

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：82404

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H03564

研究課題名(和文) 車いす利用者の上肢運動が皮膚へのせん断荷重に与える影響のモデル化

研究課題名(英文) Simulation analysis of shearing load on hip-skin of wheelchair users and the movement of their upper limbs

研究代表者

中山 剛 (Tsuyoshi, Nakayama)

国立障害者リハビリテーションセンター(研究所)・研究所 障害工学研究部・研究室長

研究者番号：90370874

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 11,600,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では動力学シミュレーション技術を用いることで、車いす上での様々な動作中に身体にかかる負荷(皮膚に掛かる荷重でせん断方向も含む)を定量化することで、動作中による褥瘡リスクの定量化を目標とした。「車いすを漕いでいる際の車いす座面上のずれ力の計測」「運動解析とモデル構築」「ダイナミクスシミュレータを用いたシミュレーションモデルの構築」等を実施した。実測から得られた座面の接触圧力分布とシミュレータによる接触圧力分布との比較を行ったところ車椅子進行方向における圧力中心は中程度の正の相関を得られた。以上、構築したシミュレーションモデルが褥瘡リスクの定量化に有用である可能性が示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

車いすユーザにとって外界から皮膚に掛かる外力(荷重)のコントロールは極めて重要である。褥瘡予防を車いすユーザの身体内の応力分布のシミュレーション解析の試みがこれまで幾つも行われているがそれらの多くは静的な状態での解析であり、車いすを漕いでいる最中のような動的な状態を考慮した解析は殆ど行われていない。以上、計測実験をもとにして得られたシミュレーション結果は貴重である。車いすユーザにとっては褥瘡予防は極めて重要な課題であり、重篤な場合には手術のため長期の入院が必要なものも多い。本研究で得られた結果は褥瘡対応あるいは褥瘡予防の臨床現場においても参考データとして活用できることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Pressure injury, also known as a pressure ulcer, is defined as "localized damage to the skin and underlying soft tissue usually over a bony prominence or related to a medical or other device" by the National Pressure Injury Advisory Panel. The injury occurs as a result of intense and/or prolonged pressure or pressure in combination with shear. Wheelchair users are at risk of occurrence at the buttock tissue areas while they propel their wheelchairs. Movements of wheelchair users were measured when they propel their wheelchair and when they change clothes. Shear loads and contact pressures were also measured between their hip-skin and cushions. Simulation analysis of shear load on hip-skin of wheelchair users and the movement of their upper limbs are also testified. Moderate positive correlation was observed in the result of the simulation and the measurements regarding the COP of their hip-skin.

研究分野：支援工学

キーワード：褥瘡予防 車椅子 ずれ力 慣性センサ 簡易臀部モデル シミュレーション

1. 研究開始当初の背景

車いすユーザにとって外界から皮膚に掛かる外力(荷重)のコントロールは極めて重要である。例えば、車いす座面から座骨結節部に掛かる荷重は生体内の血流を阻害することにより、その皮膚周辺の褥瘡(床ずれ)を発生させる原因となる。そのため、臨床現場では、褥瘡ができやすい部位(褥瘡好発部位)と車いす座面(クッション)との間の圧力(接触圧)を計測し、褥瘡予防の指標として用いている。皮膚の表面から徐々に進行していく褥瘡が一般的である。

それとは逆に骨の付近、皮下組織より深部の組織の損傷が起こるケースがあり、深部損傷褥瘡と呼ばれている。直接、身体深部の応力を計測するわけにはいかないため、代替として有限要素解析などによる車いすユーザの身体内の応力分布のシミュレーション解析の試みがこれまで幾つか行われている。しかし、それらの多くは静的な状態での解析であり、車いすを漕いでいる最中のような動的な状態を考慮した解析は殆ど行われていない。

近年、皮膚と座面等とが垂直な方向の外力のみならず、せん断方向(ずらす方向)の荷重も褥瘡発生の原因となることが報告されている(厳密にはそれらの荷重による人体内部の応力)。車いすを漕いでいる最中や衣服の着脱の際には車いす座面から人体に対してこのせん断方向の荷重(この場合には摩擦力)が掛かり、人体内部にはせん断応力が発生していることが推測される。しかし、これらの荷重(や応力)がどのように褥瘡リスクへ大きな影響を与えているのか、現状では詳らかにされているとは言えない。車いす座位上での運動時には、前出の褥瘡リスクが高まることが懸念されるが、そのリスクマネジメントはなかなか難しいのが現状である。

