

平成 21 年 6 月 26 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19700121
 研究課題名（和文） 体肢圧迫による力覚提示装置の開発
 研究課題名（英文） Development of a force display by the use of constrictive pressure on a limb
 研究代表者
 満田 隆（MITSUDA TAKASHI）
 立命館大学・情報理工学部・教授
 研究者番号：30335591

研究成果の概要：体肢を空気圧カフで圧迫することで擬似的な力覚を提示する手法を提案し、実験によってその効果を検証した。本手法は従来の力覚提示法と比べて、軽量の装置で安全に大きな力を提示できる。まず手首を圧迫することで手への力覚を提示できることがわかった。また椅子に座った状態で手を振り、手の振りに同期させて下腿と大腿を圧迫すると、擬似的な歩行感覚を提示できることがわかった。下肢の圧迫は血流改善効果も有するので、椅子に座りながら歩行感覚が得られ、かつ、マッサージ効果が得られる健康器具としての応用可能性を示した。

交付額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	2,100,000	0	2,100,000
2008年度	1,100,000	330,000	1,430,000
総計	3,200,000	330,000	3,530,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：バーチャルリアリティ、力覚提示

1. 研究開始当初の背景

(1) 力覚提示とは、バーチャルリアリティ技術の一つで、仮想物体に触れたり動かしたりする際の力の感覚を提示する技術である。現在市販される力覚提示装置の多くは、モータなどのアクチュエータを用いて能動的に力覚を提示する。たとえば市販の力覚提示装置として著名な PHANTOM は、ロボットアームの先をオペレータの指に装着し、ロボットアームがオペレータの指に力を作用させる。同じようにオペレータの手をロボットアームの先に固定して力覚を提示する装置も市販されている。しかし、この方法ではロボットの暴走に伴う危険性を十分に考慮する必要がある。提示力が大きくなるほど、危険性も増すため、全力で壁を押しするような大きな力を提示する装置は市販されていない。

(2) 近年、受動的に力覚を提示する方法が提案されている。受動的力覚提示とは、ロボットアームの関節をクラッチやブレーキといった受動要素で構成し、関節を固定したりブレーキをかけたりすることで反力を生成し、力覚を提示する方法である。受動的力覚提示は能動的力覚提示と比べて装置を小型化しやすい。また、ロボットが力を発生することはないので、安全性に優れる特徴をもつ。しかし、受動的力覚提示は、原理上、外力を提示できない問題がある。

(3) 研究代表者は、新しい原理の力覚提示として、体肢圧迫による力覚提示を考案した。この方法は、一種の錯覚を利用して外力を知覚させる方法であり、受動的力覚提示の長所を損なうことなく、小型の装置で安全に操作者に外力を提示できる。これまでの実験で手

首の圧迫が物体の重量感を生成することを確認している。

2. 研究の目的

- (1) 手首圧迫の弁別閾と、圧迫により知覚される力覚の同定
- (2) 手首の圧迫によって、重量感以外の力覚、すなわち鉛直上方以外の方向の力覚を提示できるかを確認する。また、力覚提示に適した圧迫部位、圧迫感の時間応答を調べ、力覚提示技術としての有用性を検証する。
- (3) 下肢を圧迫することで足への力覚提示を試みる。

3. 研究の方法

- (1) 手首を空気圧カフで圧迫して、2回の圧迫に差異があるかを尋ねることで弁別閾を調べる。また、右手首を圧迫し、左手首に重りを載せて、左右の力覚が等しく感じるように重りを調整することで、圧迫により生じられる力覚の大きさを調べる。
- (2) 仮想環境中で物体を持ち上げたり、移動したり、変形させることができるバーチャルリアリティシステムを構築する。手、前腕、上腕を空気圧により圧迫することで物体を操作する際の力覚提示を試みる。被験者へのアンケート調査によって、どのような感覚が提示できたかを調査する。
- (3) 下肢を空気圧で圧迫する装置を開発し、生じられた感覚を被験者へのアンケートによって調査する。

4. 研究成果

- (1) 手首圧迫の弁別閾と手首圧迫により知覚される力覚

弁別閾計測実験の結果を図1に示す。他の知覚と同じく、手首圧迫の感覚もウエーバーの法則によって変化することがわかった。

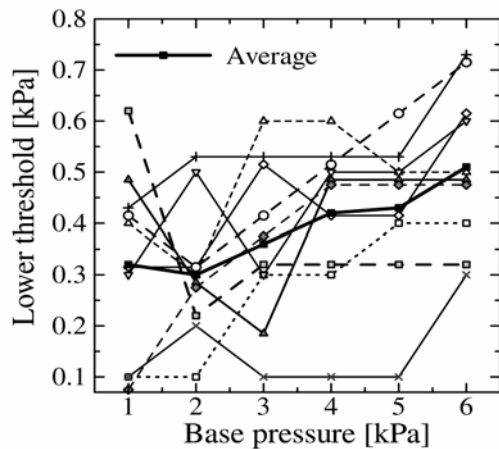


図1 手首圧迫の下弁別閾 (論文 より引用)

