

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：30108

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2022

課題番号：17K13207

研究課題名(和文) ヒトの動作に着目した新たなスマートヘルスサービスの効果検証

研究課題名(英文) Evaluation of the effectiveness of new smart health services with a focus on human movement.

研究代表者

加藤 士雄 (Kato, Norio)

北海道科学大学・保健医療学部・准教授

研究者番号：40760260

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、加速度・角速度・地磁気を計測可能なセンサを用いてヒトの運動を計測し、コンピュータグラフィックスにより視覚的に再現可能なシステムを構築し、運動指導に活用することを目的として行った。

研究結果として、加速度や角度だけでは把握しにくかった動作をコンピュータグラフィックスで確認できるため、より適切な指導ができることが示唆された。一方で、環境によってはノイズの影響によってコンピュータグラフィックスでは正確に動作を表現できないことも見受けられた。このため、ビデオカメラなどで撮影した映像と共に、補助的な情報源として活用することが有効であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の実施期間の中で、COVID-19が世界的に蔓延し、人々の行動を大きく制限する結果となった。これにより、対面で行われてきた運動指導もオンライン上で行われてきた。本研究で得られた知見は、オンライン上での運動指導を、個々人の状態を正確に捉え、より適切に行える可能性を広げることができる。また、医療資源に乏しい僻地在住の人々にも活用できることから、幅広い対象者に対して傷病予防の観点から貢献できると考える。

研究成果の概要(英文)：The aim of this study was to construct a system that can measure human movement using sensors that can measure acceleration, angular velocity and geomagnetism, and reproduce the movement visually using computer graphics, and use this system for exercise guidance.

The research results suggest that more appropriate guidance is possible because movements that were difficult to grasp using only acceleration and angle can be confirmed using computer graphics. On the other hand, it was found that computer graphics could not accurately represent movements in some environments due to the influence of noise. For this reason, it is considered effective to use computer graphics as a supplementary source of information together with video images taken by a video camera or other equipment.

研究分野：リハビリテーション工学

キーワード：スマートヘルス モーションキャプチャ 9軸センサ 動作分析

1. 研究開始当初の背景

近年、センサ技術の進歩が著しく、人々の暮らしにおける様々なデータを記録することができる。「IoT (Internet of Thing)」という用語が示すとおり、各種センサとインターネットを結びつけることにより、人々の身近なものを介して、人の活動に関するデータが常時記録され、集約することが可能である。

健康・医療分野において IoT を活用したサービスは、「スマートヘルス」と呼ばれている。既存のサービスおよび研究が進められている内容としては、小型の計測センサ（ウェアラブルセンサ）を装着して心拍数や血圧、体温、活動量をインターネット上に記録し、専門家によるアドバイスを受けるというものである。人の活動という観点では、心拍数や活動量を基に「身体負荷量」を医療従事者のアドバイスの下で運動量の指導を行うことは可能である。しかし、これらのデータからは、「人がどのように身体を使っているか」ということは把握することができない。

健康者が腰痛や関節症などを発症するメカニズムとして、普段の動作に問題があることが一つの原因である。これらの傷病を予防する上で、正しい体の使い方を本人が学習し、かつ習得することが本質的な解決策となる。

2. 研究の目的

本研究課題では、次の特徴を持つシステムを構築し、試験運用による検証をすることを目的とする。

- ① ヒトの日常動作を経時的に計測し、インターネット上にデータを蓄積する。
- ② 動作分析の専門家（理学療法士）がインターネットを介してデータを分析できる。
- ③ 分析結果に基づいた専門家による正しい体の使い方の指導を利用者が受けられる。

3. 研究の方法

(1) ビデオカメラのみを用いた場合の動作の見落としに関する検証

人の動作を記録するために用いられる機材はスマートフォンにも搭載されているビデオカメラである。身近にある機材であるため、手軽に活用できる反面、撮影する面が固定されること、画角によっては見えない範囲があること、などの課題がある。そこで、自重筋力トレーニングの動作を対象に、正しい動作と誤った動作を同じ角度からビデオカメラで撮影した場合、動作の見落としがどの程度生じるかを検証した。

用いた自重トレーニング動作は、4種類（プッシュアップ・スクワット・ドンキーキック・デッドバグ）とした。それぞれの動作の正しい方法・誤った方法を定義し、2台のビデオカメラを用いて身体の正面（前額面）、横面（矢状面）の映像を同時に録画した（図1）。

