

令和 2 年 7 月 7 日現在

機関番号：12612

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18091

研究課題名（和文）足裏への温度提示による無意識の立位調節機序の解明とリハビリテーションへの応用

研究課題名（英文）Investigation of the mechanism of unconscious positional control by temperature presentation to the sole of the foot and its application to rehabilitation

研究代表者

渡辺 亮（Watanabe, Ryo）

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・特任研究員

研究者番号：30808861

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000 円

研究成果の概要（和文）：申請者はこれまでの研究で、無意識的な運動調節に温痛覚が寄与することを示唆した。本研究はこれを立位姿勢の制御へ応用し、簡便で負担の少ないリハビリテーションが実施されることを目的とした。重心制御を行うにあたり、温度刺激を足裏に提示する手法を採用している。フォースプレート、ペルチエ素子を用いた自作の温度刺激装置を作成し、足裏への温度刺激と重心の計測を同時に行なってきた。これに加えて、筋電位計測をシステムに追加した。被験者の脚部に装着した筋電位計から、姿勢変化時の筋活動を計測可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

温度刺激装置と重心動揺計、筋電位計を組み合わせたシステムを作成し、足裏への温度刺激と重心・筋活動の関係を検証している。温度提示による姿勢調節のメカニズム解明にあたり、姿勢変化に伴い身体の中のどの筋肉が使用されるのかは重要な手掛かりとなるはずである。今後の実験で温度・筋活動間の関係が明らかとなれば、効率的な機能回復のために特定の筋を重点的に活動させるということも可能となる。

研究成果の概要（英文）：In my study, I suggested the contribution of warm pain perception to unconscious motor regulation. The purpose of this study is to apply the control of standing posture to make rehabilitation easier and less burdensome. The following are some of the things that can be done. In order to control the center of gravity, we adopt a method to present temperature stimuli to the feet. We made a home-made temperature stimulator with a force plate and Peltier devices. The measurement of the center of gravity has been done at the same time. Muscle potential measurement was added to the system. A muscle activity can be measured by a muscle potentiometer attached to the subject's leg during a posture change.

研究分野：触覚

キーワード：温度感覚 触覚

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

これまで申請者は温度感覚に関する研究を多く行ってきたが、その中でも温度変化によって触力覚を生じる現象についての研究は最も長く関わってきたもののひとつである。当初はバーチャルリアリティ分野への応用を考え、足裏に温度提示を行うことで地面の傾きや凹凸感を表現することを考えていた。しかし国立リハビリテーションセンター研究所との共同研究中に温度感覚と把持力調節の関係を解明する中で、自分がかつて行った足裏温度提示でも温度調節が行われるのだろうかと考えた。おそらくこれは人間の運動調整全般に関わる性質であり、把持力はその1つが現れたに過ぎないという推測を行い、足裏ではどのようなのかを考えた。把持においては温度の上昇につれて把持力が減少する傾向がみられた。ここから推測して、足裏でも加熱した部分にかかる荷重が小さくなるように、つまり重心が加熱側と反対方向に動くであろうと考え、予備実験の結果その仮説が正しいことを示唆する動きがみられた。共同研究中には立位・歩行バランスのリハビリテーション研究に触れる機会も多く、自らの研究でこの分野に貢献しようというモチベーションを得た。そこで申請者はこの温度と姿勢の関係を立位リハビリへ応用することを考えた。

2. 研究の目的

人間にとって自らの足で立ち、その姿勢を保持することは最も基本的で、また日常生活に不可欠な動作の1つである。しかし疾病や高齢化等、正常な立位を保つことを妨げるものは多く、現在まで大きな問題であり続けている。パーキンソン病や脊椎損傷のように神経活動が阻害されることで起きるもの、長期臥床等による廃用症候群や高齢化のように身体機能が衰えたことによるもの等、その原因となる疾病は様々である。こうした姿勢調節能力を回復するために運動によるリハビリテーション(理学療法)が試みられている。各々の疾病について国や機関でどのような運動を行うことが望ましいのか、ガイドラインが発行されている。こうしたガイドライン上ではリハビリテーション効果に根拠が示されていないものも多いが、一方研究論文レベルでは立位バランスを含めた身体機能の回復が報告されており、その有効性が示されているといえる。こうしたリハビリテーションは患者自身も課題や指示に対して努力することが求められる。また、これらのリハビリテーションは長期間に渡り行われるものであり、患者にかかる肉体的・精神的負担を考えた場合、提示される課題・教示は極力難易度の低いものであることが望ましいが、患者が訓練意欲を失ったことによりリハビリテーションを休止または中止するケースもある。特に長期臥床を伴う疾病の場合、運動機能のみならず訓練意欲が減退する廃用症候群を呈するためその危険性は大きくなる。

