



医療創生大学
博士（理工学）学位論文

Wii Fit Exergame を活用した身体動揺評価

令和三年三月授与

医療創生大学大学院
理工学研究科物質理工学専攻
佐藤 惇史

目次

要 旨	iii
第 1 章 序 論	1
1.1. 背景	1
1.2. 目的	3
第 2 章 Wii Fit ソフトウェアを用いたバランス評価の妥当性と信頼性: システムティックレビュー	4
2.1. 背景	5
2.2. 目的	6
2.3. 方法	7
2.4. 結果	8
2.5. 図表	11
2.6. 考察	14
2.7. 結論	17
2.8. 利益相反	17
2.9. まとめ	18
第 3 章 身体動揺評価のための Wii Fit Exergame の併存的・弁別的妥当性	19
3.1. 背景	20
3.2. 目的	21
3.3. 方法	22
3.4. 結果	25
3.5. 図表	26
3.6. 考察	29
3.7. 利益相反	30

第 4 章 結 論	31
第 5 章 参 考 文 献	32
第 6 章 謝 辞	38
出 典	40
付 録	
倫理審査承認	1-1
論文再利用許諾	2-1
論文採択	3-1, 4-1
演題採択	5-1
参考論文	6-1, 7-1

要旨

バランスは、ヒトが座る、立つ、歩くなどといった活動を行うために重要な要素であり、バランスを評価する指標の 1 つに身体動揺の評価がある。身体動揺の評価には、Center of Pressure (COP) を測定する方法が 1970 年から導入され、床反力計による計測がゴールドスタンダードとされてきた。その一方で、床反力計などのシステムは高価でかつ大規模であるため、使用が制限されるといった側面がある。

近年では、安価で携帯性に優れる任天堂バランス Wii ボード (WBB) が、COP 測定を通じて身体動揺を評価する有効なツールとされており、様々な研究に用いられている。しかし、WBB を用いるゲームソフト Wii Fit に収録されているエクサゲームのバランス評価としての妥当性については、一定の結果が得られておらず、COP を測定する Wii Fit の妥当性はまだ十分に検討されていない。その理由に、評価されている Wii Fit の項目が不十分または不適切であることや、対象者の年齢範囲に制限があることなどが挙げられる。

そこで本研究は、Wii Fit バランスゲームの身体動揺評価としての併存的妥当性を検証し、成人 (18~64 歳) と高齢者 (65 歳以上) を対象とした弁別的妥当性を評価することとした。対象者は、バランス測定会に参加した 70 名とした。調査項目は、基本属性に加えて、Wii Fit に収録されているバランススキー、バランススノーボー、バランス Mii の 3 条件と、身体動揺評価に用いられる Clinical Test for Sensory Integration of Balance (CTSIB) の 6 条件の各矩形面積とした。その結果、成人では、バランススキーは CTSIB 条件 6 と有意な相関を認め、バランス Mii は CTSIB 条件 4 と有意な負の相関を認めた。高齢者では、バランススノーボーのみが CTSIB 条件 2 および 3 と有意な負の相関を認めた。弁別的妥当性については、Wii Fit エクサゲームの場合、成人が高齢者と比較して 3 つのバランスゲームすべてで有意に優れていることを示した。これらのことから、本研究の範囲内で、Wii Fit バランスゲームは、身体動揺を評価するために従来の床反力計で実行される CTSIB の実行可能で手頃な代替手段であると考えられる。

Abstract

The purpose of this study was to determine the concurrent validity of Wii Fit center-of-pressure parameters with Clinical Test of Sensory Integration for Balance and to evaluate the discriminant validity of the Wii Fit center-of-pressure parameters for adults and the elderly for the assessment of postural sway. This study used an observational cross-sectional correlational design. All 70 participants were required to complete a questionnaire for eligibility screening, followed by a center-of-pressure assessment using three Wii Fit balance activities (snowboard slalom, ski slalom, and balance bubble) and Clinical Test of Sensory Integration for Balance using a force platform. For center-of-pressure assessment, our results showed there was concurrent validity of Wii Fit ski slalom and balance bubble with Clinical Test of Sensory Integration for Balance conditions 6 and 4, respectively. Our results also demonstrated that the three Wii Fit balance activities selected in this study could be used to discriminate between adults and the elderly. Our results suggest that Wii Fit is a viable and affordable alternative method for center-of-pressure assessment.

第 1 章 序 論

1.1. 背景

バランスとは、支持基底面内に身体重心をコントロールする能力と定義され、ヒトが座る、立つ、歩くなどといった活動を行うために重要な要素である。バランスが維持されることで安定した活動を行うことができるが、加齢に伴った変化が生じる。例えば、成人までは身長が伸びるに従い、身体重心の位置が変化する時期であり、十分なバランスが得られない場合は、スポーツ時の怪我の受傷率に影響するとされている (Plisky, et al. 2006)。一方、高齢者では心身機能の低下に伴いバランスが低下するリスクが高く、実際、65 歳以上の地域在住高齢者の 5 人に 1 人が 1 年間に 1 回以上転倒を経験している (Aoyagi, et al. 1998)。バランスの低下は、Activities of Daily Living (ADL)・スポーツ能力の低下や転倒、骨折に繋がるため、理学療法士はバランスの維持、向上に向けた専門的な介入や評価を行っている。

理学療法士は対象者のバランスを捉えるため、大きく以下の 3 つのタイプのバランス評価を行なっている。

- (1) 関節可動域 (Chiacchiero, et al. 2010) や筋力 (Sinaki, et al. 2005) などのバランスに関連する機能障害の評価
- (2) Timed Up and Go test (Podsiadlo, et al. 1991) や Functional Reach test (Duncan, et al. 1990) などの機能的課題を用いた評価
- (3) 座位姿勢や立位姿勢のアライメント評価 (Ferreira, et al. 2011) や、Clinical Test for Sensory Integration of Balance (CTSIB) (Horak. 1987)、Romberg Test (McMichael, et al. 2008; Błaszczuk. 2008) などによる身体動揺の評価

特に身体動揺の評価については、コンピュータ化されたシステムを使用し圧力中心 (Center Of Pressure; COP) を測定する方法が 1970 年から導入され (Nashner. 1970)、定量的なバランス評価の一つとして広く用いられている。COP は「床面に対して垂直に投影された身体重心の概算」として定義され (Goble, et al. 2014)、コンピュータ化されたシステムの一つとして古くから使用されている床反力計は、COP を測定するためのゴールドスタンダード

である。従来の床反力計 (Riemann, et al. 1999) に加えて、Balance Master などの専用システムも COP の測定に使用されている (Røgind, et al. 2003; Newstead, et al. 2005)。これらのシステムは、研究所や専門のリハビリセンターで使用されているが、高価でかつ大規模であるため、使用が制限される側面がある。

近年では、テクノロジーを活用したさまざまな評価方法が開発、検討されている。その中でも、任天堂バランス Wii ボード (Wii Balance Board; WBB) (任天堂株式会社、京都、日本) は安価で携帯性にも優れているため、安価な代替品として期待される。

WBB は、2007 年に販売開始された Wii ゲーム機のエクササイズアクセサリであり、四隅に圧力センサーを内蔵したポータブルプラットフォームである。ユーザーがプラットフォームに立つと、4 つのセンサーがユーザーの COP をリアルタイムで測定、追跡、表示することが可能である。WBB を Wii Fit (任天堂株式会社、京都、日本) などの専用ソフトウェアと組み合わせて使用することによって、身体動揺を評価するだけでなく、ユーザーはさまざまなレベルのゲームを通してバランス課題に挑戦することができる。Wii Fit に収録されているエクサゲームは、“ヨガ”、“筋力トレーニング”、“エアロビクス”、“バランス”の 4 つのカテゴリに分類される。

Wii Fit に収録されたエクサゲームを用いた研究はさまざま実施されており、その内容は大きくバランス改善のための介入手段として利用したものと、バランスを評価する手段として利用したものに分けられる。エクサゲームを用いたバランス介入に関しては、これまでのシステマティックレビューにて効果的であることが確認されている (Cheok, et al. 2015; Choi, et al. 2017)。評価に関しては、安価で携帯できる WBB と Wii Fit を用いることで、地域や自宅などで楽しみながらエクサゲームを行うことができ、また結果がわかりやすいため、ユーザー自らがバランスの状態を管理し、転倒や傷害リスクを予測することも可能と考える。しかし、Wii Fit によるエクサゲームを用いたバランス評価の有用性については不明なことが多い。

1.2. 目的

本論文の目的は、若年から高齢健常者を対象に Wii Fit エクサゲームのバランス評価としての妥当性を検討し、臨床応用へと展開するための研究基盤を確立することである。そこで、Wii Fit エクサゲームをバランス評価に用いた先行研究をレビューし、これまでの研究動向をまとめ、Wii Fit エクサゲームの妥当性と信頼性について検討した。

第 2 章 Wii Fit ソフトウェアを用いたバランス評価の 妥当性と信頼性：システムティックレビュー

本章は、以下の論文を修正したものである。(付録 6-1)

下記の論文は、福島県理学療法学に投稿し、2020 年 6 月 12 日に採択されている。第 4 巻に掲載され、2020 年 11 月に公開されている。

投稿日 : 2019 年 9 月 27 日

一次査読通知 : 2020 年 2 月 15 日

査読後再投稿 : 2020 年 3 月 12 日

二次査読通知 : 2020 年 4 月 6 日

査読後再投稿 : 2020 年 4 月 9 日

採択通知 : 2020 年 6 月 12 日

佐藤 惇史、Goh Ah-Cheng: Wii Fit ソフトウェアを用いたバランス評価の妥当性と信頼性：システムティックレビュー．福島県理学療法学、2020、4: 8-13.

2.1. 背景

ヒトが立つ、歩くといった活動を行うためにはバランスが重要であり、理学療法士は、専門的な検査、測定を用いてバランスを評価している。中枢神経系疾患や整形外科疾患、高齢者、スポーツなどバランス評価の機会は多岐にわたり、バランスを評価することで、転倒リスク (Noohu, et al. 2004) やスポーツ傷害のリスク (Plisky, et al. 2006)、予後予測 (Bland, et al. 2012) に関する情報を得ることができ、転倒予防や傷害予防などにつなげることができる。そのため、バランス評価は医療機関のみならず、地域や在宅の場においても重要視されている。

これまでバランスを評価するために様々な方法で検査・測定が行われてきた。第一に、Romberg Test (RT) (McMichael, et al. 2008) や下肢荷重量、床反力計 (Shumway-Cook, et al. 1986) を用いたスタティックな検査・測定がある。第二に、臨床の場で用いられることが多い Timed Up and Go test (TUG) (Podsiadlo, et al. 1991) や Berg Balance Scale (BBS) (Berg, et al. 1992) など機能的なテストがある。これらの検査・測定に加えて、近年では、テクノロジーを活用した機器が開発され、バランスを評価する 1 つの手段として関心が高まっている。

テクノロジーを活用した機器の 1 つに Wii Balance Board (WBB、任天堂、バランス Wii ボード) があり、様々な分野の専門家が活用している。WBB は各コーナーに 4 つの圧力センサーが内蔵されており、ボードに乗った対象者の姿勢の変化に伴い、4 つのセンサーが圧力値の変化を分析することで、姿勢の変化を計算している。WBB は、Wii ゲーム機本体と Wii Fit ソフトウェア (Wii Fit) で利用することができ、床反力計などの専門的な機器と比べ、低価格であること、携帯性に優れること、一般家庭に普及していることから、WBB を用いたバランス関連の研究数が増えている。

WBB を用いた研究は、バランスの介入に利用したものと、評価に利用したものに分けられる。介入に関しては、システマティックレビューにて効果的であることが確認された (Cheok, et al. 2015; Choi, et al. 2017)。評価に関しては、WBB と専門家によって開発されたカスタムソフトウェアをインストールした PC を用いた研究 (Goble, et al. 2014; Clarl, et al. 2018) と、

WBB と Wii Fit にプログラムされたゲームを用いた研究 (Goble, et al. 2014) がある。WBB とカスタムソフトウェアを用いた場合、対象者の Center of Pressure (COP) を直接 PC 上で計測することができ、床反力計と同等の妥当性や信頼性が明らかにされており、立位バランスを評価する低コストの代替ツール (Clarl, et al. 2018) とされている。しかしながら、カスタムソフトウェアと PC の操作が必要となるため、当事者自身では使用が難しく、また結果の解釈が困難となる可能性がある。一方、WBB と Wii Fit を用いた場合では、地域や自宅などで多くの世代が楽しみながらバランス評価を行うことができ、また結果がわかりやすいため、当事者自らがバランスの状態を管理し、転倒や傷害リスクをスクリーニングすることも可能と考える。Goble ら (2014) は、Wii Fit を用いたバランス評価は効果的ではないとしているが、検証に用いられたゲームの種類が限られていることから、バランス評価の手段として、どの種類のゲームが、どのような対象者に対して有用であるかについては明らかにされていない。

2.2. 目的

本システムティックレビューでは、WBB と Wii Fit を用いたバランス評価の妥当性と信頼性について検討した。

2.3. 方法

本システマティックレビューは、Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA) 声明 (Moher, et al. 2015) に従って実施した。Risk of bias は PRISMA 声明と Risk Of Bias In Systematic reviews (ROBIS) ツール (Whiting, et al. 2016) で評価した。なお、レビューのプロトコル登録は行なっていない。

2.3.1. 文献検索の方法

3つの和・英文文献データベース (医中誌 web、国立情報学研究所学術ナビゲータ (CiNii)、PubMed) を使用し、2007年 (Wiiの販売年) から2019年までを検索対象とした。検索日は、2019年8月26日であった。検索統制語は、医中誌 Web では (“Wii Fit”/AL or “WiiFit”/AL) and (PT=原著論文) とした。CiNii に関してもこれに準じて検索した。PubMed では “Wii Fit”[All Fields] OR “WiiFit”[All Fields] とした。

2.3.2. 文献の適格基準

本研究の適格基準は、あらゆる年齢層の健常な集団または臨床集団におけるバランスを評価するための Wii Fit の妥当性または信頼性を調査したフルテキストの文献とした。言語は日本語または英語とした。除外基準は、専門的なカスタムソフトウェアを用いた研究、症例・事例研究、システマティックレビュー、学会発表や紀要、短報、抄録として発表されたものとした。検索された文献は、まず論文のタイトルや要旨から適格基準を満たしているかスクリーニングした。基準を判断できない文献に関してはその文献を採用した。その後、フルテキストを入手し、対象者や対象集団の特徴、研究で用いた変数、アウトカムの情報を収集した。

2.3.3. 文献の検討方法

適格基準の検討は2名の研究者で行い、文献を評価した上で、エビデンステーブルに各情報を記録した。結果の解釈は2名の研究者で行い、合意を得た上で検討した。

2.4. 結果

ROBIS ツールでの Risk of bias の結果は LOW であった。

2.4.1. 検索結果

和文文献の検索結果は、医中誌 Web から 40 件、CiNii から 70 件であり、スクリーニングの結果、採択は 0 件となった。英文文献の検索結果は、PubMed から 225 件であり、スクリーニングの結果、重複と除外基準の文献を除外し、35 件の文献を評価した。フルテキストを精読し、適格基準を満たす文献は 8 件となった。(図 2-1、p.11)

その後、8 件の文献 (Dougherty, et al. 2011; Yamada, et al. 2011; Wikstrom. 2012; Reed-Jones, et al. 2012; Murray, et al. 2014; DeMatteo, et al. 2014; Liuzzo, et al. 2017; Hall, et al. 2016) をレビューに採択し、対象者の特性、Wii Fit から収集した変数、その他のバランス評価項目、研究結果について、エビデンステーブルにまとめた。(表 2-1、p.12-13)

