

機関番号：13601

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2008～2010

課題番号：20700198

研究課題名（和文） 人間の触知覚特性に基づく機能性腰椎帯の設計と評価に関する研究

研究課題名（英文） Research on Design and Evaluation of Functional Lumbar Supporter Based on Human Tactile Perception

研究代表者

金井 博幸（KANAI HIROYUKI）

信州大学・繊維学部・講師

研究者番号：60362109

研究成果の概要（和文）：

本研究では人間の感覚知覚特性に基づく新たな製品設計法の提案をテーマとして、人間の触知覚特性の調査結果に基づき「支持感」、「安心感」を効果的に与える腰椎帯の試作を実施した。また、日常生活（すなわち、低負荷環境下）を想定し、試作腰椎帯を着用することによる身体（筋）負担の軽減効果を定量的に評価するための評価指標を提案した。本評価指標に基づいて試作腰椎帯の効果を評価した結果、試作腰椎帯は市販の腰椎帯と比較して、身体に与える筋負担を低減させることが確認された。

研究成果の概要（英文）：

In this study, we attempted to propose a novel product design method based on a property of human sense. As the case study, a lumbar supporter which gives effectively 'supporting and relief feeling' to wearers, was developed experimentally based on human tactile perception. And in order to investigate the physiological (muscular) load reduced by wearing the experimental lumbar supporter, quantitative index of physiological (muscular) load was proposed as available assessment for wearing experimental supporter in ADL. According to the evaluation with the proposed index for the experimental lumbar supporter, it was found that experimental lumbar supporter reduced physiological (muscular) load in comparison with commercial lumbar supporter.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,600,000	780,000	3,380,000
2009年度	400,000	120,000	520,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：感性計測評価、腰椎帯、筋電図計測、筋血流計測、設計

### 1. 研究開始当初の背景

腰痛は、人体の骨格系において頻繁に発症する機能障害であり、厚生労働省が実施した国民生活基礎調査によると腰痛症が通院原因の上位に位置している。また、3年間で約5%の増加<sup>[1]</sup>がみられることから、今後、腰痛患者の増加傾向が続くと考えられる。

腰痛の主な原因は、無理な姿勢や一定の姿勢を長時間続けることで身体を支えている脊柱のS字カーブが崩れ、(1)姿勢維持をサポートしている脊柱周辺の筋群に緊張が生じ、疲労物質が蓄積される、(2)筋の疲労物質の蓄積により血行障害が起こり炎症や凝りが発生する、(3)血行障害により更に疲労物質が蓄

積する、(4)炎症や凝りの症状が悪化し痛みを感じるという悪循環である。つまり、腰痛を緩和するためには、脊柱の過度な湾曲を制限して正常なS字カーブに矯正し、脊柱周辺の筋群の負担を軽減することが重要である。このような処置には腰椎帯やコルセットが用いられ、特に軽度な腰痛患者に対しては固定力が比較的弱い軟性腰椎帯（以下、腰椎帯という）が処方される。しかし、腰椎帯の着用実験において生理的効果が定量的に認められたとする報告<sup>[2]</sup>とこの効果に対して否定的な報告<sup>[3]</sup>があり、未だ客観的な統一見解を得ていない。

腰痛帯着用による生理的効果の是非が明瞭でないにもかかわらず、腰椎帯を処方された患者の7割が腰痛軽減に効果があると考えていることが須賀ら<sup>[4]</sup>の腰椎帯処方後の追跡調査によって報告されている。すなわち、腰椎帯は一時的に筋負担を和らげるための治療用装具であるとともに、腰痛再発に対する患者の不安感を緩和する心理的な安定効果が期待される装具である。特に後者の心理的な安定効果によって、症状改善後も腰椎帯の着用が長期間に及んでいる実態<sup>[4]</sup>が報告されており、心理的効果は腰椎帯設計において考慮しなければならない重要な機能的要素であると考えられる。

一方で、患者が長期に渡って腰椎帯を着用することによる弊害として、体幹部を支える腹筋や腰背筋が脆弱化することや腹部圧迫による内臓機能障害、動作拘束による日常生活への影響が懸念されている<sup>[4]</sup>。

これらの課題を腰椎帯着用者の適正使用方法の課題とせず、腰椎帯の設計課題として捉えれば、軽度な腰痛症状を有する患者の健康維持支援、腰痛発症の予防および精神安定を目的とした腰椎帯の設計・開発が必要となる。

