

令和 6 年 6 月 19 日現在

機関番号：34304

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K11005

研究課題名（和文）健康寿命伸長のための人工知能を利用したバランストレーニング機器開発に関する研究

研究課題名（英文）Research on the Development of Balance Training Equipment Utilizing Artificial Intelligence for Extending Healthy life expectancy.

研究代表者

高梨 泰彦（Takanashi, Yasuhiko）

京都産業大学・現代社会学部・教授

研究者番号：60216679

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：新バランストレーニングマシンを開発し、リアルタイムによる視覚的フィードバックを利用した動的バランス能力の測定・評価方法、および人工知能を利用した三次元動作評価システムを構築した。またそのトレーニング効果の基礎資料として、開発したマシンによるバランストレーニング時の筋活動を評価し、静止立位以上の筋活動を確認した。さらに三次元動作評価システムのさらなる精度向上のため、赤外線ディープセンサを複数台使用した「新マーカレスモーションキャプチャシステム」を構築し、バランス動作も含めた日常の簡易動作（歩行動作など）については十分な精度のデータが取得できることを確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

社会的課題である健康寿命伸長のため転倒予防策は重要であり、問題の解決のため急速な進歩を遂げている人工知能の健康・スポーツ科学への応用が期待されている。本研究はポールメーカーが開発した新バランストレーニングマシン（2016年度経済産業省助成金事業での成果）を利用し、転倒予防のための動的バランス能力の測定・評価方法、人工知能による動作評価システムを開発した。また従来のモーションキャプチャシステムでは、着替えやマーカ貼付など被験者への身体的負担が大きかった。本研究では赤外線ディープセンサを複数使用し、身体的負担を大幅に低減した新モーションキャプチャシステムを構築、動作解析の新たな一歩に寄与した。

研究成果の概要（英文）：We have developed a novel balance training machine and established a method for measuring and evaluating dynamic balance ability using this apparatus. The new training machine allows for real-time visual feedback and further incorporates artificial intelligence to enable evaluation of balance movements in three dimensions. Additionally, to obtain baseline data for evaluating training effectiveness, we conducted balance training using the developed machine, measured muscle activity at that time, and confirmed higher muscle activity compared to walking movements. Furthermore, to enhance the accuracy of the three-dimensional motion assessment system, we newly constructed a "new markerless motion capture system" by combining multiple infrared deep sensors. We confirmed that this new system can acquire highly accurate data when measuring everyday basic movements (such as walking).

研究分野：スポーツ科学

キーワード：動的バランス マーカレスモーションキャプチャ 動作解析 人工知能 転倒予防

1. 研究開始当初の背景

(1)本研究の学術的背景

我が国では健康寿命伸長のための包括的・個別的施策の策定は喫緊の課題である。中でも高齢者の転倒による骨折や運動器疾患は寝たきりを引き起こす主要な原因の一つであり、早急な対策が望まれる。転倒予防のためにはバランス能力、下肢筋力、歩行能力の改善が重要で (Fujita 他 2003 など)、バランス運動の実施によって転倒頻度が抑制される (Province ほか 1995)。(株)ミカサと本研究の研究代表者は、新バランストレーニングマシンを共同研究しており (2016 年度経済産業省の助成金事業)、バランストレーニングに加え、近年大きな成果が上がりつつある人工知能を利用した転倒予防のための動作解析は、大いに期待されるべき分野である。

(2)研究課題の核心をなす学術的「問い」

新マシンはバランストレーニング以外に、動的バランス能力の測定機器としても使用可能である。しかし本マシンによる測定評価方法は確立されておらず、トレーニングの効果についても未知数である。また測定・トレーニング中、リアルタイムでの三次元化された動作を、視覚的フィードバックとして使用することはできなかった。さらにこうしたバランス能力の総合評価は経験的、職人的な能力に依存せざるを得ず、客観的な定量評価は難しいのが現状であった。

2. 研究の目的

研究目的① 新バランストレーニングマシンによる動的バランス測定・評価方法の検討

研究目的② リアルタイム三次元バランスコントロール動作の取得、および動的バランスのリアルタイムによる視覚的フィードバック方法の検討

研究目的③ 動画 (及び静止画) を利用した人工知能による三次元動作評価システムの構築

研究目的④ 動的バランストレーニング実施中の下肢筋力発揮状況の評価

研究目的⑤ バランス動作を取得するための「新マーカレスモーションキャプチャシステム」の構築とその使用方法の検討

上記研究中に使用していた簡易モーションキャプチャシステム「KinectV2」(Microsoft 社製)が販売中止となった。後継機として「Azure Kinect」が発売されたが、この Azure Kinect は複数台を組み合わせることが可能となった。そこで研究目的⑤として後継機を複数台使用した改良型新マーカレスモーションキャプチャシステムを構築し、その精度の評価を目的に加えた。

