

原 著

身体バランスの定量法の開発

¹東京女子医科大学大学院医学研究科 (指導: 村垣善浩教授)²横浜市スポーツ医科学センター³東京慈恵会医科大学高次元医用画像工学研究所⁴東京女子医科大学先端生命医科学研究所先端工学外科学分野セオ リリコ^{1,2}・ヨシヒサ タケシ²・ハットリ アサキ³・ムラガキ ヨシヒロ⁴
瀬尾理利子^{1,2}・吉久 武志²・服部 麻木³・村垣 善浩⁴

(受理 平成24年11月22日)

Development of an Evaluation Method to Quantify Balance Movements
during Single-Leg Standing with Eyes OpenRiriko SEO^{1,2}, Takeshi YOSHIHISA², Asaki HATTORI³ and Yoshihiro MURAGAKI⁴¹Graduate School of Medicine, Tokyo Women's Medical University²Yokohama Sports Medical Center³Institute For High Dimensional Medical Imaging, Research Center For Medical Sciences,
The Jikei University School Of Medicine⁴Faculty of Advanced Techno Surgery, Institute of Advanced Biomedical Engineering and Science,
Tokyo Women's Medical University

Body balance in the elderly is measured by the length of time they can remain standing on a single leg, when evaluating their body balance. However this is not enough to see how they move their body to control their balance. It is difficult to evaluate the body balance during orthopedic examinations because of limited space and time. We developed a simple evaluation method to quantify the body balance by measuring the motion of the trunk from images appearing on a single video camera setup in front of people standing on a single leg. We examined the movement of the trunk in 9 subjects aged 39–70 years old, when they shifted from the standing position on both legs to the standing position on a single leg. We measured the angles of the shoulders and the pelvis, and the pelvis angle decreased after 8 weeks of exercise. We obtained the same results when we compared this with the three dimensional motion analysis and single video analysis. This is a simple and effective way in evaluating body balance using a single video camera.

Key Words: body balance, single leg standing, senior, video camera

緒 言

日本整形外科学会では寝たきり予防にロコモティブシンドローム (ロコモ) の予防を訴えている¹⁾。ロコモとは、主に加齢による運動器の障害のため移動能力が低下し要介護になりやすい状態を表す。高齢者は年齢が上がると片脚立位時間が減少し²⁾³⁾歩行が困難となる。そのため、ロコモの診断、つまり今後歩行困難になる予測方法として開眼片脚立位時間を測定している。しかし整形外科診察時、開眼片脚立位は行うことができても片脚立位の姿勢が悪いとい

うことが多い。重要なのは立位の姿勢や身体の動かし方などを細かく観察し評価すること (Fig. 1) で、時間の長短を評価することだけではない。整形外科では、片脚でスクワットやジャンプなどの動作を行い、身体バランス能力を診断するが、この評価は医師や理学療法士が主観的に行っており、診断方法は確立されていない。また、このような大きな運動を高齢者に行うことは難しい。

現状の身体バランス評価方法としては、三次元動作解析法、重心動揺性を足圧より評価する方法、上



Fig. 1 The diagnosis point of single-leg standing

In the outpatient clinic, we see slope and rotation of the pelvis and shoulder, and the wobble of the body as an index of the body balance stabilities.

肢をどれくらい伸ばせるかで評価する Function reach (FR)⁴⁾, 下肢をどれくらい動かせるかを評価する Star Excursion Balance Test (SEBT)⁵⁾, 一定の距離を座位から立ち上がって歩く Timed Up and Go Test (TUG) などがあるが, FR, SEBT, TUG は時間的, 空間的問題で実施困難である上に, 片脚立位の姿勢を評価できるのは三次元動作解析のみである。しかし, 三次元動作解析にも大掛かりな装置が必要で測定前のキャリブレーションに時間がかかるなど毎日の外来診察で使用するのは困難である。つまり, 外来診察時はこのように外来診察中に身体バランスの姿勢を定量化して, 短時間に簡便に評価する方法は存在しない。

目 的

将来的な歩行困難の予測手段として開眼片脚立位の診断が行われているものの定量的ではないため, 定量的かつ簡便な手段が必要とされている。そこで, 外来診察時にも使用できる身体バランス評価法で,

