

令和 6 年 4 月 24 日現在

機関番号：14301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2023

課題番号：20K21754

研究課題名（和文）動画処理によるセンサレスでの姿勢・動作バランス評価システムの開発

研究課題名（英文）Development of a sensorless posture/motion balance evaluation system using video image processing

研究代表者

建内 宏重（Tateuchi, Hiroshige）

京都大学・医学研究科・准教授

研究者番号：60432316

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、高齢者や有疾患患者において問題となる姿勢異常やバランス能力低下について、ビデオカメラで撮影した動画を用いて全身あるいは身体各部位の動揺や運動異常を検出する新たな手法を開発することを目的として研究を実施した。

静的バランス（片足立ちバランス）および動的バランス（ジャンプ着地時のバランス）の評価に関して、動画解析（フレーム差分法）により算出される身体全体の動揺スコアが床反力計により計測された足圧中心動揺と相関する傾向を認め、動画解析のみにより、静的・動的バランスの評価ができる可能性を示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

動作の障害は、高齢者や有疾患患者において、要支援・介護のリスクや生活の質を低下させる主たる原因となるため、その評価はリハビリテーションにおいて必須である。しかし、動作評価システムは一般に大型、高額であり、リハビリテーション現場や地域などにおいて、十分な評価が行えていなかった。

本研究により、静的・動的バランスの評価が動画を用いたシステムにより可能であることが示された。このような動画を用いた動作解析システムは、上記の課題を克服するための重要な成果であり、今後、リハビリテーション現場や地域での評価、あるいはスポーツ現場での評価などに実装されることが期待される。

研究成果の概要（英文）： In this research project, we conducted image processing on video images taken with a video camera to detect body sway and joint motion, regarding abnormal posture and decreased balance ability, which are problems in elderly people and patients with diseases. This research was conducted with the aim of developing a new assessment system.

First, we verified whether it is possible to evaluate static balance (balance while standing on one leg) and dynamic balance (balance when jump landing) using only video images. We observed a tendency for the overall body sway score calculated by video image analysis (frame difference method) to be correlated with the CoP sway measured by a force plates, and it was found that static and dynamic balance can be measured by video image analysis.

研究分野：理学療法

キーワード：姿勢 バランス 画像解析 リハビリテーション スポーツ

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

バランス能力は、高齢者や障害を有する患者において、転倒と強く関連する要因である (Cuevas-Trisan R et al., *Phys Med Rehabil Clin N Am* 2017, 他)。応募者らの研究室においても、従来、高齢者や運動器疾患患者を対象としたバランス能力評価を実施してきた (例. Tateuchi H et al., *Arch Phys Med Rehabil* 2019, 他)。しかし現状では、一般的には、研究室内など特殊な環境下で重心動揺計や床反力計など高価な機器を用いた計測や、ストップウォッチなど簡易な機器を用いて片脚立位時間を計測するなどが実施されている。したがって、下記のような問題点のため、リハビリテーションや地域在住高齢者での客観的評価の実施は極めて限定的である。

現状でのバランス評価方法の問題点：

- 1) 高価な測定機器やセンサの貼付が必要
- 2) 重心動揺計などでは全身の動揺しか検出できない (部位ごとの揺れは検出困難)
- 3) 計測の準備や解析に多大な時間を要する
- 4) 特殊な環境 (研究室など) での計測が必要
- 5) ストップウォッチなど権威な計測では、身体動揺の程度や部位などの定量的評価が困難

2. 研究の目的

本研究課題では、バランス能力評価に焦点を当て、計測上の問題点 (高価、煩雑、特殊環境など) を根本的に解決し、かつ、現場への導入を見越した革新的な姿勢・動作バランス評価システムを開発する。当該システムはセンサレスであり、一般的なビデオカメラで撮影した動画像に対して画像処理を行い全身あるいは身体各部位の動揺を検出するものである。具体的な目的は以下の通りである。

- 1) 新たに開発する姿勢・動作バランス計測システムの信頼性・妥当性検証
- 2) リハビリテーション施設における姿勢・動作バランス能力障害を有する患者での評価検証

3. 研究の方法

【実験 1】静的バランスにおける検証

1) 対象

健常若年成人 22 名 (男性 16 名、平均年齢 25.9 歳、平均身長 167.6 cm、平均体重 60.6 kg) を対象とした。

2) 動作課題

課題は、片脚立位の保持とした。被験者は、両腕を胸の前で組み、対側の股関節を 90 度屈曲位とした片脚立位を 15 秒間保持した。また、開眼、閉眼の両条件で計測を実施した。