3. 研究の方法

研究目的①について (株)ミカサが開発した新型バランストレーニングマシンを利用し、一般健康者 91 名 (平均年齢 20.2 ± 1.5 歳) について動的バランス能力の測定を実施した。測定は 5 回実施し、1~5 回目までの数値を分散分析、及び多重比較検定を用いて解析し、適切な評価値を得るためのプロトコルについて検討した (図 1)。

研究目的②について 簡易型モーションキャプチャシステム (株式会社システムフレンド社製「鑑」(以下 KinectV2)) を利用し、新型バランストレーニングマシン上でのバランス動作の動画からスティックピクチャをリアルタイムで取得した (図 2)。同時に動的バランスの移動軌跡 (重心動揺) を取得し、その提示方法を検討した。

研究目的③について 10 代から 80 代の成人男女 383 名について新型バランストレーニングマシンによる動的バランス測定を実施した。人工知能を利用して新型バランストレーニングマシンから得られるバランス軌跡のデータを、その評価点数 (80 点) によってバランス能力「高」と「低」に分類し、200 名分の測定データを教師データとして採用、その後機械学習によって残りの 183 名について動的バランス能力を判定させ、機械学習による判別能力を検討した。図 3 に教師データとして使用した動的バランスの軌跡例を示す。また簡易モーションキャプチャシステムによるスティックピクチャから、人工知能による動作判定の可能性を確認するため、眩暈動作を利用して動作の判別を試みた。被験者は 2 名の健康な男性 (32 歳、38 歳) であり、開眼片足立ち動作を簡易マーカ