2.4.2. 対象者の特性

バランス評価の対象者は、健常成人 (Wikstrom. 2012)、健常な地域在住高齢者 (Dougherty, et al. 2011; Yamada, et al. 2011; Reed-Jones, et al. 2012; Hall, et al. 2016; Liuzzo, et al. 2017)、脳卒中や脳震盪など脳損傷者 (Murray, et al. 2014; DeMatteo, et al. 2014; Liuzzo, et al. 2017) であり、地域在住高齢者に対し Wii Fit の妥当性、信頼性を検証した研究が多かった。それぞれの研究で用いたサンプルサイズは、18 歳から 57 歳までの健常成人 45 名 (Wikstrom. 2012)、高齢者 9 名から 45 名 (Dougherty, et al. 2011; Yamada, et al. 2011; Reed-Jones, et al. 2012; Hall, et al. 2016; Liuzzo, et al. 2017)、慢性脳卒中者 41 名 (Liuzzo, et al. 2017)、脳震盪後アスリート 55 名 (Murray, et al. 2014)、外傷性脳損傷者 24 名 (DeMatteo, et al. 2014) であった。

2.4.3. バランス能力の評価方法

Wii Fit で用いられた項目は、“からだ測定” (Dougherty, et al. 2011; Reed-Jones, et al. 2012; Wikstrom. 2012; Murray, et al. 2014; Hall, et al. 2016;

Liuzzo, et al. 2017) 、トレーニングに含まれる“ヨガ” (Wikstrom. 2012) 、
“筋トレ” (Wikstrom. 2012) 、“バランスゲーム” (Yamada, et al. 2011; Hall,
et al. 2016) 、“有酸素運動” (Yamada, et al. 2011; DeMatteo, et al. 2014)
であった。“からだ測定”では、“重心移動”、“敏捷性”、“足踏み”、“安定性”、“片
脚立位”の全 5 項目から 2 項目がソフトウェアによってランダムに選択され
“Wii Fit 年齢”が算出される。“ヨガ”(全 15 項目)からは、“深呼吸”、“立ち木”、
“膝抱え”、“ヤシの木”が用いられた。“筋トレ”(全 15 項目)からは、“片足バ
ランスウォーク”、“片足ひねり”、“横足上げ”が、“バランスゲーム”(全 9 項目)
からは、“バランススキー”と“コロコロ玉入れ”が用いられた。“有酸素運動”(全
9 項目)からは“踏み台”と“ジョギング”が用いられた。これまでの研究では、
比較的容易に短時間で実施することができる“からだ測定”や“バランスゲーム”
の項目が採用されていることが多かった (Dougherty, et al. 2011; Yamada,
et al. 2011; Reed-Jones, et al. 2012; Wikstrom. 2012; Murray, et al. 2014;
Hall, et al. 2016; Liuzzo, et al. 2017) 。

妥当性の研究に用いられた既存のバランス評価には、床反力計
(Wikstrom. 2012) 、Star Excursion Balance Test (SEBT) (Wikstrom.
2012) 、コンピューター化されたバランス評価として用いられる Equitest
system によって算出される Sensory Organization Test (SOT) や Limits of
Stability (LOS) (Hall, et al. 2016) 、30-second Chair stand (30CS)
(Reed-Jones, et al. 2012; Hall, et al. 2016) 、TUG (Yamada, et al.
2011; Reed-Jones, et al. 2012; Hall, et al. 2016) 、BBS (Dougherty, et
al. 2011) 、Functional Reach test (Yamada, et al. 2011) 、RT (Murray,
et al. 2014) 、Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency 2nd edition
(BOT-2) (DeMatteo, et al. 2014) 、Community Balance and Mobility
Scale (CB&M) (DeMatteo, et al. 2014) が挙げられた。

2.4.4. 妥当性、信頼性の検証

Wii Fit の測定項目の妥当性について、7 件 (Dougherty, et al. 2011;
Yamada, et al. 2011; Wikstrom. 2012; Reed-Jones, et al. 2012; Murray, et
al. 2014; DeMatteo, et al. 2014; Hall, et al. 2016) の論文でまとめられた。

健常成人を対象とした研究では、“からだ測定”に含まれている“足踏み”と床反力計による COP の偏移で弱い相関 ($r=0.32$) (Wikstrom. 2012) が報告された。

地域在住高齢者の場合、“からだ測定”は 2/4 件の研究 (Dougherty, et al. 2011; Hall, et al. 2016) で有意な相関が報告された。“バランスゲーム”の項目は、“バランススキー”と TUG、SOT、LOS で、“コロコロ玉入れ”と 30CS でそれぞれ有意な相関が認められた (Hall, et al. 2016) 。そして、“有酸素運動”の“踏み台”は、TUG デュアルタスクラグとの有意な相関を認めたが、シングルタスクまたはデュアルタスクで行われた TUG の結果とは有意な相関が認められなかった (Yamada, et al. 2011) 。

脳震盪後のアスリートでは、“重心移動”と RT の相関を検討した結果、有意な相関を認めなかった (Murray, et al. 2014) 。また、外傷性脳損傷を生じた若年者においては、“有酸素運動”の“ジョギング”を行い、実施中にバランスを崩した回数と BOT-2、CB&M との相関を検討し、どちらも有意な相関はみられなかった (DeMatteo, et al. 2014) 。

Wii Fit の信頼性の検討については、健常成人 (Wikstrom. 2012) 、地域在住高齢者 (Yamada, et al. 2011; Liuzzo, et al. 2017) 、慢性脳卒中者 (Liuzzo, et al. 2017) が対象とされていた。地域在住高齢者、脳卒中者を対象に 2 回測定した結果の信頼性は、“からだ測定”が $ICC=0.35-0.76$ (Liuzzo, et al. 2017) 、座位での“バランススキー”が $ICC=-0.08-0.86$ 、“踏み台”が $ICC=0.35-0.93$ (Yamada, et al. 2011) であったが、健常成人を対象とした場合は、“からだ測定”の各項目は信頼性が低いと報告された (Wikstrom. 2012) 。

2.5. 図表

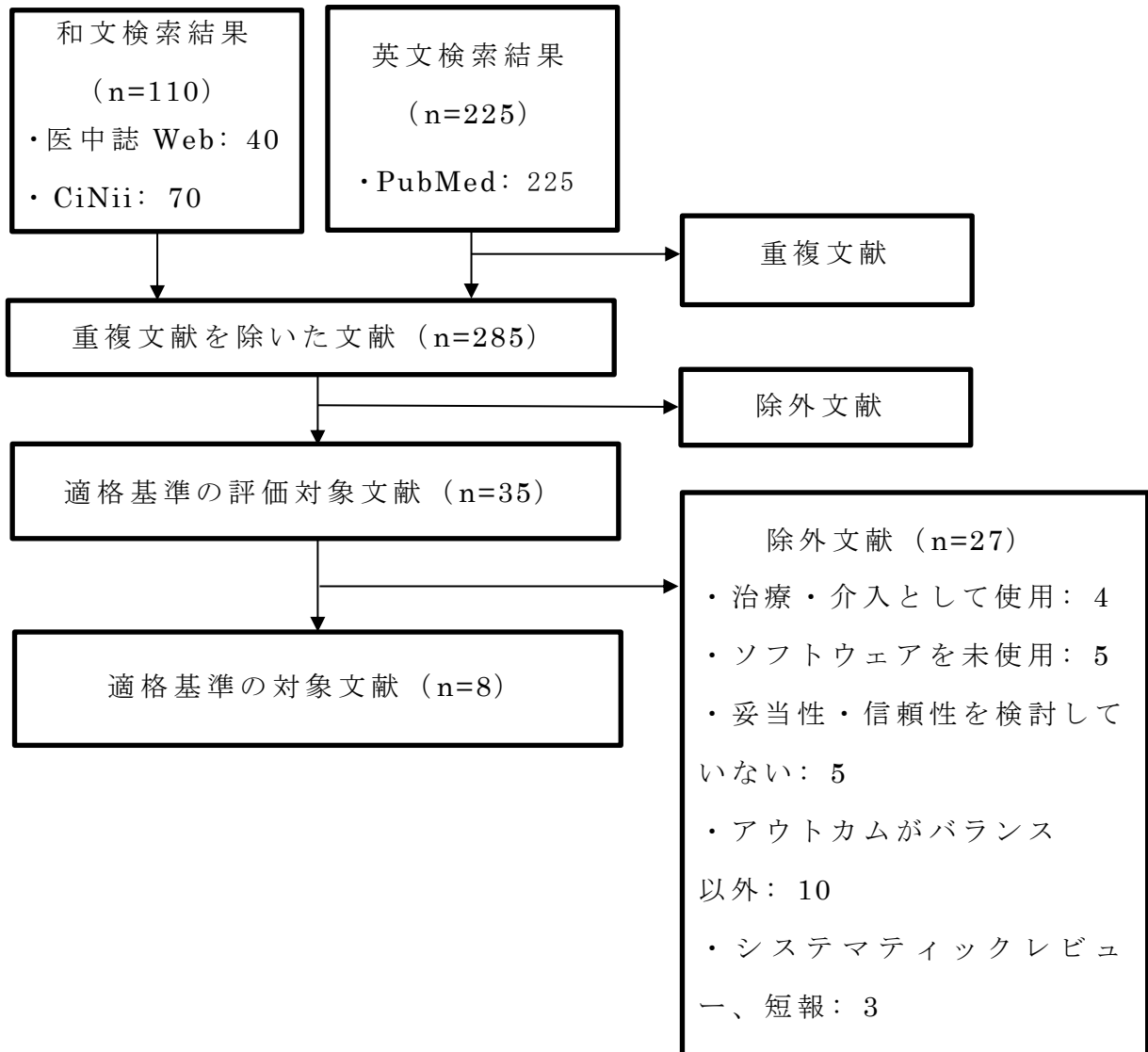


図 2-1 文献選定フロー

CiNii, 国立情報学研究所学術ナビゲータ

表 2-1. 妥当性もしくは信頼性を調査した研究

著者	年	対象者	人数	年齢	性別	Wii Fit 項目	収集した変数	評価項目	結果
Wikstrom EA	2012	健康成人	45	27.0 ± 9.8 (18 - 57)	-	からだ測定 (重心移動、敏捷性、足踏み、安定性、片脚立位)、深呼吸、立ち木、膝抱え、ヤシの木、片足パランスウオーク、片足ひねり、横足上げ	各スコア 2 回測定 (同日内、1 週間後)	開眼片脚立位 Sway、COP (床反力計)、SEBT	妥当性 <ul style="list-style-type: none"> ・足踏みと COP $r=0.32$ ・ヤシの木と SEBT $r=0.29$ ・片足ひねりと SEBT $r=0.21$ 信頼性 (1 週間後) <ul style="list-style-type: none"> ・立ち木 ICC=0.57、SEM=5.6、MDC=15.5 ・片足パランスウオーク ICC=0.37、SEM=5.5、MDC=15.2 ・片足ひねり ICC=0.46、SEM=4.1、MDC=11.4 ・横足上げ ICC=0.47、SEM=6.5、MDC=18.0
Liuzzo DM, et al.	2017	・地域在住 高齢者 ・慢性脳 卒中者	41、41	・高齢者 84 ・脳卒中者 67	・高齢者 女性 31 ・脳卒中者 女性 13	からだ測定 (重心移動)	・高齢者 左下肢荷重 (%) ・脳卒中者 麻痺側下肢荷 重 (%) 2 回測定	-	信頼性 高齢者 <ul style="list-style-type: none"> ・ ICC=0.59 (0.35- 0.76) ・ SEM=3.2, 95% SEM=6.2 ・ 90% MDC=9.1、95% MDC=8.8 脳卒中者 <ul style="list-style-type: none"> ・ ICC=0.60 (0.47-0.70) ・ SEM=4.9、95% SEM=9.6 ・ 90% MDC=11.5、95% MDC=13.6
Hall CD, et al.	2016	地域在住 高齢者	16	75.6 ± 10.3 (62-90)	女性 16	からだ測定、パランスウオーク、コロコロ玉入れ	Wii Fit 年齢、ペナルティの数・クリアまでの時間 (スキー)、合計スコア・ゲーム時間 (玉入れ) 3 回計測	30CS、歩行速度、DGI、TUG、SOT、LOS test (SMART Equitest)	妥当性 <ul style="list-style-type: none"> ・ Wii Fit 年齢と 30CS ($r=0.57$)、歩行速度 ($r=-0.59$)、TUG ($r=0.59$) ・ スキーペナルティと 30CS ($r=0.61$)、歩行速度 ($r=-0.73$)、TUG ($r=0.75$)、DGI ($r=-0.72$) ・ スキー時間と歩行速度 ($r=0.52$)、DGI ($r=0.64$) ・ 玉入れスコアと 30CS ($r=0.54$)、DGI ($r=0.57$) ・ 玉入れ時間と 30CS ($r=0.53$)、歩行速度 ($r=0.51$)、DGI ($r=0.60$)

表 2-1. 妥当性もしくは信頼性を調査した研究 (続き)

著者	年	対象者	人数	年齢	性別	Wii Fit 項目	収集した変数	評価項目	結果
Reed-Jones RJ, et al.	2012	地域在住高齢者	34	67.1 ± 5.2	女性 9	からだ測定 (重心移動、敏捷性)	クリアしたレベル、クリアにかかった時間 2 回測定	SFT、握力、30CS、30AC、6 分間歩行、TUG、ramp-walk power test、GJSTT、UFOV	妥当性 ・からだ計測と UFOV r=0.41
Dougherty J, et al.	2011	地域在住高齢者	9	74.9 ± 8.1 (65-90)	女性 3	からだ測定	Wii Fit 年齢 3 回計測	BBS	妥当性 r=-0.25
Yamada M, et al.	2011	地域在住高齢者	45	81.3 ± 7.4	女性 45	踏み台、パランススキー (座位で計測)	各スコア 2 回測定	10 m 歩行テスト (シングルタスク)、デュアルタスク、TUG (シングルタスク)、デュアルタスク)、FR、転倒経験	信頼性 ・踏み台 ICC=0.79 (0.35-0.93) ・パランススキー ICC=0.61 (-0.08-0.86) 妥当性 ・踏み台と歩行 (デュアルタスクラグ) r=-0.55 ・踏み台と TUG (デュアルタスクラグ) r=-0.69
Murray NG, et al.	2016	脳震盪後 24-48 時間以内のアスリート	55	19.4 ± 8.7	女性 15	からだ測定 (重心移動)	クリアしたレベル、クリアにかかった時間	RT, ImPACT test (言語記憶、視覚記憶、視覚処理速度、反応時間)	妥当性 ・重心移動と視覚記憶 (r=-0.410)
DeMatteo C, et al.	2014	昨年中に軽度外傷性脳損傷	24	14.9 (9-18)	女性 10	ジョギング	バランスを崩した数	BOT-2、CBM	not significant

abbreviations: -, 未記載; COP, Center of Pressure; SEBT, Star Excursion Balance Test; ICC, Intraclass Correlation Coefficients; SEM,

Standard Error of Measurement; MDC, Minimal Detectable Change; SFT, Senior Fitness Test; 30CS, 30-second chair stand; 30AC, 30-

second Arm Curl test; TUG, Timed Up and Go test; GJSTT, Gallon-Jug Shelf-Transfer Test; UFOV, Useful Field of View test; BBS, Berg

Balance Scale; FR, Functional Reach test; DGI, Dynamic Gait Index; RT, Romberg Test; ImPACT, Immediate Post-Concussion Assessment

and Cognitive Testing; BOT-2, Bruininks-Oseretsky Test of motor proficiency 2nd edition; CBM, Community Balance and Mobility scale.