研究代表者が所属するリハビリテーションセンターの病院ではシーティング適合サービスを実施しており、研究代表者は連携研究者らとともに車いすユーザの褥瘡対応を長年に渡って行っている。褥瘡対応において車いすユーザの臀部とクッション間の接触圧の計測も行っているが、ほとんどのケースでは垂直荷重(あるいは圧力) 静止した姿勢での計測のみである。せん断方向の荷重(あるいは圧力) 車いすを漕ぎ動作のような動的な状態での評価は難しく、臨床でもあまり行っていない。

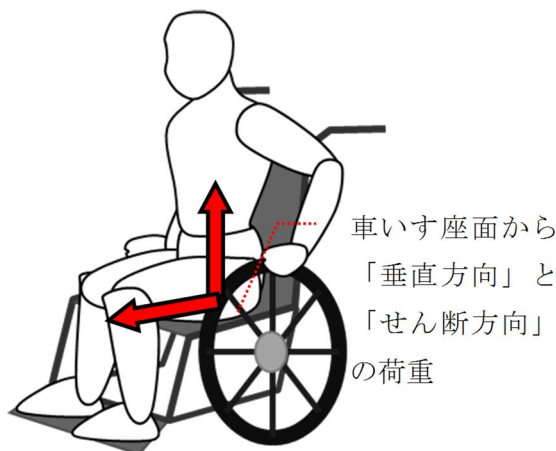


図1 車いすユーザと座面からの荷重

古くから車いすの操作の動作解析は数多く行われている。具体的には、光学式モーションキャプチャによる関節位置の取得、力センサによる手先反力の計測などが行われ、車いすユーザの上肢の負荷を中心に調べられてきた。また、動力学シミュレーション技術を用いて車いすスポーツにおける転倒による危険性に関する研究も行われているが、本研究課題のように「皮膚へのせん断荷重を含めた環境から受ける外力に重点を置いて」動力学シミュレーション技術を用いて解析を実施した前例は殆ど見当たらない。

褥瘡リスクと圧力の関係、せん断方向の荷重と血流量との関係など褥瘡と外力(あるいは応力)の関係をテーマにした研究が行われている。また、有限要素解析などによる車いすユーザの身体内の応力分布のシミュレーションも幾つか行われている。その中には、実際に人体臀部の模型(ダミー)を製作して検証も行った先行研究も少数ながら存在する。

2. 研究の目的

本研究では車いすユーザの褥瘡予防に寄与することを目的として、車いすユーザの皮膚にせん断方向(ずれる方向)の外力(荷重)も考慮しつつ、車いすを漕ぐ、衣服を着るなどの動作中に環境から受ける外力を定量化することを目指す。

3. 研究の方法

実際の車いすユーザは褥瘡を患うリスクが高く、実際のヒトを対象に評価指標を構築することは困難である。そこで、動力学シミュレーション技術を用いることで、数値計算によって身体が受ける負荷の評価を実現する。更に車いすユーザならびに車いすユーザのダミーを対象として動力学シミュレーションの妥当性の検証を行う。

なお、本研究は倫理審査委員会の承認のもと実験協力者に十分な説明を行った後、同意を得て行った。

(1) ヒトの臀部形状ならびに縦弾性係数の計測

3D スキャナ(Artec Eva)と採型機を用いて様々な条件下のヒトの臀部形状を計測した。ま

た臀部の硬さの計測に株式会社テック技販で開発された「YAWASA YWS-50N」を使用した。YAWASAは直径およそ50mmの筒状で先端部から直径10~20mmの突起部が計測対象と接触することで柔らかさの計測を行うことができる。褥瘡評価に必要な臀部の部位として、実験協力者の座骨結節周辺、大転子、中大腿部、仙骨部周辺の柔らかさをYAWASAによって計測を行った。座骨結節に関しては、実験協力者は仰向けになった状態で台を用いて脚を固定しYAWASAをあてることで計測を行った。

