

Kinectを用いた新たなバランス能力計測システムの開発と 基礎的研究

楠本 欣司

The development of a new balance ability measurement system
using Kinect and basic study

Kinji Kusumoto

ABSTRACT

Balance ability decreases with age, which can lead to falls and fractures. As a worst case scenario, increase risk of fractures to the elderly may require primary nursing care. I developed a new body balance measurement system that is three-dimensional using Microsoft Kinect, which is a controller for video games such as Xbox 360. Kinect is a physical device that consists of a RGB camera, an infrared depth camera, and a microphone array. One of the Kinect's remarkable technologies is the tracking of the skeleton without the use of reflective markers. In this study, I examined the reliability of the system. Twenty healthy females (age=21.0 ± 0.8 years, height=158.3 ± 3.6cm, mass=53.1 ± 4.9kg, BMI=21.2 ± 2.0) with no visual, vestibular, or neurological impairments volunteered to participate in the study. The results indicated the system had poor reliability in anterior/posterior and medial/lateral directions (ICC=0.35, 0.48); however, it had excellent reliability in superior/inferior direction (ICC=0.94). Although the new balance measurement system showed poor reliability, I think that I can improve the systems program and review the method of measurement. I believe that Kinect will become a more cost effective and easy to use tool for balance ability testing. I hope to see the Kinect system used in physical therapy and sports medicine facilities in the future.

Key Words: 三次元計測, 身体平衡機能評価, 非接触型ゲームコントローラー

緒言

バランスとは、身体の姿勢を静的あるいは動的安定に保つ能力のことである。¹ バランス能力は加齢に伴い低下していく。特に高齢者におけるバランスや下肢筋力の衰えは、転倒や骨折の明らかな原因となり、寝たきりなどの要介護状態になる危険性を増加させる。^{2,4}

バランス能力の検査には一般的に重心動揺計が用いられる。^{5,8} 重心動揺計は高精度かつ高感度な検査機器であり、めまい・ふらつき・平衡障害などを識別する。^{5,7} そのため主に保険診療適用の医療機関や専門の研究機関で多用される。もし家庭用体組成計同様に安価で簡便な重心動揺計が普及すれば、バランスの変化を適宜確認することができ、介護予防・支援にも有用であると考えられる。しかし一般家庭や介護福祉施設において、購入予算と使用頻度の面から考えると現行の重心動揺計を導入するのは容易でない。

Microsoft社は2005年に家庭用ゲーム機としてXbox 360を発売した。⁹ このXbox 360にKinectと呼ばれるデバイスを追加接続することで、ゲーム内のキャラクターを身体の動きで自由に操作できる。⁹ つまりKinectとは非接触型のゲームコントローラーで、近赤外線プロジェクター、カラーカメラ、

近赤外線カメラ，マイクアレイから構成されている (Figure1)。¹⁰ KinectはLight Coding方式を採用しており，プロジェクターから照射された既知の近赤外線パターンを赤外線カメラで読み取る。^{10,11} そして対象物の位置の違いを近赤外線パターンの幾何学的な歪みとして独自のアルゴリズムで演算し，対象物までの距離を取得することができる。^{10,11} さらにKinectの特徴は骨格追跡の座標データも抽出することができる。^{10,11} これによりマーカースレスでの三次元位置座標の計測を安価な機器で可能にした。そこで本研究では，Kinectを用いた新たなバランス能力計測システムを開発し，その再現性を検討した。