2.6. 考察

2.6.1. 対象者の特性について

Wii Fit によるバランス評価は、18 歳から 57 歳までの健常者 (Wikstrom, 2012)、地域在住高齢者 (Dougherty, et al. 2011; Yamada, et al. 2011; Reed-Jones, et al. 2012; Hall, et al. 2016; Liuzzo, et al. 2017)、慢性期脳卒中者 (Liuzzo, et al. 2017)、脳震盪後の若年成人アスリート (Murray, et al. 2014)、9 歳から 18 歳までの軽度外傷性脳損傷者 (DeMatteo, et al. 2014) を対象に行われ、様々な年代や疾患を対象に利用できることがわかった。しかしながら、子どもから高齢者までを対象に検証している研究はないことが明らかとなった。

例えば、子どもは成人と比べて、下肢に対して頭部が大きいため、重心の位置が高く、速い速度で動揺していることから、静的バランスの課題は難しいとされている (Zeller W. 1964)。加えて、子どもが姿勢を制御する際、視覚、体性感覚、平衡感覚のうち、1 つ以上の感覚が不正確であると、姿勢制御のための感覚を適切に適応させる能力が低下することも示されている

(Shumway-cook, et al. 1985)。一方、高齢者では姿勢制御に寄与する筋力の低下 (Aniansson, et al. 1986) や関節可動域の減少 (Vandervoort, et al. 1992) などが生じ、加齢に伴って自発的姿勢動揺が増加することが明らかにされており (Toupet. 1992)、年齢層によって姿勢制御の要因が異なり、加齢による姿勢制御の変化が生じる。そこで、幅広い年齢層の対象者を Wii Fit による同一のバランス評価項目を測定し、年齢層の特徴を明らかにすることに加え、年齢層毎に Wii Fit によるバランス評価と感覚機能や筋力などの姿勢制御に関連する要因を併せて測定することにより、包括的に対象者の状態を捉えるための指標を検討することができる。また、地域の場においてバランス能力のスクリーニング検査や予後予測の資料として活かすことができるものとする。今後、子どもから高齢者までを対象に Wii Fit によるバランス測定を行い、年齢による特徴を明らかにすることで、臨床応用に向けた基礎資料を作成する必要がある。

2.6.2. バランス能力の評価方法について

Wii Fit の項目では、多くの研究で“からだ測定”もしくは“Wii Fit 年齢”が用いられていた (Dougherty, et al. 2011; Reed-Jones, et al. 2012; Wikstrom. 2012; Murray, et al. 2014; Hall, et al. 2016; Liuzzo, et al. 2017)。“Wii Fit 年齢”は、“からだ測定”の 5 項目の中から 2 項目がランダムに選択され、その結果から算出するものであることから、一定のバランス能力を評価しているとは言えない。

Wikstrom (2012) は健常成人を対象に“ヨガ”の項目や“筋トレ”の項目を用いているが、本項目は難易度が高くバランスが低下している高齢者に用いることは難しい。一方、地域在住高齢者を対象とした“バランスゲーム”は比較的短い時間で、楽しみながら実施することができ、実際に 80 歳以上の者であっても実行可能であった (Yamada, et al. 2011; Hall, et al. 2016) 点から、バランス評価として使用しやすいものと考えられる。

既存のバランス評価としては、TUG (Yamada, et al. 2011; Reed-Jones, et al. 2012; Hall, et al. 2016) が多く用いられていた。しかし、子どもや高齢者の場合、感覚機能が姿勢制御に影響を与える割合が大きいため (Shumway-cook, et al. 1985; Horak, et al. 1989)、感覚機能を考慮したバランス評価を用いることも重要であり、Hall ら (2016) の研究でのみ Equitest system を用いて検討されていた。

2.6.3. 妥当性、信頼性について

既存のバランス評価と妥当性を認めた Wii Fit の項目は、“Wii Fit 年齢” (Hall, et al. 2016)、“足踏み” (Wikstrom. 2012)、“バランススキー” (Hall, et al. 2016)、“コロコロ玉入れ” (Hall, et al. 2016) であった。“Wii Fit 年齢”はランダムに選択されたゲームの結果によるものであり、組み合わせによっては評価しているバランスの側面が異なっている可能性があり、“Wii Fit 年齢”を用いた場合には結果の解釈に注意が必要である。また、“Wii Fit 年齢”を算出するための“重心移動” (Wikstrom. 2012; Reed-Jones, et al. 2012; Murray, et al. 2014) や“敏捷性” (Wikstrom. 2012; Reed-Jones, et al. 2012)、“安定性” (Wikstrom. 2012)、“片脚立位”

(Wikstrom, 2012) は、その他のバランス評価との妥当性を認めず、信頼性も低かった。妥当性が認められない理由として、ダイナミックな動きを必要とする SEBT や TUG との性質が異なる点 (Wikstrom, 2012; Reed-Jones, et al. 2012) や、感覚機能が考慮されていない点 (Hall, et al. 2016) が挙げられ、“Wii Fit 年齢”および“からだ測定”の各項目は、バランス評価として妥当でないと考える。同様に、“足踏み”に関しても、COP との弱い相関は認めしたが、信頼性が低いことから、客観的な測定値として使用すべきでないことが指摘されている (Wikstrom, 2012)。一方、Hall ら (2016) は“バランススキー”と TUG、SOT、LOS、“コロコロ玉入れ”と 30CS との相関関係を明らかにしたが、対象者が 16 名と少ないため結果を一般化するには対象者を増やして検討する必要がある。

これらの項目の信頼性は、高齢者に対する座位での“バランススキー”、“踏み台”で高い信頼性を認めたが (Yamada, et al. 2011)、健常成人を対象とした立位での測定では標準誤差や最小可検変化量が大きかった (Wikstrom, 2012) ことから信頼性の低さにつながる可能性がある。今後、対象者や実験プロトコルを踏まえ、検討する必要がある。

2.7. 結論

システムティックレビューの結果、Wii Fitは、子どもから高齢者、脳卒中者などでも使用することができ、専門的な知識や機器がない地域の場合であっても、バランスの評価を行える可能性がある。なかでも、“バランスゲーム”は比較的短い時間で楽しみながら行える点やTUG、SOTなどとの相関を認められた点から、バランス評価として有用と考えられるが、先行研究のサンプルサイズが小さく一般化することはできない。信頼性については一定の結果が得られておらず、今後実験プロトコルなどを踏まえ、検討する必要がある。Wii Fitがバランスを正確に評価できるかどうかを判断するには、更なる妥当性と信頼性のデータが必要である。

2.8. 利益相反

開示すべき利益相反状態はない。

2.8. まとめ

システムティックレビューの結果、Wii Fit エクサゲームは子どもから高齢者、脳卒中者などでも使用することができ、専門的な知識や高価な機器がない地域の場合であっても、バランス評価を行える可能性があることがわかった。Wii Fit に収録されているエクサゲームの中でも、“バランスゲーム”は比較的短い時間で楽しみながら行える点や機能課題の評価、身体動揺の評価と相関を認めた点から、バランス評価の一つの手段として有用と考えられる。しかし、先行研究の多くが地域在住高齢者を対象としていることや、エクサゲームの選択が不十分であること、妥当性の検討に用いられた既存のバランス評価の選択が不十分であること、などが先行研究の課題に挙げられる。エクサゲームの信頼性については、一定の結果が得られておらず、今後実験プロトコルを踏まえ、検討する必要がある。

そこで、若年から高齢者まで幅広い対象者に対しバランス測定会を開催し、Wii Fit エクサゲームを用いたバランス測定、CTSIB の条件下で重心動揺計を用いた身体動揺の測定を行い、Wii Fit エクサゲームによる身体動揺評価の妥当性を明らかにすることを目的に研究を進めた。

第3章 身体動揺評価のための Wii Fit Exergame の併存的・弁別的妥当性

本章は、以下の論文を加筆、修正したものである。(付録 6-2)

下記の論文は、Gait and Posture に投稿後、一次査読の結果を受け、投稿論文を取り下げた。その後、Journal of Physical Therapy Science に投稿し、2020年11月2日に採択され、2021年2月に公開されている。本研究の一部は、日本予防理学療法学会にて発表を行なった。

Gait and Posture **Impact Factor: 2.400(2019~20)**

投稿日 : 2020年3月30日

一次査読通知 : 2020年9月2日

論文取り下げ : 2020年9月2日

Journal of Physical Therapy Science **Impact Factor: 0.760(2019~20)**

投稿日 : 2020年9月9日

一次査読通知 : 2020年10月14日

査読後再投稿 : 2020年10月21日

採択通知 : 2020年11月2日

Atsushi Sato, Ah-Cheng Goh: The concurrent and discriminant validity of Nintendo Wii Fit Exergame for assessment of postural sway. Journal of physical therapy science, 2021, 33(2): 100-105.

佐藤 淳史: 身体動揺を評価するための Wii Fit Exergame の併存的妥当性. 第7回日本予防理学療法学会 Web 学会、2020年9月27日

3.1. 背景

Wii Fit エクサゲームには、ヨガ、筋力トレーニング、有酸素運動、バランスの4つのカテゴリがあるが、バランスゲームのみが、ユーザーが COP を制御する方法に直接関係している。バランスゲームに収録されている2つのアクティビティ（スキージャンプ、バランススノーボー（英語：Snowboard Slalom））では、ユーザーは COP を前後方向に制御し、4つのアクティビティ（バランススキー（英語：Ski Slalom）、サッカーヘディング、綱渡り、ペンギンシーソー）では内側外側方向に COP を制御し、2つのアクティビティ（コロコロ玉入れ（英語：Table tilt）、バランス Mii（英語：Balance bubble））は前後左右方向に COP を制御することが求められる。

WBB は、COP の測定を通じて身体動揺を評価するためにも使用することができるが、従来の床反力計と比較すると、WBB はサンプリング周波数（30～50 Hz）と最大負荷（海外版 150 kg、日本版 136kg）によって制限される点がある。それにもかかわらず、手頃な価格のポータブルデバイスを使用することによるコストパフォーマンスの利点から、WBB と Wii Fit エクサゲームを用いたバランス評価の妥当性と信頼性に関する研究が行われてきた。

Wii Fit エクサゲームの妥当性と信頼性は数人の著者によって調査されたが、結果は矛盾していた。Wikstrom（2012）は、Wii Fit に収録されているからだ測定、ヨガと、既存のバランス評価である30秒の片脚立位、SEBT で Wii Fit スコアの併存的妥当性を調査した。その結果、Wii Fit によるバランス評価は妥当性が低いと報告したが、研究で用いたからだ測定やヨガは身体動揺の尺度ではないため、この研究で使用されたプログラムが適切であったかどうかは疑わしい。さらに、参加者を18歳から57歳と比較的年齢の若い者とした研究であり、Wii Fit の有用性は年齢に依存する可能性があるため、結果に影響を与えた可能性が考えられる。Liuzzo ら（2017）は、Wii Fit エクサゲームは65歳以上の高齢者（ICC=0.59）、および脳卒中者

（ICC=0.60）に対して中程度の信頼性があると報告した。しかし、Liuzzo ら（2017）が測定した Wii Fit の項目は、身体動揺ではなく、左右の下肢荷重のパーセンテージであった。Hall ら（2016）は、60歳以上の女性では、バランススキーが SOT と有意に相関していたが、コロコロ玉入れは有意な相

関を認めなかったと報告した。Liuzzoら（2017）は、バランススキーを使用して、地域在住高齢者のバランスを評価できると結論付けたが、Wii Fit バランスゲームのうち2つだけが用いられ、前後方向のバランスゲームは評価されていなかった。したがって、評価される Wii Fit エクサゲームが不十分または不適切であり、また参加者の年齢範囲が制限されているため、COP を評価するための Wii Fit エクサゲームの妥当性はまだ十分に評価されていない。

3.2. 目的

本研究の目的は、Wii Fit バランスゲームの身体動揺評価としての併存的妥当性を検証し、成人（18～64歳）と高齢者（65歳以上）を対象とした弁別的妥当性を評価することとした。

3.3. 方法

本研究では、観察的横断研究デザインを採用した。倫理的配慮として、研究の開始前に医療創生大学の倫理審査委員会（No. 19-09）から承認を受けた上で研究を実施した。

3.3.1. 対象者

参加者の募集は、関東、東北地方の4県で行なった。選択基準は、18～90歳の地域在住者、日常生活が自立している者、Wii Fitの使用経験がない者、体重が150kg未満の者とした。除外基準は、20分間自立で立つことができない者、杖なしでは歩行できない者、体重を支えるときの関節の痛みがある者、進行性の神経症状がある者、視覚または聴覚障害、前庭障害があるものとした。合計70人が本研究への参加に同意した。研究のプロトコルを説明し、書面によるインフォームドコンセントが得られた。

3.3.2. 測定

本調査は、2019年9月から2020年2月まで実施された。セッション全体は、アンケートから始まり、Wii FitとClinical Tests of Sensory Integration for Balance（CTSIB）を使用したバランス評価、筋力と関節可動域の検査が約1時間で行われた。70人の参加者全員が、年齢、性別、身長、体重、併存疾患、過去の病歴、視覚障害、および過去1年以内の転倒の発生の有無に関するアンケートに回答した。

3.3.2-1. Wii Fit エクサゲーム

Wii Fit エクサゲームの評価では、COP 評価のために3つのバランスゲームを選択した。ゲームの前に、参加者は口頭での説明と検査者によるデモンストレーションを受けた。次に、参加者は、スクリーンに投影された画面から2メートル離れた位置にあるWBBに裸足で立つように指示された。テストの順番はランダム化され、学習効果を最小限に抑えるためにそれぞれ1回の実施とした。

Wii Fit の3つのバランスゲームは以下の通りである。

- a. バランススノーボー：ゲーム内容は、斜面に沿って配置された一連の旗を通過しながら、山の斜面を滑走するものである。WBBは画面に対し垂直に配置され、参加者はスノーボードのように画面に対し垂直に立位を保つ。このゲームの目標は、坂を下る途中でできるだけ多くの旗を通過することである。スコアは、ゴールまでにかかった時間に基づいて計算され、失敗した旗ごとに7秒が追加される。時間が短いほど、パフォーマンスが良いことを示している。
- b. バランススキー：ゲーム内容やスコアは、バランススノーボーと同様であり、唯一の違いは、WBBが画面と平行に床に配置され、参加者は画面を正面にして立位を保つ。
- c. バランス Mii：ゲーム内容は、壁の側面に触れることなく、迷路の中をアバターを動かすものである。WBBは画面と平行に配置される。このゲームの目標は、壁にぶつかることなくアバターを可能な限り移動することで、スコアは、スタートからの移動距離に基づいて計算される。距離が長いほど、パフォーマンスが良いことを示している。

3.3.2-2. CTSIB

CTSIBでは、参加者は重心バランスシステム（JK-101Ⅲ、UNIMEC Co., Ltd、東京、日本）に裸足で立ち、100Hz サンプリング周波数で6つの条件下での閉脚静止立位の重心動揺をそれぞれ30秒間計測した。開眼での計測時は、2m前方の壁面の目の高さに貼付したマーカーを注視するよう指示した。条件3、6では3Dゴーグル内の画面に表示されたマーカーを注視するよう指示した。

条件 1. 固い床面、開眼

条件 2. 固い床面、閉眼

条件 3. 固い床面、視覚遮断（3Dゴーグル）

条件 4. 発泡素材床面、開眼（低反発クッション）

条件 5. 発泡素材床面、閉眼（低反発クッション）

条件 6. 発泡素材床面、視覚遮断（低反発クッション、3Dゴーグル）

各条件を1回測定し、30秒間にCOPが移動した面積を記録した。重心動揺の解析は矩形面積（mm²）を算出した。面積が小さいほど、立位時の動揺が少ないことを示す。

3.3.3. 実験プロトコル

実験プロトコルは以下の内容とした。

- ① 測定開始時にアンケート調査を行う。高齢者に関しては、**Rapid Dementia Screening Test**を併せて行い、認知機能を評価する。
- ② 身体機能（両膝伸展筋力、両足関節関節可動域角度）の測定を行う。測定後、1分の休憩を取る。
- ③ **Wii Fit** バランスゲームによる測定、重心動揺計による測定をランダムで実施する。**Wii Fit** については、「バランススキー」、「バランススノーボー」、「バランス Mii」をランダムで行う。**CTSIB** については、条件 1（固い床面、開眼）、条件 2（固い床面、閉眼）、条件 3（固い床面、視覚遮断）、条件 4（発泡素材床面、開眼）、条件 5（発泡素材床面、閉眼）、条件 6（発泡素材床面、視覚遮断）の順で行う。

