

令和 4 年 8 月 30 日現在

機関番号：22604

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K21584

研究課題名（和文）支援機器・設備開発の在り方を変えるシルバーシミュレーション技術の創成

研究課題名（英文）Patient simulator of physical disabilities to innovate the research on assistive technologies

研究代表者

岡本 正吾（OKAMOTO, Shogo）

東京都立大学・システムデザイン研究科・准教授

研究者番号：10579064

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：健常者が疼痛を伴う関節症患者の動作を模擬するための方法として、想定される患部に経皮電流刺激を与えて、疼痛の代替刺激とする手法の有効性を確認した。電流刺激としてパルス刺激を使用し、動作中の関節モーメントに単調増加するように連続するパルスの提示間隔を膝モーメントに応じて操作した。刺激を受ける健常者は、関節に感じる電流刺激の強度を抑えるような動作をとるように指示を受けており、結果として疼痛と関連があるとされる関節モーメントが大きい動作を避けるようになった。具体的には、片側膝関節症患者を想定し、起立着座動作にこれを適用し、シミュレーションと実際の患者の動作に類似性を見出した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

関節症などを理由とする運動機能障がい者を支援・介助する機器を開発する際、疼痛を有する実際の患者が試験に参加して量的に十分なデータを供することは、倫理・安全面から許容されない。そこで、疼痛の代わりに健常者の皮膚に電流刺激を与え、健常者に疼痛患者の動作を模擬させるというシルバーシミュレーションを開発することが本研究の目的であり、片側膝関節症患者の典型的な起立着座動作を例にその手法と有効性を示すことに成功した。

研究成果の概要（英文）：As a method for a healthy person to simulate the movement of a patient with unilateral knee osteoarthritis, we developed a method to apply cutaneous current stimulation to the knee as an alternative stimulus for pain. A pulse stimulus was used as a current stimulus such that it monotonically increases with the knee joint moment during movements such as standing and sitting. The inter-pulse interval of the current stimulus was decreased as the knee moment increased. In experiments, healthy participants were instructed to take actions to avoid the intense current stimulus felt on the knee. As a result, they have avoided movements with large joint moments that are associated with pain. Specifically, we applied this experiment to the standing and sitting movements and found similarities between the simulation and the actual patient movements.

研究分野：ハプティクス・運動と感覚・支援システム

キーワード：膝 疼痛 起立着座 電流刺激 患者シミュレータ

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

関節症などを理由とする運動機能障がい者を支援・介助する機器を開発する際、疼痛を有する実際の患者が試験に参加して量的に十分なデータを供することは、倫理・安全面から許容されない。そのため健常被験者が代替として実験に参加しているが、疼痛を回避しようとする患者らの動作は、健常者とは大きく異なり、そのことが試験の妥当性を損なわせている。例えば、高齢者に圧倒的に多い膝関節症患者は日本国内だけでも 1,000 万人程に達し、彼らのための支援機械の開発と普及は国家的課題である。

本研究は、これまでにない発想として、疼痛の代わりに健常者の皮膚に電流刺激を与え、健常者に疼痛患者の動作を模擬させるというシルバーシミュレーションを創成する。患者であれば疼痛が生じるような動作を健常者が行えば、想定される患部付近に電流刺激が与えられ、健常実験参加者はこれを忌避するように動作することで、統制された動作模擬が実現する。これは、疼痛を避けるための患者特有の動作を模擬するための、現状では唯一の方法であり、多くの支援機器開発のプロセスを加速し、成功率を高め、機器の普及と利活用を促進させる変革のための技術となり得る。

### 2. 研究の目的

関節症などを理由とする運動機能障がい者の代わりに健常者が動作模擬を行うとき、想定される患部付近の皮膚に電流刺激を与え、健常者に患者の疼痛を回避するための動作を模擬させるというシルバーシミュレーションを開発することが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

片側膝関節症患者の動作を模擬するために、経皮電流刺激を膝部に与えて、疼痛の代替刺激とする手法の有効性を確認した。具体的には、1) 経皮電流刺激を印加する場所の検討、2) 電流刺激の強度を決定するための疼痛と関連する物理量の検討、3) 電流刺激を用いた起立・着座の動作模擬（シミュレーション）実験を実施した。

1)について、電流刺激が筋収縮を引き起こさないこと、経皮電流刺激が安定して知覚できることを条件に、膝内側部へ刺激を提示することとした。図 1 に電流刺激装置の装着イメージを示す。

2)について、文献調査をもとに、膝に加わるモーメントに単調増加するように電流刺激を提示する方法を検討した。パルス刺激を使用することとし、連続するパルスの提示間隔を膝モーメントに応じて操作する方法が適しているという結論に達した。他の方法では、例えば、電流によって本当に痛みが生じてしまう恐れがある。