ビデオカメラ 1 台を使用し定量化する方法の開発を行う。

対 象

片脚立ちの測定に同意し, 歩行が安定している障害のない 9 名の中高齢者 (39~70 歳, 平均 58 ± 9.1 歳), 身長 150~164cm (平均 156 ± 5.1 cm), 体重 40~62kg (平均 52 ± 6.8 kg) である。

方 法

1. 測定方法

開眼両足立位 (Fig. 2a) から左右片脚立位 (Fig. 2b) を行い, 最大 15 秒まで継続して保持するものとした。この時, 両上肢は腰に当てた肢位とし, 拳上した片脚は支持脚につけないものとした。片脚立位が 15 秒に満たなかった場合, 最大 3 回まで片脚立位の動作を繰り返した。この様子を下記に示すビデオ撮影による方法および三次元動作解析装置を用いて同時に測定を行った (Fig. 3)。同時に身体バランスと筋力との関連を評価するため, 測定は運動負荷前と

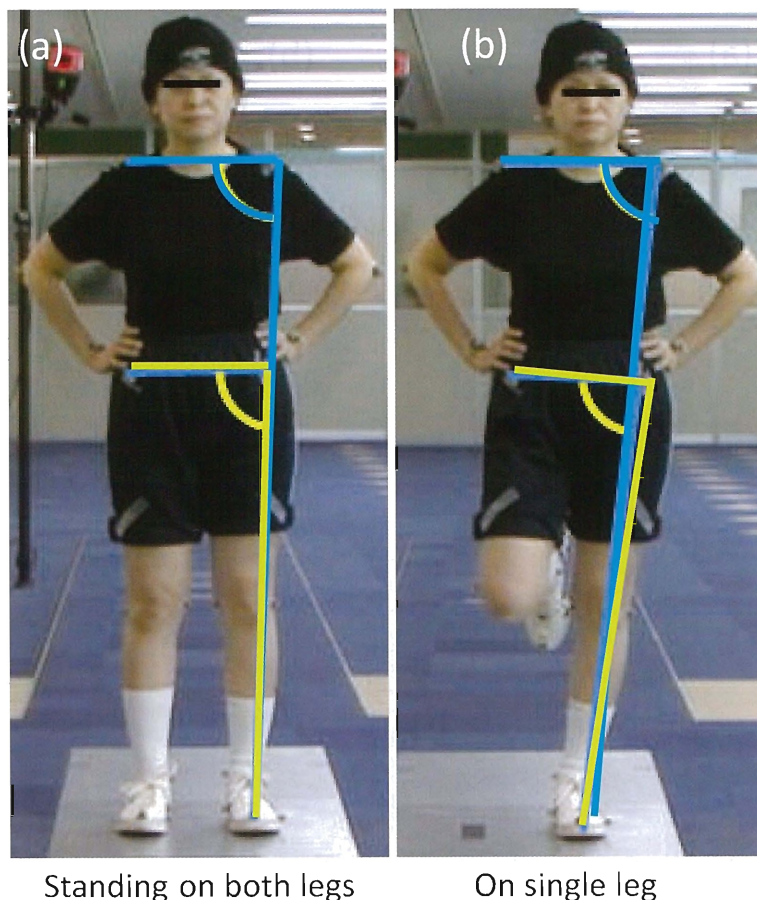


Fig. 2 Two-dimensional motion analysis was performed using only one video camera. Video was taken at the same time with the three-dimensional motion analysis system. We used same markers, positioned on Acromion, Anterior superior iliac spine, Second toe and we measured the angle of the shoulder (Acromion-Acromion-Toe), and the angle of the pelvis (Ant. Sup. Iliac spine-Ant. Sup. Iliac spine-Toe), when one stands on both legs (a) and on a single-leg (b).

