

Juegos Serios para la Prevención de Caídas en Personas Mayores mediante el uso de Dispositivos RGBD

I. Ayed^{1,2}, G. Moyà Alcover², P. Martínez-Bueso³, J. Varona², A. Jaume-i-Capó² and A. Ghazel¹

¹ GresCom Lab. Ecole Supérieure des Communications de Tunis. Université de Carthage. Tunis.

² Unitat de Gràfics, Visió i Intel·ligència Artificial. Departament de Ciències Matemàtiques i Informàtica. Universitat de les Illes Balears. Spain.

³ Grupo de Investigación en Evidencia, Estilos de Vida y Salud. Departamento de Enfermería y Fisioterapia. Universitat de les Illes Balears. Spain.

Abstract

Las caídas son un problema grave entre las personas mayores. Diversos estudios han demostrado que el riesgo de caída puede ser minimizado con ejercicio y actividad física. Para ello, este trabajo propone dos prototipos de juegos que incluyen tareas para el equilibrio y el control postural para personas mayores. Estos juegos pueden ser integrados en los programas terapéuticos de hospitales y centros de rehabilitación. A continuación, se proporciona una descripción detallada del proceso de diseño y los detalles de implementación de los juegos propuestos, de los cuales un fisioterapeuta ha proporcionado una validación preliminar. Como trabajo futuro, se plantea un ensayo clínico para determinar su efectividad.

Keywords: Caídas; Equilibrio; Control postural; Ancianos; Rehabilitación; Kinect.

1. Introducción

El envejecimiento es un proceso natural que generalmente conlleva la degradación en las capacidades motrices y funcionales de las personas. Así, las personas mayores son más propensas a perder el equilibrio y sufrir caídas. Algunos estudios han demostrado que un tercio o más de las personas mayores caen al menos una vez al año [CRAM81, BAMT97, CBS*90]. Las caídas son consideradas como uno de los principales problemas en la sociedad debido a su alto coste sanitario y social, además de sus efectos negativos sobre la calidad de vida [HRR*11, BMTB12].

Para minimizar su ocurrencia, se han investigado los factores de riesgo y se ha recomendado intentar mejorar o mantener las capacidades funcionales de las personas mayores [CRAM81, LKLK95]. De hecho, las Directrices de Heidelberg de la OMS (Organización Mundial de la Salud) para promover la actividad física entre las personas mayores recomiendan que prácticamente todas las personas de edad avanzada deben realizar actividad física de forma regular. Existen beneficios fisiológicos, psicológicos y sociales bien establecidos asociados con la realización de actividad física. En lo que respecta a la prevención de caídas, se ha demostrado que la actividad física regular es un tratamiento útil para prevenir y/o reducir el riesgo [Org96].

Una actividad física moderada tiene un efecto correctivo para la recuperación del equilibrio y la prevención de caídas [RHJ*01, MM98]. De hecho, las caídas ocurren a menudo cuando las personas mayores no logran controlar la estabilidad lateral [MM98,

RHM91]. También se ha demostrado que los movimientos laterales del tronco en una posición sentada indican problemas de movilidad en personas mayores [IHK*13].

Por otra parte, las evidencias sugieren que los músculos del tronco cumplen un rol fundamental en el control dinámico de la postura [dSFV*07]. Se ha demostrado que hay un enlace entre la función de los músculos del tronco y la función física en las personas mayores [HSH*05]. Es evidente que estos músculos son componentes clave que contribuyen a la estabilidad funcional [dSFV*07].

Los movimientos de alcance ayudan a mejorar el equilibrio y el control postural [JICMBMAV14b]. También requieren del control del centro de masa (COM) en la interacción y el cambio de la base de apoyo (BOS). Este tipo de movimientos se pueden incorporar como ejercicios en los programas de rehabilitación para la recuperación de la capacidad de caminar, como un elemento importante para la mejora de la calidad de vida y para lograr la independencia funcional en la vida diaria [ISGB13].