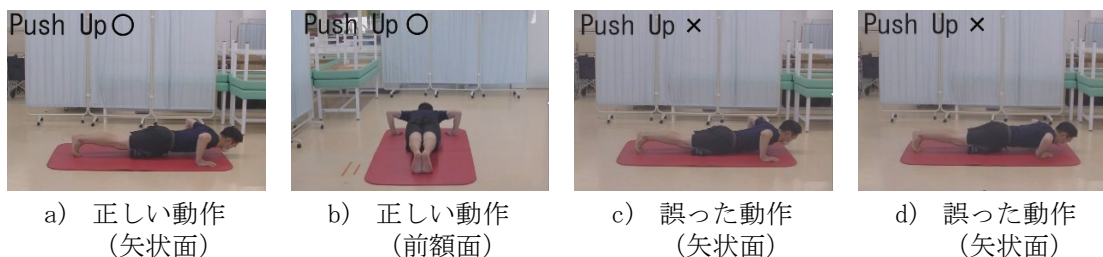


図1 運動の見落とし課題の一例（腕立て伏せ）

a), b) 正しい動作

c) 誤った動作：肩関節外転, d) 誤った動作：腰椎伸展

動作の見落としを検証するにあたり、人の運動に関する知識（解剖学・運動学・動作分析学）を修めているもの10名を対象者とした。対象者には、各動作の正しい方法に関するレクチャーを事前実施した。その後、4種類のトレーニング動作を矢状面と前額面の2パターンの観察方向、そして今回設定したそれぞれの観察方向で観察しやすいと思われる動作（矢状面上の運動が見られる動作、前額面上の運動が見られる動作）を2パターン、合計16個の動画をランダムに観察させた。動画は1つの動作につき、6試行分を観察させた。その後、2分間でアンケートを用いて動作を見て改善すべきだと思う箇所・関節を選択し、どのように改善するべきかを自由記述にて回答させた。アンケート結果を分析し、正答率を求めた。

(2) 9軸センサ（加速度・角速度・地磁気）を用いた動作分析の方法

ヒトの動作を定量的に記録する機器としては、光学式センサや赤外線センサ、9軸センサによ

る方法が挙げられる。光学センサや赤外線センサに関しては、動作を記録する際に設置した機材の撮影範囲でのみ記録が可能というデメリットがある。一方で、9軸センサは比較的広範囲で記録することが可能であるため、本研究課題の目的とする動作記録には適していることが考えられた。9軸センサを用いた動作記録としては、歩行や立ち上がりといったものは行われており、参考指標となる動作時の角度変化などが示されている。一方で、多くの動作に関しては、その指標となるものがないのが事実である。そこで、9軸センサで記録された角度データのみで、身近ではない動作を計測し、分析することが可能かを検証した。

健康成人10名を対象に、座面を傾けたときの姿勢の立ち直り動作を9軸センサ（SportsSensing社製）により計測した。被験者には上肢を胸の前で組んだ状態で、滑り止めマットを敷いたバランスボードの中心を身体を中心線（正中線）が通るように座ってもらった。この状態から、座面を10度傾けたときの骨盤と体幹の角速度を記録した。記録されたデータに対してフィルタ処理などを行い、角度を算出した（図2）。