3)について、疼痛の代替となる電流刺激を用いた動作シミュレーションを起立・着座動作に

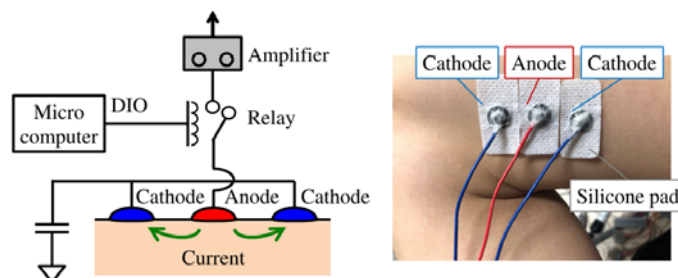


図 1 膝関節内側に経皮電流刺激を提示する装置。フォトリレー（スイッチの一種）を操作することで、皮膚に張られた電極間に電流を流した。陽極には、電圧アンプ（MHV12-470S06P, Bellnix Co., Ltd., Saitama, Japan, maximum current: 2 mA）を接続した。

適用した。実験の様子を図2に示す。実験参加者の片側膝に電流提示装置を装着した。両側の膝および足関節に、関節角度を計測するためのゴニオメータを装着し、両足の下には荷重計を設置した。関節角度および荷重は、膝関節モーメントを算出するために使用した。5名の健常者(大学生、いずれも以前に装置を体験したことがない)が実験に参加した。実験参加前に、装置を体験するトレーニングセッションを実施した。そのなか

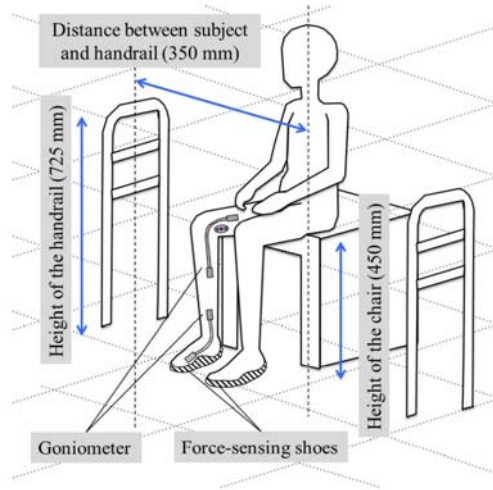


図2 片側膝関節症患者の起立着座動作をシミュレート

で、参加者らは、膝に加わる物理的負担に応じて電流刺激が加えられることおよび、それを避けるような動作に努めることを指示として受けた。電流刺激は痛みを伴うものではなく、警告刺激の役割を果たすことを伝えた。その後、本実験を実施した。各参加者は、電流刺激の有無の両条件において、起立・着座動作を10回繰り返した。

実験に際して、シルバーシミュレータの使用例として、膝関節症患者の手すりの位置に関する問題を取り扱った。片側膝関節症患者が起立・着座の際に手すりを使うとすれば、健側もしくは患側のいずれがよいのかが、往々にして議論される。これらの条件と手すりを使わない条件の合計3条件を比較することで、いずれの側に手すりを置くのが良いかを検証した。

#### 4. 研究成果

経皮電流刺激を用いた起立・着座実験の結果、動作速度や体重心の特徴について、健常者のシミュレーション動作と患者の動作の間に類似性を見出した。さらには、疼痛があると想定した片側の膝関節モーメントの動作中の最大値および積分値に着目し、これらを起立中と着座中のそれぞれにおいて、3種類の手すり条件(患側・健側・手すり無し)間で比較した。

統計的な比較の結果、どちらの側でも、手すりを使用することでモーメントの最大値と積分値の両方が有意に低下した。これらは、片側膝関節症患者の典型的な振舞として各種文献に報告されている(例えば, Turcot et al., Gait & Posture, 2012; Christiansen and Stevens-Lapsley, Arch. Phys. Med. Rehabil., 2010).

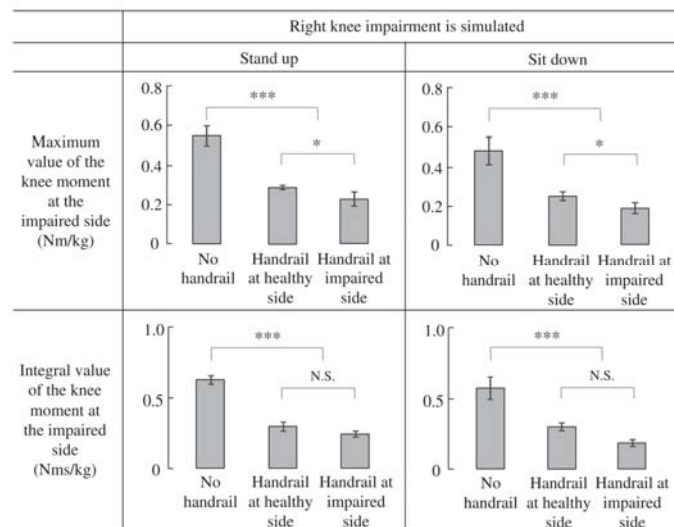


図3 患側と想定した膝関節に加わる最大モーメントの条件間での比較。\* および \*\*\* は有意確率  $p < 0.05$  および  $p < 0.001$  をそれぞれ意味する。