つぎに手首圧迫により知覚される重量感の計測実験結果を図2に示す。知覚される重量感には個人差が見られるものの、どの被験者も知覚する重量感が圧迫圧力に比例することがわかった。

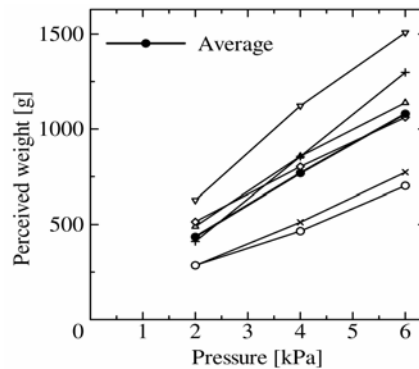


図2 重量感テストの結果 (論文 より引用)

- (2) 手首と手掌の同時圧迫による力覚提示

仮想物体を手で持ち上げたり、移動したり、変形できるバーチャルリアリティシステムを開発した(図2参照)。両手の位置姿勢を磁気式センサで計測し、仮想物体とともに前方のスクリーンに表示した。手首(前腕遠位部)は市販の血圧計のカフを利用して圧迫した。また、手首の圧迫だけでは鉛直上方以外の方向の力覚が生じなかったため、図3に示すグローブを用いて手掌を手首と同時に空気圧で圧迫した。操作者は、物体を操作する際にあらかじめ設定した圧力で手掌と手首が圧迫されて力覚を知覚する。

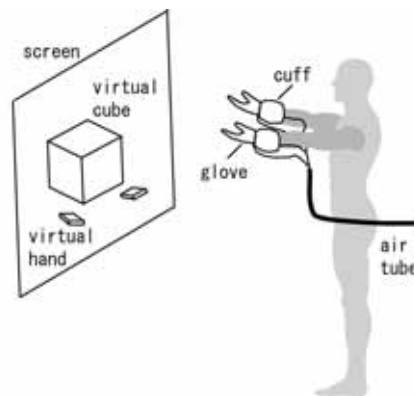


図3 手首と手掌圧迫による力覚提示システム (学会発表 予稿集より引用)

まず、立方体の各面を押す動作について、手掌だけを圧迫した場合と、手掌と手首を圧迫した場合のどちらが自然な力覚を得られたかを被験者にアンケート調査した。結果を図4に示す。押す方向によって回答結果が異

なることがわかる。「back」(奥の面を手前に向けて押す動作)と「forward」(前面を前方向に押す動作)と「right」(右面を左に向けて押す動作)では手首を同時に圧迫したほうが自然な感覚となる、との回答が得られた。「left」(左面を右に向けて押す動作)と「down」(上面を下方向に押す動作)では、手だけを圧迫したほうが自然に感じると答えた被験者と、手と手首を圧迫したほうが自然と感じると感じた被験者の数は同数であった。一方、「up」(下面からの持ち上げ動作)では、手だけのほうが自然に感じると回答した被験者が多かった。これは、持ち上げ動作がもっとも慣性と重力の影響を受ける動作であり、実際の感覚との差異が強調されて違和感を覚えた被験者が多かったためではないかと思われる。

本実験から、体肢圧迫により生じられる力覚の個人差は大きく、すべての被験者に同じ感覚を提示することは難しいことがわかった。一方、手で物体を操作する感覚と「似た感覚」、または「不思議な感覚」はすべての被験者が知覚していることが確認できた。本技術は、アミューズメント分野への応用など、装置の軽量性と安全性を活かした実用的応用に適していると思われる。



図3 手掌圧迫用グローブ(学会発表 予稿集より引用)

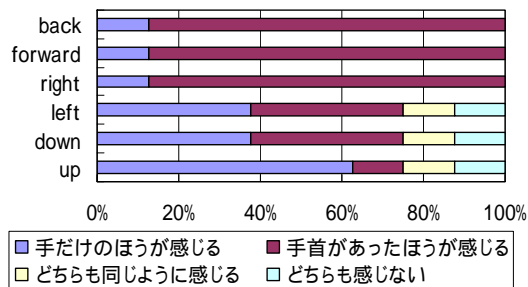


図4 手と手首の圧迫による力覚提示効果の比較(学会発表 予稿集より引用)

また、適切な圧迫箇所については試行錯誤的に圧迫場所を変えながら実験を行ったところ、前腕遠位部の圧迫が力覚提示に適していることがわかった。前腕遠位部の圧迫で力覚が生起される理由については、まだ明らかとはなっていない。筋電の計測および生起される力覚の経時変化により錯覚が生じるメカニズムの調査を行っている。