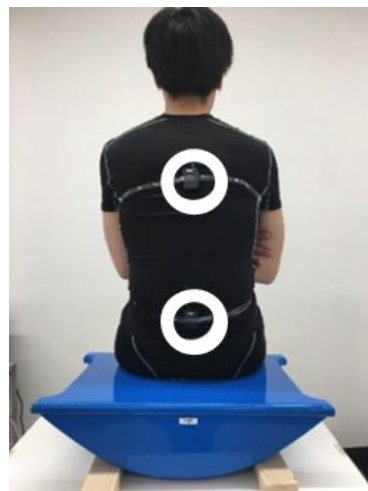


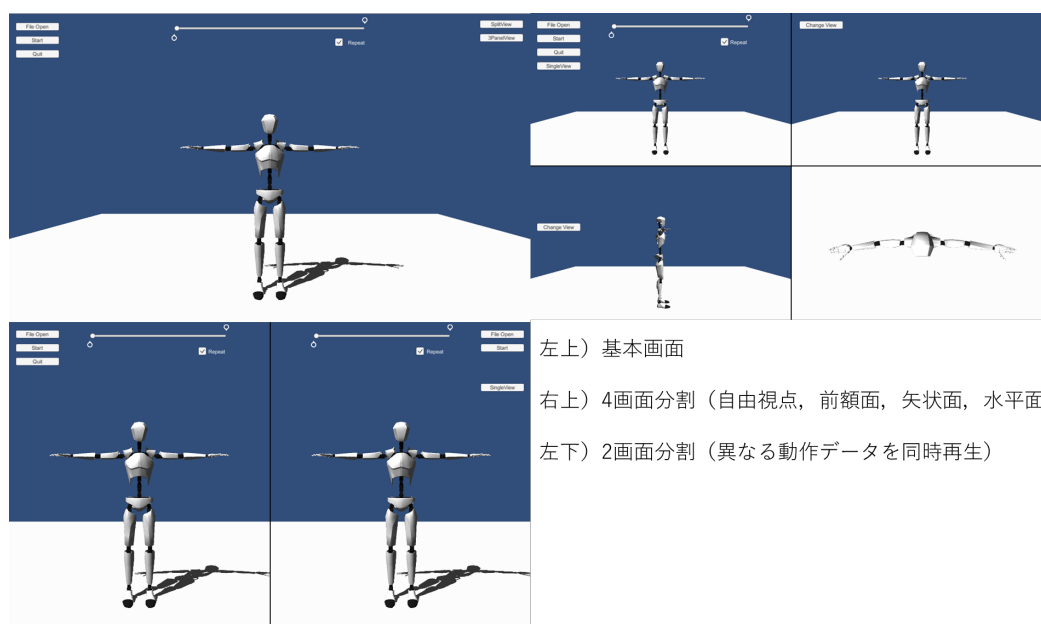
図2 実験開始時の姿勢とセンサ付着部位

(3) コンピュータグラフィックスを用いた動作再生アプリケーションの作成

9軸センサを用いて、人の運動を記録し、コンピュータグラフィックスによりヒトのモデルを用いて動作を再生するためのアプリケーションを開発した（図3）。

本アプリケーションは、Unityにより構築した。作成したアプリケーション上では、以下のことが実現可能である。

- ① 9軸センサを活用した動作記録システム「Perception Neuron Pro（Noitom社製）」により計測したFBXデータ（ヒトの動きが記録されたファイル）を、インターネット上にあるクラウドストレージから読み込むことができる。
- ② 読み込んだFBXデータを基に、記録した動作をコンピュータグラフィックスで再現できる。また、この際、視点や再生範囲について、動的に変更することが可能である。
- ③ 運動を分析する際に活用される3つの基本平面（前額面（身体正面）/矢状面（身体側面）/水平面（身体を上から見下ろした面））で同時に再現することが可能である。
- ④ 経時的な動作の変化を観察できるよう、2つのFBXデータを読み込んで、同時に再生することが可能である。



左上) 基本画面
 右上) 4画面分割（自由視点, 前額面, 矢状面, 水平面）
 左下) 2画面分割（異なる動作データを同時再生）

図3 動作再生アプリケーションの画面

(4) 構築したスマートヘルスシステムの検証

本研究課題で構築したシステムを用いて、股関節疾患の既往歴を有する高齢者1名の歩行を記録し、理学療法士の資格を有する者による運動指導に活用してもらった（図4）。

対象者は変形性股関節症に対する手術歴のある高齢者1名である。対象者には動作記録システム (PerceptionNeuron Pro (Noitom社製)) を身体に装着した状態で、10m歩行をしてもらった (図4)。この際、対象者の歩行を矢状面と前額面から2台のビデオカメラで撮影した。動作を計測した後、運動指導者には作成したアプリケーション上で再現されたコンピュータグラフィックスの映像とビデオ映像を活用して運動指導を実施いただいた。



図4 計測時の様子
左) センサ装着時
右) 歩行動作記録時

4. 研究成果

(1) ビデオカメラのみを用いた場合の動作の見落としに関する検証

本研究の結果を表1に示す。今回用いた4種類の課題動作に関しては、謝った動作パターンとして、それぞれ矢状面上と前額面上で生じる代償動作 (筋力が足りないときなどに、不足分を補おうとする動き) を取り入れた。その結果、矢状面上の映像を撮影した場合は、前額面上の謝った動作の見落としが増え、前額面上の映像を撮影した場合は、市場面上の謝った動作の見落としが増えることが明らかとなった。

この結果から、ビデオカメラのみの映像では、誤った動作の見落としが生じる可能性が示唆されたため、本研究課題で作成するシステムに関して、有効に活用できる可能性が示唆された。