一方で近年の研究は温度覚や痛覚が人間の運動制御に関係することを示唆している。これまで把持力調節には触力覚が寄与することが知られていたが、温痛覚の寄与は考えられてこなかった。Kawashimaらは先天的に温痛覚を脱出した無痛無汗症(CIPA)患者の把持力調節の異常からこれら2感覚が無意識的な運動制御へ関与することを示唆し、この知見に基づいて申請者は、人間の把持力の調節が無意識的に、温度の変化に伴い動的に変化することを示した。具体的には健常者群では把持指に提示された温度と把持力間に負の相関、つまり温度が上昇した際に把持力が減少し、反対に温度が下降した際に把持力が増加する傾向がみられたのに対し、温痛覚をもたないCIPA群では相関が見られなかった。触力覚の受容器活動は温度により変化することが知られており、把持力と温度の間に見られた相関の原因をここに求めることは一見妥当である。しかしCIPAは温痛覚とその伝達神経の脱出にもかかわらず、申請者が上記の実験で用いた被験者も含めた大半の患者には触力覚の伝達神経および受容器には全く異常がない。把持力の変化の原因が触力覚受容器にあるとすればCIPAにも健常群と同様の相関がみられなければならないはずである。このことから、温痛覚とその伝達神経が把持力の調整に関与することが示された。

この結果は一面では、人間の温度知覚を主観的な回答に依存せず、把持力の変化という客観的な形で表すことができる可能性が大きいことを示している。無意識的な運動調節が温痛覚のサインとなるのであれば、検診やリハビリの現場で温度、痛みを評価する際の指標としての運用が期待できるであろう。しかし申請者が注目したのはこの結果が示すもう一方の面、つまり提示する温度パタンのデザインによって人間の運動調節が誘発される点である。把持動作の場合に提示温度の変化が無意識的に把持力変化を誘発したように、足裏への温度提示によって立位姿勢の調節が可能であると考えた。足裏への温度提示によって姿勢を安定させるような運動調節が無意識に行われるのであれば、この運動をリハビリテーションとして利用できると考えた。無意識に運動が行われるならば患者自身が意図的に課題をこなさずとも、温度提示装置の上に立っているだけでリハビリテーション効果が見込めるということであり、一般的なりハビリテーションに比して患者にかかる肉体的・精神的負担は非常に小さくなることが容易に予想される。本申請は足裏に温度を提示することによる立位姿勢の調節機序解明と、それを応用した立位リハビリテーション手法の確立を目的とする。

3. 研究の方法

本申請は温痛覚と運動制御の関係性を解明し、これを応用した立位リハビリテーション手法の礎を築くものである。申請者はこれまでの研究で無意識に出力された運動が、温痛覚の生起を知る手がかりとなることを示してきた。一方で温痛覚・運動制御間の関係は、提示する温度パターンによって誘発される人間の運動を制御できることも示している。申請者はこれまでの研究で、

人間の把持力調節が無意識的に、温度の変化に伴い動的に変化することを示した。この結果は「拇指、示指の2指を用いた把持動作」という条件のもと得られた知見である。したがって、本申請で行う「足裏への温度提示」が姿勢に与える影響を検証することが必要となる。

足裏温度提示による姿勢変化をリハビリテーションに応用するにあたってひとつの方針は、重心の動揺を増減する方法である。たとえば重心動揺リアルタイムフィードバックシステムBASYS(テック技販)は足の接地したプレートを人間が乗ったまま移動させることで、人間の知覚にのぼらないレベルでの重心動揺の増幅・減衰を行い、立位姿勢調節における随意・反射調節のバランスを合目的的に調整することを試みている。これまでの予備実験では、足裏の前足部を過熱した際に重心が後に、後半分を過熱した際に重心が前に傾く傾向が見られた。この傾向の通りに制御が可能であれば、BASYSのような重心動揺の増減は十分可能であると考えた。

4. 研究成果

以下に構築したシステムの概要について説明する。重心動揺計の上部に、自作の温度提示装置を増設する。装置の最上部、足裏が接触する温度提示面にはペルチェ素子を敷き詰め、その下部には冷却用の放熱板とファンを配置する。ペルチェ素子は印加する電流量の制御により加熱・冷却が可能な電子素子であり、温度を提示する素子としては一般的なものである。ペルチェ素子の提示温度はマイコン制御され、高速に変化することが可能である。配置された各ペルチェ素子はそれぞれ異なる温度を提示することが可能であり、足裏に提示する温度パターンを変化した際の姿勢変化を検証する。先述した把持力や足の予備実験の結果から、加熱された部位から遠ざかるように重心が移動することが予測されている。その際の具体的な移動方向や移動速度、それらのばらつきについては今後詳細に検証しなければならない。方向は制御の精密さに、速度は応答性に大きく関わる。温度提示による姿勢調節のメカニズム解明の一端として、姿勢変化に伴い身体の中の筋肉が使用されているのか筋電位計を用いて検証可能である。姿勢調節の際にどの筋が活動し負荷がかかっているかを知ることが、具体的なリハビリテーションの効果を予測することにも有用であろう。温度提示と筋活動間の関係が明らかとなれば、効率的に身体機能を回復するために特定の筋を重点的に活動させることも可能となる。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----