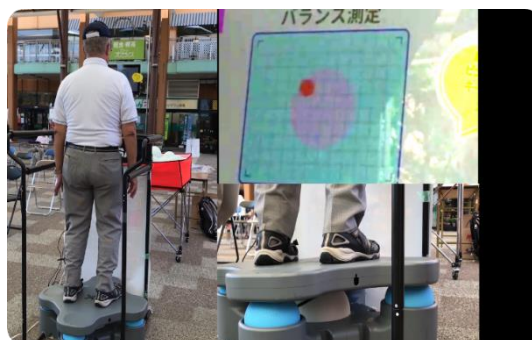


図 1 新型トレーニングマシンの実験風景とモニター上のバランス表

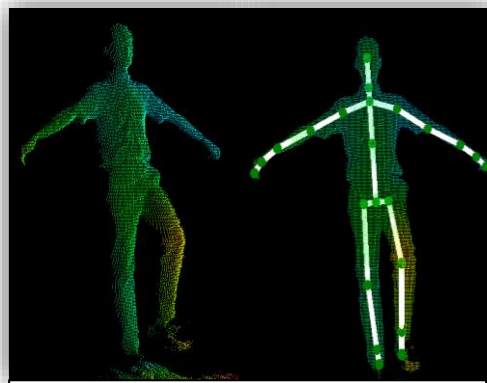


図 2 新モーションキャプチャによる点群データとスティックピク

スモーションキャプチャ (30fps×30 秒=900 フレーム) によって 17 回計測し、その後人工知能によって動作を判別させた。

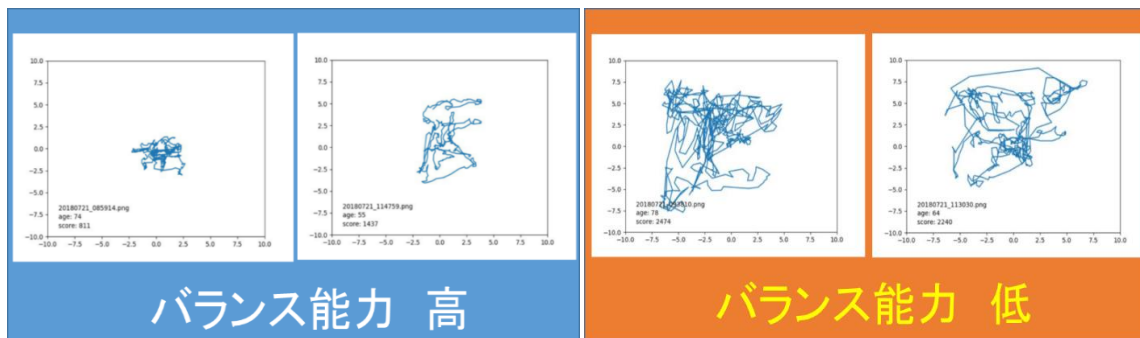


図 3 動的バランス能力の教師データの例

研究目的④について 健常な 20 歳男性 4 名を対象に、左右両下肢の①大腿直筋、②大腿二頭筋 (外側)、③前脛骨筋、④腓腹筋外側頭 の 8 筋群について、DELSYS 社製筋電位計測システム「Trigno (トリーニョ)」を用いて筋電図 (EMG) を以下の 3 動作で取得した。① バランスボード上での静止立位 (膝関節経度屈曲位)、② 静止立位 (直立姿勢で静かに立っているように指示)、③ スクワット動作 データは RMS 処理を実施し、①～③の筋放電量から筋出力を評価した。

研究目的⑤について マーカレスモーションキャプチャの「KinectV2」の後継機種である「Azure Kinect」を 2 台使用し、(1) 複数の Azure Kinect (赤外線ディープセンサー) の同期の精度確認と、(2) 三次元座標データの精度の確認を実施した。(1)については 2 台を同時に作動させジャンプ高を測定し、ジャンプ最高値のタイムスタンプのズレから 2 台のずれを評価した。(2)については、ソフト及びハードの改良によって同期のずれを無くした新マーカレスモーションキャプチャシステムを開発した後に、光学的モーションキャプチャシステム (Vicon 社製、以下 Vicon と表示) と同時併用し、歩行及びカウタームーブメントジャンプ (CMJ) 動作を計測 (clavicle の位置で計測) し、歩幅とジャンプ高を測定することによって精度を検証した。

4. 研究成果

研究目的①～②の成果

・**測定方法に関する成果** 1～5 回目までの測定結果を図 4 に示す。1 回目から 3 回目までは、「練習効果」と考えられる評価値の向上が見られた。しかし 3 回目から 5 回目までは、有意な差が認められなかった。この新バランストレーニングマシンの測定は、3 回目までは練習効果が認められ、その後は測定値が安定することが明らかとなった。したがって測定は 3 回実施し、3 回目の測定値を評価値として採用することが適切であることが明らかとなった。

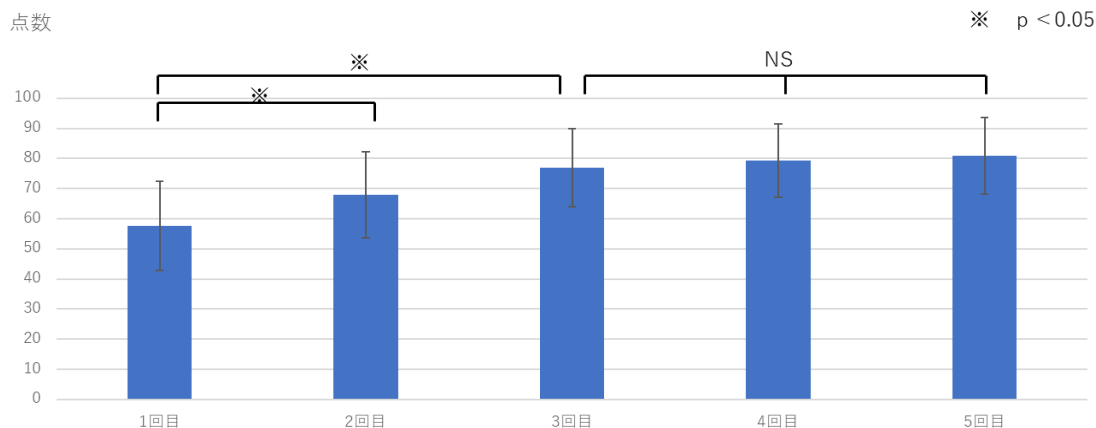


図 4 動的バランス能力の測定結果

・**評価方法およびリアルタイムにおける動的バランスの表示方法に関する成果** 実際の動的バランスの移動軌跡は図 3 に示したが、被験者には図 1 に示すように目標となる動的バランスの「目標円」を測定中に示し、リアルタイムのバランス状態を赤いポイント (図 1 の赤い円) で示すことが分かりやすいと判断した。なお目標円は動的バランス能力の評価値がだいたい 80 点程度になる半径を入力している。

バランス動作の表示は、図 2 に示すスティックピクチャをリアルタイムにモニターに表示した。当初この動作表示は KinectV2 を使用したが、当該機器の発売中止影響と図 1、3 に示す動

的バランスのリアルタイムでの移動軌跡の方が分かりやすいとの被験者からの聞き取り調査の結果から、スティックピクチャは示さず、図1に示す表示方法にすることを決定した。

