

平成 30 年 6 月 1 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K05916

研究課題名(和文) 逆運動学の不良設定問題に基づく小型ジャイロセンサを用いた介護姿勢の計測と評価

研究課題名(英文) Measurement and evaluation of care postures using small gyro sensors based on the ill-conditioned problem of the inverse kinematics.

研究代表者

横川 隆一 (YOKOGAWA, RYUICHI)

同志社大学・生命医科学部・教授

研究者番号：70220548

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、介護者の姿勢を簡便に計測して介護姿勢の特徴を数値で表し、その姿勢の良し・悪しを判定するシステムを開発することである。作業は、車椅子移乗でした。作業手順を考慮して、腰部、および上体に装着した小型ワイアレスモーションセンサの計測から介護者の姿勢を推定・評価した。USBカメラで撮影された映像からも確認し学習できるシステムとなった。本システムの性能をモーションキャプチャーによって確認した。介護士および大学研究室の学生を被験者とする介護作業の模擬実験により、開発したシステムの有効性を示すことができた。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present study is to develop the convenient system by which we can measure and evaluate caregiver's postures. In the system, characteristics of the postures are represented as values of the measure. The caregiver's task is to transfer a person requiring care from the wheelchair to the bed and vice-versa. We can evaluate the postures of the caregiver more easily with the caregiving process than without it by using simple motion sensors which are attached on the upper body and lower back of the caregiver. The caregiver can modify his/her postures by checking out a video taken with a USB camera. The performance of the system was evaluated using a motion capture system. The results of the simulations, in which caregivers participated, indicated that the system was effective to reduce the load on caregivers' lumbar part.

研究分野：知能機械学・機械システム

キーワード：介護支援 姿勢計測 腰痛防止 運動学 ロボティクス

1. 研究開始当初の背景

(1) 高齢化が進む中、介護施設での人手不足が深刻化している。その理由の一つに、介護作業、特に、車椅子移乗作業(ベッドサイドから車椅子へ移乗させる行為または、その逆の行為)が重労働で、介護職の初心者の多くが腰痛を経験していることがあげられた。

(2) 介護現場への機械化・ロボット化は進んでいない。その普及には、簡便・低コスト化が求められる。作業者の身体能力を十分に生かし、ロボットによる補助機能を選別・簡素化する必要がある。

(3) 腰痛対策として、腰痛防止用ベルトが広く製品化されているが、ベルトが運動を過度に補助することで、作業者の筋力を低下させるなどの弊害が危惧されている。作業者の筋力を維持するとともに、作業者自身の運動能力を十分に生かす必要がある。しかし、運動能力は、作業者自身で把握することは難しい。個人差も非常に大きい。日々の作業者の作業姿勢を簡便に計測し、その計測結果から運動能力を客観的に評価する必要がある。

(4) 介護におけるボディメカニクスを取り入れた教育では、介護姿勢の運動計測が提案されている。しかし、カメラを用いた計測では、身体にマーカを添付する必要があるが、介護の教育・訓練では利用できるが、日常の介護で、手軽に用いることが難しい。一方、これまでの加速度センサを用いた簡単な計測システムでは、姿勢が良いか悪いかを判定することしかできていない。

2. 研究の目的

(1) 在宅でも使用できるコンパクトで軽量のセンサを用いて、介護作業中の腰部屈曲角度などの身体運動情報を簡易的に測定し、腰部の作業姿勢の良し・悪しを評価することで腰痛の原因となる腰部の過屈曲、過伸展などの過度の運動を防止し、介護者に腰部負担が軽減された作業姿勢を教示できるシステムを開発する。

(2) 作業は、介護動作における車椅子移乗作業(ベッドサイドから車椅子へ移乗させる行為または、その逆の行為)とする。

(3) 小型ワイアレスジャイロセンサで介護姿勢の評価を行うシステムを構築する。

3. 研究の方法

(1) 本研究については、同志社大学「人を対象とする研究」に関する倫理審査委員会による承認を得て実施している。被験者には本研究の目的と内容についての説明を行い、十分な理解の上で実験参加の承諾を得た。

(2) 車椅子からベッドへの移乗作業は、1. 車



1. 車椅子に座位した要介護者の脇に腕を入れ抱き起こす。



2. 抱きかかえながら回転し、ベッドに着座させる。



3. 要介護者の肩および膝を支持する。



4. 下肢をベッドに上げ・仰向けに寝かせる。

図1 車椅子からベッドへの移乗作業の例

椅子に座位した要介護者の脇に腕を入れ抱き起こす作業、2. 抱きかかえながら回転し、ベッドに着座させる作業、3. 要介護者の肩および膝を支持する作業そして、4. 下肢をベッドに上げ・仰臥位にさせる作業の4つの作業区間に分けられた。ベッドから車椅子への移乗作業は、1. 要介護者の肩および膝を支持しながら座位にさせる作業、2. 要介護者の背中を支持して抱き起こす作業そして、3. 抱きかかえながら回転し、車椅子に着座させる作業の3つの作業区間に分けられた。