3.3.4. 統計解析

併存的妥当性の評価には、ピアソンまたはスピアマンの順位相関係数を使用した。2つのグループ（成人、高齢者）間の弁別的妥当性を評価するために、独立したサンプルの t 検定またはマンホイットニーの U 検定を使用した。有意水準は 5%とした。なお、全ての分析には **SPSS ver.25.0**（IBM Corp., Armonk, NY, USA）を使用した。

3.4. 結果

3.4.1. 対象者の属性

成人（ $n=50$ 、女性 19 名）と高齢者（ $n=20$ 、女性 15 名）の特徴を表 3-1（p.26）にまとめた。成人の身長と体重は、高齢者に比べて有意に多かった（ $p < 0.001$ ）。また、成人の等尺性膝伸展筋力は左右ともに高齢者より有意に高かった（ $p < 0.001$ ）。他のすべての比較は有意ではなかった。Wii Fit のスコアについては、外れ値は認められなかった。CTSIB については、6 名の参加者（成人 1 名、1 スコア、高齢者 5 名、9 スコア）から 10 名の外れ値が同定され、削除された。

3.4.2. 併存的妥当性

成人の場合、バランススキーは条件 6 と有意な相関を認めた（ $r=0.32$ 、 $p < 0.05$ ）。さらに、バランス Mii は条件 4 と有意な負の相関を認めた（ $r=-0.30$ 、 $p < 0.05$ ）。高齢者の場合、バランススノーボーのみが条件 2（ $r=-0.48$ 、 $p < 0.05$ ）および 3（ $r=-0.52$ 、 $p < 0.05$ ）と有意な負の相関を認めた。（表 3-2、p.27）

3.4.3. 弁別的妥当性

弁別的妥当性については、Wii Fit エクサゲームの場合、成人が高齢者と比較して 3 つのバランスゲームすべてで有意に優れていることを示した。CTSIB の場合、条件 4（ $p < 0.05$ ）および 5（ $p < 0.001$ ）で、成人が高齢者よりも有意に優れたパフォーマンスを示した。（表 3-3、p.28）

3.5. 図表

表 3-1 対象者の属性

	成人（18～64歳）		高齢者（65歳以上）		p 値
	（n = 50）		（n = 20）		
	平均	標準偏差	平均	標準偏差	
年齢（歳）	30.6	12.4	73.6	5.6	<0.001
体重（kg）	63.5	10.2	53.5	7.3	<0.001
身長（cm）	165.7	8.2	154.9	6.5	<0.001
Body Mass Index	23.1	3.1	22.3	2.3	0.375
等尺性膝伸展筋力（kgf）					
右	46.0	12.4	25.5	8.6	<0.001
左	45.9	12.1	26.8	9.7	<0.001
足関節底屈角度（度）					
右	51.6	11.6	50.3	7.7	0.649
左	51.0	11.7	51.0	7.9	0.962
足関節背屈角度（度）					
右	19.0	5.9	19.4	3.9	0.922
左	18.7	5.8	18.8	4.5	0.887

表 3-2 成人および高齢者における Wii Fit と CTSIB の相関係数

		成人（18～64歳）			高齢者（65歳以上）		
		バランス	バランス	バランス	バランス	バランス	バランス
		スノーボー	スキー	Mii	スノーボー	スキー	Mii
CTSIB 矩形面積							
条件 1	開眼、 固い床面	0.10	0.25	-0.05	-0.02	0.41	-0.30
条件 2	閉眼、 固い床面	0.04	0.16	-0.08	-0.48*	0.06	-0.26
条件 3	視覚遮断、 固い床面	0.07	0.12	0.11	-0.52*	-0.04	0.20
条件 4	開眼、 発泡素材床面	-0.02	0.09	-0.30*	-0.28	-0.15	-0.24
条件 5	閉眼、 発泡素材床面	0.13	0.22	-0.17	-0.08	0.27	0.02
条件 6	視覚遮断、 発泡素材床面	0.14	0.32*	-0.15	-0.31	-0.18	-0.33

*p< 0.05

CTSIB, Clinical Test of Sensory Integration for Balance.

表 3-3 成人および高齢者における Wii Fit と CTSIB の違い

		成人 (18~64 歳)		高齢者 (65 歳以上)		p 値
		(n = 50)		(n = 20)		
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	
Wii Fit						
	バランススノーボー (秒)	93.8	20.4	105.6	16.1	0.024 [†]
	バランススキー (秒)	74.7	23.9	108.6	22.8	<0.001 [†]
	バランス Mii (m)	505.9	312.6	339.1	210.4	0.013 [†]
CTSIB 矩形面積 (mm²)						
条件	開眼、 1 固い床面	437.6	198.9	566.7	259.7	0.060
条件	閉眼、 2 固い床面	767.7	418.2	833.0	338.9	0.499
条件	視覚遮断、 3 固い床面	671.5	364.5	753.0	379.7	0.354
条件	開眼、 4 発泡素材床面	951.2	402.8	1246.2	332.3	0.003 [‡]
条件	閉眼、 5 発泡素材床面	2131.7	1057.4	3119.6	769.8	<0.001 [‡]
条件	視覚遮断、 6 発泡素材床面	2032.2	837.8	2419.4	1062.9	0.271

[†]t-test, [‡]Mann-Whitney U test

3.6. 考察

3.6.1. 対象者の属性

成人の等尺性膝伸展筋力は左右ともに高齢者に比べて有意に高かった（表 3-1）。これは、筋力が加齢とともに低下するという先行研究と一致しており（Lindle, et al. 1997）、筋力低下が姿勢の不安定性に及ぼす影響も示されている（Horlings, et al. 2008）。これらのことより、Wii Fit と CTSIB の両パラメータにおいて、成人の方が高齢者よりも優れたパフォーマンスを示した理由であると考えられる。

3.6.2. 併存的妥当性

成人の併存的妥当性に関して、バランススキーとバランス Mii は、それぞれ CTSIB 条件 6 と条件 4（つまり、体性感覚の矛盾した条件）との併存的妥当性を示した（表 3-2）。このことから、床反力計などの専門的な機器がない場合であっても、Wii Fit バランスゲームを使用して身体動揺の評価を行うことができる可能性がある。また、これらの知見は、体性感覚戦略に挑戦するバランス課題を選択することによって、成人のバランスを改善することにも影響を及ぼす可能性を示している。

高齢者の併存的妥当性に関しては、バランススノーボーのみが CTSIB 条件 2 および 3 と有意な負の相関を示した。この結果を言い換えると、バランススノーボーの結果が良好であるほど、CTSIB 条件 2 および 3 の身体動揺が大きくなることを示している。床反力計を使用した身体動揺評価は、COP 評価の「ゴールドスタンダード」であるため、これは Wii Fit バランスゲームが高齢者の COP 評価の併存的妥当性を認めないことを意味している。統計的に有意ではないが、バランススキーにおいても同様の傾向がみられており、このゲームにおいても併存的妥当性を認めないことを示している。

3.6.3. 弁別的妥当性

弁別的妥当性に関しては、この研究で選択した 3 つのバランスゲームはすべて、成人と高齢者を区別する能力を示した。つまり、成人は 3 つの balan

スゲームすべてで高齢者よりも良好な結果を示した。成人の方がエクサゲームに慣れている可能性も考えられるが、Wii Fitの使用経験のない参加者を選ぶことで、この影響を最小限に抑えた。測定前に身体的な練習を実施せず、口頭での説明とデモンストレーションのみを通じてゲームを実施することで、学習効果は最小限に抑えられたと考える。したがって、Wii Fit バランスゲームの結果の違いは、過去のバランスゲームの経験に起因するものではなく、年齢の違いによるバランスの違いが原因である可能性が考えられる。

3.6.4. 本研究の限界

本研究の限界は、Wii Fit に収録されているバランスゲームのうち 3 つだけが評価されたことである。今後の研究では、他のバランスゲームの併存的妥当性を評価する必要がある。本研究におけるもう 1 つの制限は、最年少の参加者が 18 歳であったことである。これまでの研究結果から、身体動揺を制御するための感覚入力に対する子どもの戦略は、成人、高齢者とは異なることが示されている (Cumberworth, et al. 2007)。バランスは加齢とともに成熟および低下するため、Wii Fit バランスゲームと CTSIB の弁別的妥当性を判断するために、今後の研究では 3 つのグループ (子ども、成人、高齢者) を用いて調査する必要がある。

3.7. 利益相反

開示すべき利益相反状態はない。

第 4 章 結 論

近年、テクノロジーを活用したさまざまな評価方法が開発、検討されており、中でも WBB は安価で携帯性にも優れているため、安価なバランス測定機器として期待される。WBB を Wii Fit と組み合わせて使用することで、さまざまなレベルのゲームを通じてユーザーはバランス課題に挑戦できることから、Wii Fit エクサゲームを用いた研究は数多く実施されているが、バランス評価としての有用性は十分に検討されていない。そこで本論文では、まず先行研究のシステマティックレビューを行い、これまでの研究動向をまとめ、Wii Fit の妥当性と信頼性を検討した。

レビュー（第 2 章）の結果、Wii Fit エクサゲームは幅広い年齢層の者が使用することができ、また脳卒中者や脳損傷者であって使用できるがわかった。これまでは地域在住者や脳卒中者などのバランスを評価するために、理学療法士は機能的な評価や床反力計などを用いてきたが、Wii Fit エクサゲーム、特にバランスゲームを使用することで、専門的な知識や機器がない地域の場合であっても、バランス評価を行える可能性がある。しかし、先行研究の対象者の多くが地域在住高齢者とされていることや、バランスゲームの選択が不十分であること、妥当性の検討に用いられた既存のバランス評価の選択が不十分であることなどから Wii Fit バランスゲームがバランス評価として妥当なものであるかどうか判断するには更なる検討が必要であった。

そこで、本研究（第 3 章）では 18 歳から高齢者までを対象にバランス測定会を開催し、身体動揺評価としての Wii Fit バランスゲームの妥当性について検討した。その結果、成人では、バランススキーと CTSIB 条件 6、バランス Mii と CTSIB 条件 4 で有意な相関を認め、COP 評価としての併存的妥当性があることを示した。しかし、高齢者を対象とした場合では、Wii Fit バランスゲームには COP 評価の併存的妥当性を認めなかった。弁別的妥当性については、本研究で選択した 3 つのバランスゲームを使用して、成人と高齢者のバランス能力を区別できることを示した。したがって、本研究の範囲内で、Wii Fit バランスゲームは、身体動揺を評価するために従来の床反力計で実行される CTSIB の実行可能で手頃な代替手段であることが示唆された。

第 5 章 参考文献

Aniansson A, Hedberg M, et al. Muscle morphology, enzymatic activity, and muscle strength in elderly men: a follow-up study. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 1986, 9(7): 585-91.

Aoyagi K, Ross PD, Davis JW, et al.: Falls among community-dwelling elderly in Japan. *J Bone Miner Res*, 1998, 13: 1468–1474.

Berg KO, Wood-Dauphinee SL, et al. Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Can J Public Health*, 1992, 83: S7-11.

Bland MD, Sturmoski A, et al. Prediction of discharge walking ability from initial assessment in a stroke inpatient rehabilitation facility population. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 2012, 93(8): 1441-7.

Błaszczuk JW: Sway ratio - a new measure for quantifying postural stability. *Acta Neurobiol Exp (Warsz)*, 2008, 68: 51–57.

Cheok G, Tan D, et al. Is Nintendo Wii an Effective Intervention for Individuals with Stroke? A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Med Dir Assoc*, 2015, 16(11): 923-32.

Chiacchiero M, Dresely B, Silva U, et al.: The relationship between range of movement, flexibility, and balance in the elderly. *Top Geriatr Rehabil*, 2010, 26: 148 – 155.

Choi SD, Guo L, et al. Exergame technology and interactive interventions for elderly fall prevention: A systematic literature review. *Appl Ergon*, 2017, 65: 570-81.

Clarl RA, Mentiplay BF, et al. Reliability and validity of the Wii Balance Board for assessment of standing balance: a systematic review. *Gait & posture*, 2018, 61: 40-54.

Cumberworth VL, Patel NN, Rogers W, et al.: The maturation of balance in children. *J Laryngol Otol*, 2007, 121: 449-454.

DeMatteo C, Greenspoon D, et al. Evaluating the Nintendo Wii for assessing return to activity readiness in youth with mild traumatic brain injury. *Physical & occupational therapy in pediatrics*, 2014, 34(3): 229-44.

Dougherty J, Kancel A, et al. The effects of a multi-axis balance board intervention program in an elderly population. *Missouri medicine*, 2011, 108(2): 128-32.

Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, et al.: Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol*, 1990, 45: M192 – M197.

Ferreira EA, Duarte M, Maldonado EP, et al.: Quantitative assessment of postural alignment in young adults based on photographs of anterior, posterior, and lateral views. *J. Manipulative Physiol Ther*, 2011, 34: 371 – 380.

Goble DJ, Cone BL, et al. Using the Wii Fit as a tool for balance assessment and neurorehabilitation: the first half decade of "Wii-search". *J Neuroeng Rehabil*. 2014, 11: 12.

Hall CD, Clevenger CK, et al. Feasibility of a low-cost, interactive gaming system to assess balance in older women. *Journal of aging and physical activity*, 2016, 24(1): 111-8.

Horak FB, Shupert CL, et al. Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. *Neurobiology of aging*, 1989, 10(6): 727-38.

Horlings CG, van Engelen BG, Allum JH, et al.: A weak balance: the contribution of muscle weakness to postural instability and falls. *Nat Clin Pract Neurol*, 2008, 4: 504–515.

Lindle RS, Metter EJ, Lynch NA, et al.: Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20-93 yr. *J Appl Physiol* 1985, 1997, 83: 1581–1587.

Liuzzo DM, Peters DM, et al. Measurements of weight bearing asymmetry using the nintendo wii fit balance board are not reliable for older adults and individuals with stroke. *Journal of geriatric physical therapy*, 2017, 40(1): 37-41.

McMichael KA, Vander Bilt J, et al. Simple balance and mobility tests can assess falls risk when cognition is impaired. *Geriatr Nurs*, 2008, 29(5): 311-23.

Moher D, Shamseer L, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev*. 2015, 4: 1.

Murray NG, Salvatore AP, et al. Reliability and validity evidence of multiple balance assessments in athletes with a concussion. *Journal of athletic training*, 2014, 49(4): 540-9.

Nashner LM: Sensory feedback in human posture control. Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1970: 188 – 197.

Newstead AH, Hinman MR, Tomberlin JA: Reliability of the Berg Balance Scale and balance master limits of stability tests for individuals with brain injury. *J Neurol Phys Ther*, 2005, 29: 18 – 23.

Noohu MM, Dey AB, et al. Relevance of balance measurement tools and balance training for fall prevention in older adults. *Journal of Clinical Gerontology & Geriatrics*, 2004, 5: 31-5.

Plisky PJ, Pauh MJ, et al. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 2006, 36(12): 911-9.

Podsiadlo D, Richardson S. The timed “Up & Go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American geriatrics Society*, 1991, 39(2): 142-8.

Reed-Jones RJ, Dorgo S, et al. WiiFit™ Plus balance test scores for the assessment of balance and mobility in older adults. *Gait & posture*, 2012, 36(3): 430-3.

Riemann BL, Guskiewicz KM, Shields EW: Relationship between clinical and forceplate measures of postural stability. *J Sport Rehabil*, 1999, 8: 71 – 82.

Røgind H, Lykkegaard JJ, Bliddal H, et al.: Postural sway in normal subjects aged 20 - 70 years. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2003, 23: 171 – 176.

Sinaki M, Brey RH, Hughes CA, et al.: Balance disorder and increased risk of falls in osteoporosis and kyphosis: significance of kyphotic posture and muscle strength. *Osteoporos Int*, 2005, 16: 1004 – 1010.