3) 計測

床反力計 (Kistler 社製、120Hz サンプリング、10Hz ローパスフィルター) と被験者の前方および側方に設置したデジタルビデオカメラ (60Hz サンプリング) を用いた (図 1)。

床反力計を用いた計測では、前後、左右方向の足圧中心軌跡から、総軌跡長 (LNG)、RMS 面積 (RMS area)、前後方向範囲 (AP range)、左右方向範囲 (ML range) を評価した。ビデオカメラによる計測から、フレーム差分法 (frame subtraction method: Alex D et al., 2014) により、矢状面および前額面における身体動揺を定量化 (フレーム差分スコア) した。床反力計およびビデオカメラともに、安定した 10 秒間におけるデータを解析に用いた。

4) 統計解析

矢状面、前額面それぞれ、および、それらの合計について、フレーム差分スコアの最大値と合計値を解析に用い、それらの値と床反力計により計測された足圧中心に関する変数との関連性を Spearman の順位相関係数を用いて分析した。

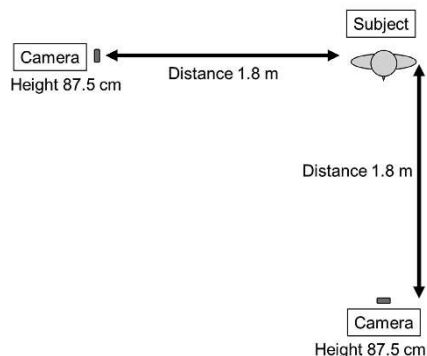


図 1 実験におけるビデオカメラの設置位置

4. 研究成果

典型例 (図 2) と各変数間の相関関係 (表 1、表 2) を示す。開眼条件 (表 1) については、前額面におけるフレーム差分スコアの最大値と ML range との間に有意な相関を認め、また、前額面におけるフレーム差分スコアの合計値と LNG、RMS area、AP range、ML range との間にも、それぞれ有意な相関関係を認めた。

閉眼条件 (表 2) においては、矢状面におけるフレーム差分スコアの最大値と ML range との間の関係を除いて、全ての変数間に有意な相関関係を認めた。

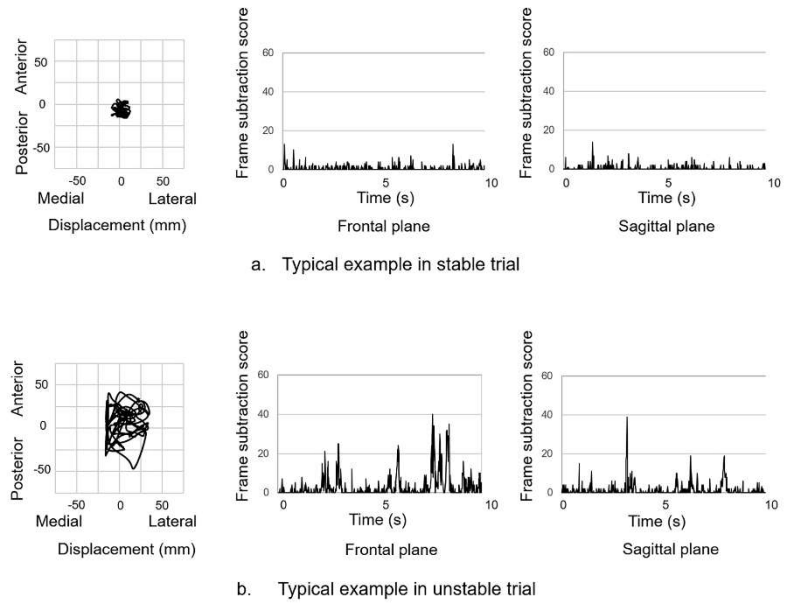


図 2 課題時の足圧中心軌跡とフレーム差分スコアの典型例

表 1 開眼条件における変数間の相関関係

	LNG	RMS area	AP range	ML range
Maximum frame subtraction score on the frontal plane	r = 0.35 p = 0.11	r = 0.36 p = 0.10	r = 0.38 p = 0.09	r = 0.45 p < 0.05
Sum of the frame subtraction scores on the frontal plane	r = 0.71 p < 0.01	r = 0.58 p < 0.01	r = 0.60 p < 0.01	r = 0.68 p < 0.01
Maximum frame subtraction score on the sagittal plane	r = -0.17 p = 0.46	r = -0.27 p = 0.23	r = -0.13 p = 0.56	r = -0.31 p = 0.16
Sum of frame subtraction scores on the sagittal plane	r = -0.03 p = 0.89	r = -0.11 p = 0.63	r = -0.11 p = 0.96	r = -0.19 p = 0.41
Maximum frame subtraction score on both planes	r = -0.21 p = 0.36	r = -0.14 p = 0.52	r = -0.04 p = 0.87	r = -0.20 p = 0.37
Sum of frame subtraction scores on both planes	r = 0.39 p = 0.08	r = 0.21 p = 0.34	r = 0.25 p = 0.26	r = 0.26 p = 0.25