(3) 小型かつ軽量であるワイヤレスモーションセンサ (ZMP 社製 IMU-Z2(計測範囲は $\pm 2000\text{deg./s}$ 、分解能は 1.12deg./s 、サンプリングレートは 100Hz 、大きさ・重さは、 $36 \times 52 \times 11\text{mm}$ 、 20g)、ATR - Promotions 社製 TSND121 (計測範囲は $\pm 2000\text{deg./s}$ 、分解能は 0.01deg./s 、サンプリングレートは 100Hz 、大きさ・重さは、 $37 \times 46 \times 12\text{mm}$ 、 22g) を被験者の第 12 胸椎棘突起 (センサ 1) と第 2 仙椎 (センサ 2) に固定した。骨盤の皮膚表面から触れて確認できる椎骨が第 2 仙椎であり、第 2 仙椎から見て鉛直線上の椎骨が第 12 胸椎棘突起である。センサの測定した角速度の積分値から、角度を算出した。測定開始直後に、被験者には 5 秒間静止してもらい、静止状態時の角速度の平均を求め、測定値から減算することによって、ドリフトによる誤差を推定し、誤差の軽減を図った。移乗介護作業の計測に先立って、モーションセンサの計測精度を評価するため、モーションキャプチャ・システム (ノビテック社製 VENUS3D N-250) を用いた。被験者は健常な成人男性 1 名 (身長: 168cm 、体重 62kg 、年齢: 22 歳) であった。被験者の前屈運動中に、10 台の赤外線カメラで測定された第 12 胸椎棘突起、第 2 仙椎、そして左右大転子の 4 点のマーカの相対位置より被験者の姿勢を求めた。1 回の前屈運動を 1 試行とした。前屈運動は、上体の前方への屈曲と伸展の往復運動とした。5 試行を行い、同時に計測したモーションキャプチャ・システムとワイヤレスモーションセンサの相対角度の比較を行った。相対角度における最大屈曲時のモーションキャプチャ・システムとワイヤレスモーションセンサとの最大の角度差は 7.98deg. であり、最少の角度差は 0.01deg. であった。モーションキャプチャ・システムとワイヤレスモーションセンサによる最大屈曲時の相対角度を有意水準 0.05 で 2 サンプル t 検定を行った。相対角度において有意差は見られなかった。

(4) 被験者が腰椎を屈曲するとき、腰部の運動をコルセット (日本シグマックス株式会社製 ザムスト ZW-5) で制限することで、コルセットからの抑制力を被験者は受ける。被験者はその抑制力を触覚・力覚として感じることで、腰椎の屈曲を抑えた作業姿勢・運動を体感することができるので、正しい作業姿勢の教示が行えるものと考えた。また、パソコンの USB カメラで撮影された作業の映像を作業後すぐに確認することができるので、どの作業姿勢で過屈曲となったかを計測データおよび映像から被験者に教示することが可能となった。

(5) 腰部負担の軽減された姿勢としたコルセット装着時の計測データから設定した閾値を用いて相対角度の 3 段階評価を行った。相対角度を 3 段階に評価するための閾値 1、閾値 2 を分割した作業ごとに決定した。コルセ

ット装着時のデータは、試行を 3 回行った内の閾値が最も小さく設定できる 1 試行のデータを用いた。

(6) 移乗介護動作における計測・解析システム評価実験において、介護者は、移乗介護作業の経験のない健常な成人男性 6 名 (身長: $173 \pm 6.5\text{cm}$ 、体重 $62.6 \pm 1.7\text{kg}$ 、年齢: 22 ± 1 歳) および勤続年数 10 年以上の熟練介護士 1 名 (年齢 36 歳、身長 157cm) と勤続年数 1 年未満の経験の浅い介護士 1 名 (年齢 38 歳、身長 151cm) であった。要介護者には、全介護を必要とする方を想定して、実験中は脱力してもらった。一般的な介護用ベッドの高さは 600mm であり、その介護用ベッドを想定して 600mm の台を用いた。また、車椅子として高さ 475mm の丸椅子を用意した。車椅子からベッドへの移乗作業では、車椅子に着座する要介護者から見て右側にベッドを設置し、ベッドから車椅子への移乗作業では、車椅子に着座する要介護者から見て左側にベッドを設置した。ベッドと丸椅子の周囲に 10 台の赤外線カメラを設置し計測を行った。本実験では、第 12 胸椎棘突起、第 2 仙椎、左右大転子の 4 点のマーカを用いて相対角度を算出した。モーションキャプチャ・システムの計測データは、作業区間ごとの腰部の最大屈曲時を求め、最大屈曲をコルセット装着時と未装着時と比較するために用いた。介護動作は、車椅子からベッド、ベッドから車椅子への移乗を合わせて行い、これを 1 試行とした。