## 2. 研究の目的

これまで、我々は体幹部に作用する圧力の大きさおよびその分布パターンとヒトの触覚（特に体幹部が支持されると感じる）特性の関係について基礎的な調査を行ってきた。すなわち、腹部40箇所、腰背部48箇所に対して何段階かの圧力を作用させた結果、(1)作用する圧力の大きさが増大するにつれて、触覚レベルが「接触した」、「心地良いと感じる」、「支持感を感じる」、「良い圧迫感を感じる」、「悪い圧迫感を感じる」、「痛みを感じる」の順に変化すること、(2)腹部では腹斜筋、腰背部では脊柱起立筋群に沿って適当な圧力を印加すると効果的に支持感を与えられることを明らかにした<sup>[6]</sup>。

以上の経緯をふまえて、本研究では

(1)先行研究の結果<sup>[6]</sup>に基づいて、支持感・安心感を効果的に与えかつ過度に身体を圧

迫（拘束）しないための腰椎帯の設計因子（形状、素材、内挿パッドの力学的特性）を検討し、低拘束で快適性の高い腰椎帯を試作する。また、腰椎帯を着用することによる着用感（支持感や安心感）の主観評価を実施する

(2)腰椎帯装着時の生理的効果（すなわち、身体（筋）負担の低減効果）を定量的に評価する手法を検討する。

(3)日常動作を想定し、試作した腰椎帯の身体（筋）負担の軽減効果を(2)で提案した手法を適用することによって定量的に評価し、人間の感覚特性に基づく新たな製品設計の方法論を構築するとともにその有効性を検証することを目的とする。

## 3. 研究の方法

### (1)支持感・安心感を与える腰椎帯の設計

腰椎帯の試作にあたり、市販のスポーツウェアおよびサポーターに使用される28種類の編物（天竺編地、ジャージ、マイクロジャージ、ネオプレンゴム、2層ラミネート地、3次元編物、パワーネット）を収集し、身体に作用する圧力と関連の深い力学的特性（表面・圧縮特性）および着用感に関連する温熱特性（保温性・接触冷温感）の各物理量を測定した。圧縮特性は自動化圧縮試験機（カトーテック社製、KES FB-3）および自動化表面試験機（同社製、KES-FB4）を温熱特性は精密迅速熱物性測定装置（同社製、サーモラボ）およびハンディサーモ（NEC/AVIO、TVS-200EX-K）を用いて測定を行った。

物理特性の測定結果に基づいて選定した編物を用いて、先行研究<sup>[6]</sup>に基づく圧力分布（前面：腹直筋および腹斜筋、背面：脊柱起立筋群、広背筋、大臀筋にその他の部位と比較して高い圧力を印加、以降「高圧力印加領域」と記載）を実現するため、2種類の腰椎帯を試作した（以降、試作腰椎帯A、Bと記載）。

試作した腰椎帯が所期の目標である印加圧力分布を実現しているか否かを検証する目的で、試作腰椎帯AおよびB着用時の印加圧力を圧力センサーシート（ニツタ(株)社製、Bigmat2000）を用いて測定した。

また、試作腰椎帯AおよびB着用時の着用感（特に支持感および安心感）を検証するため、2種類の試作腰椎帯および比較試料として市販の1種類の軟性腰椎帯を加えた計3種類の腰椎帯について男子大学生10名によるSD法の官能検査を実施した。

### (2) 身体(筋)負担の定量評価法の検討

試作腰椎帯を着用することによる身体負担の低減効果を客観的に評価することを目的として筋電図(EMG)と身体負担の基礎的な関係を調査し、EMG測定によって得られる指標

の適用可能性を検討した。

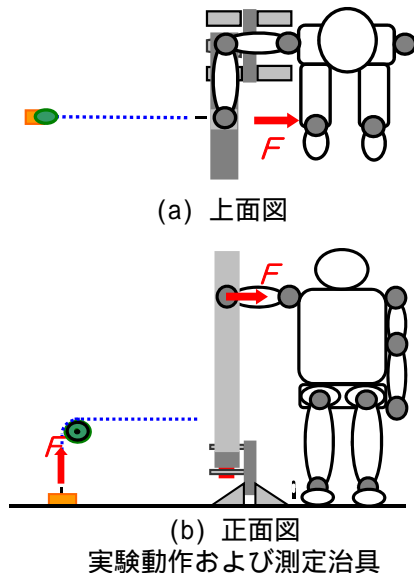
一般に、筋電図は、高負荷強度において負荷の大きさと筋放電量の間に線形関係が成立することが知られている。これに対して負荷強度が小さいと予想される日常生活活動(ADL)において身体負担の評価を試みる場合、低負荷強度における筋放電の基礎的な動態を知る必要がある。