(2) 車いすを漕いでいる際の車いす座面上のずれ力の計測

車いすを漕いでいる際の車いす座面の接触圧と車いす座面上のずれ力を計測し、姿勢センサ方式によるモーションキャプチャを用いて車いすを漕いでいる際のヒトの動作を取得した。

車いす座面から膝までの距離を測り、5cm程度ずれ量を生じた際の前後のずれを計測した(腰を動かす前後の距離の差をずれ量とした)。なお、このずれ量の測定方法は日本シーティング・コンサルタント協会の「ずれ度 JSCC 版」を参考にした。そして、関節位置を推定可能な身体モデルから求めた腰を動かす前後の臀部の位置の差(ずれ量)ならびに腰部に取り付けた姿勢センサ(MVN Awinda)の専用ソフトウェアによる臀部の位置の差(ずれ量)と比較した。

座面にかかる圧力ならびにずれ力計測には圧力分布測定装置(Vista Medical、FSA / BodiTrak)と簡易式体圧・ずれ力同時測定器(Molten、PREDIA)ならびに体圧測定器(住友理工、SR ソフトビジョン)と国立障害者リハビリテーションセンター研究所で開発されたせん断力センサを用いた(図2)。

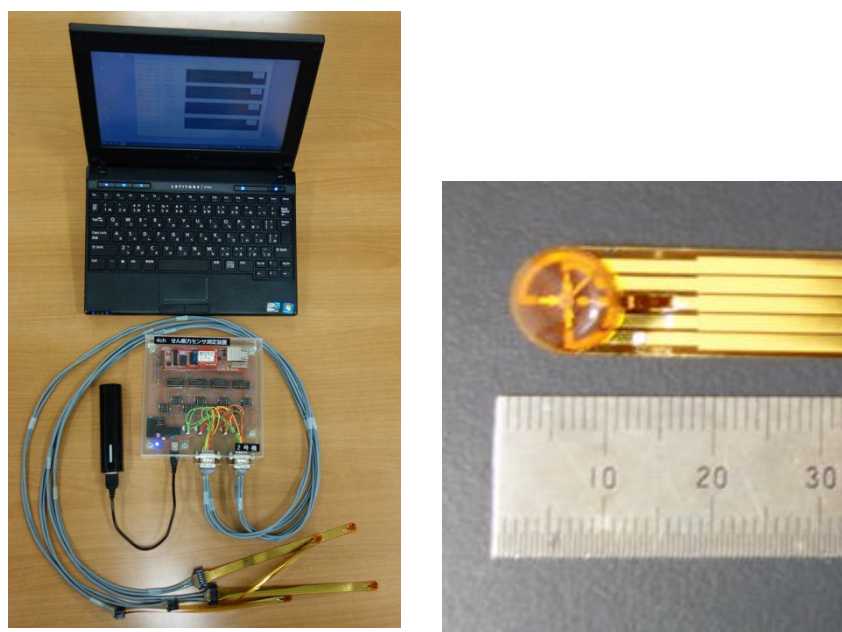


図2 国立障害者リハビリテーションセンター研究所で開発されたせん断力センサ

(3) 運動解析とモデル構築

関節位置を推定可能な身体モデルを構築し、車いすを漕ぐ際の運動解析を実施した。

(4) シミュレーションモデルの構築

ダイナミクスシミュレータ(V-REP)によりシミュレーションモデルの構築を行った

4. 研究成果

以下に概要を記載する。詳細に関しては後述の発表論文等を参考のこと。

(1) ヒトの臀部形状ならびに縦弾性係数の計測

実験協力者2名を対象として臀部の縦弾性係数の計測を行った。臀部の縦弾性係数は個人差ならびに場所による変動が大きく、座骨結節下の縦弾性係数は約4[kPa]から約20[kPa]の値であり、平均は約10[kPa]程度であった。

(2) 車いすを漕いでいる際の車いす座面上のずれ力の計測

合計で実験協力者22名を対象として車いすを漕いでいる際の車いす座面の接触圧と車いす座面上のずれ力を計測し、姿勢センサ方式によるモーションキャプチャを用いて車いすを漕いでいる際のヒトの動作を取得した。