モーメントの最大値は、患側の手すりを使用した条件の方が、健側の手すりを使用した条件よりも有意に低下した。図3に結果の一部を示す。

患側に手すりを設置する方が、関節モーメントの最大値が低下した理由は次のとおりに推察される。疼痛のために患側に体重を掛けることができないとき、患側の手すりですこれを補うことができるため、患側に手すりを設置することが適切である。健側の手すりを使う場合は、体重の多くを健側の足と手すりです支持することとなり、体重心が支持基底面の端部に近づいて、姿勢が不安定になる。これを避けるために、健側の手すりに多くの体重を掛けることが自然と忌避され、結果として患側に加わる体重が期待したほど低減されなかったことが予想される。

このように、経皮電流刺激を疼痛の代替とする方法を提案し、適した刺激方法を開発した。効果検証のため、片側膝関節症患者の起立・着座動作を取りあげ、その結果の妥当性を示した。シルバーシミュレータの形態を提案・開発し、その効果を実証した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 9件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Iwasaki Tomoyuki, Okamoto Shogo, Akiyama Yasuhiro, Yamada Yoji	4. 巻 10
2. 論文標題 Gait Stability Index Built by Kinematic Information Consistent With the Margin of Stability Along the Mediolateral Direction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 52832 ~ 52839
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3175409	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 -
1. 著者名 Iwasaki Tomoyuki, Okamoto Shogo, Akiyama Yasuhiro, Yamada Yoji	4. 巻 8
2. 論文標題 Principal Motion Ellipsoids: Gait Variability Index Invariant With Gait Speed	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 213330 ~ 213339
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3041158	査読の有無 有
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 -
1. 著者名 Akiyama Yasuhiro, Kushida Ryota, Okamoto Shogo, Yamada Yoji	4. 巻 50
2. 論文標題 Characteristics of Recovery Motion Resulting From Side Contact With a Physical Assistant Robot Worn During Gait	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Human-Machine Systems	6. 最初と最後の頁 518 ~ 528
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/THMS.2020.3016098	査読の有無 有
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 -
1. 著者名 Iwasaki Tomoyuki, Okamoto Shogo, Akiyama Yasuhiro, Inagaki Takashi, Yamada Yoji	4. 巻 -
2. 論文標題 Walking motions with high margin-of-stability values	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Conference on Intelligence and Safety for Robotics	6. 最初と最後の頁 224-228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ISR50024.2021.9419382	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Iwasaki Tomoyuki, Okamoto Shogo, Akiyama Yasuhiro, Inagaki Takashi, Yamada Yoji	4. 巻 -
2. 論文標題 Kinematic gait stability index highly correlated with the margin of stability: Concept and interim report	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE/SICE International Symposium on System Integration	6. 最初と最後の頁 347-350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IEECONF49454.2021.9382779	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Kohei Yamakawa, Shogo Okamoto, Ryu Kubo, Naomi Yamada, Yasuhiro Akiyama, and Yoji Yamada	4. 巻 49(5)
2. 論文標題 Knee Pain Patient Simulation for Recommendation of Sit-to-Stand Handrail Positions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Human-Machine Systems	6. 最初と最後の頁 461-467
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/THMS.2019.2896487	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Takashi Inagaki, Shogo Okamoto, Tomoyuki Iwasaki, Yasuhiro Akiyama, and Yoji Yamada	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparison of gait variability and stability indices	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE Global Conference on Life Sciences and Technologies	6. 最初と最後の頁 72-74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/LifeTech48969.2020.1570617664	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Tomoyuki Iwasaki, Shogo Okamoto, Yasuhiro Akiyama, and Yoji Yamada	4. 巻 -
2. 論文標題 Principal motion ellipsoids: Gait variability index based on principal motion analysis	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE/SICE International Symposium on System Integrations	6. 最初と最後の頁 489-494
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SII46433.2020.9026296	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Chongyang Qiu, Shogo Okamoto, Yasuhiro Akiyama, and Yoji Yamada	4. 巻 -
2. 論文標題 Lower-limb moments during sit-to-stand movement with different handrail grip position and trunk tilt angle	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE/SICE International Symposium on System Integrations	6. 最初と最後の頁 305-310
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/SII46433.2020.9026230	査読の有無 有
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 -

1. 著者名 Tomoyuki Iwasaki, Shogo Okamoto, Yasuhiro Akiyama, and Yoji Ymada	4. 巻 -
2. 論文標題 Generalized principal motion analysis: Classification of sit-to-stand motions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE Global Conference on Consumer Electronics	6. 最初と最後の頁 679-681
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/GCCE46687.2019.9015482	査読の有無 有
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1件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 山川 航平、岡本 正吾、山田 南欧美、秋山 靖博、山田 陽滋
2. 発表標題 警告的電気刺激を利用した膝関節症患者のシ ルバーシミュレーション
3. 学会等名 第36回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>東京都立大学 人間情報学研究チームのホームページ  <a href="https://www.comp.sd.tmu.ac.jp/hci/index.html">https://www.comp.sd.tmu.ac.jp/hci/index.html</a>          岡本正吾のホームページ (名古屋大学)  <a href="http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/ja/member/shogo_okamoto/">http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/ja/member/shogo_okamoto/</a>          支援ロボティクス研究グループのホームページ  <a href="http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/">http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/</a></p>
--

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------