そこで本研究では、低負荷強度において筋の発揮力と筋放電の量的特性および周波数特性の検討を行った。研究の初期段階として、筋電図の基本的な振る舞いを観察するため、単純な可動機構を持つ肘関節の屈曲・伸展動作に着目し、被験筋を上腕二頭筋および上腕三頭筋とした。

実験は図1に示すように、被験者の肘関節を90°に屈曲させた等尺性収縮において、その時の筋の発揮力(N)を5~40Nに変化させ、生体計測装置(Biopack社製, MP150WSW)を用いて実施した。なお、被験筋に装着する電極は皿型電極とし、電極間距離は20mmに統一した。また、動作の再現性を向上させるため、図1に示す動作補助治具を作成し、これを用いることとした。

プッシュプルゲージにて測定した発揮力(N)を被験者に視覚表示し、リアルタイムで発揮力を確認させるバイオフィードバック法により実験を行った。なお、被験者は男子大学生5名とした。

解析では、筋放電の量的特性として積分筋電図(iEMG)、周波数特性として平均周波数(MPF)を算出した。



### (3) 試作腰椎帯の身体負担低減効果の評価

(1)の研究結果で後述するように、所期の目標である圧力分布が達成できた「試作腰椎帯B」を用いて、日常生活を想定した動作にお

いて、身体(筋)負担軽減効果を評価した。

身体(筋)負担の評価指標として、(2)の研究結果で後述するように「iEMG」と「MPF」の有効性が示唆されたが、これは被験筋の等尺性が保たれた条件下での結果である。

そこで、本実験では、等尺性収縮の状態が保たれない動作中の筋電図においても、筋発揮力に対して筋放電が増加することが知られていることから、「筋放電の電位変化の総量」を筋活動の指標として、身体(筋)負担評価に適用することとした。

なお、日常生活において我々が行う動作の中に「歩行運動」がある。そこで、本研究では歩行動作を実験試技として、腰椎帯着用による身体(筋)負担の軽減効果を評価した。

評価対象は腰背部の固定強度が異なる2種類(試作腰椎帯Bおよび軟性生地にステアーを挿入し固定力を上げた市販の腰椎帯)を用いることとした。

被験者は各腰椎帯を着用して、トレッドミル上を5km/hの速度で歩行した。なお、歩行路面角度は5度とし、歩行時間は10分間とした。

筋電図測定では、歩行動作の主働筋である大殿筋、内側広筋、外側広筋、半腱様筋、前脛骨筋、腓腹筋を被験筋とした。また、歩行動作時の生理的な消費エネルギーを推定するために、心電図(ECG)測定を、さらに、着用する腰椎帯の違いが歩行動作(すなわち歩容)に及ぼす影響を検討するために3次元動作解析を合わせて実施した。

最後に歩行動作終了後の心理的な負担度を調査するため、SD法による官能検査を実施した。被験者は20歳代の男性5名である。

## 4. 研究成果

### (1) 支持感・安心感を与える腰椎帯の設計

体幹部の触知覚特性に基づいて支持感・安心感を効果的に与えることを目的とした2種類の腰椎帯を試作するため、市販の編物試料の物理測定を実施した。その結果に基づいて、3層(皮膚接触層、ベース層、圧力印加層)に対応する3種類の編物(天竺、マイクロジャージ、パワーネット)を選定した。選定した編物を用いて試作腰椎帯AおよびBを試作した。

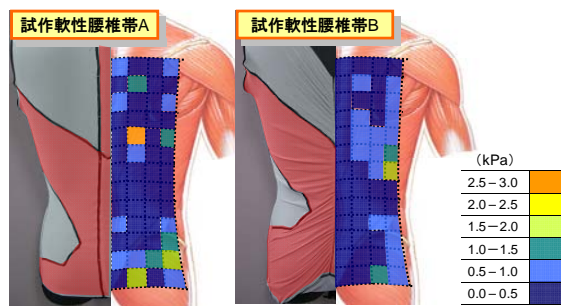
本研究の試作目的を実現するため、いずれの試作腰椎帯についても下着ライク(薄手の)体幹装具を模擬した形状とした。2種類の試作腰椎帯の違いは、高圧力印加領域にウレタンフォームによるパッド層を設けたものを試作腰椎帯Aとし、高圧力印加領域周辺に人工的な引きつれ(ギャザー)を設けたものを試作腰椎帯Bとした。