(3) 運動解析とモデル構築

関節位置を推定可能な身体モデルを構築し、車いすを漕ぐ際の運動解析を実施した。車椅子利用者の体幹角度と臀部負荷の関連性が示唆された。また車いす利用者の肩関節の屈曲・伸展動作とせん断荷重に有意に強い相関が示唆された。肩関節が屈曲すると座面後方へ伸展すると座面前方へのせん断荷重が増加する傾向が得られた。

(4) シミュレーションモデルの構築

更にダイナミクスシミュレータ (V-REP / CoppeliaSim) によりシミュレーションモデルの構築を行った。構築したモデルはキネマティクスモデル、ダイナミクスモデル、クッションモデルの3種類である (図3、図4)。実測から得られた座面の接触圧力分布とシミュレータによる接触圧力分布との比較を行ったところ車椅子進行方向における圧力中心は中程度の正の相関を得られた。

車椅子動作中の身体動作をモデルに反映できていることが確認された。また、肩関節の屈曲・伸展時における圧力の増減についてもシミュレーション上で同様の傾向を得ることができたため、本シミュレータの妥当性が示唆された。

以上より、車椅子動作における肩関節の屈曲・伸展の最大時における圧力・せん断荷重の総合的な負荷の継続が褥瘡発生の要因の1つであると推測した。

車いすユーザにとって褥瘡予防は極めて重要な課題であり、重篤な場合には手術のため長期の入院が必要なことも多い。本研究で得られた結果は褥瘡対応あるいは褥瘡予防の臨床現場においても参考データとして活用できることが期待できる。

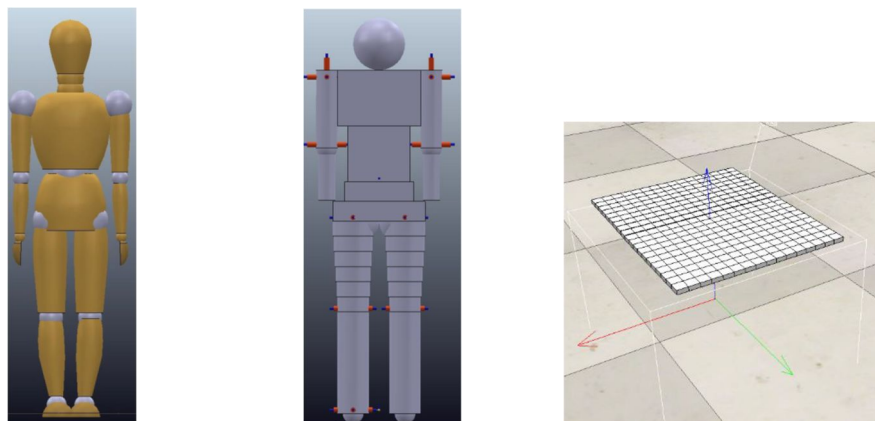


図3 構築した3つのモデル

(左からキネマティクスモデル、ダイナミクスモデル、クッションモデル)