No.	被験者	判定	判定値	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
1	A	正常	1.0																								
2	A	正常	1.0																								
3	A	正常	0.9583			×																					
4	A	正常	1.0																								
5	A	正常	1.0																								
6	A	正常	0.9583																							×	
7	A	正常	0.8333						×			×					×										
8	A	眩暈	0.0833	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
9	A	眩暈	0.0	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
10	A	眩暈	0.0833	×	×		×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
11	A	正常	1.0																								
12	A	眩暈	0.0833		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
13	A	正常	0.9167	×																×							
14	B	正常	1.0																								
15	B	眩暈	0.0	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
16	B	眩暈	0.0	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
17	B	眩暈	0.0416	×	×		×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×

図5 機械学習による眩暈動作の判定結果

研究目的③の成果

・動的バランス能力の機械学習による判定の成果 図3に示した教師データ(200名分)を使ってバランス能力の高低を、残り183名の重心動揺の移動軌跡を使用して判定させた。その結果評価点数との一致率は86%であり、機械学習、言い換えれば人工知能による動的バランス能力の判定は、十分に高いことが明らかとなった。

・簡易型モーションキャプチャシステムの動画(スティックピクチャ)による機械学習と動作の自動判別の成果 被験者2名の17回の機械学習による判別結果を図5に示す。判定結果は100%の精度で正しく判断された。図中0~23はモーションキャプチャから抽出された身体のランドマークを示しており、×印は眩暈と判断されたランドマークポイントであり、最終的に各ランドマークの○×の状態から判定値を計算し眩暈の有無を判定している。

以上の結果から簡易モーションキャプチャシステム(KinectV2)を利用し、眩暈動作を機械学習によって判別することが可能であることが明らかとなった。眩暈動作はバランスが不安定な動作であり、眩暈無しの動作と眩暈動作との判別が可能であることは、機械学習によってバランス能力の高低を客観的に判定し得る可能性があることを示している。今後、機械学習を利用したバランス能力の測定についてもさらに検討していく。

研究目的④の成果

新バランストレーニングマシン上での下肢筋群について、その筋放電量から筋出力を評価した。その結果の一例を図5に示す。図5は静止立位と新バランストレーニングマシン上での腓腹筋外側頭部のRMS処理後の筋放電量を示している。静止立位に対して、バランス動作における下肢筋群の筋活動量はいずれも大きくなった(1.5~4倍程度)。特に前脛骨筋における活動量の増大は顕著であり、腓腹筋外側頭部の増加も大きかった。

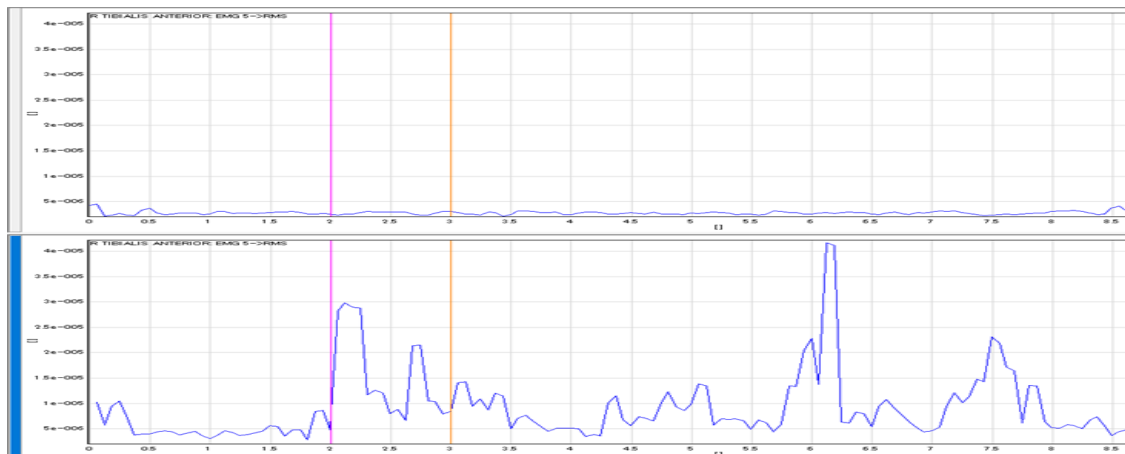


図6 静止立位と新バランストレーニングマシンによる筋放電量の比較(前脛骨筋)
上段が静止立位、下段がバランス動作 縦軸スケール: 最大値を1mV

以上のことから静止立位と新バランストレーニングマシン上でバランス運動を行った状態の間に、大きな筋活動の差があり、静止立位に比べて明らかに大きな筋力を発揮していることが明らかとなった。またその筋活動量の差は大腿部よりも下腿部において大きくなる傾向を示した。バランス動作は主として足関節のコントロールによるところが大きいことが示唆される。