各試作腰椎帯の左半身の外観を図2に示す。なお、赤色着色部は高圧力印加領域である。

各試作腰椎帯を着用した際に身体に作用する圧力分布を測定した結果を図2の右半身部に示す。この結果より、初期の目標(前面：腹直筋および腹斜筋，背面：脊柱起立筋群，広背筋，大臀筋にその他の部位と比較して高い圧力を印加)に基づいて圧力を印加できている試作腰椎帯はBであることが分かった。

また，着用感の官能検査の検証結果より，試作腰椎帯AおよびBは市販の腰椎帯と比較して「着心地が良く，背部に圧迫感，フィット感，支持感，安心感がある」と評価された。試作腰椎帯AとBを比較すると，試作腰椎帯Bの方が「背部に支持感，安定感があり，背筋が伸びる」と評価された。

以上の結果に基づき，(3)の身体(筋)負担低減効果の評価では試作腰椎帯Bを用いることとした。



(a)試作腰椎帯A (b)試作腰椎帯B  
図2 試作腰椎帯の外観と圧力分布計測結果

## (2) 身体(筋)負担の定量評価法の検討

主働筋である上腕二頭筋において積分筋電図(iEMG)を最大随意収縮(MVC)にて規格化した%MVC および周波数特性である平均周波数(MPF)を算出した結果を図3に示す。上腕二頭筋において発揮力の増加に伴い%MVCが増加し，MPFが漸減する傾向が全被験者において確認された。一方，拮抗筋である上腕三頭筋においては%MVCおよびMPFのいずれにおいても発揮力に対する変化は見られなかった。これらの結果より，筋の発揮力が大きいほど，また発揮時間が継続するほど身体負担が増加することを考慮すれば，身体負担の程度は筋電図波形の量的特性および周波数特性を測定することによって指標化できる可能性が示唆された。

## (3) 試作腰椎帯の身体負担低減効果の評価

試作腰椎帯Bおよび市販の腰椎帯を着用した条件で歩行動作中の身体(筋)負担を評価した。

3次元動作解析の結果より，歩幅，遊脚相における膝蓋点の高さ等の歩行動作(すなわち，歩容を表わす特徴量)に関して，腰椎帯間に統計解析による有意差は見られなかった。

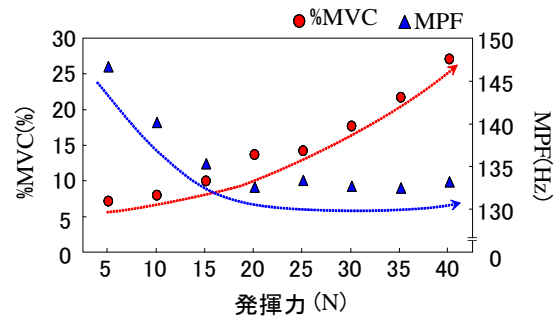


図3 低負荷強度における筋発揮力と%MVC およびMPFの関係

このことから，試作腰椎帯Bおよび市販の腰椎帯のいずれの着用によっても，腰椎帯の着用によって歩容は変化しないことが確認された。

一方，心電図波形から生理的な消費エネルギーの指標であるPCI(physiological cost index)を導出した結果，市販の腰椎帯を着用した場合に比べて試作腰椎帯Bを着用した場合には，歩行開始2分後から10分後においてPCIが低下することが分かった。このことから，試作腰椎帯Bを着用した場合，より小さな消費エネルギーによって歩行動作が行えることが分かった。

筋電図波形から20歩行周期分の筋電位変化を抽出し，これらを加算平均することによって1歩行周期分の筋電位変化を得た。図4に歩行周期に対応した大臀筋の活動を示す。

この結果より，着用する腰椎帯によって，大臀部筋の活動に大きな違い(S.L<1%)が観察された。すなわち，試作腰椎帯Bを着用した場合，大臀筋の活動が大きく減少することが分かった。

大臀筋の収縮により股関節の伸展動作が生じること，異なる腰椎帯を着用しても歩容に差がみとめられなかったことから，試作腰椎帯Bは，脚の振出し動作を阻害しないが，市販の腰椎帯は脚の振出し動作により多くの筋活動を必要とすることが推察され，このことがひとつの原因となって生理的な消費エネルギーが増大したものと考察される。