(3) 下肢圧迫による歩行感覚提示

予備実験により下肢を圧迫すると上肢と同じように力覚が得られることがわかった。そこで、リクライニング式の椅子にリラックスできる体勢で座り、腕の振りにあわせて、下肢を圧迫することで歩いている感覚を提示する装置を開発した。(図5参照)

被験者前方のスクリーンには、森の中の散歩道の映像を表示し、手の振りにあわせて、歩行速度を変化させる。また、手の振りに同期させて、支持脚の大腿と下腿を空気圧で圧迫し、遊脚は足裏に設置した空気袋で6cm持ち上げる。手の振りに同期させて圧迫と持ち上げ動作を左右の足で繰り返すことで、被験者に歩行感覚を提示する。

圧迫による生起する歩行感覚を確認するために、圧迫を行わずに足を持ち上げるだけの場合(条件1)と、足を持ち上げて下腿のみを圧迫する場合(条件2)と、足を持ち上げて大腿と下腿を圧迫する場合(条件3)の3つの条件で実験を行い、もっとも歩行感覚に近い条件をアンケート調査した。結果を図5に示す。下腿と大腿を同時に圧迫する条件3がもっとも歩行感覚に近いことがわかった。どのようなタイミングで圧迫するともっとも歩行感覚が得られるかを現在調査中である。

下肢の圧迫は血流改善効果も有する。そこで、上述した3つの条件のうち、どの条件がもっとも気持ちよかったを聞いた結果を図5に示す。平均すると脛脛と大腿を圧迫する条件がもっとも気持ち良いことがわかる。しかし、脛脛だけ圧迫したほうが気持ち良いと回答した被験者もいた。手首圧迫の実験と同様、圧迫により生じる感覚は被験者により異なるので、圧迫力の調整が必要と思われる。

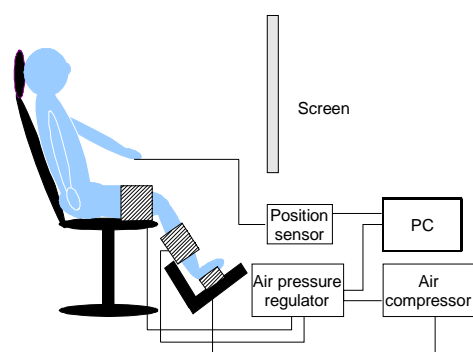


図4 下肢圧迫による歩行感覚提示装置(学会発表 予稿集より引用)

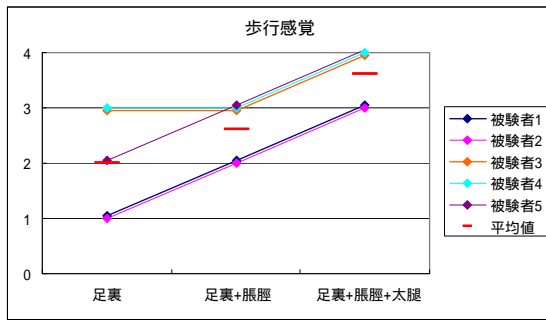


図5 圧迫条件による歩行感覚の比較
(学会発表 予稿集より引用)

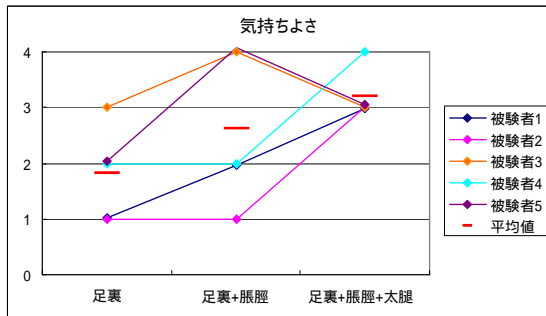


図6 圧迫条件による気持ちよさの比較
(学会発表 予稿集より引用)

〔雑誌論文〕(計1件)

満田隆, 手首圧迫による擬似力覚の提示,
日本バーチャルリアリティ学会論文誌,
Vol.12 No.4, pp.577-583, 2007, 査読有

〔学会発表〕(計3件)

満田隆, 松尾憲親, 手首締め付けによる擬似力覚提示, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P1-009, 2007年5月

満田隆, 手首と手掌圧迫による擬似力覚提示, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 2J2-1, 2008年12月

織田修平, 満田隆, 下肢圧迫による歩行感覚提示装置の開発, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 3B3-1, 2008年12月

6. 研究組織

(1) 研究代表者

満田 隆 (MITSUDA TAKASHI)
立命館大学・情報理工学部・教授
研究者番号: 30335591