Shumway-cook A, Woollacott M. The growth of stability: postural control from a developmental perspective. *J Mot Behav*, 1985, 17: 131-47.

Shumway-Cook A, Horak FB. Assessing the influence of sensory interaction of balance. Suggestion from the field. *Phys Ther*, 1986, 66(10): 1548-50.

Toupet, M. Vestibular patients and aging subjects lose use of visual input and expend more energy in static postural control. Falls, balance, and gait disorders in the elderly, 1992, 183-98.

Vandervoort AA, Chesworth BM, et al. Age and sex effects on mobility of the human ankle. *Journal of gerontology*, 1992, 47(1): M17-21.

Whiting P, Savović J, et al. ROBIS: A new tool to assess risk of bias in systematic reviews was developed. *J Clin Epidemiol*. 2016, 69: 225-34.

Wikstrom EA. Validity and reliability of Nintendo Wii Fit balance scores. *J Athl Train*, 2012, 47(3): 306-13.

Yamada M, Aoyama T, et al. The reliability and preliminary validity of game-based fall risk assessment in community-dwelling older adults. *Geriatric Nursing*, 2011, 32(3): 188-94.

Zeller W. *Konstitution und Entwicklung*. Göttingen. Verlag für Psychologie, 1964.

第 6 章 謝 辞

本研究に取り組み、博士論文をまとめるまでには、多くの方々のご支援とご指導を賜りました。博士論文を上梓するにあたり、お世話になった皆様方に、この場を借りて深く御礼申し上げます。

まず、本研究を進めるにあたり測定会を福島県いわき市・福島市、群馬県、千葉県で開催するために、多くの方々にご支援、ご協力をいただきました。特に多くのご支援をいただいた村田妙子氏、小出利一氏、山本優一氏、大橋悠司氏、畑中優一氏に心より感謝申し上げます。また、会場の設営などにも多くの方々のご協力いただきました。そして、快く測定会に参加していただき、研究にご協力いただいた 79 名の方々からのご支援のおかげで、本研究を完結することができました。改めて、感謝申し上げます。

本研究テーマを決定するまでには、指導教員である Goh Ah-Cheng 先生には、多くのご助言をいただき、今後の研究の基礎となるテーマを決めることができました。研究に関する指導のみならず、理学療法に関する多くのことを教えていただきました。Goh 先生には、博士論文の完成まで、励ましと丁寧なご指導を賜り、非常に感謝しております。また、博士論文提出にあたり、心配と不安な時期に親身になってご対応下さり、心強く支えていただきました。Goh 先生のご指導とご配慮のおかげで、仕事と大学院生活を両立することができ、3 年間で博士論文を提出することができました。誠にありがとうございました。

また、本研究を進めていくにあたり、古川勉寛先生にはいつも多くのご助言や励ましのお言葉をかけていただき、楽しみながら研究を進めることができました。心より感謝申し上げます。そして、参加者の募集にご協力いただいた北山淳先生、発表会等でご助言をいただきました荻原久佳先生、論文審査の労を引き受けて下さった横川吉晴先生、楊箸隆哉先生、角田大先生にも感謝申し上げます。

仕事と大学院生活を両立するにあたり、同じ職場の方々のサポートがあったため、スムーズに博士論文提出まで進めることができました。特に令和元年度から支えて下さった医療創生大学健康医療科学部理学療法学科の先生方には深く感謝申し上げます。

最後に、博士課程への進学および大学院生活を応援してくれた家族に心から感謝を伝えたいと思います。

出典

本論文の内容は、以下の雑誌、学会に公表した。

【論文（和文）】

佐藤 惇史、Goh Ah-Cheng: Wii Fit ソフトウェアを用いたバランス評価の妥当性と信頼性：システムティックレビュー．福島県理学療法学、2020、4: 8-13.

【論文（欧文）】

Atsushi Sato, Ah-Cheng Goh: The concurrent and discriminant validity of Nintendo Wii Fit Exergame for assessment of postural sway: correlation with Clinical Test of Sensory Integration for Balance. Journal of physical therapy science, 2021, 33(2): 100-105.

【学会発表】

佐藤 惇史：身体動揺を評価するための Wii Fit Exergame の併存的妥当性．第 7 回日本予防理学療法学術大会 Web 学会、2020 年 9 月 27 日

倫理審査承認

受付番号	19-09
------	-------

令和元年9月2日

承認書

佐藤 惇史 殿

医療創生大学
学長 山崎 洋次



貴殿より申請された下記研究の実施に関して、医療創生大学研究倫理委員会の判定結果に基づき、当該研究計画の実施を許可します。

課題名	Technology based assessment を活用したバランス評価の検討
-----	--

論文再利用許諾（福島県理学療法学）

Re: 福島県理学療法学copyright releaseについて

南東北福島病院 佐藤 亮 <poosannpyonko88@yahoo.co.jp>

2021/02/27 (土) 13:39

宛先: 佐藤 惇史 <atsushi.sato@isu.ac.jp>

医療創生大学

佐藤 惇史 様

平素よりお世話になっております。
南東北福島病院の佐藤です。

この度はお問合せいただきありがとうございます。
また、返信が遅くなってしまい大変申し訳ございませんでした。

博士論文として掲載することは問題ございませんので、許可させていただきます。

今後ともよろしく願いいたします。

佐藤亮

（一財）南東北福島病院 リハビリテーション科

福島県理学療法学 編集長

認定理学療法士（脳卒中） 佐藤 亮

〒960-2102 福島市荒井北三丁目1番地の13

TEL：024-593-5308（リハ科直通）

E-mail：poosannpyonko88@yahoo.co.jp

福島県理学療法学 論文採択

差出人 理学療法 <f_rigakuryouhougaku@yahoo.co.jp>
件名 福島県理学療法学 論文採否について
日付 2020年06月12日 (金) 18:30
宛先 atsushi.sato@iwakimu.ac.jp

医療創生大学 健康医療科学部 理学療法学科
佐藤惇史先生

平素よりお世話になっております。お忙しい中、執筆そして校正作業とお疲れさまでした。

今回投稿いただいた論文は査読の結果、「採択」となりました。
これに伴い、最終原稿の提出を6/22までをお願い致します。

現在、他の投稿論文の審議の都合上作業が遅れている状況です。全員分が揃い次第福島県理学療
法学第4巻としてオンラインで閲覧できるように作業を進めてまいります。ご理解いただければ
と思います。

今回、編集作業が遅れてしまい予定の日程通り進めなかったことをお詫び申し上げます。

今後とも宜しく申し上げます。

--

福島県理学療法士会学術誌編集員
神保良平 西山和貴 大橋悠司
Tel:024-551-0270(北福島医療センターリハビリテーション科)
Email:f_rigakuryouhougaku@yahoo.co.jp

Journal of Physical Therapy Science 論文採択

差出人 "The Journal of Physical Therapy Science" <onbehalf@manuscriptcentral.com>
件名 The Journal of Physical Therapy Science - Decision on Manuscript ID JPTS-2020-190.R1
日付 2020年11月02日 (月) 16:26
宛先 atsushi.sato@iwakimu.ac.jp

02-Nov-2020

Dear Dr. Sato:

It is a pleasure to accept your manuscript entitled "The concurrent and discriminant validity of Nintendo Wii Fit Exergame for assessment of postural sway" in its current form for publication in the The Journal of Physical Therapy Science.

Thank you for your fine contribution. On behalf of the Editors of the The Journal of Physical Therapy Science, we look forward to your continued contributions to the Journal.

Sincerely,
The Journal of Physical Therapy Science Editorial Office
jpts@ipec-pub.co.jp

[Editor's Comments]
Associate Editor
Comments to the Author:
(There are no comments.)

学会発表 演題採択

差出人 演題登録システム担当 <yobo@tobutoptours.co.jp>
 件名 第7回日本予防理学療法学会学術大会 演題採択結果について
 日付 2020年06月26日 (金) 16:35
 宛先 atsushi.sato@iwakimu.ac.jp

佐藤 惇史 様

この度は、第7回日本予防理学療法学会学術大会・第3回栄養嚥下理学療法部門研究会・第3回産業理学療法部門研究会に演題登録をいただき誠にありがとうございました。
 査読の結果をご通知申し上げます。

《結果》 採択

《連絡》

1. 参加登録について

すでに日本理学療法士協会マイページからの会員の事前参加登録は定員に達したため、受け付けを終了しております。

演題登録された方は準備委員会を通じてマイページに登録する手続きを行います。

下記のフォームよりご申請下さい。

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSc4MjCT7oOPi4qvmvNgrHzXx_DB2rvJb_mk2eh7u3L7W129w/viewform?usp=sf_link

なお、協会委員以外の演者の方は下記よりお申し込み下さい。協会員以外に限り申し込みが可能です。

<https://questant.jp/q/X7YLULZZ>

*いずれも期日は 7月6日17時とします。

2. セレクションLiveについて

本学会では査読点数上位のうち6演題を選抜してzoomウェビナーによる発表を行います。

今後1週間をめどに、候補者の方には通知いたしますので、その際はよろしくお願いたします。

3. プログラムについて

現在、セッションの配置を検討しているところです。

決定いたしましたらホームページにて詳細を公開いたします。

なお、9月27日(日)が学会当日ですが、各演題1時間の掲示板またはzoomを利用した討議時間を設けることを予定しています。

4. ホームページの拡充について

学会HPを近々大幅更新いたします。

大会開催方法の具体的な方法について詳細に記載してあります。

プログラム(暫定)ほか、発表方法、討議方法などについても案内がありますのでご覧下さい。

第7回日本予防理学療法学会学術大会ホームページ

URL http://jspt.japanpt.or.jp/prevention/academic/7th_congress.html

準備委員長 解良武士

演題に関する情報 (抜粋)

登録演題数 : 1

演題登録No : 187

グループコード : W000185

演題タイトル : 身体動揺を評価するためのWii Fit Exergameの併存的妥当性

No : 1

発表者氏名 : 佐藤 惇史

発表者氏名カナ : サトウ アツシ

所属県士会 : 福島県

参考論文

Wii Fit ソフトウェアを用いたバランス評価の妥当性と信頼性：
システムティックレビュー

Wii Fit ソフトウェアを用いたバランス評価の妥当性と信頼性： システムティックレビュー

佐藤 惇史^{1, 2)}, Goh Ah-Cheng^{1, 2)}

1) 医療創生大学 健康医療科学部 2) 医療創生大学大学院 理工学研究科

キーワード：Wii Fit, バランス評価, 妥当性, 信頼性

はじめに

ヒトが立つ、歩くといった活動を行うためにはバランスが重要であり、理学療法士は、専門的な検査・測定を用いてバランスを評価している。中枢神経系疾患や整形外科疾患、高齢者、スポーツなどバランス評価の機会は多岐にわたり、バランスを評価することで、転倒リスク¹⁾やスポーツ傷害のリスク²⁾、予後予測³⁾に関する情報を得ることができ、転倒予防や傷害予防などにつなげることができる。そのため、バランス評価は医療機関のみならず、地域や在宅の場においても重要視されている。

これまでバランスを評価するために様々な方法で検査・測定が行われてきた。第一に、Romberg Test (RT)⁴⁾や下肢荷重量の測定などスタティックな検査・測定がある。第二に、臨床の場で用いられることが多いTimed Up and Go test (TUG)⁵⁾やBerg Balance Scale (BBS)⁶⁾など機能的な検査がある。これらの検査・測定に加えて、近年では、テクノロジーを活用した機器が様々開発され、バランスを評価・介入する1つの手段として関心が高まっている。

テクノロジーを活用した機器の1つにWii Balance Board (WBB, 任天堂, バランスWiiボード)があり、様々な分野の専門家が活用している。WBBは各コーナーに4つの圧力センサーが内蔵されており、ボードに乗った対象者の姿勢の変化に伴い、4つのセンサーが圧力値の変化を分析することで、姿勢の変化を計算している。WBBは、Wiiゲーム機本体とWii Fitソフトウェア(Wii Fit)で利用することができ、重心動揺計⁷⁾などの専門的な機器と比べ、低価

格であること、携帯性に優れること、一般家庭に普及していることから、WBBを用いたバランス関連の研究数が増えている。

WBBを用いた研究は、バランスの介入に利用したものと、評価に利用したものに分けられる。介入に関しては、システムティックレビューにて効果的であることが確認された^{8) 9)}。評価に関しては、WBBと専門家によって開発されたカスタムソフトウェアをインストールしたPCを用いた研究^{10) 11)}と、WBBとWii Fitにプログラムされたゲームを用いた研究¹¹⁾がある。WBBとカスタムソフトウェアを用いた場合、対象者のCenter of Pressure (COP)を直接PC上で計測することができ、重心動揺計と同等の妥当性や信頼性が明らかにされており、立位バランスを評価する低コストの代替ツール¹⁰⁾とされている。しかしながら、カスタムソフトウェアとPCの操作が必要となるため、当事者自身では使用が難しく、また結果の解釈が困難となる可能性がある。一方、WBBとWii Fitを用いた場合では、地域や自宅などで多くの世代が楽しみながらバランスゲームを行うことができ、また結果がわかりやすいため、当事者自らがバランスの状態を管理し、転倒や傷害リスクを予測することも可能と考える。Gobleらは、Wii Fitを用いたバランス評価は効果的ではない¹¹⁾としているが、検証に用いられたゲームの種類が限られていることから、バランス評価の手段として、どの種類のゲームが、どのような対象者に対して有用であるかについては明らかにされていない。そこで、本システムティックレビューでは、WBBとWii Fitを用いたバランス評価の妥当性と信頼性について検討した。

方法

本システマティックレビューは、Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-analyses (PRISMA) 声明¹²⁾に従って実施した。Risk of bias はPRISMA 声明と Risk Of Bias In Systematic reviews (ROBIS) ツール¹³⁾で評価した。なお、レビューのプロトコル登録は行っていない。

1. 文献検索の方法

3つの和・英文文献データベース(医中誌web, 国立情報学研究所学術ナビゲータ(CiNii), PubMed)を使用し, 2007年(Wiiの販売年)から2019年までを検索対象とした。検索日は, 2019年8月26日であった。

検索統制語は, 医中誌Webでは(“Wii Fit”/AL or “WiiFit”/AL) and (PT=原著論文)とした。CiNiiに関してもこれに準じて検索した。PubMedでは“Wii Fit”[All Fields] OR “WiiFit”[All Fields]とした。

2. 文献の適格基準

本研究の適格基準は, あらゆる年齢層の健全な集団または臨床集団におけるバランスを評価するためのWii Fitの妥当性または信頼性を調査したフルテキストの文献とした。言語は日本語または英語とした。除外基準は, 専門的なカスタムソフトウェアを用いた研究, 症例・事例研究, システマティックレビュー, 学会発表や紀要, 短報, 抄録として発表されたものとした。検索された文献は, まず論文のタイトルや要旨から適格基準を満たしているかスクリーニングした。基準を判断できない文献に関してはその文献を採用した。その後, フルテキストを入手し, 対象者や対象集団の特徴, 研究で用いられた変数, アウトカムの情報を収集した。

3. 文献の検討方法

適格基準の検討は2名の研究者で行い, 文献を評価した上で, エビデンステーブルに各情報を記録した。結果の解釈は2名の研究者で行い, 合意を得た上で検討した。

結果

ROBIS ツールでの Risk of bias の結果はLOWであった。

1. 検索結果

和文文献の検索結果は, 医中誌Webから40

件, CiNiiから70件であり, スクリーニングの結果, 採択は0件となった。英文文献の検索結果は, PubMedから225件であり, スクリーニングの結果, 重複と除外基準の文献を除外し, 35件の文献を評価した。フルテキストを精読し, 適格基準を満たす文献は8件となった。(図1)

その後, 8件の文献¹⁴⁻²¹⁾をレビューに採択し, 対象者の特性, Wii Fitから収集した変数, その他のバランス評価項目, 研究結果について, エビデンステーブルにまとめた。(表1)