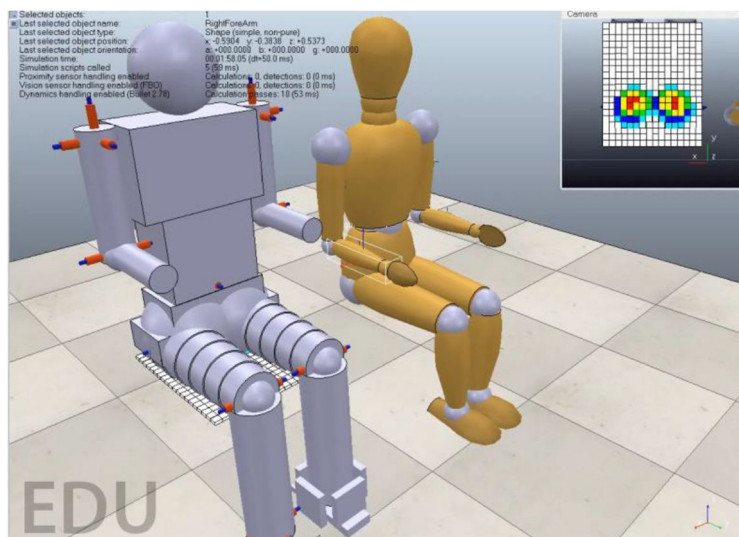


図4 シミュレーション結果の例

<引用文献>

National Pressure Injury Advisory Panel, NPIAP Pressure Injury Stages, https://cdn.ymaws.com/npiap.com/resource/resmgr/online_store/npiap_pressure_injury_stages.pdf, accessed on 2022-06-23.

褥瘡について 日本褥瘡学会, <http://www.jspu.org/jpn/patient/about.html>, accessed on 2022-06-23.

厚生労働省,平成28年生活のしづらさなどに関する調査(全国在宅障害児・者等実態調査)結果(2018) https://www.mhlw.go.jp/toukei/list/seikatsu_chousa_h28.html

作田譲,高橋誠,“血流量測定による褥瘡発症因子としての圧力とずれ力の相互作用”,生体医工学,44巻1号,p.101-106,2006.

S. Toyama, S. Utsumi, T. Nakamura, T. Noguchi, Y. Yoshida, A Novel Thin Shear-Stress Sensor Using Electrolyte as a Conductive Element, Sensor Letters, 11, 442 (2013).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Kunihiko Ogata, Shingo Hasegawa, Tsuyoshi Nakayama, Nobuto Matsuhira and Eiichi Ono	4. 巻 11
2. 論文標題 Motions of Propelling a Wheelchair Based on the Movement Function of People with Spinal Cord Injury	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII)	6. 最初と最後の頁 385-390
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/SII.2019.8700439	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6件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 入倉弘明, 高野浩祐, 松日楽信人, 中山剛, 尾形邦裕
2. 発表標題 車椅子の生活者の日常動作の計測と褥瘡発生の解明
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野浩祐, Nattawat Pinrath, 松日楽信人, 尾形邦裕, 中山剛
2. 発表標題 車椅子生活者の日常動作の計測と褥瘡発生の解明～着座時におけるシミュレーションモデルの検討～
3. 学会等名 第20回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高野浩祐, 井上結加, 松日楽信人, 中山剛, 尾形邦裕
2. 発表標題 車椅子生活者の日常動作の計測と褥瘡発生のメカニズムの解明～IMUを用いた車椅子漕ぎ動作のシミュレーション～
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上結加, 高野浩祐, 松日楽信人, 尾形邦裕, 中山剛
2. 発表標題 車椅子生活者の日常動作の計測と褥瘡発生の解明～座面のモデリングとシュミレーション～
3. 学会等名 第21回計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 高野浩祐, 西村啓太郎, 松日楽信人, 中山剛, 尾形邦裕
2. 発表標題 車椅子漕ぎ動作中に発生する座圧シミュレーションの開発
3. 学会等名 LIFE2020-2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 尾形邦裕, 中山剛, 高野浩祐, 松日楽信人, 外山滋
2. 発表標題 車椅子利用者の運動による座面負荷を定量化するためのマルチセンシングシステム
3. 学会等名 LIFE2020-2021
4. 発表年 2021年

〔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
研究 分担者	松日楽 信人 (Matsuhira Nobuto) (20393902)	芝浦工業大学・工学部・教授 (32619)	

6. 研究組織（つづき）

	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
研究分担者	尾形 邦裕 (Ogata Kunihiro) (40641436)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	

	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
研究協力者	飛松 好子 (Tobimatsu Yoshiko) (20172174)		国立障害者リハビリテーションセンター・元総長
連携研究者	新妻 淳子 (Niitsuma Junko) (60360682)	国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・研究所運動機能系障害研究部・研究員 (82404)	
連携研究者	外山 滋 (Toyama Shigeru) (50360681)	国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・研究所障害工学研究部・研究室長 (82404)	
連携研究者	東 祐二 (Higashi Yuji) (40531322)	国立障害者リハビリテーションセンター（研究所）・研究所障害工学研究部・研究部長 (82404)	

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