

氏名(本籍)	いのうえ ひろあき 井上 拓晃 (長野県)
学位の種類	博士(工学)
学位記番号	甲第 1号
学位授与の日付	平成27年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
学位論文題目	生体情報に基づく身体的負担の計測手法に関する基礎研究
論文審査委員	(主査) 教授 松江英明 教授 大島政英 教授 須川修身 教授 奈良松範 准教授 市川純章 教授 下条 誠 (電気通信大学)

論文内容の要旨

論文要旨

第1章では、本研究の目的と背景について述べた。日本及び先進国において少子高齢化が急速に進行し、高齢者介護の負担は大変大きな社会問題となっている。このことは、介護従事者のほとんどが腰痛を経験している点からみても明らかである。介護作業の負担を軽減する為にも、福祉機器の研究・開発が盛んに行われている。しかし福祉機器の評価において、現在では耐久性・安定性や一部の操作性に限られ、機器の使いやすさや有用性といった点に関する定量的な評価はほとんど行われていない。本研究の目的は、定量的な福祉機器の使いやすさや有用性に関する評価手法を確立することとし、ヒトの感じる負荷・疲労の計測を脳活動計測データの活用を試みた。

第2章では、筋電計測、3次元動作計測、脳活動計測の計測原理について述べた。本論文では脳活動計測装置としてNIRS (Near Infra Red Spectroscopy) を選定した。NIRSは近赤外光を用いて非侵襲で脳活動を計測できる装置である。本論文では、介護に伴う動作中の脳活動計測を行うため、NIRSを用いた脳活動計測が可能であるかを実験に基づき検証した。結果、NIRSを用いた脳活動計測が有用であることを確かめた。

第3章では、生体信号とNIRSを用いた脳活動の計測および解析の手法について検討し、その妥当性について述べる。着座位で上肢の運動を伴う認知動作として、自動車運転中の脳活動を計測する実験を行った。特に、自動車運転中において認知判断が必要となる、交差点での右左折時の脳活動を計測・解析した。交差点において、ヒトは周辺の状況や標識や進行方向の確認など様々な認知行動を行っている。ここで、運転方向の認知判断に関わる脳活動以外の要素を取り除く手法についても言及し、本研究における脳活動データの解析手法を検証し、計測および解析手法を確立した。

第4章では、上記の計測・解析手法を用いて、脳活動計測データに基づき、ヒトが感じる負荷・疲労の定量化のための実験について述べる。対象とした動作は、日常生活動作であり、介護において重要である立ち座り動作とした。実験は、椅子から「立ち上がる」、また「座る」の動作を1回の試行とし、一定の速度で10秒間に30回繰返してもらった。動作の前後には安静時間を10秒間

設けている。評価基準をもけるために、被験者は健常な20代成人男性とした。NIRSのデータの検定には一標本t検定を用いた。具体的には、1試行目の安静時とその後の2試行目以降の安静時の脳活動データにより検定を行った。結果、立ち座り動作を繰り返すと前頭前野10野付近において統計的有意差が見られた。これらの統計的有意差の見られる部位は被験者が課題を試行回数約10回目程度から見られた。このことから、運動時の負担や疲労を脳活動で計測できる見込みを確認できた。

第5章では、ヒトの感じる負担・疲労を尺度化するために、被験者に重りを背負わせて、追加の負荷を課した際の脳活動及び生体信号の計測を行った。これにより、負荷と脳活動の関連性を探り、ヒトの感じる負担・疲労の尺度化を試みた。第4章と同様の検定を行ったところ、統計的有意差の見られる箇所が広範囲になること分かり、尺度化の可能性を見出せた。

第6章では、福祉機器の有用性評価に関して第4章、第5章での結果から考察を行い、結言を述べた。第4章、第5章では、頭蓋外の血流の影響が少ない立ち座り動作前後の脳血流をサンプルに一標本t検定を行った。またヘモグロビンの濃度長変化では運動を被験者が終えると共通した血流変化がみられる傾向があった。これらの結果と被験者が行った動作との関係性を調べ、ヒトの感じる負担・疲労の尺度化に関して考察を行った。以上の結果は、福祉機器の有用性の評価のために、脳活動計測の有用性を示唆するものであると結論付けるものである。

論文審査の結果の要旨

(論文審査の要旨)