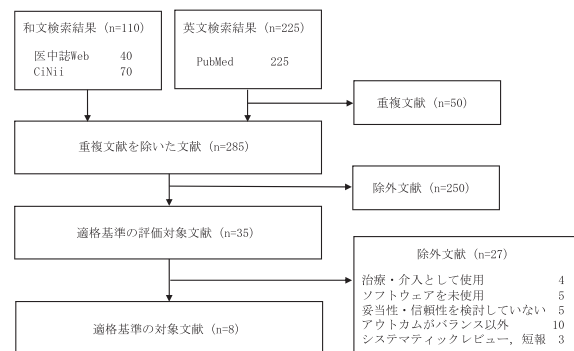


図1 文献選定フロー
CiNii, 国立情報学研究所学術ナビゲータ

2. 対象者の特性

バランス評価の対象者は, 健康成人¹⁴⁾, 健康な地域在住高齢者¹⁵⁻¹⁹⁾, 脳卒中や脳震盪など脳損傷者^{15) 20) 21)}であり, 地域在住高齢者に対しWii Fitの妥当性, 信頼性を検証した研究が多かった。それぞれの研究で用いたサンプルサイズは, 18歳から57歳までの健康成人45名¹⁴⁾, 高齢者9-45名¹⁵⁻¹⁹⁾, 慢性脳卒中者41名¹⁵⁾, 脳震盪後アスリート55名²⁰⁾, 外傷性脳損傷者24名²¹⁾であった。

3. バランス能力の評価方法

Wii Fitで用いられた項目は, “からだ測定”^{14-18) 20)}, トレーニングに含まれる“ヨガ”¹⁴⁾, “筋トレ”¹⁴⁾, “バランスゲーム”^{16) 19)}, “有酸素運動”^{19) 21)}であった。“からだ測定”では, “重心移動”, “敏捷性”, “足踏み”, “安定性”, “片脚立位”の全5項目から2項目がソフトウェアによってランダムに選択され“Wii Fit年齢”が算出される。“ヨガ”(全15項目)からは, “深呼吸”, “立ち木”, “膝抱え”, “ヤシの木”が用いられた。“筋トレ”(全15項目)からは, “片足バランスウォーク”, “片足ひねり”, “横足上げ”が, “バランスゲーム”(全9項目)からは, “バランススキー”と“コロコロ玉入れ”が用いられた。“有酸素運動”(全9項目)からは“踏み台”と“ジョ

ギング”が用いられた。これまでの研究では、比較的容易に短時間で実施することができる“からだ測定”や“バランスゲーム”、“有酸素運動”の項目が採用されていることが多かった¹⁴⁻²¹⁾。

妥当性の研究に用いられた既存のバランス評価には、フォースプレート¹⁴⁾、Star Excursion Balance Test (SEBT)¹⁴⁾、コンピューター化されたバランス評価として用いられるEquitest systemによって算出されるSensory Organization Test (SOT) やLimits of Stability (LOS)¹⁶⁾、30-second Chair stand (30CS)^{16) 17)}、TUG^{16) 17) 19)}、BBS¹⁸⁾、Functional Reach test¹⁹⁾、RT²⁰⁾、Bruininks-Oseretsky Test of Motor Proficiency 2nd edition (BOT-2)²¹⁾、Community Balance and Mobility Scale (CB&M)²¹⁾が挙げられた。

4. 妥当性、信頼性の検証

Wii Fitの測定項目の妥当性について、7件^{14) 16) 21)}の論文でまとめられた。健常成人を対象とした研究では、“からだ測定”に含まれている“足踏み”とフォースプレートによるCOPの偏移で弱い相関($r=0.32$)¹⁴⁾が報告された。

地域在住高齢者の場合、“からだ測定”は2/4件の研究^{16) 18)}で有意な相関が報告された。“バランスゲーム”の項目は、“バランススキー”とTUG、SOT、LOSで、“コロコロ玉入れ”と30CSでそれぞれ有意な相関が認められた¹⁶⁾。そして、“有酸素運動”の“踏み台”は、TUGデュアルタスクラグとの有意な相関を認めたが、シングルタスクまたはデュアルタスクで行われたTUGの結果とは有意な相関が認められなかった¹⁹⁾。

脳震盪後のアスリートでは、“重心移動”とRTの相関を検討した結果、有意な相関を認めなかった²⁰⁾。また、外傷性脳損傷を生じた若年者においては、“有酸素運動”の“ジョギング”を行い、実施中にバランスを崩した回数とBOT-2、CB&Mとの相関を検討し、どちらも有意な相関はみられなかった²¹⁾。

Wii Fitの信頼性の検討については、健常成人¹⁴⁾、地域在住高齢者^{15) 19)}、慢性脳卒中者¹⁵⁾が対象とされていた。地域在住高齢者、脳卒中者を対象に2回測定した結果の信頼性は、“からだ測定”が $ICC=0.35 - 0.76$ ¹⁵⁾、“バランススキー”が $ICC=-0.08 - 0.86$ ¹⁹⁾、“踏み台”が $ICC=0.35 - 0.93$ ¹⁹⁾で

あったが、健常成人を対象とした場合は、“からだ測定”の各項目は信頼性が低いと報告された¹⁴⁾。

考 察

1. 対象者の特性について

Wii Fitによるバランス評価は、18歳から57歳までの健常者¹⁴⁾、地域在住高齢者¹⁵⁻¹⁹⁾、慢性期脳卒中者¹⁵⁾、脳震盪後の若年成人アスリート²⁰⁾、9歳から18歳までの軽度外傷性脳損傷者²¹⁾を対象に行われ、様々な年代や疾患を対象に利用できることがわかった。しかしながら、子どもから高齢者までを対象に検証している研究はないことが明らかとなった。

例えば、子どもは成人と比べて、下肢に対して頭部が大きいと、重心の位置が高く、速い速度で動揺していることから、静的バランスの課題は難しいとされている²²⁾。加えて、子どもが姿勢を制御する際、視覚、体性感覚、平衡感覚のうち、1つ以上の感覚が不正確であると、姿勢制御のための感覚を適切に適応させる能力が低下することも示されている²³⁾。一方、高齢者では姿勢制御に寄与する筋力の低下²⁴⁾や関節可動域の減少²⁵⁾が生じ、加齢に伴って自発的姿勢動揺が増加することが明らかにされており²⁶⁾、年齢層によって姿勢制御の要因が異なり、加齢による姿勢制御の変化が生じる。そこで、幅広い年齢層の対象者をWii Fitによる同一のバランス評価項目を測定し、年齢層の特徴を明らかにすることに加え、年齢層毎にWii Fitによるバランス評価と感覚機能や筋力などの姿勢制御に関連する要因を併せて測定することにより、包括的に対象者の状態を捉えるための指標を検討することができる。また、地域の場においてバランス能力のスクリーニング検査や予後予測の資料として活かすことができるものとする。今後、子どもから高齢者までを対象にWii Fitによるバランス測定を行うことで、年齢による特徴を明らかにし、臨床応用に向けた基礎資料を作成する必要がある。

2. バランス能力の評価方法について

Wii Fitの項目では、多くの研究で“からだ測定”もしくは“Wii Fit年齢”が用いられていた^{14-18) 20)}。“Wii Fit年齢”は、“からだ測定”の5項目の中から2項目がランダムに選択され、その結果から算出するものであることから、一定のバランス能力を評価

しているとは言えない。

Wikstrom¹⁴⁾は健常成人を対象に“ヨガ”の項目や“筋トレ”の項目を用いているが、本項目は難易度が高くバランスが低下している高齢者に用いることは難しい。一方、地域在住高齢者を対象とした“バランスゲーム”は比較的短い時間で、楽しみながら実施することができ、実際に80歳以上の者であっても実行可能であった^{16) 19)}点から、バランス評価として使用しやすいものと考えられる。

既存のバランス評価としては、TUG^{16) 17) 19)}が多く用いられていた。しかし、子どもや高齢者の場合、感覚機能が姿勢制御に影響を与える割合が大きいため^{23) 27)}、感覚機能を考慮したバランス評価を用いることも重要であり、Hallらの研究¹⁶⁾でのみEquitest systemを用いて検討されていた。

3. 妥当性、信頼性について

既存のバランス評価と妥当性を認めたWii Fitの項目は、“Wii Fit年齢”¹⁶⁾、“足踏み”¹⁴⁾、“バランススキー”¹⁶⁾、“コロコロ玉入れ”¹⁶⁾であった。“Wii Fit年齢”はランダムに選択されたゲームの結果によるものであり、組み合わせによっては評価しているバランスの側面が異なっている可能性があり、“Wii Fit年齢”を用いた場合には結果の解釈に注意が必要である。また、“Wii Fit年齢”を算出するための“重心移動”^{14) 17) 20)}や“敏捷性”^{14) 17)}、“安定性”¹⁴⁾、“片脚立位”¹⁴⁾は、その他のバランス評価との妥当性を認めず、信頼性も低かった。妥当性が認められない理由として、ダイナミックな動きを必要とするSEBTやTUGとの性質が異なる点^{14) 17)}や、感覚機能が考慮されていない点¹⁶⁾が挙げられ、“Wii Fit年齢”および“からだ測定”の各項目は、バランス評価として妥当でないとする。同様に、“足踏み”に関しても、COPとの弱い相関は認めたが、信頼性が低いことから、客観的な測定値として使用すべきでないことが指摘されている¹⁴⁾。一方、Hallら¹⁶⁾は“バランススキー”とTUG、SOT、LOS、“コロコロ玉入れ”と30CSとの相関関係を明らかにしたが、対象者が16名と少ないため結果を一般化するには対象者を増やして検討する必要がある。

これらの項目の信頼性は、高齢者に対する座位での“バランススキー”、“踏み台”で高い信頼性を認めたが¹⁹⁾、健常成人を対象とした立位での測定では標準誤差や最小可検変化量が大きかった¹⁴⁾ことか

ら信頼性の低さにつながる可能性がある。今後、対象者や実験プロトコルを踏まえ、検討する必要がある。

結 論

システマティックレビューの結果、Wii Fitは、子どもから高齢者、脳卒中者などでも使用することができ、専門的な知識や機器がない地域の場合であっても、バランスの評価を行える可能性がある。なかでも、“バランスゲーム”は比較的短い時間で楽しみながら行える点やTUG、SOTなどとの相関を認めた点から、バランス評価として有用と考えられるが、先行研究の対象者が限定されているため一般化することはできない。信頼性については一定の結果が得られておらず、今後実験プロトコルなどを踏まえ、検討する必要がある。Wii Fitがバランスを正確に評価できるかどうかを判断するには、更なる妥当性と信頼性のデータが必要である。

利益相反

開示すべき利益相反状態はない。

文 献

- 1) Noohu MM, Dey AB, et al. Relevance of balance measurement tools and balance training for fall prevention in older adults. *Journal of Clinical Gerontology & Geriatrics*, 2004, 5: 31-5.
- 2) Plisky PJ, Pauh MJ, et al. Star Excursion Balance Test as a predictor of lower extremity injury in high school basketball players. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 2006, 36 (12) : 911-9.
- 3) Bland MD, Sturmoski A, et al. Prediction of discharge walking ability from initial assessment in a stroke inpatient rehabilitation facility population. *Archives of physical medicine and rehabilitation*, 2012, 93 (8) : 1441-7.
- 4) McMichael KA, Vander Bilt J, et al. Simple balance and mobility tests can assess falls risk when cognition is impaired. *Geriatr Nurs*, 2008, 29 (5) : 311-23.
- 5) Podsiadlo D, Richardson S. The timed “Up & Go”: a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American geriatrics Society*,

- 1991, 39 (2) : 142-8.
- 6) Berg KO, Wood-Dauphinee SL, et al. Measuring balance in the elderly: validation of an instrument. *Can J Public Health*, 1992, 83: S7-11.
- 7) Shumway-Cook A, Horak FB. Assessing the influence of sensory interaction of balance. Suggestion from the field. *Phys Ther*, 1986, 66 (10) : 1548-50.
- 8) Cheok G, Tan D, et al. Is Nintendo Wii an Effective Intervention for Individuals with Stroke? A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Med Dir Assoc*, 2015, 16 (11) : 923-32.
- 9) Choi SD, Guo L, et al. Exergame technology and interactive interventions for elderly fall prevention: A systematic literature review. *Appl Ergon*, 2017, 65: 570-81.
- 10) Clarl RA, Mentiplay BF, et al. Reliability and validity of the Wii Balance Board for assessment of standing balance: a systematic review. *Gait & posture*, 2018, 61: 40-54.
- 11) Goble DJ, Cone BL, et al. Using the Wii Fit as a tool for balance assessment and neurorehabilitation: the first half decade of "Wii-search". *J Neuroeng Rehabil*. 2014, 11: 12.
- 12) Moher D, Shamseer L, et al. Preferred reporting items for systematic review and meta-analysis protocols (PRISMA-P) 2015 statement. *Syst Rev*. 2015, 4: 1.
- 13) Whiting P, Savović J, et al. ROBIS: A new tool to assess risk of bias in systematic reviews was developed. *J Clin Epidemiol*. 2016, 69: 225-34.
- 14) Wikstrom EA. Validity and reliability of Nintendo Wii Fit balance scores. *J Athl Train*, 2012, 47 (3) : 306-13.
- 15) Liuzzo DM, Peters DM, et al. Measurements of weight bearing asymmetry using the nintendo wii fit balance board are not reliable for older adults and individuals with stroke. *Journal of geriatric physical therapy*, 2017, 40 (1) : 37-41.
- 16) Hall CD, Clevenger CK, et al. Feasibility of a low-cost, interactive gaming system to assess balance in older women. *Journal of aging and physical activity*, 2016, 24 (1) : 111-8.
- 17) Reed-Jones RJ, Dorgo S, et al. WiiFit™ Plus balance test scores for the assessment of balance and mobility in older adults. *Gait & posture*, 2012, 36 (3) : 430-3.
- 18) Dougherty J, Kancel A, et al. The effects of a multi-axis balance board intervention program in an elderly population. *Missouri medicine*, 2011, 108 (2) : 128-32.
- 19) Yamada M, Aoyama T, et al. The reliability and preliminary validity of game-based fall risk assessment in community-dwelling older adults. *Geriatric Nursing*, 2011, 32 (3) : 188-94.
- 20) Murray NG, Salvatore AP, et al. Reliability and validity evidence of multiple balance assessments in athletes with a concussion. *Journal of athletic training*, 2014, 49 (4) : 540-9.
- 21) DeMatteo C, Greenspoon D, et al. Evaluating the Nintendo Wii for assessing return to activity readiness in youth with mild traumatic brain injury. *Physical & occupational therapy in pediatrics*, 2014, 34 (3) : 229-44.
- 22) Zeller W. *Konstitution und Entwicklung*. Göttingen. Verlag für Psychologie, 1964.
- 23) Shumway-cook A, Woollacott M. The growth of stability: postural control from a developmental perspective. *J Mot Behav*, 1985, 17: 131-47.
- 24) Aniansson A, Hedberg M, et al. Muscle morphology, enzymatic activity, and muscle strength in elderly men: a follow – up study. *Muscle & Nerve: Official Journal of the American Association of Electrodiagnostic Medicine*, 1986, 9 (7) : 585-91.
- 25) Vandervoort AA, Chesworth BM, et al. Age and sex effects on mobility of the human ankle. *Journal of gerontology*, 1992, 47 (1) : M17-21.
- 26) Toupet, M. Vestibular patients and aging subjects lose use of visual input and expend more energy in static postural control. *Falls, balance, and gait disorders in the elderly*, 1992, 183-98.
- 27) Horak FB, Shupert CL, et al. Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. *Neurobiology of aging*, 1989, 10 (6) : 727-38.