8週間の運動負荷後に行い、運動負荷前後で下肢筋力も測定した。運動負荷は、歩行や片脚立位訓練を中心とした腹筋や臀筋の筋力トレーニングや股関節周囲のストレッチなどである。週1回2時間は訓練士とともに集団で運動を行い、他の日に行う練習の指導も行った。

本研究のデータは、横浜市スポーツ医科学センターで開催されているロコモ教室に個人で希望し参加した者で、ロコモ教室内で測定しているデータの研究への使用を承諾した者の検査データである。

2. 本研究で提案するビデオによる方法

家庭用ビデオカメラ (HDR-FX7, Sony) は被験者の正面に三脚にて固定した。被験者は、赤外反射マーカー (直径9~19mm) (Fig. 4a) を肩峰・上前腸骨棘・第2趾に衣服・靴の上から両面テープで固定した。

両足立位から片脚立位に移行する動きで肩・腸骨のマーカーに着目し、体幹の傾きをビデオカメラで

撮影した。ビデオ画像は、パーソナルコンピュータに取り込み、二次元動作解析システム (PV Studio 2D, 株式会社 OA サイエンス) を使用し両肩峰・上前腸骨棘・第2趾の6カ所の指標の自動追跡作業を行った。衣服の色や背景によりマーカーの自動追跡が困難な場合は、Fig. 4b に示す市松模様を紙に印刷し、マーカーとして用いた。指標追跡後、肩峰—肩峰—第2趾・上前腸骨棘—上前腸骨棘—第2趾のなす角度を求め、両下肢立位から片脚立位になった際の画像の角度変化からバランスの変化を解析した。

角度変化を時系列で確認し、両足立位から遊脚足が床から離れ、しっかりと片脚立位姿勢となり、片脚立位姿勢を保持している状態とで比較すると、しっかりと立位姿勢となった瞬間が15秒間の撮影の中で、最も骨盤が傾く。片脚立位になった瞬間の最も角度変化の大きい画像より角度を求めた。

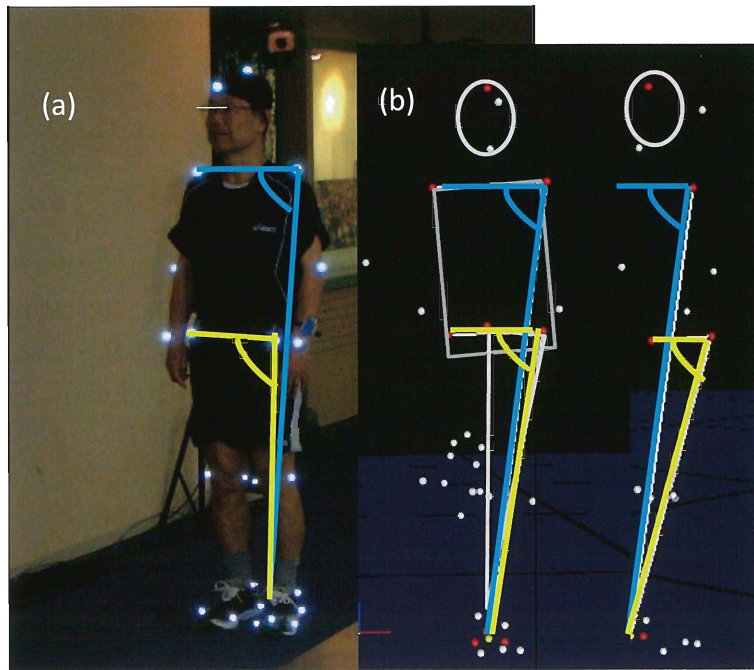


Fig. 3 Three-dimensional motion analysis was performed with Motion Analysis system. Ball-shaped markers, positioned on Acromion, Anterior superior iliac spine, Second toe, reflect infrared light from camera flashes, and only those markers are displayed on the computer image. We measured the angle of the shoulder (Acromion-Acromion-Toe), and the angle of the pelvis (Ant. Sup. Iliac spine-Ant. Sup. Iliac spine-Toe), when one stands on both legs (a) and on a single-leg (b).