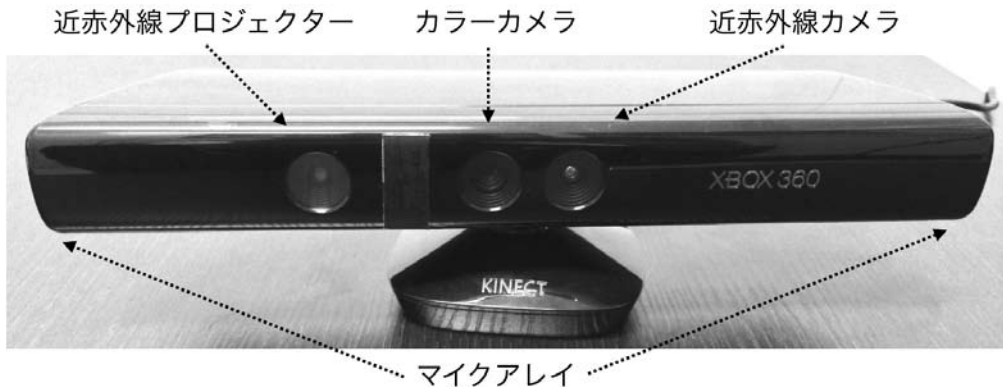


Figure1. Kinect for Xbox 360
(研究用にLEDインジケータは隠している)

方法

対象者

女性健常者20名 (年齢: 21.0 ± 0.8 歳, 身長: 158.3 ± 3.6 cm, 体重: 53.1 ± 4.9 kg, BMI: 21.2 ± 2.0) の任意参加により計測を実施した。対象者はバランストレーニングおよび定期的な運動習慣がない者であった。すべての参加者は中枢神経性疾患や末梢神経性疾患を有しない者であった。また整形外科や耳鼻科咽喉・頭頸部外科で過去3ヶ月の間に既往歴がない者であった。本研究はヘルシンキ宣言の趣旨に準拠し，倫理的配慮および個人情報の保護を厳守した上で実施した。

開発計測機器及びシステム

計測機器は，Kinect for Xbox 360 (Microsoft Corporation) およびノート型パソコン (SONY VAIO, VGN-Z70B, Intel[®] Core[™]2 Duo, 2.53GHz, 2.00GB, 32bit, Windows7 Home Premium) を用いた。

計測システムの開発に必要なプログラミングは，Scratch (version 1.4, Lifelong Kindergarten Group at the MIT Media Lab)^{12,13}を用いて独自に作成した (開発プログラム名: Kinect Balance Measurement System, version 1.0)。そしてScratchで作成したプログラムは，Kinect2Scratch SDK1.5 (Howell)¹⁴を介して実行した (Figure 2)。

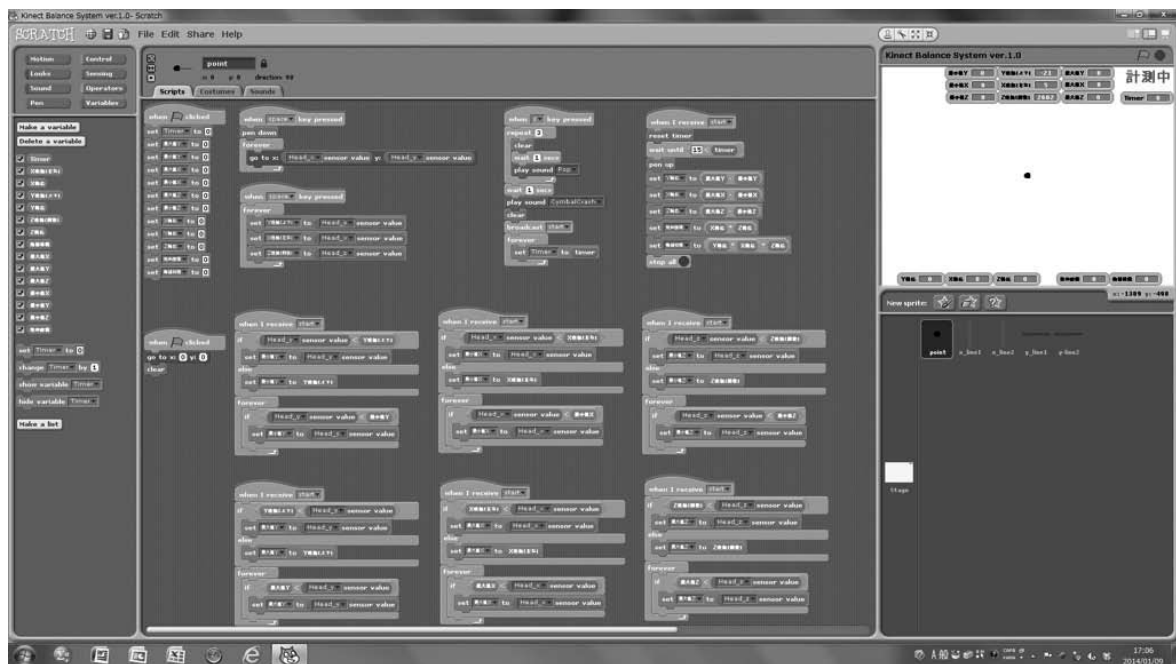


Figure2. Scratch^{12,13}によるバランス能力計測システムのプログラム
(Kinect Balance Measurement System, version1.0)