これは，歩行動作終了後の主観評価においても，市販の腰椎帯に比べて試作腰椎帯Bは「脚を動かしやすい，歩きやすい」と評価されたことと一致する。

以上のことから，本研究で試作した腰椎帯Bを着用することによって，支持感，安心感を効果的に与え，動作時の身体(筋)負担を低減する効果があることが確認された。

本研究は人間の感覚特性に基づく新たな製品設計法のケーススタディとして実施されたものであり，本研究を通じて，その有用性が示唆された。

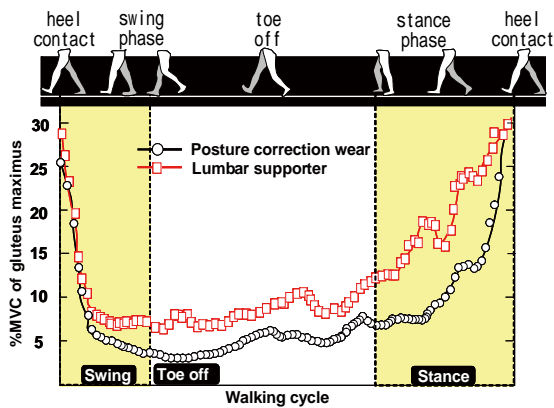


図4 試作腰椎帯Bと市販の軟性腰椎帯着用時の歩行動作における%MVCの活動動態の比較

### 【参考文献】

- [1] 厚生労働省大臣官房統計情報部編：平成13年 国民生活基礎調査，厚生統計協会，193-203，2003
- [2] 伊藤俊一，ほか，腰痛コルセットの効果に関する検討，北海道理学療法士会誌，Vol.13, 25/28
- [3] 中間季雄，ほか，健常成人男性における腰椎越すセットの体幹筋力と可動域に対する影響，理学診療，Vol. 3, 99/102, (1992)
- [4] 須賀哲夫，ほか，当教室における腰椎装具療法についての検討，総合リハ，Vol. 12, No. 5, 375/380(1984)
- [5] 棚瀬嘉宏，ほか，体幹前屈運動の運動学のおよび筋電図学的研究，リハビリテーション医学 Vol. 37, 33/38, (2000)
- [6] 辻創，金井博幸，西松豊典，体幹部への印加圧力に対する触知覚の測定，感性工学論文集，Vol. 7, No. 4, pp. 815-820(2008)

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計4件)

- (1) Hiroyuki Kanai, Hajime Tsuji, Masayoshi Kamijo, Toyonori Nishimatsu, Experimental Development of Lumbar Supporter and its Evaluation by EMG, Advanced Materials Research, Vol 175-176, pp.345-347, (2011)
- (2) 森島美佳, 金井博幸, 木村裕和, 松岡敏生, 西岡孝彦, 西松豊典, スポーツウェアの形状が模擬高齢者の着衣動作と筋活動に及ぼす影響, Journal of Textile Engineering, Vol.57, No.2, pp.51-59 (2011)
- (3) 森島美佳, 金井博幸, 西岡孝彦, 井上智仁, 西松豊典, スポーツウェアの形状が

模擬高齢者の着衣動作に及ぼす影響, Journal of Textile Engineering, Vol.56, No.2, pp.47-53 (2010)

- (4) 細谷聡, 野上悟, 斎藤健治, 金井博幸, サポーターの装着圧と伸縮性が上腕の筋疲労に及ぼす生理的効果, 感性工学研究論文集, Vol. 8, No.2, pp.279-283 (2009)

〔学会発表〕(計2件)

- (1) Hiroyuki Kanai, Hajime Tsuji, Masayoshi Kamijo, Toyonori Nishimatsu, Experimental Development of Lumbar Supporter and its Evaluation by EMG, The 7th International Silk Conference, CD-ROM [ISC-2-058] (2011)
- (2) 青野圭祐, 金井博幸, 西松豊典, 柴田清弘筋電図計測による背広服の動作拘束性評価法の検討, 平成22年度繊維学会年次大会予稿集, 1B04(2010)

### 6. 研究組織

#### (1)研究代表者

金井 博幸 (KANAI HIROYUKI)  
信州大学・繊維学部・講師  
研究者番号：60362109

#### (2)研究分担者

なし

#### (3)連携研究者

なし

#### (4)研究協力者

森島 美佳 (MORISHIMA MIKA)  
信州大学・ファイバーナノテク国際若手研究者育成拠点・助教  
研究者番号：50369518

西松 豊典 (NISHIMATSU TOYONORI)  
信州大学・繊維学部・教授  
研究者番号：40252069

上條 正義 (KAMIJO MASAYOSHI)  
信州大学・繊維学部・教授  
研究者番号：70224665

松岡 敏生 (MATSUOKA TOSHIO)  
三重県産業支援センター・主査  
研究者番号：なし

木村 裕和 (KIMURA HIROKAZU)  
大阪府立産業技術総合研究所・規格総務  
研究者番号：なし