Abbreviations: LNG, the total length of COP displacements; RMS area, root mean square area; AP range, range in anterior - posterior direction; ML range, range in medial - lateral direction.
Only statistically significant variables (p values < 0.05) are shown in bold.

表 2 閉眼条件における変数間の相関関係

	LNG	RMS area	AP range	ML range
Maximum frame subtraction score on the frontal plane	r = 0.52 p < 0.05	r = 0.70 p < 0.01	r = 0.61 p < 0.01	r = 0.46 p < 0.05
Sum of frame subtraction scores on the frontal plane	r = 0.56 p < 0.01	r = 0.74 p < 0.01	r = 0.61 p < 0.01	r = 0.53 p < 0.05
Maximum frame subtraction score on the sagittal plane	r = 0.43 p < 0.05	r = 0.55 p < 0.01	r = 0.47 p < 0.05	r = 0.39 p = 0.08
Sum of frame subtraction scores on the sagittal plane	r = 0.61 p < 0.01	r = 0.71 p < 0.01	r = 0.55 p < 0.01	r = 0.49 p < 0.05
Maximum frame subtraction score on both planes	r = 0.51 p < 0.05	r = 0.66 p < 0.01	r = 0.56 p < 0.01	r = 0.48 p < 0.05
Sum of the frame subtraction score on the both planes	r = 0.60 p < 0.01	r = 0.77 p < 0.01	r = 0.64 p < 0.01	r = 0.57 p < 0.01

Abbreviations: LNG, the total length of COP displacements; RMS area, root mean square area; AP range, range in anterior - posterior direction; ML range, range in medial - lateral direction.
Only statistically significant variables (p values < 0.05) are shown in bold.

本実験では、姿勢の安定性の評価に基づくフレーム差分法の基準関連妥当性を検証した。閉眼条件など大きな姿勢の揺れがあるバランス課題では、大部分のフレーム差分スコアが、足圧中心の変数と関連していた。この実験では、被験者の前方と右側に 2 台のデジタルビデオカメラを設置したが、姿勢の揺れの範囲に関係なく、前方面のデジタルビデオカメラ 1 台だけで姿勢の揺れを測定し、姿勢の安定性を評価することが可能であった。動画像による評価は、コストと時間を削減でき、安価であるため、従来の機器 (例: フォースプレート) の代替として、静的な姿勢の安定性の評価に新しい手法を提案する可能性がある。

【実験 2】動的バランスにおける検証

1) 対象

健康若年成人 20 名（男性 10 名、平均年齢 21.8 歳、平均身長 165.3 cm、平均体重 59.1 kg）を対象とした。

2) 動作課題

課題は、前上方へのジャンプ後の着地動作として。ジャンプの高さは、各被験者における最大長訳稿の 50% の高さとして、会誌地点より 35 cm 前方に接地された床反力計に着地後、10 秒間静止するように指示された。

3) 計測

床反力計（Kistler 社製、1000Hz サンプリング、20Hz4 次バターワースフィルタ）と被験者の前方および側方に設置したデジタルビデオカメラ（60Hz サンプリング）を用いた（図 3）。

床反力計を用いた計測では、着地後 3 秒間の区間における床反力から、DPSI、MLSI、APSI、VSI をそれぞれ算出した（図 4）（Wikstrom EA., 2005）。ビデオカメラによる計測から、フレーム差分法（frame subtraction method）により、矢状面および前額面における身体動揺を定量化（フレーム差分スコア）した。フレーム差分スコアは、矢状面、前額面におけるスコアの最大値、合計値、平均値、及びそれらの両面の合計値を分析に用いた。