Kinectのセッティング

Kinectは、三脚 (SLIK[®] F730) のクイックシュー上に設置した。センサーの性能は、Kinect for Windows SDK 1.8¹⁵にあるサンプルプログラムKinect Explorer-WPFを用いて設定した。各種設定は下記に示すとおりである。

- ・ Color Stream: RgbResolution640×480Fps30
- ・ Depth Stream: Resolution640×480Fps30
- ・ Range: Default
- ・ Depth Treatment: ClampUnreliableDepths
- ・ Skeleton Stream: Default
- ・ Chooser Mode: DefaultSystemTracking
- ・ Sensor Settings: Tilt Angle 0°

計測方法

日本平衡神経学会が定める「重心動揺検査の基準」^{8,16}やその他の重心動揺計を用いた研究方法⁵⁻⁷を参考にし、Kinectの特性を考慮した方法で実施した (Figure 3)。

1. 計測環境

音や視刺激による身体偏位を生じさせない静かで明るい室内で実施した。Kinectからの赤外線照射の妨げにならないように、直射日光が入らない場所で行った。また風力による近赤外線パターンの歪みを防止するために空調機器類は使用しなかった。

2. 計測時の直立位置および足位

Kinectから2.5m離れた位置の基準線に爪先を45度開き、踵をつけた立位姿勢とした。足裏の冷えによるバランスへの影響を最小限に抑制するために薄手の靴下の着用は許容した。

3. 直立姿勢の指定

両上肢を体側に接し、自然に直立した姿勢で計測した。姿勢保持の妨げになるような厚着は控えさせた。

4. 視点の設定

Kinectの近赤外線カメラを注視点とした。視野に動く目標は入れなかった。なお、作動中に点滅するKinectのLEDインジケータは機器と同色の紙で覆い隠した。

5. 記録時間

プログラムにタイマー機能を設定し、開始から終了まで15秒間で計測した。

6. 計測回数

合計3回の試行を行い、最初の計測を除く2回目と3回目の試行結果を検討した。各試行間には、60秒から180秒間の休憩を入れた。

7. 留意点

距離カメラの誤差認識追跡を抑制するために、頭部や頸部周辺のアクセサリ類は全て外させた。ただし、計測時の目標点を確認できるように眼鏡の着用は許容した。



Figure 3. 計測方法

座標系の設定

座標系はKinectの近赤外線カメラとし、頭部動揺の上下方向をY軸、左右方向をX軸、前後方向をZ軸とした (Figure 4).