表1.妥当性もしくは信頼性を調査した研究

著者	年	健康状態	サンプルサイズ	年齢	性別	WiFi項目	収集した変数	評価項目	統計	結果	備考
Wikstrom EA [14]	2012	健康成人	45	27.0 ± 9.8 (18-57)	-	からだ測定 (重心移動, 敏捷性, 足踏み, 安定性, 片脚立位), 深呼吸, 立ち水, 膝抱え, ヤンの木, 片足バラン スウォーク, 片足ひねり, 横足上げ	各スコア2回測定 (各 日内, 1週間後)	間断片脚立位(Sway), COP (フォースプレート), SEBT	ヒアソンの積率 変当性 SEM, MDC	・足踏みとCOP $r=0.32$ ・ヤンの木とSEBT $r=0.29$ ・片足ひねりとSEBT $r=0.21$ 信頼性 (1週間後) ・立ち水 ICC=0.57, SEM=5.6, MDC=15.5 ・片足バラン スウォーク ICC=0.37, SEM=5.5, MDC=15.2 ・片足ひねり ICC=0.46, SEM=4.1, MDC=11.4 ・横足上げ ICC=0.47, SEM=6.5, MDC=18.0	有意差のあった項目のみ記載
Luzzo DM, et al. [15]	2017	地域在住高齢者, 慢性脳卒中者	41, 41	高齢者 84 脳卒中者 67	高齢者 31 女性 脳卒中者 13 女性	からだ測定 (重心移動)	高齢者 左下肢荷重 (%) 脳卒中者 麻痺側下肢荷重 (%) 2回測定	-	ICC, SEM, MDC	信頼性 高齢者 ・ICC=0.59 (0.35-0.76) ・SEM=3.2, 95% SEM=6.2 ・90% MDC=9.1, 95% MDC=8.8 脳卒中者 ・ICC=0.60 (0.47-0.70) ・SEM=4.9, 95% SEM=9.6 ・90% MDC=11.5, 95% MDC=13.6	SEM, 95% SEM, 90% MDC, 95% MDCは体重の割合です。
Hall CD, et al. [16]	2016	地域在住高齢者	16	75.6 ± 10.3 (62-90)	女性 16	からだ測定, バランス キー, コロコロ玉入れ	WiFi年齢, ペナルティの数・クリアまで の時間 (スキー), 合 計スコア・ゲーム時間 (玉入れ) 3回計測	30CS, 歩行速度, DGI, TUG, SOT+LOS test (SMART Equitest)	スピアマンの順 位相関係数	・WiFi年齢と30CS ($r=-0.57$), 歩行速度 ($r=-0.59$), TUG ($r=0.59$) ・スキーペナルティと30CS ($r=-0.61$), 歩行速度 ($r=-0.73$), TUG ($r=0.75$), DGI ($r=-0.72$), SOT ($r=-0.67$), LOS directional control ($r=-0.70$) ・スキー時間と歩行速度 ($r=0.52$), DGI ($r=0.64$) ・玉入れスコアと30CS ($r=0.54$), DGI ($r=0.57$) ・玉入れ時間と30CS ($r=0.53$), 歩行速度 ($r=0.51$), DGI ($r=0.60$)	有意差のあった項目のみ記載
Reed-Jones R, et al. [17]	2012	地域在住高齢者	34	67.1 ± 5.2	女性 9	からだ測定 (重心移動, 敏捷性)	クリアしたレベル, クリアにかかった時間 2回測定	SFT, 握力, 30CS, 30AC0, 6 分間歩行, TUG, remp-walk power test, GISTT, UFOV	ピアソンの積率 変当性 相関係数, 階層 線形回帰モデル	・からだ計測とUFOV $r=0.41$	有意差のあった項目のみ記載
Dougherty J, et al. [18]	2011	地域在住高齢者	9	74.9 ± 8.1 (65-90)	女性 3	からだ測定	WiFi年齢 3回計測	BBS	二変量相関	$r=-0.25$	具体的な検査技法の名前は未記載
Yamada M, et al. [19]	2011	地域在住高齢者	45	81.3 ± 7.4	女性 45	踏み右, バランス キー (座位で計測)	各スコア2回測定	1.0 m歩行テスト (シングル タスク, デュアルタスク), TUG (シングルタスク, デュアルタスク), FR, 転倒試験	ICC, スピアマンの順位相関係数	・踏み右とTUG ($r=0.61$) (-0.08 - 0.86) ・バランスキー ICC=0.61 (-0.08 - 0.86) ・踏み右と歩行 (デュアルタスク) $r=-0.55$ ・踏み右とTUG (デュアルタスク) $r=-0.69$	有意差のあった項目のみ記載
Murray NG, et al. [20]	2016	脳卒中後48時間以内のアスリート	24-55	19.4 ± 8.7	女性 15	からだ測定 (重心移動)	クリアしたレベル, リアにかかった時間	RT, IMPACT test (言語記憶, 視覚処理速度, 反応時間)	ピアソンの積率 変当性 相関係数, 点双列相関係数	・重心移動と視覚記憶 ($r=-0.41$)	有意差のあった項目のみ記載
DeMatteo C, et al. [21]	2014	前年中に軽度外傷性脳損傷	24	14.9 (9-18)	女性 10	ジョギング	バランスを崩した数	BOT-2, CBM	二変量相関	not significant	具体的な検査技法の名前は未記載

abbreviations: -,未記載; COP, Center of Pressure; SEBT, Star Excursion Balance Test; ICC, Intraclass Correlation Coefficients; SEM, Standard Error of Measurement; MDC, Minimal Detectable Change; SFT, Senior Fitness Test; 30CS, 30-second chair stand; 30AC, 30-second test; GISTT, Gallon-Jug Shelf-Transfer Test; UFOV, Useful Field of View test; BBS, Berg Balance Scale; FR, Functional Reach test; DGI, Dynamic Gait Index; RT, Romberg Test; IMPACT, Immediate Post-Concussion Assessment and Cognitive Testing; BOT-2, Bruininks-Oseretsky Test of motor edition; CBM, Community Balance and Mobility scale.

参考論文

The concurrent and discriminant validity of Nintendo Wii Fit
Exergame for assessment of postural sway.



Original Article

Concurrent and discriminant validity of Nintendo Wii Fit *exergame* for the assessment of postural sway

ATSUSHI SATO, RPT, MSc^{1)*}, AH-CHENG GOH, PT, PhD¹⁾

¹⁾ Faculty of Health Sciences, Iryo Sosei University: 5-5-1 Chuodai Iino, Iwaki-shi, Fukushima 970-8551, Japan

Abstract. [Purpose] The purpose of this study was to determine the concurrent validity of Wii Fit center-of-pressure parameters with Clinical Test of Sensory Integration for Balance and to evaluate the discriminant validity of the Wii Fit center-of-pressure parameters for adults and the elderly for the assessment of postural sway. [Participants and Methods] This study used an observational cross-sectional correlational design. All 70 participants were required to complete a questionnaire for eligibility screening, followed by a center-of-pressure assessment using three Wii Fit balance activities (snowboard slalom, ski slalom, and balance bubble) and Clinical Test of Sensory Integration for Balance using a force platform. [Results] For center-of-pressure assessment, our results showed there was concurrent validity of Wii Fit ski slalom and balance bubble with Clinical Test of Sensory Integration for Balance conditions 6 and 4, respectively. Our results also demonstrated that the three Wii Fit balance activities selected in this study could be used to discriminate between adults and the elderly. [Conclusion] Our results suggest that Wii Fit is a viable and affordable alternative method for center-of-pressure assessment.

Key words: Wii Fit, Centre of pressure, Validity

(This article was submitted Sep. 9, 2020, and was accepted Nov. 2, 2020)

INTRODUCTION

Adequate balance function is necessary to successfully accomplish most activities of daily living such as sitting, standing and walking, especially among the elderly population^{1, 2)}. In the United States, the incidence of falls among community dwellers at least once a year was reported as 33% and 50% for those above 65 and 80 years respectively³⁾. In Japan, however, the reported annual incidence of falls is comparatively lower for those between 65 to 84 years at 13% and 22% for men and women respectively⁴⁾. Therefore, it is important to initiate quick and timely assessment of balance function to decrease the risk and incidence of falls by implementing strategies to prevent further deterioration.

The assessment of balance function can be categorized into three types:

- (1) Assessment of impairments related to balance function such as decreased range of motion in the lower limbs⁵⁾ and decreased muscle strength of the anti-gravity muscles⁶⁾.
- (2) Assessment of postural alignment⁷⁾ and postural sway, such as the various iterations of the Romberg test⁸⁾, and the Clinical Test of Sensory Integration for Balance or CTSIB⁹⁾.
- (3) Assessment of functional tasks such as sitting and standing (e.g. Berg Balance Scale)¹⁰⁾ and reaching forward in sitting or standing¹¹⁾.

The assessment of postural sway by measurement of the body's center of pressure (COP) using computerized systems was introduced by Nashner in 1970¹²⁾. Since then, conventional force platforms are usually considered as the gold standard for assessment of COP which is defined as "an approximation of the body's center of mass (or balance point) projected vertically

*Corresponding author. Atsushi Sato (E-mail: atsushi.sato@isu.ac.jp)

©2021 The Society of Physical Therapy Science. Published by IPEC Inc.



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial No Derivatives (by-nc-nd) License. (CC-BY-NC-ND 4.0: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

onto the floor below”¹³). In addition to conventional force platforms¹⁴), dedicated systems such as the Balance Master (Natus Medical Inc., San Carlos, CA, USA)^{15, 16}) have also been used to assess COP in research laboratories or rehabilitation centers. More affordable alternatives are available such as those being used in gaming technology e.g. Wii Balance Board (WBB) which was introduced in 2007 as an exercise accessory to the Wii game console (Nintendo Co., Ltd, Kyoto, Japan). The WBB is a portable platform with built-in pressure sensors at each of the four corners which can measure, track and display the COP of the user in real-time¹⁷). When the WBB is used in conjunction with dedicated software such as Wii Fit (Nintendo Co., Ltd, Kyoto, Japan), it enables the system to assess postural alignment and sway, as well as challenging the user’s balance ability through games (also known as *exergames*) with different levels of difficulties. These *exergames* can be divided into four categories: yoga, strength training, aerobics and balance.

The yoga and strength training categories consist of 15 activities each. At the end of each activity, the users are scored based on how well they were able to maintain their COP within a certain threshold indicated by a yellow circle. The aerobics and balance categories consist of 9 activities each. Only the balance category is directly related to how the user controls his COP. Two activities require the user to control his COP in the anterior-posterior direction (ski jump, snowboard slalom), four in the medial-lateral direction (ski slalom, soccer heading, tightrope walk, penguin slide), and two in a combination of both (table tilt, balance bubble). The ninth activity requires the user to sit motionless on the WBB and is related more to sitting rather than standing postural sway.

Various studies have been conducted to evaluate the effectiveness of Wii Fit *exergames* for improving balance function in various population groups^{17–20}). In addition to *exergaming*, the WBB can also be used to assess postural sway through measurement of the COP. However, compared with conventional force platforms, the WBB is limited by its sampling frequency (30 to 50 Hz) and its maximum load (150 kg). Nevertheless, the cost-performance benefit from using an affordable and portable device has prompted several investigations into its validity and reliability for COP assessment of postural control. According to Horak⁹), the postural control system can be divided into three components for testing: biomechanical, motor coordination and sensory organization components. Only the last component is related to COP, and has been described as the Sensory Organization Test (SOT) or the CTSIB²¹). The CTSIB involves measuring the COP under six different conditions by combining two different surfaces (somatosensory normal and conflicted) and three different visual conditions (vision normal, absent, and conflicted)²¹). To test under somatosensory conflicted conditions, a soft foam cushion is used for the participant to stand on. To test under vision conflicted conditions, a dome or surround screen is used to always maintain the participant’s visual field at the same distance from the visual target. The validity and reliability of CTSIB have been investigated in healthy children (concurrent validity, Pearson’s $r=0.681$ to 0.799)²²) and in patients with vestibular dysfunction (reliability, ICC=0.74)²³), among others.

The validity and reliability of the Wii Fit has also been investigated by several authors with conflicting results. Wikstrom investigated the concurrent validity of Wii Fit scores with a 30 second single limb stance and the Star Excursion Balance Test²⁴). Although he reported poor validity when compared with Wii Fit body tests and yoga activities, it is doubtful that the parameters used in this study were appropriate since body tests and yoga activities are not good measures for postural sway. In addition, his adult participants ranged from 18 to 57 years, which may have affected his results as the validity of Wii Fit could be age dependent. Liuzzo et al reported that Wii Fit was moderately reliable for the elderly above 65 years (ICC 0.59), and for adults and elderly with stroke from 54 to 80 years (ICC 0.60)²⁵). However, the only Wii Fit parameter that they measured was percentage of left and right weightbearing which is more indicative of static alignment, rather than postural sway. Hall et al reported that in women above the age of 60 years, the validity of Wii Fit ski slalom was significantly correlated with SOT (Spearman’s rho -0.67), while table tilt was not²⁶). They concluded that ski slalom may be used to assess balance in community dwelling elderly. However, only two of the eight Wii Fit balance activities were investigated, and balance activities in the anterior-posterior direction was not assessed. Hence, due to inadequate or inappropriate Wii Fit parameters being assessed, as well as restrictions in the age range of participants, the validity of Wii Fit to assess COP is still not sufficiently evaluated. Therefore, the purpose of this study was to determine the concurrent validity of Wii Fit COP parameters with CTSIB, and to evaluate the discriminant validity of Wii Fit COP parameters for adults (18 to 64 years) and the elderly (65 years and above) for the assessment of postural sway.

PARTICIPANTS AND METHODS

This investigation employed an observational correlational cross-sectional study design. Ethical approval was obtained from the university’s ethical review board (ISU No. 19-09) before the commencement of the study.

Recruitment of participants was carried out using word-of-mouth and through posters distributed at four cities in the Kanto-Tohoku region in Japan. The inclusion criteria were: aged between 18 and 90 years old; community dwelling; independent in daily activities; no previous experience with Wii Fit; and body weight less than 150 kg. The exclusion criteria were: unable to stand independently for 20 minutes; unable to walk without a cane; pain in joints when weight bearing; progressive neurological symptoms; visual or hearing impairment or vestibular disorders. A total of 70 volunteers agreed to participate in this study. The study’s protocol was explained to them and written informed consent was obtained.

This research was conducted from September 2019 to February 2020. The entire session lasted for about one hour starting with a questionnaire, followed by (in random sequence) balance assessments using Wii Fit and CTSIB, and evaluation of

muscle strength and range of motion.

All 70 participants were required to complete a questionnaire regarding their age, gender, height, weight, any co-morbidities, past medical history, visual impairment, and any incidence of falls within the past year.

For the Wii Fit assessments, three balance activities were selected for COP assessment. Prior to testing, participants were given a verbal explanation and a live demonstration. Participants were then instructed to stand barefoot on the WBB which was positioned 2 meters away from the image projected on a screen. The sequence for testing was randomized and performed only once to minimize the learning effects. The three balance activities were as follows:

a. Snowboard slalom: The game scenario is to snowboard down a mountain slope while passing through a series of flags positioned along the slope. The WBB is placed on the floor and perpendicular to the screen as if snowboarding. The goal for this activity is to pass through as many flags as quickly as possible on the way down the slope. The score is calculated based on the time taken, with 7 seconds added for each missed flag. The shorter the time, the better the performance.

b. Ski slalom: The game scenario, goal and scoring for this are similar to that of snowboard slalom. The only difference is that the WBB is placed on the floor parallel to the screen as if skiing.

c. Balance bubble: The game scenario is to move an avatar through a maze without touching the sides of the wall. The WBB is positioned parallel to the screen. The goal for this activity is to move the avatar as far as possible without hitting the wall. The score is calculated based on the distance travelled. The longer the distance, the better the performance.

For the CTSIB assessments, the participants stood bare feet on a force plate (JK-101III, UNIMEC Co., Ltd, Tokyo, Japan) and their COP was measured under six conditions at 100 Hz sampling rate for 30 seconds each as follows: 1. eyes open-firm surface; 2. eyes closed-firm surface; 3. eyes conflicted-firm surface; 4. eyes open-foam surface; 5. eyes closed-foam surface; 6. eyes conflicted-foam surface. The eyes conflicted conditions were performed with the participants wearing a virtual reality goggle (VR-Box, Samonic, Shenzhen, China) which had a static picture of a target in the center of their field of view. The somatosensory conflicted conditions were performed with the participants standing on a 6 cm foam (shock absorbing) placed over the force plate. Each condition was measured once, and the COP sway area was recorded. The smaller the sway area, the better the performance.

