生じる衣服変形を詳細に解析し、この結果に基づいて、独自の運動効果促進ウェアを試作・提案した。試作ウェアの運動効果は、縫製した編物の伸長率に応じて、歩行中のエネルギー消費量を最大で上衣4.9%、下衣11.3%増加させることが確認できた(計101トライアル)。

一方、同時に実施した着用感のアンケート調査から、発汗時にポリウレタンを含む布にみられる特有の不快感(ぬれ感、蒸れ感)を与えることが明らかになった。心理的側面の課題は、ウェアの恒常的な着用において障壁となる。仮に肥満解消水準にあるウェアが提案できても、着用者が恒常的にウェアを着用しなければ、肥満解消の効果的なアプローチにはなり得ない。以上の経緯から、(a)先行研究で得た運動効果を促進するウェアの設計要件を維持しつつ、(b)発汗時の不快感という心理的課題を解消できるウェアを実現することが所期の目標を達成する上で重要である。そこで本申請課題では、上記(a)および(b)の両要件を改善する運動効果促進ウェアを新たに提案し、その効果を科学的に明らかとすることを目的とする。

3. 研究の方法

3.1 従前の運動効果促進ウェア

我々は、過去に科学研究費補助金の支援を受けて、運動効果を促進するウェアの試作と検証について研究を行い、Fig.1に示すプロトタイプを提案した(特許第6156834号)。このプロトタイプは、ベース用編物と低伸長性テープ状編物を積層させて縫製した構造をもつ。このウェアを着用すると、日常動作で最も一般的な歩行運動中に低伸長性テープ状編物がウェアの変形を抑制し、歩行運動を続ける着用者の下肢筋群に僅かな筋活動の増加を与える。これは歩行運動に要する筋活動成分と衣服変形抑制に抗するための筋活動成分の相互作用の結果であると考えている。この筋活動の増大が酸素摂取量の増加を引き起こすことで、同一歩数(同一時間)の歩行であっても、エネルギー消費量の増加を引き起こす。この効果のことを、本研究では運動促進効果

と呼んでいる。

ここで低伸長性テープ状編物の積層パターンは、歩行運動中の衣服変形計測に基づいて変形が生じる面積および変形量が大きい部位と方向に沿って設計している。なお、ベース用編物の素材は、ポリエステルとポリウレタンの混用布である。また、低伸長性テープ状編物は、整形性を高めるために、タテ編み組織（トリコット編）を採用した。

3.2 研究スキーム

本研究では、従前のウェアがもつ運動促進効果を維持しながら、着心地の改善を可能とするため、ステップ1では「ベース用編物の試作」に取り組み、ステップ2では「低伸長性編物の積層パターンの改善」の順番で研究に取り組んだ。

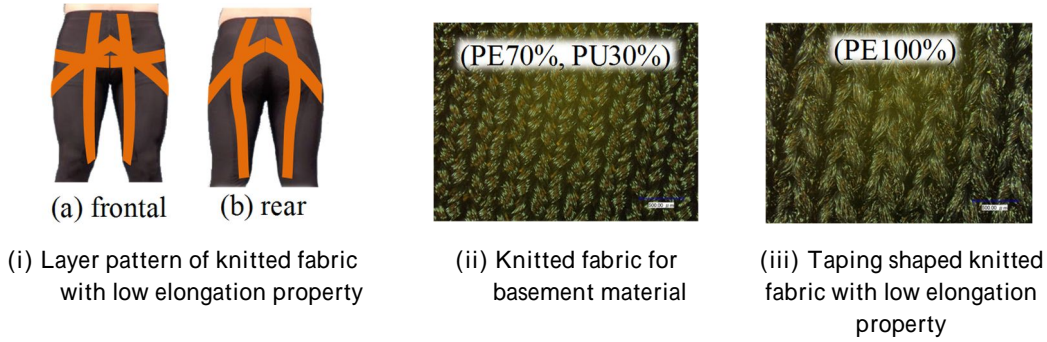


Fig.1 Conventional prototype of the exercise wear

4. 研究成果

4.1 ベース用編物試作と物性計測・評価

本課題の目的である「実効性を備えた運動効果促進ウェア」を提案するためには、日常的に着用した時に心理的側面で許容できることが重要である。特に従前の運動効果促進ウェア (Fig.1 参照) は、発汗時にポリウレタンを含む布にみられる特有の不快感（ぬれ感、蒸れ感）を与えることから、ベース生地の熱と水分に関する物性を改善することが重要だと考えた。