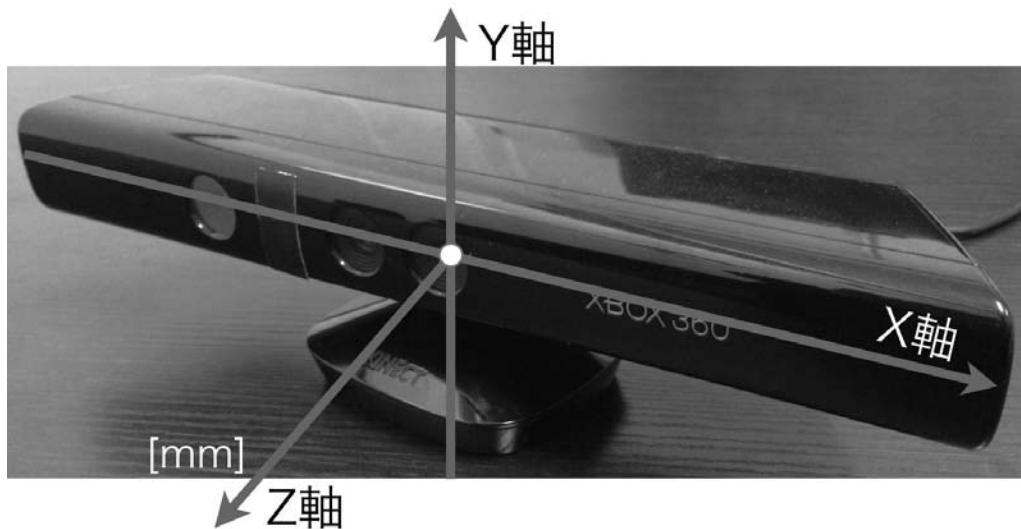


Figure 4. 本研究における頭部動揺計測の座標系

計測項目

Z軸は近赤外線プロジェクターと近赤外線カメラにより距離[mm]が計測できるが、Y軸およびX軸に関しては近赤外線カメラを中心に $[\pm 1.0]$ という単位が用いられている。¹¹ また、Scratchではxy-gridというオリジナル座標テンプレートを用いているために、Y軸とX軸に関する距離の単位は不明である。そこで本研究では、計測値により下記の項目を検討することにした (Figure 5)。

1. 頭部動揺変位最大振幅

頭部における上下、左右、前後の座標軸の変位の最大値と最小値を計測終了時に抽出し、上下方向の動揺変位最大振幅をY軸長、左右方向の動揺変位最大振幅をX軸長、前後方向の動揺変位最大振幅をZ軸長と定義した。本研究では、各座標軸上の移動範囲を計測するための指標として用いた。

2. 頭部矩形面積

上記で算出したX軸長とZ軸長を掛け合わせ演算した値を頭部矩形面積と定義した。本研究では、水平面における頭部の動揺の大きさを計測するための指標として用いた。

3. 頭部動揺体積

上記で算出したY軸長、X軸長、Z軸長のすべてを掛け合わせ演算した値を頭部動揺体積と定義した。本研究では、三次元における頭部の動揺の大きさを計測するための指標として用いた。