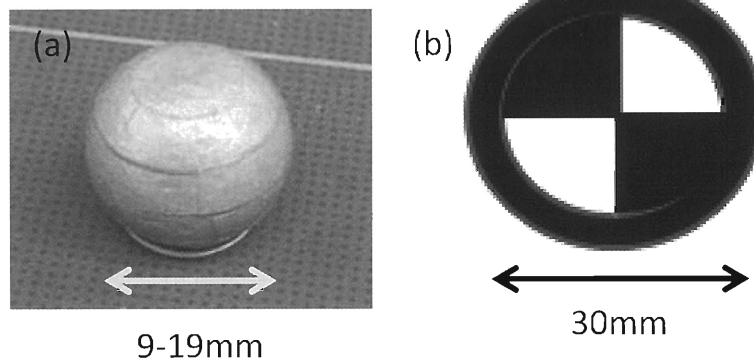


Fig. 4 (a) Ball-shaped infrared reflective marker (b) Black and white marker
Black and white markers were used when ball-shaped infrared reflective markers were not recognized on the video image depending on the background and subjects' clothes.

3. 三次元動作解析測定

ビデオ撮影と同時に三次元動作解析装置 (Motion Analysis) で赤外線カメラ 9 台を使用し動作解析を行い、同じマーカーの動きに関して比較した (Fig. 3)。

4. 下肢筋力測定

身体能力として、両下肢伸展パワー、右下肢外転筋力を測定し、筋力とバランスとの関係を検討した。両下肢伸展パワーは、ANAEROPRESS3500 (COMBI) を使用し両股関節・両膝関節屈曲位から

伸展する際の下肢の伸展パワーを測定した。右下肢の外転筋力は、CYBEX NORM (サイベックスジャパン株式会社) を使用し被験者を左側臥位とし右股関節水平位 (股関節外転 0 度) の等尺性筋力測定を行った。それぞれ測定を 5 回行い、最もよい値を採択した。

5. 三次元動作解析による骨盤の回旋

三次元動作解析で上前腸骨棘のマーカーより両足立位を 0 度として片脚立位になった時の骨盤の水平面での回旋角度変化を求め、解析し検討した。

6. 統計

JMP 統計解析ソフトを使用し個々の分散を用いた T 検定より p 値を求め、5% 棄却域とし有意差を判定した。

結 果

1. ビデオ測定による角度測定

被験者の正面から撮影した画像から測定した両肩峰を通り第 2 趾までの角度、両上前腸骨棘を通り第 2 趾までの角度は、運動負荷前の測定時は両足立位から片脚立位になると右片脚立位では肩の角度は $0.8 \pm 1.9^\circ$ 、骨盤は $3.8 \pm 1.9^\circ$ 、左片脚立位では肩は $1.7 \pm 1.1^\circ$ 、骨盤は $5.4 \pm 2.2^\circ$ と変化がみられたが、運動負荷後は右片脚立位では肩は $0.5 \pm 1.5^\circ$ 、骨盤は $0.1 \pm 1.0^\circ$ 、左片脚立位では肩は $2.3 \pm 3.2^\circ$ 、骨盤は $1.3 \pm 2.4^\circ$ と変化した。骨盤角度は運動前後で減少したが、肩角度は左片脚立位時に角度の減少が見られなかった。

2. 三次元動作解析による角度測定

ビデオ測定と同時に撮影した三次元動作解析においても、運動負荷前の測定時は、右片脚立位では肩の角度は $2.3 \pm 2.8^\circ$ 、骨盤は $2.9 \pm 2.6^\circ$ 、左片脚立位では肩は $0.7 \pm 1.9^\circ$ 、骨盤は $5.0 \pm 2.3^\circ$ と変化がみられたが、運動負荷後は右片脚立位では肩は $1.6 \pm 1.5^\circ$ 、骨盤は $0.8 \pm 1.2^\circ$ 、左片脚立位では肩は $2.4 \pm 2.8^\circ$ 、骨盤は $0.8 \pm 1.9^\circ$ であった。骨盤角度は運動前後で減少したが、肩角度は左片脚立位時に角度の減少が見られなかった。

3. 個々の分散を用いた T 検定

角度変化について、解析ソフト JMP を使用し T 検定を行ったところビデオ 1 台による動作解析で運動前後での骨盤の上下の角度変化は、右片脚立位時肩角度 p 値 0.3746、股関節 0.0002、左片脚立位時肩関節 0.6965、股関節 < 0.0001 、3 次元動作解析装置では右片脚立位時肩関節 p 値 0.1909、股関節 0.0016、左片脚立位時肩関節 0.0956、股関節 < 0.0001 と棄却域 5% で左右両方とも片脚立位の股関節角度は有意差を認めた。