4) 統計解析

各変数間の相関関係を Pearson の相関係数を用いて分析した。

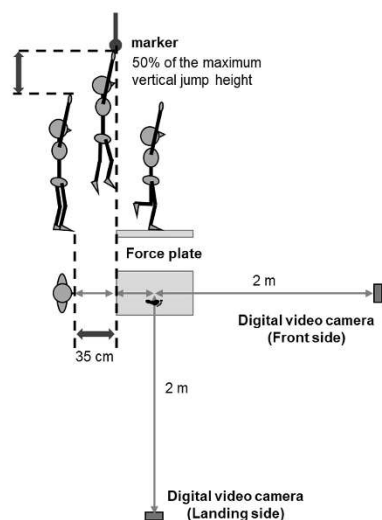


図 3 動作計測の環境

$$MLSI = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{0 - GRFx}{BW} \right)^2}{\text{number of data points}}}$$

$$APSI = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{0 - GRFy}{BW} \right)^2}{\text{number of data points}}}$$

$$VSI = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{0 - GRFz}{BW} \right)^2}{\text{number of data points}}}$$

$$DPSI = \sqrt{\frac{\sum \left(\frac{0 - GRFx}{BW} \right)^2 + \sum \left(\frac{0 - GRFy}{BW} \right)^2 + \sum \left(\frac{0 - GRFz}{BW} \right)^2}{\text{number of data points}}}$$

図 4 床反力の計測による安定性の評価指標

4. 研究成果

各変数間の相関関係を表 3 に示す。

表 3 ジャンプ着地動作における各変数間の相関関係

	DPSI	MLSI	APSI	VSI
Frontal plane				
Maximum of the frame subtraction score	$r = \mathbf{0.747}$ $P < \mathbf{0.001}$	$r = \mathbf{0.464}$ $P = \mathbf{0.039}$	$r = -0.253$ $P = 0.282$	$r = \mathbf{0.609}$ $P = \mathbf{0.004}$
Sum of the frame subtraction score	$r = \mathbf{0.491}$ $P = \mathbf{0.028}$	$r = \mathbf{0.622}$ $P = \mathbf{0.003}$	$r = -0.069$ $P = 0.74$	$r = \mathbf{0.527}$ $P = \mathbf{0.017}$
RMS of the frame subtraction score	$r = \mathbf{0.717}$ $P < \mathbf{0.001}$	$r = \mathbf{0.592}$ $P = \mathbf{0.006}$	$r = -0.258$ $P = 0.272$	$r = \mathbf{0.642}$ $P = \mathbf{0.002}$
Sagittal plane				
Maximum of the frame subtraction score	$r = 0.432$ $P = 0.057$	$r = -0.020$ $P = 0.932$	$r = -0.365$ $P = 0.114$	$r = 0.387$ $P = 0.092$
Sum of the frame subtraction score	$r = 0.306$ $P = 0.190$	$r = 0.265$ $P = 0.259$	$r = -0.085$ $P = 0.722$	$r = -0.301$ $P = 0.196$
RMS of the frame subtraction score	$r = \mathbf{0.466}$ $P = \mathbf{0.039}$	$r = 0.142$ $P = 0.551$	$r = -0.278$ $P = 0.235$	$r = 0.419$ $P = 0.066$
Combined planes				
Maximum of the frame subtraction score	$r = \mathbf{0.566}$ $P = \mathbf{0.009}$	$r = 0.106$ $P = 0.656$	$r = -0.374$ $P = 0.104$	$r = \mathbf{0.490}$ $P = \mathbf{0.028}$
Sum of the frame subtraction score	$r = 0.405$ $P = 0.076$	$r = 0.426$ $P = 0.061$	$r = -0.087$ $P = 0.716$	$r = 0.416$ $P = 0.068$
RMS of the frame subtraction score	$r = \mathbf{0.606}$ $P = \mathbf{0.005}$	$r = 0.305$ $P = 0.191$	$r = -0.303$ $P = 0.194$	$r = \mathbf{0.531}$ $P = \mathbf{0.016}$

GRF ground reaction force, DPSI dynamic postural stability index, MLSI medial-lateral stability index, APSI anterior-posterior stability index, VSI vertical stability index, RMS root mean square

Only statistically significant variables ($P < 0.05$) are shown in bold

本実験では、動的姿勢の安定性の評価に基づくフレーム差分法の基準関連妥当性を検証した。ジャンプ着地動作に関しては、前額面でのフレーム差分スコアは DPSI、MLSI、および VSI と有意

に相関した。この研究では2台のデジタルビデオカメラが使用されたが、姿勢の揺れを測定し、動的な姿勢の安定性を評価するためには、単一の前方ビデオカメラだけを使用することで可能であった。フレーム差分法はマーカレスシステムのため、コストと時間を削減できるため、フォースプレートなどの従来の測定器具の代替となり得る。