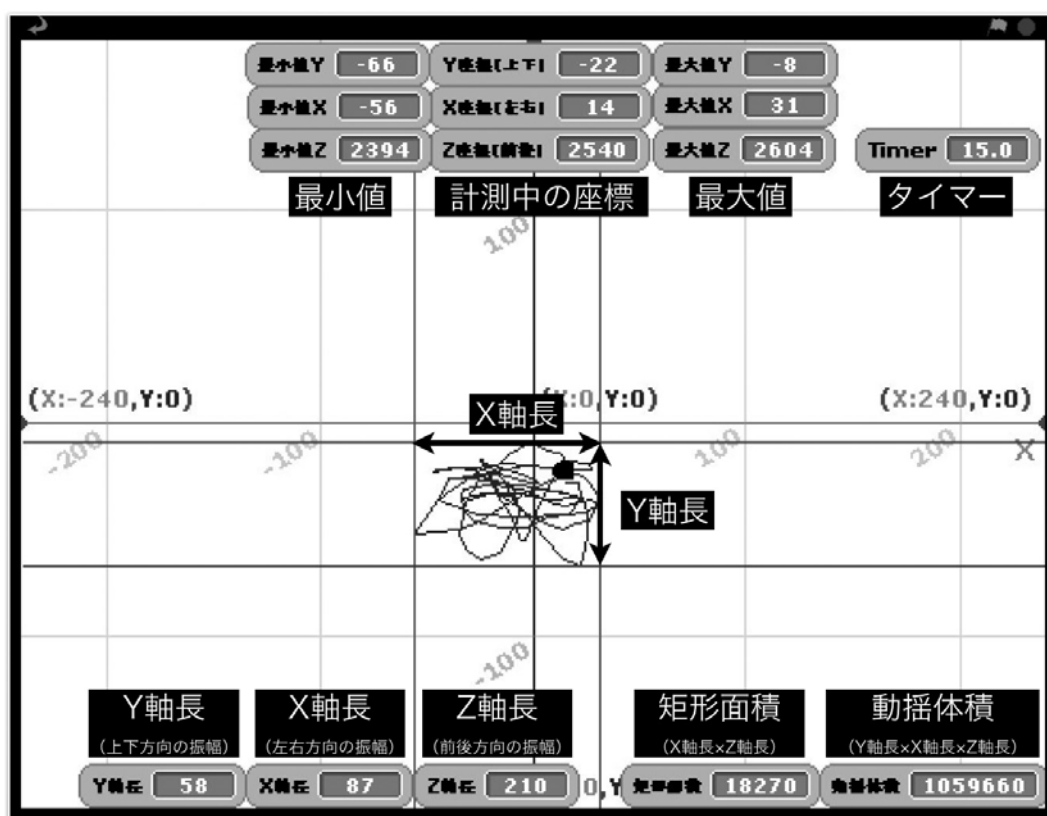


Figure 5. 計測結果の表示画面参考例

統計処理

再現性の検討は、同一対象者による同日再テスト法の日内信頼性を採用した。信頼性の指標として、各軸上の頭部動揺変位最大振幅、頭部矩形面積、頭部動揺体積の級内相関係数（Intraclass Correlation Coefficient, 以下ICC）をIBM SPSS (ver.19.0.0.2) で統計処理をした。

結果

頭部動揺変位最大振幅、矩形面積、動揺体積のデータはTable 1に示すとおりである。各計測項目の試行間信頼性を検討した結果、Y軸長と動揺体積のICCは0.94と0.91で高い信頼性を示した。しかしX軸長、Z軸長、矩形面積において、ICCは順に0.48、0.35、0.60で低い信頼性を示した。

Table 1. 頭部動揺変位最大振幅, 頭部矩形面積, 頭部動揺体積の計測結果

	試行 1	試行 2	ICC	95% CI
Y軸長	2.9 ± 1.6	2.9 ± 1.6	.95	0.87 to 0.98
X軸長	3.9 ± 1.5	3.6 ± 1.8	.48	-0.29 to 0.79
Z軸長	18.6 ± 4.7	22.7 ± 8.0	.35	-0.63 to 0.74
矩形面積	75.9 ± 41.6	82.6 ± 55.5	.60	0.02 to 0.84
動揺体積	215.0 ± 175.4	251.6 ± 213.7	.91	0.77 to 0.96

All data = Mean ± SD, ICC = Intraclass Correlation Coefficient, 95% CI = 95% Confidence Intervals, Y軸長は上下方向の動揺変位最大振幅, X軸長は左右方向の動揺変位最大振幅, Z軸長は前後方向の動揺変位最大振幅, 矩形面積はX軸長とZ軸長を掛け合わせ演算した値, 動揺体積はすべての軸長を掛け合わせ演算した値

考察

本研究は、体感型ゲームコントローラーのKinectを用いて新たなバランス能力の計測システムを開発し、その再現性を検討した。ICCの値は1に近いほど信頼性が良好と判断されている。¹⁷ 研究結果より、信頼性は計測項目ごとにばらつきが見られた。再現性に低い信頼性が示された理由として、対象者の精神的および身体的要因とKinectの性能が考えられる。

はじめに、静止立位状態で行なう計測は、ほとんどの対象者にとって初めての経験であった。そのため単純すぎる方法が、逆に「正しく立っているのか？」と対象者に不安を生じさせた可能性が推測される。村田らは、精神的作業負荷が身体動揺の増加を引き起こすと報告している。¹⁸ またKinectを初めて見る者が大半で、具体的に何が行われるのか対象者には想像できず、むしろ不十分な理解のまま実施した可能性も考えられる。WikstromによるWiiバランスボードを用いた重心動揺計の信頼性と妥当性の研究報告において、対象者の不慣れな態度が計測値に影響していた可能性を指摘している。¹⁹ 本研究では計測前に十分な説明とデモンストレーションを行った後で実施したが、心身ともに完全に落ち着いた状態で計測できたかどうかは不明である。

今回の計測ではバランス機能に支障がない女性健常者を対象に行った。バランス能力に関する疾病や疾患は有しないものの、日常での定期的な運動習慣がないために、下肢筋力不足の影響で前後・左右方向の姿勢保持に不安定傾向を示した可能性が考えられる。様々な臨床研究²⁰⁻²⁴において、下肢筋力の低下がバランス能力の動揺性に強く影響することが報告されている。