4. 下肢筋力測定

8 週間の運動負荷後は、体重あたりの両下肢伸展パワーは $8.9 \pm 3.1 \text{ W/kg}$ から $10.8 \pm 3.2 \text{ W/kg}$ と増強したが、体重あたりの右下肢外転筋力は $1.7 \pm 0.4 \text{ Nm/kg}$ から $1.7 \pm 0.3 \text{ Nm/kg}$ と変化しなかった。T 検定では下肢伸展パワー p 値 0.5298、股関節外転筋力 0.1122、棄却域 5% で有意差を認めなかった。

5. 三次元動作解析による骨盤の回旋

三次元動作解析による骨盤の回旋角度変化は、右

片脚立位時運動負荷前は、 $0.21 \pm 1.2^\circ$ 、運動負荷後は $1.01 \pm 1.6^\circ$ 左片脚立位時運動負荷前は $1.8 \pm 2.8^\circ$ 、負荷後 $1.7 \pm 1.4^\circ$ であった。T 検定で p 値右片脚立位 0.1329、左片脚立位 0.5077、5% 棄却域で有意差を認めなかった。

考 察

高齢者の片脚立位動作をビデオで撮影し動作解析を行った報告³⁶⁾や三次元動作解析⁷⁾、床反力計⁹⁾や重心動揺計⁹⁾の測定を行った報告などがある。片脚立位動作についてビデオ解析と同時に三次元動作解析を行い比較した研究はない。今回、三次元動作解析とビデオ 1 台の撮影による二次元動作解析を同時に行った。どちらの解析においても運動負荷前後での股関節角度変化に有意差を認めた。肩関節角度変化では三次元動作解析、二次元動作解析との同様の傾向を認めたが有意差を認めないため、肩関節角度の比較は有用でないものと考えられた。結果よりバランス姿勢変化を比較するのに股関節角度測定が有効で、ビデオ 1 台での動作解析においても運動負荷前後で股関節角度変化の比較解析が可能であると考えている。

今回の被験者は、訓練の前から片脚立位を 15 秒以上できた。日本整形外科学会のロコモチェックで行われている片脚立位時間測定は、15 秒で判定するため、15 秒で判定した場合、今回の被験者は運動前後での片脚立位の変化は確認できない。

三次元動作解析で得られた情報は、三次元の点座標としてコンピュータ処理し、身体上の点として表現することができる。三次元のどの位置からでもマーカーを置いた位置の動きを確認できリハビリテーションやスポーツバイオメカニクスの分野で使用されている。三次元動作解析の問題点は 3 台以上の赤外線カメラを設置できる広い部屋が必要で、赤外線を反射するような床や壁材では測定できない。被験者の服装も反射板などが付いていないように注意が必要である。セッティングには毎回キャリブレーションを行うが、カメラを常に同じ場所に置いておける環境で検査に慣れていても 30 分から 1 時間かかる。毎回カメラをセッティングし直す環境の場合はカメラのセッティングに半日かかってしまうこともある。機械のセッティングに慣れが必要なので誰でもが簡単に使用することはできない。このように三次元動作解析を外来診察時に毎回使用することは不可能である。

三次元動作解析での利点は、体幹の回旋運動を確

認できる場所である¹⁰⁾。しかし、今回の測定で、三次元動作解析で上前腸骨棘のマーカを用いた骨盤の水平回旋角度変化は運動負荷前後での変化に有意差はなかった。肩、股関節の上下への角度変化と骨盤の回旋角度変化を比較すると、骨盤の上下への角度変化にのみ運動前後での角度変化に有意差を認めており、片脚立位動作のバランス変化を評価する際、骨盤の上下への角度変化を評価することが重要であると思われた。

二次元動作解析には静止画でなく、ビデオ映像を使用することで経時的な身体の変化を確認することもできる。本研究では、両足立位時としっかりと片脚立位となった画像からの解析であったが、片脚立位となったタイミングの画像を選ぶためにはビデオで撮影し画像を選ぶことが必要であった。今後としては、バランスの不安定性、体のぐらつきを座標点の変化として経時的な変化で評価する方法も考えたい。