実験1と実験2の結果により、リハビリテーションやスポーツ領域で一般的に実施される静的・動的バランスの評価に関して、動画像を用いた評価システムが活用可能であることが示された。今後は、高齢者や有疾患者、アスリートを対象とした研究を進めて、これらの評価システムのリハビリテーション現場や地域、スポーツ現場での実装を目指す必要がある。

<引用文献>

Cuevas-Trisan R: Balance problems and fall risks in the elderly. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 28: 727-737, 2017

Tateuchi, et al: Gait- and posture-related factors associated with changes in hip pain and physical function in patients with secondary hip osteoarthritis: A prospective cohort study. *Arch Phys Med Rehabil* 100: 2053-2062, 2019

Alex D, et al: Background subtraction frame difference algorithm for moving object detection and extraction. *J Theor Appl Inf Technol* 60: 623-628, 2014

Wikstrom EA, et al: A new force-plate technology measure of dynamic postural stability: the dynamic postural stability index. *J Athl Train* 40: 305-309, 2005

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 2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 Ota M, Tateuchi H, Hashiguchi T, Fujiwara K, Sasaki A, Okumura K, Ichihashi N	4. 巻 14
2. 論文標題 Validity of the frame subtraction method in dynamic postural stability	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation	6. 最初と最後の頁 174
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s13102-022-00570-7	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 -

1. 著者名 Megumi Ota, Hiroshige Tateuchi, Takaya Hashiguchi, Yasuhiro Ogino, Noriaki Ichihashi	4. 巻 109
2. 論文標題 Verification of criterion-related validity of the evaluation method of postural stability using the frame subtraction method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Biomechanics	6. 最初と最後の頁 109958
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.jbiomech.2020.109958	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 -

1. 著者名 建内宏重	4. 巻 56
2. 論文標題 変形性股関節症患者の動作分析	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 理学療法ジャーナル	6. 最初と最後の頁 534-541
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 無
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 -

1. 著者名 建内宏重	4. 巻 28
2. 論文標題 運動器疾患患者における歩行評価のこれまでとこれから	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 香川県理学療法士会学会誌	6. 最初と最後の頁 3-7
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 無
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 -

1. 著者名 建内宏重	4. 巻 40
2. 論文標題 運動器疾患患者に対するこれからの理学療法を展望する	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 理学療法	6. 最初と最後の頁 14-26
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 無
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10件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 0件)

1. 発表者名 太田恵, 建内宏重, 市橋則明
2. 発表標題 運動器疾患予防のための動作解析手法の開発
3. 学会等名 第48回日本臨床バイオメカニクス学会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 建内宏重
2. 発表標題 中高齢者の関節疾患に対する理学療法
3. 学会等名 第61回近畿理学療法学会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤原花恋, 太田恵, 建内宏重, 奥村輝石, 佐々木彩乃, 橋口昂矢, 市橋則明
2. 発表標題 フレーム差分法 によるジャンプ着地時におけるバランス評価の妥当性の検証
3. 学会等名 第26回日本基礎理学療法学会学術大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 建内宏重
2. 発表標題 中高年齢者の関節疾患に対する理学療法
3. 学会等名 第61回近畿理学療法学会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 建内宏重
2. 発表標題 局所と全身での協調からひも解く股関節機能
3. 学会等名 第12回日本ダンス医科学研究会学術集会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 建内宏重
2. 発表標題 運動器疾患患者の歩行に対する多角的理学療法戦略
3. 学会等名 第28回香川県理学療法士学会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 建内宏重
2. 発表標題 変形性関節症の理学療法を拓く
3. 学会等名 第25回山梨県理学療法士学会学術集会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 建内宏重
2. 発表標題 運動器疾患における歩行障害の評価と治療
3. 学会等名 鹿児島県理学療法士会研修会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 建内宏重
2. 発表標題 運動器理学療法において“動き”をみる意義とその未来
3. 学会等名 第36回中国ブロック理学療法士学会（招待講演）
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 建内宏重
2. 発表標題 変形性関節症の理学療法におけるunmet needs
3. 学会等名 第39回東海北陸理学療法学会（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

臨床バイオメカニクス研究室 業績 http://clin-biomech.hs.med.kyoto-u.ac.jp/achievements/ 臨床バイオメカニクス研究室 http://clin-biomech.hs.med.kyoto-u.ac.jp/

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	太田 恵 (Ota Megumi) (30715941)	関西医科大学・リハビリテーション学部・准教授 (34417)	
研究分担者	市橋 則明 (Ichihashi Noriaki) (50203104)	京都大学・医学研究科・教授 (14301)	

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