Kinectは高精度でかつミリメートル単位での計測が可能である。^{10,11} Shottonらは、頭部における骨格座標認識の正確性が90%以上であることを報告している。²⁵ そのため、呼吸やまばたきなどのわずかな動作で生じる揺れも検知し、計測値の再現性に影響を及ぼした可能性も考えられる。実際、「まばたきした後に揺れた感じがした」と話す者もいた。

Kinectを用いたバランス計測が初の試みであるために評価基準となる値はない。平衡機能評価には重心動揺計が多用されているが、山本らは測定誤差や基準値の不明確さを指摘している。^{26,27} 加えて、測定値の日間変動の有意性も報告している。^{26,27} また初鹿は、重心動揺に関する判断基準が確立されていないことと、コンピューターによる分析がかえって結果の解釈を複雑にしていることを指摘している。²⁸ 本研究においてICCの値から低い信頼性が判断された。しかし、バランス機能に問題がない健常者のみを対象に行ったため、計測値は「正常範囲内の誤差」とであると判断する。ただし、今後は異なる性別や年齢層の計測データを蓄積しかつバランス機能に支障が見られる者と比較することで、臨床的意義を含む明確な基準値を確立させる必要がある。

最後に、重心動揺計によるバランス検査は、支持基底面にかかる足圧中心位置の移動ベクトルを算出し、床平面上の軌跡移動データを解析する。^{5,8} この測定方法に関し、小坂らは身体どの部位が具体的に作用しているかは不明であることを指摘している。²⁹ 一方、Kinectは三次元上の軌跡移動ベクトルを算出することで、空間的観点からバランス能力の計測が可能になる。^{10,11,15} しかも反射マーカを使用せずに、全身20-Jointの三次元位置座標が抽出できる利点がある。^{10,11,15} 重心動揺計が開発される以前の我が国における体平衡機能の記録方法は頭部動揺を指標としており、³⁰ また三次元による頭部の重心動揺計測方法は身体バランス評価に有用なパラメーターであることが見解されている。²⁹ したがって、本研究のKinectを用いた頭部動揺変位を計測指標としたバランス計測システムの妥当性は高いと考える。

結論

バランス能力の低下は、転倒や骨折を誘発し、要介護状態の危険性を増加させる。本研究では、家庭用ゲーム機器の付属品であるKinectを利用し、バランス能力を三次元で計測する新たなシステムを開発した。安価で簡便な身体平衡機能計測システムを構築することで、体組成や血圧測定同様にバランス能力を適宜把握することが可能となり、介護予防を支援することが期待できる。本研究

結果では計測項目別に再現性のばらつきが示された。しかし、我が国における身体動揺の計測方法の発端やモーションキャプチャ・システムによる空間的バランス評価方法の実証研究からKinectによる頭部動揺変位を指標としたバランス計測システムの妥当性は高いと考える。