For the isometric knee extension muscle strength evaluation, participants sat on a special chair with the knee and hip joints at 90-degrees flexion. The lower leg was attached to the dynamometer (model T.K.K.5710m, Takei Scientific Instruments, Co., Ltd, Niigata, Japan) just above the medial and lateral malleoli. Strength measurements were performed twice for both legs and the maximum value was recorded. For the range of motion evaluation, the ankle plantarflexion and dorsiflexion angles were measured using a standard goniometer (GS-100, OG Wellness Co., Ltd, Okayama, Japan) once for both ankles.

Participants were divided into two groups (independent variable) based on age i.e. adults and elderly. The dependent variables for Wii Fit were the time scores for ski slalom and snowboard slalom, and distance scores for balance bubble; and the sway area for the six conditions for CTSIB. Normality of the dependent variables were checked using the Shapiro-Wilk test. Following this, outlier scores were identified and removed. For assessment of the concurrent validity, Pearson's or Spearman's rank correlation coefficient was used. For assessment of discriminant validity between the two groups, independent sample t-test or Mann-Whitney U test was used. Statistical significance was set at 0.05 and all analysis was performed using the SPSS software version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA).

RESULTS

Table 1 summarizes the characteristics for the adults (n=50, 19 females) and the elderly (n=20, 15 females). The height and body weight of the adults were significantly greater than those of the elderly ($p<0.001$). The isometric knee extension muscle strength of the adults was also significantly greater than the elderly for both legs ($p<0.001$). All other comparisons were not significant. No outliers were found for the Wii Fit scores. For the CTSIB, 10 outliers from 6 participants (1 adult, 1 score; 5 elderly, 9 scores) were identified and removed.

Table 2 summarizes the correlation coefficients between Wii Fit and CTSIB parameters (concurrent validity). For the adults, ski slalom was significantly correlated with condition 6 ($r=0.32$, $p<0.05$). In addition, balance bubble was significantly negatively correlated with condition 4 ($r=-0.30$, $p<0.05$). For the elderly, only snowboard slalom was significantly negatively correlated with conditions 2 ($r=-0.48$, $p<0.05$), and 3 ($r=-0.52$, $p<0.05$). All other correlations were not significant.

The results for discriminant validity are summarized in Table 3. For Wii Fit parameters, the independent t-test demonstrated that the adults performed significantly better in all three activities compared with the elderly. For the CTSIB parameters, the Mann-Whitney U tests demonstrated that the adults performed significantly better than the elderly for conditions 4 ($p<0.05$), and 5 ($p<0.001$). All other parameters were not significantly different.

DISCUSSION

The isometric knee extension muscle strength of the adults was significantly greater than the elderly for both left and right legs. This is consistent with the evidence that muscle strength decreases with age²⁷ and negatively correlated with balance ability²⁸. Therefore, this could be the reason why the adults performed better than the elderly in both the Wii Fit and CTSIB parameters (Tables 2 and 3).

Table 1. Participant characteristics, isometric knee extension strength, and ankle range of motion

	Adults (18 to 64 years) (n=50)		Elderly (above 65 years) (n=20)		p-value
	Mean	SD	Mean	SD	
Age (years)	30.6	12.4	73.6	5.6	<0.001
Body Weight (kg)	63.5	10.2	53.5	7.3	<0.001
Height (cm)	165.7	8.2	154.9	6.5	<0.001
Body Mass Index (kg/m ²)	23.1	3.1	22.3	2.3	0.375
Isometric Knee Extension Strength (kgf)					
Right	46.0	12.4	25.5	8.6	<0.001
Left	45.9	12.1	26.8	9.7	<0.001
Ankle angle (plantar flexion) (degrees)					
Right	51.6	11.6	50.3	7.7	0.649
Left	51.0	11.7	51.0	7.9	0.962
Ankle angle (dorsiflexion) (degrees)					
Right	19.0	5.9	19.4	3.9	0.922
Left	18.7	5.8	18.8	4.5	0.887

Table 2. Correlation coefficients for Wii Fit and CTSIB parameters for adults and elderly

	Adults (18 to 64 years)			Elderly (above 65 years)		
	Snowboard slalom	Ski slalom	Balance bubble	Snowboard slalom	Ski slalom	Balance bubble
CTSIB, rectangle area						
Condition 1 eyes open, firm surface	0.10	0.25	-0.05	-0.02	0.41	-0.30
Condition 2 eyes closed, firm surface	0.04	0.16	-0.08	-0.48*	0.06	-0.26
Condition 3 eyes conflicted, firm surface	0.07	0.12	0.11	-0.52*	-0.04	0.20
Condition 4 eyes open, foam surface	-0.02	0.09	-0.30*	-0.28	-0.15	-0.24
Condition 5 eyes closed, foam surface	0.13	0.22	-0.17	-0.08	0.27	0.02
Condition 6 eyes conflicted, foam surface	0.14	0.32*	-0.15	-0.31	-0.18	-0.33

*p<0.05.

CTSIB: Clinical Test of Sensory Integration for Balance.

Table 3. Differences between adults and elderly for Wii Fit and CTSIB parameters

	Adults (18 to 64 years) (n=50)		Elderly (above 65 years) (n=20)		p-value
	Mean	SD	Mean	SD	
Wii Fit					
Snowboard Slalom (sec)	93.8	20.4	105.6	16.1	0.024 [†]
Ski Slalom (sec)	74.7	23.9	108.6	22.8	<0.001 [†]
Balance Bubble (m)	505.9	312.6	339.1	210.4	0.013 [‡]
CTSIB, rectangle area (mm ²)					
Condition 1 eyes open, firm surface	437.6	198.9	566.7	259.7	0.060
Condition 2 eyes closed, firm surface	767.7	418.2	833.0	338.9	0.499
Condition 3 eyes conflicted, firm surface	671.5	364.5	753.0	379.7	0.354
Condition 4 eyes open, foam surface	951.2	402.8	1246.2	332.3	0.003 [‡]
Condition 5 eyes closed, foam surface	2131.7	1057.4	3119.6	769.8	<0.001 [‡]
Condition 6 eyes conflicted, foam surface	2032.2	837.8	2419.4	1062.9	0.271

[†]t-test, [‡]Mann-Whitney U test.

CTSIB: Clinical Test of Sensory Integration for Balance.

With regards to concurrent validity for the adults (Table 2), ski slalom and balance bubble demonstrated concurrent validity with condition 6, and condition 4 respectively (i.e. somatosensory conflicted conditions). Therefore, in the absence of a force platform, it may be possible to conduct assessments of postural sway using the same Wii Fit activities for adults. These findings also have implications for improving balance function in adults by selecting the balance tasks that uniquely challenges their somatosensory strategies, i.e. standing on foam surface.

With regards to concurrent validity for the elderly (Table 2), only snowboard slalom demonstrated significant negative correlations with conditions 2 and 3. In other words, the better their snowboard slalom score, the worse their CTSIB sway area for conditions 2 and 3 became. Since CTSIB is the “gold standard” for COP assessment of postural sway, this can only mean that Wii Fit has no concurrent validity for COP assessment in the elderly. A similar trend (albeit statistically not significant) was also seen in ski slalom, indicating no concurrent validity for this activity as well.

With regards to discriminant validity using the Wii Fit assessments (Table 3), all of the three balance activities selected for this study demonstrated the ability to discriminate between the adults and the elderly, i.e. the adults performed significantly better in all three activities compared with the elderly. While it may be possible that the adults were more familiar with *exergames*, we minimized this effect by selecting participants who had no prior experience with Wii Fit. The learning effect was minimized further by conducting the familiarization session through verbal explanations and demonstrations only, with no physical practice prior to testing. Therefore, the differences in the Wii Fit results could not be attributed to prior experience with *exergames* and could be due to actual differences in their balance ability because of their age disparities.

With regards to discriminant validity using the CTSIB assessments (Table 3), the discriminant validity for the CTSIB parameters were demonstrated only in conditions 4 and 5. This suggests that both adults and elderly participants performed differently only when their somatosensory input was challenged. When both their visual and somatosensory input were challenged (condition 6), or when only their visual input was challenged (conditions 2 and 3) the two groups demonstrated similar results.

Therefore, our results suggest that the deterioration in postural control in the healthy elderly may be due more to somatosensory rather than visual input. This contrasts with a report that “with age there is an increased dependence on visual information to maintain balance”²⁹). This finding also has important implications for treatment of postural control in the elderly, i.e. balance exercises that challenge the somatosensory input for the elderly may be more effective.

A limitation of this study is that only three out of the eight balance activities in standing for the Wii Fit were evaluated. It may be necessary to evaluate the concurrent validity of the other five activities in future studies. Another limitation in our study was that the youngest age of our participants was 18 years. Results from previous studies suggest that children may also be different from adults in their preference for sensory input for control of postural sway³⁰). It may be necessary to investigate three groups (children, adult and elderly) in future studies to determine the discriminant validity of Wii Fit and CTSIB as balance function matures and deteriorates with aging.

In conclusion, for adults, our results demonstrated that there was concurrent validity for the assessment of COP using Wii Fit ski slalom for CTSIB condition 6, and Wii Fit balance bubble for CTSIB condition 4. For the elderly, however, Wii Fit has no concurrent validity for the assessment of COP. Our results also demonstrated that the three Wii Fit balance activities selected in this study could be used to discriminate between adults and the elderly in their balance ability. Therefore, within the limitations of this study, we believe that Wii Fit is a viable and affordable alternative to CTSIB performed on a conventional force platform for the assessment of postural sway.

Funding and Conflict of interest

None.

REFERENCES

- 1) Kaya BK, Krebs DE, Riley PO: Dynamic stability in elders: momentum control in locomotor ADL. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 1998, 53: M126–M134. [Medline] [CrossRef]
- 2) Tinetti ME, Kumar C: The patient who falls: “It’s always a trade-off”. *JAMA*, 2010, 303: 258–266. [Medline] [CrossRef]
- 3) Chang JT, Morton SC, Rubenstein LZ, et al.: Interventions for the prevention of falls in older adults: systematic review and meta-analysis of randomised clinical trials. *BMJ*, 2004, 328: 680 [CrossRef]. [Medline]
- 4) Aoyagi K, Ross PD, Davis JW, et al.: Falls among community-dwelling elderly in Japan. *J Bone Miner Res*, 1998, 13: 1468–1474. [Medline] [CrossRef]
- 5) Chiacchiero M, Dresely B, Silva U, et al.: The relationship between range of movement, flexibility, and balance in the elderly. *Top Geriatr Rehabil*, 2010, 26: 148–155. [CrossRef]
- 6) Sinaki M, Brey RH, Hughes CA, et al.: Balance disorder and increased risk of falls in osteoporosis and kyphosis: significance of kyphotic posture and muscle strength. *Osteoporos Int*, 2005, 16: 1004–1010. [Medline] [CrossRef]
- 7) Ferreira EA, Duarte M, Maldonado EP, et al.: Quantitative assessment of postural alignment in young adults based on photographs of anterior, posterior, and lateral views. *J Manipulative Physiol Ther*, 2011, 34: 371–380. [Medline] [CrossRef]
- 8) Błaszczyk JW: Sway ratio - a new measure for quantifying postural stability. *Acta Neurobiol Exp (Warsz)*, 2008, 68: 51–57. [Medline]
- 9) Horak FB: Clinical measurement of postural control in adults. *Phys Ther*, 1987, 67: 1881–1885. [Medline] [CrossRef]
- 10) Pereira VV, Maia RA, Silva SM: The functional assessment Berg Balance Scale is better capable of estimating fall risk in the elderly than the posturographic

- Balance Stability System. *Arq Neuropsiquiatr*, 2013, 71: 5–10. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
- 11) Duncan PW, Weiner DK, Chandler J, et al.: Functional reach: a new clinical measure of balance. *J Gerontol*, 1990, 45: M192–M197. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 12) Nashner LM: Sensory feedback in human posture control. Doctoral dissertation, Massachusetts Institute of Technology, 1970, 188–197.
 - 13) Goble DJ, Cone BL, Fling BW: Using the Wii Fit as a tool for balance assessment and neurorehabilitation: the first half decade of “Wii-search”. *J Neuroeng Rehabil*, 2014, 11: 12. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 14) Riemann BL, Guskiewicz KM, Shields EW: Relationship between clinical and forceplate measures of postural stability. *J Sport Rehabil*, 1999, 8: 71–82. [[CrossRef](#)]
 - 15) Newstead AH, Hinman MR, Tomberlin JA: Reliability of the Berg Balance Scale and balance master limits of stability tests for individuals with brain injury. *J Neurol Phys Ther*, 2005, 29: 18–23. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 16) Røgind H, Lykkegaard JJ, Bliddal H, et al.: Postural sway in normal subjects aged 20–70 years. *Clin Physiol Funct Imaging*, 2003, 23: 171–176. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 17) Agmon M, Perry CK, Phelan E, et al.: A pilot study of Wii Fit exergames to improve balance in older adults. *J Geriatr Phys Ther*, 2011, 34: 161–167. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 18) Fung V, Ho A, Shaffer J, et al.: Use of Nintendo Wii Fit™ in the rehabilitation of outpatients following total knee replacement: a preliminary randomised controlled trial. *Physiotherapy*, 2012, 98: 183–188. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 19) Esculier JF, Vaudrin J, Bériault P, et al.: Home-based balance training programme using Wii Fit with balance board for Parkinson’s disease: a pilot study. *J Rehabil Med*, 2012, 44: 144–150. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 20) Bieryla KA, Dold NM: Feasibility of Wii Fit training to improve clinical measures of balance in older adults. *Clin Interv Aging*, 2013, 8: 775–781. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 21) Shumway-Cook A, Horak FB: Assessing the influence of sensory interaction of balance. Suggestion from the field. *Phys Ther*, 1986, 66: 1548–1550. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 22) Pandian T, Ukamath S, Jetley N: Clinical test of sensory interaction in balance (CTSIB): concurrent validity study in healthy Indian children. *J Pediatr Neurol*, 2011, 9: 311–318.
 - 23) Christy JB, Payne J, Azuero A, et al.: Reliability and diagnostic accuracy of clinical tests of vestibular function for children. *Pediatr Phys Ther*, 2014, 26: 180–189. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 24) Wikstrom EA: Validity and reliability of Nintendo Wii Fit balance scores. *J Athl Train*, 2012, 47: 306–313. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 25) Liuzzo DM, Peters DM, Middleton A, et al.: Measurements of weight bearing asymmetry using the nintendo wii fit balance board are not reliable for older adults and individuals with stroke. *J Geriatr Phys Ther*, 2017, 40: 37–41. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 26) Hall CD, Clevenger CK, Wolf RA, et al.: Feasibility of a low-cost, interactive gaming system to assess balance in older women. *J Aging Phys Act*, 2016, 24: 111–118. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 27) Lindle RS, Metter EJ, Lynch NA, et al.: Age and gender comparisons of muscle strength in 654 women and men aged 20–93 yr. *J Appl Physiol* 1985, 1997, 83: 1581–1587. [[Medline](#)]
 - 28) Horlings CG, van Engelen BG, Allum JH, et al.: A weak balance: the contribution of muscle weakness to postural instability and falls. *Nat Clin Pract Neurol*, 2008, 4: 504–515. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 29) Borel L, Alescio-Lautier B: Posture and cognition in the elderly: interaction and contribution to the rehabilitation strategies. *Neurophysiol Clin*, 2014, 44: 95–107. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]
 - 30) Cumberworth VL, Patel NN, Rogers W, et al.: The maturation of balance in children. *J Laryngol Otol*, 2007, 121: 449–454. [[Medline](#)] [[CrossRef](#)]