そこで、一般的な肌着に用いられる素材および構造を採用することにした。すなわち、ベース生地の素材をポリエステルとポリウレタンの混用布から、天然繊維である綿とポリウレタンの混用布に変更した。また、ベース生地の伸縮特性を向上させるために、タテ編み組織から、ヨコ編み組織に変更した。但し、本来の運動促進効果を維持するためにフープテンション（周応力）を作用させる必要があるため、ガードル等の加圧下着に採用される糸の太さを採用した。仕様の異なるベース用試作編物を Fig.2 に示す。

試作編物のもつ物性を評価するため、力学特性（引張仕事量，引張回復性）をオリエンテック社製 STA-1225 で計測した。また、透湿性は、発汗ホットプレート法（ISO11092）に準拠して計測した。また、保温性，熱伝導性は、カトーテック社製サーモラボ（KES-F7）を用いて計測した。なお、透湿性試験はリベッツ工科大学 Havelka 研究室と共同で計測を行った。

実験結果の概要は、試作編物の引張仕事量が大きく（伸長しやすく）、回復性が小さいことが

Sample Name		IW(P)	IW(C1)	IW(C2)	IW(C3)	IW(C4)
blend ratio [%]	PET	70	0	0	0	0
	Cotton	0	92	95	88	88
	PU	30	8	5	12	12
weight [g/m]		263.2	224.5	158.2	189.1	214.9
thickness [mm]		0.78	1.03	0.92	0.98	1.00
yarn density	[wales/2.54cm]	66.0	54.0	57.0	62.0	64.0
	[courses/2.54cm]	66.0	38.0	40.0	42.0	45.0
density		66.0	46.0	48.5	52.0	54.5
apparent fineness [tex]		-	21.4	14.5	14.4	15.0
knit construction		Tricot	Plain stitch	Plain stitch	Plain stitch	Plain stitch

Fig.2 Specification of prototype as basement fabric

ら、従前のベース用編物と比較して身体に作用するフープテンション（周方向の応力）が低下すると考察された。これは着用快適性の向上に寄与する一方、運動促進効果は抑制されると考察された。試作編物の回復性を従来編物と同様の水準とするためには、編物編成時に紡績糸と引きそろえるポリウレタン系の使用量を増加させる等の方法が考えられる。また、試作編物と従前のベース用編物を比較すると、試作編物の熱伝導率は低く、透湿抵抗は高い。しかし一般的な肌着と比較すると、いずれの編物も優れた性能を有することが分かった。上記の知見に基づき試作編物の設計仕様を見直して、最終的に2種類の編物を試作することができた。

4.2 低伸長性テープ状編物の積層パターンが下肢筋群の筋活動動態に及ぼす影響

本課題の目的である「実効性を備えた運動効果促進ウェア」を提案するためには、温熱快適性のみならず、動作適応性（動きやすさ）の改善も必要となる。従前の運動効果促進ウェアは「動きにくく不快である」と評価されており、その主要因は運動効果を促進する低伸縮性テープ状編物の積層パターンにあると考えた。そこで本研究では、低伸縮性テープ状編物の積層パターンを大幅に見直すことで、具体的には、低伸縮性テープ状編物を積層する範囲を約1/6程度に減少させた全5種類の積層パターンに基づくウェアを試作した（Fig.3参照）。