参考文献

1. 福田修, 星文彦, 伊藤俊一. (2008). PT・OTのための測定評価 バランス評価. 三輪書店.
2. 厚生労働省 平成22年国民生活基礎調査の概要, IV介護の状況, 2 要介護者等の状況.
<http://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa10/4-2.html> (accessed 2013-12-06).
3. 内閣府 平成24年度版高齢社会白書 (全体版)(2)高齢者の介護.
http://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2012/zenbun/sl_2_3_02.html (accessed 2013-12-06).
4. 公益財団法人 健康・体力づくり事業財団. 「介護予防」はなぜ必要か.
http://www.health-net.or.jp/tairyoku_up/chishiki/start/t02_01_02.html (accessed 2013-12-06).
5. 内山 靖. 姿勢バランスの定量的評価. 理学療法24(3): 109-113, 1997.
6. 望月 久, 峯島孝雄. 重心動揺計を用いた姿勢安定性度評価指標の信頼性および妥当性. 理学療法27(6): 199-203, 2000.
7. 田近由美子. 重心動揺移動距離と重心動揺図 (X軸長, Y軸長) についての研究. 金沢大学十全医学会雑誌88(1): 122-137, 1979.
8. 山本昌彦, 吉田友英. 重心動揺計を用いた体平衡機能検査. Equilibrium Res 70(3): 135-144, 2011.
9. Xbox 360 - Kinect - Xbox.com, Kinectをカラダいっぱい楽しもう.
<http://www.xbox.com/ja-JP/kinect?xr=shellnav> (accessed 2013-12-15).
10. Kinect for Windows Human Interface Guidelines v1.8.0. <http://msdn.microsoft.com/en-us/library/jj663791.aspx> (accessed 2013-12-20).
11. 杉浦 司, 中村 薫. (2013). Kinect for Windows SDK 実践プログラミング. 工学社.
12. Scratch入門. <http://fry.no.coocan.jp/SCRATCH/scratch.pdf> (accessed 2013-10-17).
13. Help Screens for Scratch 1.4. http://info.scratch.mit.edu/Support/Help_Screens (accessed 2013-10-17).
14. Howell, S. (2012). Kinect2Scratch (version2.5) [Computer Software]. <http://scratch.saorog.com>
15. Microsoft Corporation. (2013). Kinect for Windows SDK 1.8. <http://www.microsoft.com/en-us/kinectforwindowsdev/Downloads.aspx>
16. 日本平衡神経学会. 重心動揺検査の基準 Equilibrium Res 42: 367-369, 1983.
17. 出村慎一. (2007). 健康・スポーツ科学のための研究方法. 杏林書院.
18. 村田 伸, 津田 彰, 中原弘量. 音楽聴取と精神作業負荷が重心動揺に及ぼす影響. 理学療法科学20(3): 213-217, 2005.
19. Wikstrom EA. Validity and Reliability of Nintendo Wii Fit Balance Scores. J Athl Train. 47(3): 306-313, 2012.
20. 三好 圭, 木村貞治, 横川吉晴, 草田美子. 立ち上がり動作時の重心前方移動量と下肢筋力及び年齢との関連性. 理学療法学32 (supplement_2) : 563, 2005.
21. 三好 圭, 横川吉晴, 木村貞治, 神子嶋 誠, 赤羽勝司, 草田美子, 松沢稚恵. 高齢者における立ち上がり動作直後の重心動揺の収束様式と下肢筋力との関連性について. 理学療法学31

- (supplement_2) : 163, 2004.
22. 宮崎純弥, 山下輝昭, 寺本咲子, 根岸志保, 相馬正之, 小野武也, 吉村茂和. 下肢筋力が片足立位保持と重心動揺に及ぼす影響について. 理学療法学32 (supplement_2) : 547, 2005.
 23. 平瀬達哉, 井口 茂, 飯野朋彦, 木村勝志, 塩塚 順. Functional Reach Test時の重心動揺と下肢筋力との関連性について: 在学高齢者と通所高齢者での比較. 32 (supplement_2) : 506, 2005.
 24. 堅山佳美, 千田益生, 井上 一. 重心動揺と下肢筋力の関係について. 日本リハビリテーション医学会誌 39 (supplement) : S165, 2002.
 25. Shotton J, Fitzgibbon A, Cook M, Sharp T, Finocchio M, Moore R, Kipman A, Blake A. Real-Time Pose Recognition in Parts from Single Depth Images. Communications of the ACM. 56 (1): 116-124, 2013.
 26. 山本 摂, 吉村茂和, 柴田典子, 小倉美穂. 重心動揺の再現性について. 理学療法学 19 (Supplement), 276, 1992.
 27. 山本 摂, 小倉美穂. 重心動揺測定における一考察. 理学療法学 20 (Supplement 1), 373, 1993.
 28. 初鹿信一. 重心動揺計による身体動揺に関する研究 - 基礎的検討と臨床的意義 -. 日本耳鼻咽喉科学会会報. 90(4), 598-612, 1987.
 29. 小坂浩気, 丸山智章. モーションキャプチャ・システムを用いた身体バランス評価モデルの基礎的検討. 茨城工業高等専門学校研究彙報48: 21-25, 2013.
 30. 島藺順次郎. 種々の疾病に於ける身体動揺に就いて. 東京医学会雑誌22: 1023-1048, 1908.