本論文は、従来の計測手法に脳活動計測を新たに追加することによって、車いすの操作に類似した動作として「自動車運転動作」と生活動作である「立ち座り動作」を伴う身体的負担を計測することが可能な新たな計測手法を提案し、その有用性を実証している。この新たな提案手法を用いることで、身体的負担における物理的な負荷のみを主に計測していた従来手法に対し、脳活動計測データを用いることによって得られる計測結果から、物理的な負荷のみならず生理的且つ心理的な負荷を計測できる可能性も示している。本研究成果を基に、更なる研鑽を積み重ね行くことにより、製品の使いやすさや有用性について評価を行い、将来的には安全かつ使いやすい製品の設計・開発が可能となる。特に本研究成果は、高齢者や障害をもつ人々の為の福祉機器、介護機器および医療機器の設計・開発に強く期待される。

本論文は、全5章から構成されている。

第1章では、本研究の背景として日本のモノづくりにおける現状について使いやすい製品の開発、製品におけるヒトの特性への配慮の重要性などから、従来行われてきた調査・研究について概説し、本研究の目的と重要性について述べた。

第2章では、「製品設計・開発における課題」、「ユニバーサルデザインの観点」そして、「少子高齢化による課題」について述べた。その中で、NIRSの計測原理、脳活動計測に関する計測機器、身体的負担や疲労における先行研究及び筋疲労について述べ、特にNIRSについては計測原理の不確らしさを示した。具体的には、主に以下2つの課題がある。

① NIRS の計測原理において、計測に用いる近赤外光の光路長を計測できないため、ヘモグロビン濃度変化を正確に算出できない。

② 動作を伴う脳活動計測においては、動作による血流変化が頭蓋骨外の頭皮部に大きく生じるため、NIRS の計測結果にノイズとして影響を与える。

上記の課題に対応し、従来計測手法を改良することによって、動作を伴う運動動作中における脳活動を計測することを可能とするために必要となる現状の知見について述べている。

第 3 章では、逐次空間情報が変化する周辺状況に対して、運動時の認知・判断・決定を求められる自動車運転を行っている際の脳活動計測を行い、認知活動による脳活動が計測できるか検証した。運動動作は、周辺の状況を見る首や眼球、運転操作を行うペダル操作やハンドル操作といった動作を伴う行為である。NIRS の計測において身体の動作は頭蓋骨外の血流変化を引き起こすノイズであり、できるだけ体を動かさない静的な状態での計測を行うことが一般的であった。本研究においては、一連の動作中における脳活動計測データから特定の 2 か所のデータを切り出し、その差分をとることで大きくノイズを低減し、さらにその 2 か所のデータを用いて一標本 t 検定という統計的手法を採用することによって、NIRS の計測結果に対して動作により生ずるノイズが重畳されたデータを用いても、ノイズの除去が可能のため正確に計測が行えることを明らかにした。

第 4 章では、移乗動作に関連の深い生活動作である「立ち座り動作」を対象として実験を行った。はじめに従来手法である筋電位計測及び 3 次元動作解析によって、「立ち座り動作」における身体的負担を定量的に計測した。その結果、軽度な負担である 10 回程度の「立ち座り動作」においても、身体的負担が増加していることを計測出来た。さらに、「立ち座り動作」を行っている際の脳活動計測を行った。具体的には、第 3 章において提案した手法である、一連の動作中における脳活動計測データから特定の 2 か所のデータを切り出し、その差分をとることで大きくノイズを低減し、その 2 か所のデータを用いて一標本 t 検定という統計的手法を用いて立ち座り動作により生ずるノイズが重畳されたデータを用いても、正確に計測が行えることを明らかにした。また、第 3 章と同様の計測手法において、データの切り出し方を工夫することによって身体的負担の変化の計測を試みた。「立ち座り動作」の試行回数の増加に伴う脳活動計測データにおける一標本 t 検定を用いることにより、身体的負担の増加に対応し脳活動の変化において有意な差を確認することが出来た。このことは、従来手法である筋電位計測及び 3 次元動作解析手法を用いることによって計測された動作による身体的負担の増加を脳活動計測データの変化と一致していることから本提案手法である脳活動を用いた計測手法の妥当性を確認した。今後は、被験者数を追加すると共に「立ち座り動作」以外の生活動作における脳活動計測を行い、提案した計測・解析手法の妥当性について検証を行い、その検証結果から本提案手法の改良を行う必要がある。

以上のように、本論文は、医用・生体に関する工学的アプローチによって、限定的ではあるが動作を伴うヒトの身体的負担を定量的な計測手法の開発に成功した。この成果は、ヒトの住環境における製品開発のみならず、医療、福祉および介護分野における機器開発に対して、ヒトへの適合性指標を提言するものであり、個別化や高付加価値などが強く求められる現状市場に対応した新たな製品開発に大きく寄与するものであり、高く評価できるものである。

よって、本論文は、博士（工学）の論文として、十分価値あるものと認められる。