表1 誤った動作の検出率

矢状面から前額面の正答率の変化
(青: 矢状面上の代償、オレンジ: 前額面上の代償)

| 代償動作 | 矢状面 | | | 前額面 | | |
|-------------------|-----|-----|--------|-----|-----|--------|
| | 回答数 | 正解数 | 正答率 | 回答数 | 正解数 | 正答率 |
| PushUp | | | | | | |
| ①肘外 | 10 | 7 | 70.0% | 10 | 6 | 60.0% |
| ②腰椎伸展 | 10 | 9 | 90.0% | 10 | 5 | 50.0% |
| Squat | | | | | | |
| ①ニーイン | 10 | 5 | 50.0% | 10 | 10 | 100.0% |
| ②腰椎伸展 | 10 | 9 | 90.0% | 10 | 2 | 20.0% |
| DonkeyKick | | | | | | |
| ①膝伸展 | 10 | 10 | 100.0% | 10 | 7 | 70.0% |
| ②股関節外転 | 10 | 3 | 30.0% | 10 | 9 | 90.0% |
| DeadBug | | | | | | |
| ①膝屈曲 | 10 | 8 | 80.0% | 10 | 6 | 60.0% |
| ②股関節外転 | 10 | 3 | 30.0% | 10 | 10 | 100.0% |

(2) 9軸センサ (加速度・角速度・地磁気) を用いた動作分析の方法

本研究の結果を図5に示す。計測されたデータからは、3つの平面 (矢状面・前額面・水平面) での運動を角度・角速度表示することができ、定量的な評価に活用できる可能性は示唆された。一方で、空間的に生じる運動であるため、3平面上で生じている角度変化を切り離すことで、実際の動作のイメージが行いにくい可能性も考えられた。また、今回はテーブル類で身体に固定したが、全身の動作を記録する場合には、この方法では実現が不可能であることが考えられた。そのため、動作を記録する9軸センサに関しては、可能な限り簡便な方法であることも必要な検討事項であることが把握できた。

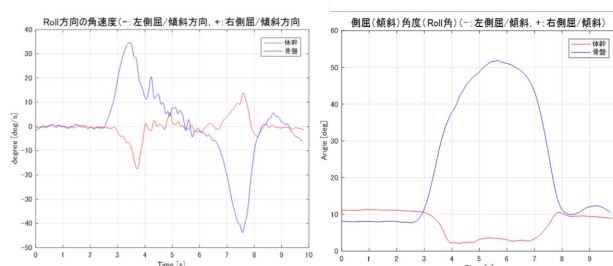


図5 座面傾斜時の体幹立ち直り動作時における体幹と骨盤の角速度・角度変化の1例

(3) コンピュータグラフィックスを用いた動作再生アプリケーションの作成

作成したアプリケーションを用いて、片麻痺を擬似的に体験できる「疑似体験セット (片マヒ用)」(株式会社 特殊医療) を健常者1名に装着させた状態で、歩行動作と入浴動作を計測した。計測環境によりノイズが生じ、計測精度は低下する場合があったが、特徴的な動きを再現することは可能であった。また、入浴動作の様な場合には、カメラでは死角となりやすい浴槽内での下肢の運動も可視化されるという利点も見出せた (図6)。

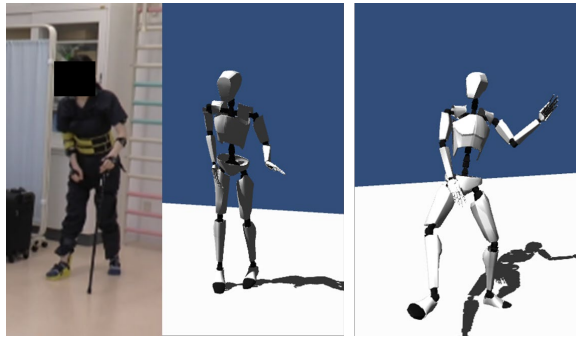


図6 サンプル動作

左) 片麻痺患者を模した歩行

中央) 歩行を計測したデータに基づいた再生アプリケーション映像

右) 片麻痺患者を模した入浴動作 (浴室から出る際のまたぎ動作) の再生アプリケーション映像

(4) 構築したスマートヘルスシステムの検証

動作の分析には、2台のビデオカメラの映像 (矢状面、前額面) と構築したスマートヘルスシステムを用いて行った (図7)。ビデオカメラによる映像の場合、身体の正面から捉えた前額面上での映像は、ビデオカメラからの距離によって被験者像の大きさが変化するため、遠方では細かな動きは把握できず、カメラに近づくにつれて全身が見切れてしまう場合があった。矢状面については、ビデオカメラの撮影範囲に入っている場合のみであるため、3歩行周期程度の映像が記録されるのみであった。このため、録画した動画で分析に使用できる範囲を手動で繰り返して分析に用いなければならないという工数が負担であった。