(7) ワイヤレス筋電計測システムおよび 6 軸力覚センサを用いて下肢筋の働きを計測し、その計測結果を姿勢評価に適用できるのかを検討した。姿勢評価の検証には有効であるが、システムの簡素化のため姿勢計測・評価システムへは組み込まないこととした。

4. 研究成果

(1) 計測結果から車椅子からベッドへの移乗介護作業では、4 つの作業区間の中でも区間 1 におけるコルセット装着時と未装着時の腰部屈曲角度差が大きくなった。要介護者の抱き起し時に、介護者が下肢を屈曲させることにより腰部の過屈曲を防止することにつながることを示された。ベッドから車椅子への移乗介護作業でも同様に、抱き起し時に下肢を屈曲させることが腰部負担防止につながることを示された。開発した解析システムを用いることで、被験者自身が、腰部負担のある動作をどの作業区間で行っていったか、そして腰部負担ありと評価された理由を理解することができるので、腰部屈曲角度の 3 段階評価は介護者が腰部負担の少ない姿勢を意識する上で有効であることが示された。

(2) コルセットの装着は腰部の動きを抑制し、腰部よりも股関節を回転することで腰部の屈曲が小さくなるため、腰部への負荷を軽減

することに効果的であると考えられる。

(3) コルセットを装着しない状態で、腰部をできるだけ屈曲させないように被験者に指導したとき、指導をしなかったときよりも1試行目は腰部屈曲角度が小さくなった。しかし、試行を重ねるごとに腰部屈曲角度は増加した。この結果から指導を行っただけでは腰部に負担のかからない動作を習得することは難しく、長期間の訓練が必要であると言える。指導を行っただけでは、介護者にとって、どのような姿勢をとれば腰部へ負担をかけないのかを理解し難いことがわかった。

(4) 熟練介護士については、教示後連続して作業を行うと、教示前の作業姿勢に戻っていく傾向が見られたことから、作業姿勢を改善するためには、定期的に教示を行う必要がある。経験の浅い介護士については、教示後、改善された介護姿勢が維持される傾向にあったため、本システムは若手介護士の教育を目的とした使用においても有用であることが示された。

(5) 簡易的に介護動作の解析を行うために軽量かつコンパクトなワイヤレスモーションセンサを使用した作業姿勢計測および姿勢改善補助システムはこれまでも他の研究者によって提案されている。しかし、腰部に負荷がかかった作業姿勢を警告するのみに止まっており、腰痛防止に有効な作業姿勢の教示までは行なわれていない。従来から腰椎の姿勢維持および過度な屈曲の抑制にはコルセットの着用が有効であると考えられているが、コルセット装着による腰痛防止効果については一定の見解が得られていない。さらに、継続的なコルセットの着用は筋力低下を生じさせる危険性が指摘されている。本研究では、介護者の身体の運動能力の違いを考慮して、腰部の負担が軽減される一つの最適姿勢を設定するためにコルセットを利用し、ワイヤレスモーションセンサによる計測と組み合わせることにより介護者自身が腰痛防止効果の高い作業姿勢を習得できる方法を提案した。

(6) 特定の作業では作業手順が決められており、時系列での作業状態の推移は、付加条件として運動解析に利用することができる。さらに、作業者の上体、腰部、および下肢の身体的な拘束条件も利用できる。それらの条件を考慮することで、作業者の姿勢を推定した。研究計画では、作業者の姿勢推定に階層型ニューラルネットワークを適用することとした。しかし、ニューラルネットワークによる姿勢評価の計算機シミュレーションを行った結果、実作業における評価精度を考慮すると、作業姿勢の運動学的な拘束条件だけで、十分に姿勢の評価を行うことができた。

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0件)

[学会発表](計5件)

谷口允紀、積際徹、横川隆一、T字杖、四脚杖、ロフトランド杖を用いた歩容および下肢関節に関する解析、第35回日本ロボット学会 学術講演会、2017

清水康隆、積際徹、横川隆一、起立支援における被介護者の起立動作特性、日本機械学会 第29回バイオエンジニアリング講演会、2017

足立梨絵、積際徹、横川隆一、一輪型運搬支援機に搭載する電動ブレーキ機構の開発、日本機械学会 第29回バイオエンジニアリング講演会、2017

中坊将士、積際徹、横川隆一、介助動作における腰部屈曲角度の計測および作業姿勢評価システムの開発、IEEE Metro Area Workshop in Kansai、2016

中坊将士、積際徹、横川隆一、介助動作における腰部屈曲角度の計測・解析システムの開発、ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015、2015

6. 研究組織

(1) 研究代表者

横川 隆一 (YOKOGAWA, Ryuichi)

同志社大学・生命医科学部・教授

研究者番号：70220548