またスクワット動作における筋活動は、膝関節の屈曲・伸展動作と同調したリズムカルな筋放電が下肢筋群で見られた。これらスクワット運動の筋活動に比較して、新マシン上でのバランス運動の筋放電量は、被験者4名ともに大腿直筋、大腿二頭筋、前脛骨筋で小さくなる。特に大腿直筋の場合、スクワット動作と比べると3分の1～4分の1程度であった。

研究成果⑤の成果

・複数台の Azure Kinect の同期の精度の確認

表1に11回のジャンプ動作によって算出された2台のセンサーの同期のズレを示す。センサーは30fpsでデータを収集しているため、ほぼ0.05秒前後の同期のズレがあることが明らかとなった(高梨2024)。そのためソフト及びハード上で2台のセンサーが同期するよう、システムを新たに開発した。

回数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	平均
差	3.6	1.9	0.4	0.9	0.4	2.4	0.6	1.2	1.2	0.2	2.1	1.35

表1 ジャンプ動作におけるCamera 1と2の同期のずれ(単位:コマ数)

・複数台の Azure Kinect を使用した新モーションキャプチャシステムの精度の検証

2台を同時に使用した場合、パソコン画面上には複数カメラによって同定されたスティックピクチャが映し出される。単体のKinectV2よりも精度が上がっていると考えられる。その検証のために歩行動作とジャンプ動作を実施した。

表2に Azure Kinect 及び Vicon で測定した歩幅データ、ジャンプ高のデータの差を示す。

このことから赤外線ディープセンサーを利用した Azure Kinect は、垂直方向の精度は非常に高く、光学的モーションキャプチャシステムとして世界的に用いられている Vicon と比較しても1cm未満の誤差しか生じないことが明らかとなった。鉛直方向に関し、Azure Kinect 複数台を用いた場合の新マーカレスモーションキャプチャシステムは精度が高いと言える。

一方、歩幅データは2.3cmの誤差が生じた。歩幅は Azure Kinect を使用して奥行きデータの計測をしていることになる。つまり新システムの奥行きデータはcmオーダーの誤差を生むことになり、精度の高さが求められる測定には不向きであることが明らかとなった。

試行回数	差の絶対値 (cm)	試行回数	絶対値の差 (cm)
1	0.1	1	0.5
2	1.0	2	2.3
3	2.2	3	9.1
4	0.7	4	5.9
5	2.0	5	6.7
6	0.2	6	4.4
7	1.4	7	4.3
8	0.8	8	4.3
9	0.4	9	4.8
10	0.5	10	7.5
平均	0.93	平均	4.98
標準偏差	0.688549	標準偏差	2.3596

表2 Azure Kinect と Vicon で測定した歩幅およびジャンプ高の差

<引用文献>

- ① Kazuki Fujita, Ryoichi Nagatomi, Atsushi Hozawa, Takayoshi Ohkubo, Koya Sato, Yukiko Anzai, Catherine Sauvaget, Yoko Watanabe, Akira Tamagawa, Ichiro Tsuji Kazuki, Effects of Exercise Training on Physical Activity in Older People: a Randomized Controlled Trial, Journal of Epidemiology, Vol. 13, 2003, 120-126
- ② Michael A. Province, Evan C. Hadley, Mark C. Hornbrook, et al., The Effects of Exercise on Falls in Elderly Patients, Journal of the American Medical Association, Vol. 273, 1995, 1341-1347
- ③ 高梨泰彦, 松本日向, Azure Kinect を複数同時使用した場合の同期のズレについて、京都産業大学総合学術研究所報, Vol118, 2024, 77-83

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 0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 高梨泰彦、松本日向	4. 巻 18
2. 論文標題 Azure Kinectを複数同時に使用した場合の同期のずれについて	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 京都産業大学総合学術研究所報	6. 最初と最後の頁 77-83
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 オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小川龍太郎，東有明，下石玲央，山本優太，岡原瑞穂，高梨泰彦
2. 発表標題 人工知能によるヒト転倒予防のための基礎的研究
3. 学会等名 第73回日本体力医学会大会
4. 発表年 2018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	小室 輝明 (Komuro Teruaki) (50802146)	京都産業大学・現代社会学部・助教 (34304)	

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
---------	---------