一方で、スマートヘルスシステムでは、視点の変更や映像の拡大・縮小、歩行動作における指定範囲の繰り返し再生、矢状面・前額面の同時再生が可能であったことから、運動指導者に対する負担は軽減された。一方で、コンピュータグラフィックスでは、被験者の姿勢が正確には反映されないことや、ノイズによる不自然な動きが生じることがあり、単体で分析に用いることは現状では困難であることも確認された。このため、現状ではビデオカメラ映像と合わせて併用することが望ましいということが指導者の聞き取りより示唆された。

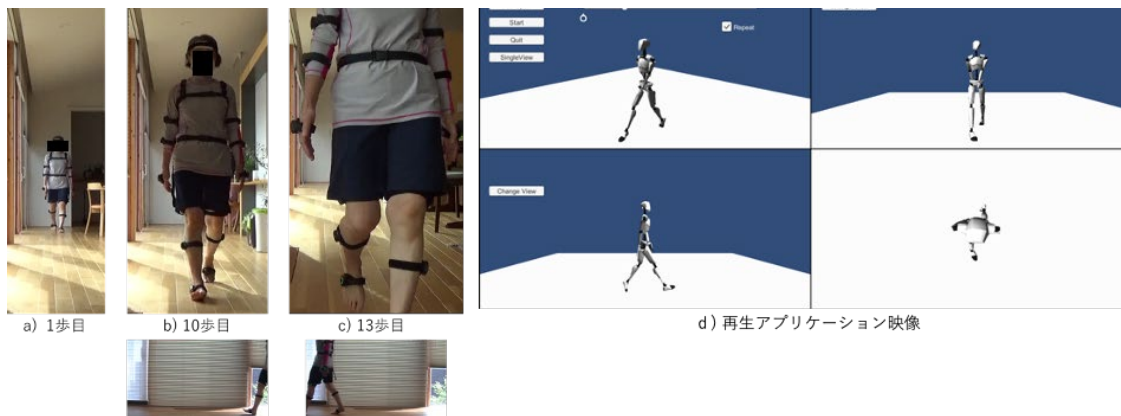


図7 記録した歩行データを再生アプリケーションを用いて映像化したもの

a-c) ビデオカメラ映像：上) 前額面 (正面)，下) 矢状面 (側面)

- ・ 前額面と矢状面で同時にと耐えられたのは10歩目～13歩目まで。
 - ・ 前額面のカメラ映像は、被験者とカメラとの距離により、分析に用いることができる部分が限定される。
 - ・ 矢状面のカメラ映像は、わずかな歩数しか収めることができていない。
- d) 計測した歩行データを用いた再生アプリケーション映像
- ・ 常に被験者の歩行している様子を画面中央に捉えることができる。
 - ・ 一方で、ノイズによる影響や、被験者の姿勢を正しく反映できないという課題も。

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 1件）

| | |
|---|----------------------|
| 1. 著者名 Norio Kato, Toshiaki Tanaka, Takeshi Tsuruga, Yoshimi Tanahashi, Kouki Kuwano, Yasuhiro Nakajima, Takashi Izumi, Yusuke Maeda | 4. 巻 4(4) |
| 2. 論文標題 Plantar Vibrational Stimuli Modify Dynamic Posture Control in Response to Translational Perturbations. | 5. 発行年 2018年 |
| 3. 雑誌名 International Journal of New Technology and Research | 6. 最初と最後の頁 97-102 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 有 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 1件/うち国際学会 1件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 工藤章, 伊藤有輝, 加藤士雄, 春名弘一, 杉原俊一, 新明史江 |
| 2. 発表標題 脳卒中後の失調に対するLifeware Steady使用後の上肢運動の変化-NJCによる円滑さに関する分析- |
| 3. 学会等名 第3回日本リハビリテーション医学会秋季学術集会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Norio Kato |
| 2. 発表標題 Differences in reaching movement between real space and virtual reality |
| 3. 学会等名 Asia Pacific Society for Computing and Information Technology 2018 Annual Meeting（招待講演）（国際学会） |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 加藤士雄, 田中敏明 |
| 2. 発表標題 仮想空間内での奥行き情報が乗し動作に与える影響 |
| 3. 学会等名 日本健康行動科学会 |
| 4. 発表年 2017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 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

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 |
|---------|---------|
|---------|---------|