試作ウェア（TIW1～TIW6）を着用して4km/hの速度でトレッドミル上を歩行している時の筋電図を計測し、低伸長性テープ状編物の積層パターンが下肢筋群の筋活動動態に及ぼす影響を評価した。その結果、低伸縮性テープ状編物の積層パターンが異なることで下肢筋群に異なる筋活動動態を観測した。すなわち積層パターンに応じて賦活する筋肉部位とその活動量が異なることが分かった。この結果は、低伸長性テープ状編物の積層パターンを変化させることで、歩行に参加する筋線維の部位と活動割合の制御が可能であることを示唆している。しかし、歩容は個人を特定する手がかりとして活用されるほどに個人差が大きいため、個人差が大きいことを考慮すると、下肢筋群の使い方にも個人差があると考えられる。本研究で見出された低伸縮性テープ状編物の積層パターンに応じた筋活動動態に、普遍性がみとめられるか否かは、より多くのデータに基づいて検証される必要がある。

筋活動計測の結果より、比較的大きな筋活動量が観測された2種類の積層パターン、すなわちTIW1（前面縦方向）とTIW4（後面縦方向）を採用することで、「運動効果を保持しながら動作適応性を向上させ得るウェア」となることが期待できると考えた。



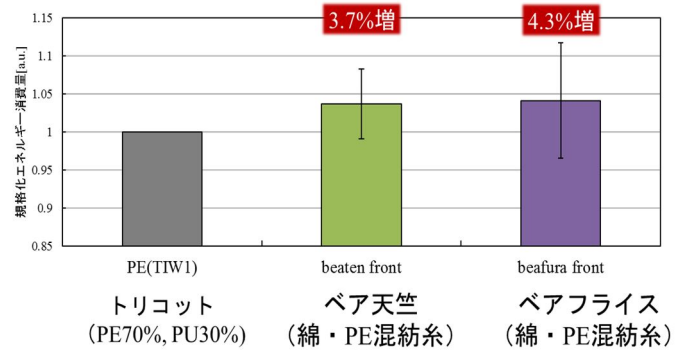
Fig.3 Prototypes varying the layer pattern of tap-shaped knitted fabric

4.3 試作ウェアの運動促進効果検証

4.1節に記載のベース用試作編み物、および4.2節に記載の低伸長性テープ状編物の積層パターンを組み合わせ、運動効果促進ウェアを試作した。具体的には、綿とポリエステル混紡糸にポリウレタン糸を引きそろえ、天竺編構造、およびフライス編構造で編成した編物2種類と、低伸長性テープ状編み物の積層パターン、すなわち、ウェアの前面縦方向の衣服変形を抑制するように低伸縮性テープ状編物を積層したTIW1を組み合わせ、ウェアを試作した。

試作ウェアを着用して4km/hの速度でトレッドミル上を歩行している時の酸素摂取量を計測し、試作ウェアがもつ運動促進効果を評価した。その結果、Fig.4に示すようにベース用編物として天竺編布、およびフライス編布をそれぞれ採用したウェアは、従前のトリコット編布を使用したウェアに比べて、酸素消費量がそれぞれ3.7%、および4.3%増大することを確認した。

本研究では、従前の運動促進効果を維持しながら着心地を改善することを目標とした。本研究の成果として、ベース用編物、低伸長性編物の積層パターンのいずれにおいても、着心地を改善し得る具体的な仕様を特定した。また、これらを組み合わせ、ウェアを着用した場合、従前のウェアを着用した場合と比べて、より大きな運動促進効果が得られることを明らかにできた。



(i) Experimental

(ii) Verification result

Fig.4 Verification on exercise effect of the proposed prototype

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 Xiaoman Xiong, Tao Yang, Rajesh Mishra, Hiroyuki Kanai, Jiri Militky	4. 巻 47
2. 論文標題 Thermal and compression characteristics of aerogel-encapsulated textiles	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Industrial Textiles	6. 最初と最後の頁 1998-2013
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1177/1528083717716167	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Yoshitaka Niimi, Antonin Havelka, Hiroyuki Kanai	4. 巻 25
2. 論文標題 A Proposal for Designing Knitted Fabric for the “Wear Promotes Exercise Effect” with the Purpose of Improving Comfort	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 VLAKNA a TEXTIL (FIBRES and TEXTILES) Journal	6. 最初と最後の頁 71-77
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 金井博幸	4. 巻 70
2. 論文標題 健康と安全に貢献する高機能ウェア開発の取り組み	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 繊維機械学会誌	6. 最初と最後の頁 30-34
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 1件/うち国際学会 5件）