運動負荷は週1回2時間の運動を8週間にわたり合計8回集団で実施した。内容は歩行、片脚立位動作、股関節周囲ストレッチ、腹筋、臀筋筋力トレーニングなどを行った。股関節外転を意識するような運動も行っているが股関節外転筋力の増加がみられなかった。これより股関節の等尺性外転筋力測定では、訓練成果を確認できなかった。片脚立位に影響を与える筋を同定するためには測定方法や筋力の測定部位も今後検討していく必要がある。

マーカは直径9~19mmの三次元動作解析で用いる赤外反射マーカ (Fig. 4a) を使用したが、二次元動作解析システムの自動指標追跡時にマーカの大きさには関係なく追跡が可能であった。しかし、衣服の色や背景によってはマーカを自動追跡困難なことがあった。その際は手動にてマーカ追跡を行なった。これより赤外線マーカの代わりに白黒の直径30mm円 (Fig. 4b) で紙に印刷したものを両面テープで被験者に貼って自動追跡を行ったところ、衣服の色や背景に左右されることなく追跡可能であった。マーカ自体に色の変化を持たせると、衣服の色に左右されず画像からマーカを確認する際も容易であった。

片脚時間と歩行能力の関係については整形外科学会が示すように片脚時間が短くなると将来的に歩行不能となる可能性を示している。この研究では、狭い診察室で片脚立位姿勢を定量化するための方法としてビデオ撮影を行う方法を開発したが、歩行能力

と姿勢や骨盤の傾きの関係は今後の研究で明らかにしていかななくてはならない課題の一つである。また、片脚バランスとは、筋骨格系能力のみならず脳機能、末梢神経、反射など多くのことが関係しているものであり、高齢者における片脚姿勢の変化に何が最も関与しているかに関しては不明なことが多い。何が姿勢を悪くするのか、何をすれば最も効果的に片脚姿勢を改善するのかについても今後の研究で明らかにしていきたい。

結 論

診察時にバランスを定量化するには体幹の動きの変化が重要であるが、動きの変化をカルテに記載することは困難である。本研究ではビデオ撮影による身体バランスの解析を行った。診察室のように狭い環境であっても、患者の正面にカメラを1台設置できれば測定可能である。本研究で行ったビデオカメラ1台によるバランスの解析方法は、ロコモを予防するために、外来診察時に評価する方法として有用であると思われた。

利益相反の問題はない。

文 献

- 1) 中村耕三, 吉村典子, 阿久根徹ほか: ロコモティブシンドローム. 日臨 **69**: 1323-1331, 2011
- 2) 持田 尚, 中嶋寛之: ロコモティブシンドローム運動機能トレーニング バランス能力トレーニング. 診断と治療 **98**: 1847-1855, 2010
- 3) 木村みさか, 徳広正俊, 岡山寧子ほか: 閉眼片足立ちと開眼片足立ちからみた高齢者の平衡機能. 体育科学 **24**: 118-129, 1996
- 4) Duncun PW, Weiner DK, Chandler J et al: Functional reach: a new clinical measurer of balance. J Gerontol **45**: M192-M197, 1990
- 5) Plisky PJ, Rauh MJ, Kaminski TW et al: Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. J Orthop Sports Phys Ther **36**: 911-919, 2006
- 6) 田邊素子, 鈴鴨よしみ, 出江紳一: 家庭用ビデオカメラを使用した地域在住高齢者の片脚立ち動作における姿勢制御のタイプの判別. 総合リハ **37**: 1041-1048, 2009
- 7) 山田拓実, 武田 円, 北村千恵ほか: 荒川版転倒予防体操の開発と体力指標についての4ヵ月効果. 理学療法学 **31** (suppl. 2): 361, 2004
- 8) 星 文彦, 出江紳一: 高齢者の片脚立ち動作における運動学的特徴と立位バランス機能. 日臨生理学 **33** (suppl): 49, 2003
- 9) 住居広士, 土肥信之, 大塚 彰ほか: 高齢者の身体能力と身体組成による日常生活自立度モニタリングシステムの開発と研究. リハ医学 **33**: 1038, 1996
- 10) 吉沢 剛, 進のぞみ, 永井 聡: 片脚立位時の重心動揺と骨盤の前後傾との関連について. 理学療法学 **32** (suppl. 2): 370, 2005