1. 発表者名 Hiroyuki Kanai
2. 発表標題 Development of Human Body Dummy for Measuring Clothing Pressure Derived from Dynamic Deformation of Pants
3. 学会等名 Textile Bioengineering and Informatics Symposium（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡邊大暉, 金井博幸, 新見嘉崇, 田島和弥, 白石篤史
2. 発表標題 湿潤時高通気性編物で作製したスポーツウェアの着用が高負荷運動中の熱放散反応に及ぼす影響
3. 学会等名 日本繊維機械学会 第721回年次大会 研究発表論文集
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akihiro Fujiwara, Hiroyuki Kanai, Akira Nakayama, Kano Takako, Shinji Kawashima, Michita Inoue
2. 発表標題 Evaluation of Business Pants' Silhouette and Clothing Comfort
3. 学会等名 The 15th Asian Textile Conference (ATC-15) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大島卓仁, 小河健太郎, 金井博幸, 西松豊典, 柴田清弘
2. 発表標題 生地のご伸度がスラックスの着心地及び動作拘束性に及ぼす影響
3. 学会等名 日本繊維機械学会 第71回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Toshiya Jitsuishi, Yoshitaka Nimi, Hiroyuki Kanai, Toyonori Nishimatsu, Kiyohiro Shibata
2. 発表標題 Assessment of Exercise Effect Promoted by Wearing Training Inner Wear
3. 学会等名 The 11th Textile Bioengineering and Informatics Symposium (TBIS) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshitaka Niimi, Toshiya Jitsuishi, Hiroyuki Kanai, Kiyohiro Shibata, Antonin Havelka
2. 発表標題 A design of "Wear promotes exercise effect" with the purpose of improving comfort
3. 学会等名 46th Textile Research Symposium (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 藤原彰大, 金井博幸, 中山晃, 鹿野貴子, 川島新治, 井上道太
2. 発表標題 カジュアルウェア下衣のゆとり量が審美性および動作適応性に及ぼす影響
3. 学会等名 平成30年度 繊維学会秋季研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yoshitaka Niimi, Antonin Havelka, Hiroyuki Kanai,
2. 発表標題 A Proposal for Designing Knitted Fabric for the "Wear Promotes Exercise Effect" with the Purpose of Improving Comfort
3. 学会等名 Central European Conference on Fibre Grade Polymers, Chemical Fibres and Special Textiles (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 實石峻弥, 新見嘉嵩, 金井博幸, 西松豊典, 柴田清弘
2. 発表標題 トレーニングインナーウェアの低伸縮性領域が歩行中の筋活動に及ぼす選択的效果
3. 学会等名 日本繊維消費科学学会年次大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西山直秀, 金井博幸, 西松豊典
2. 発表標題 皮膚熱放散機構を考慮した掛けふとんの熱抵抗試験法に関する基礎的検討
3. 学会等名 日本繊維機械学会第70回年次大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計2件

1. 著者名 秋山庸子	4. 発行年 2018年
2. 出版社 シーエムシー出版	5. 総ページ数 218
3. 書名 感覚重視型技術の最前線 -心地よさと意外性を生み出す技術- Frontier of Snsation-oriented Technology - Creation of Comfort and Amusement-	

1. 著者名 鞠谷雄士, 平坂 雅男	4. 発行年 2017年
2. 出版社 (株)エヌ・ティー・エス	5. 総ページ数 562
3. 書名 繊維のスマート化技術大系 ~生活・産業・社会のイノベーションへ向けて~	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	ハベルカ アントニン (Havelka Antonin)	リベレツ工科大学・Technical University of Liberec・Associate professor	