Sin embargo, el proceso de rehabilitación es a menudo largo y aburrido, y puede provocar que los participantes abandonen la terapia. Con la introducción de técnicas de visión artificial y sistemas de realidad virtual en la rehabilitación, los videojuegos han ganado mucho interés. Los videojuegos son una parte importante de nuestras vidas, y pueden tener múltiples objetivos. El propósito principal de un juego serio es diferente de la finalidad de puro entretenimiento, y las actividades cognitivas y motoras requeridas por los

juegos serios atraen la atención de los usuarios [Nor98], les ayuda a distraer la atención de la tarea específica [FTC*08, KSYZ95]. Los estudios demuestran que los juegos serios son muy prometedores en los procesos de rehabilitación [SMHR09]. En concreto, el trabajo en [MAJICV*11] demostró que los juegos serios ayudan a motivar a los pacientes en sesiones de terapia.

Sin embargo, las pruebas de usabilidad realizadas en [LFR09] muestran que algunos juegos disponibles en el mercado no son adecuados para fines terapéuticos y proporcionan feedback negativos durante las tareas del juego. Esto implica la importancia de adoptar un enfoque de diseño específicamente para la rehabilitación. Estudios recientes abordan estas cuestiones y proponen diferentes características y modelos para el diseño estructurado de juegos para la rehabilitación [GBR07, ALMK10, RMR10]. Por otra parte, se invita a los terapeutas para supervisar a los pacientes durante el juego y asegurarse de que están realizando las tareas de manera adecuada [LFR09].

Varios estudios han propuesto juegos serios para la rehabilitación del equilibrio usando el dispositivo Microsoft Kinect. Por ejemplo, Llorens et al. [LACN12] presentan un ejercicio virtual para pacientes con apoplejía crónica. El ejercicio consiste en pisar objetos virtuales con un pie antes que estos desaparezcan, manteniendo el otro pie dentro de un círculo. Este ejercicio entrena la estrategia de estar de pie con una sola pierna y mejora el control del equilibrio en la fase de oscilación durante el ciclo de la marcha. En el trabajo realizado por Lange et al. [LCS*11], se propuso un juego que entrena el alcance y el desplazamiento del peso del usuario para mejorar el equilibrio. El grupo destinatario eran personas con deficiencias neurológicas y personas mayores con riesgo de caídas. Los usuarios debían alcanzar, fuera de su base de apoyo, objetos con diferentes temas en un orden específico para pasar a la siguiente etapa. Galna et al. [GJS*14] también diseñaron un juego de rehabilitación donde el usuario es representado como un agricultor; que tiene que modificar su COM para cortar frutas. Estas tareas están dirigidas a capacitar el control postural dinámico de los jugadores. Además, Jaume-i-Capó et al. [JICBMAV14b] propusieron en su trabajo un juego serio que se centra en el cambio del COM al interactuar con objetos virtuales que aparecen en pantalla. Los temas de los objetos pueden cambiar según las preferencias de los pacientes y el terapeuta puede adaptar la dificultad del juego para desafiar el control de la postura de cada usuario.

Por estas razones, hemos seguido las directrices de diseño de juegos para rehabilitación [JICMAV14] y las indicaciones de un fisioterapeuta para desarrollar dos prototipos de juegos que permiten al usuario hacer ejercicio al interactuar con objetos virtuales que aparecen en la pantalla usando el dispositivo de captura Microsoft Kinect. Las tareas en ambos juegos tienen como objetivo mejorar el equilibrio y el control postural de personas mayores y por consiguiente minimizar su riesgo de caídas.

El resto de artículo se estructura de la siguiente forma. En la sección 2, se presentan los detalles de diseño e implementación de los juegos. La supervisión por la fisioterapeuta de los juegos

propuestos está reportada en la sección 3. La última sección está dedicada a la conclusión y al trabajo futuro.

2. Diseño e implementación de juegos

Hemos creado dos prototipos de juegos para trabajar las habilidades del equilibrio y el control postural. En el proceso de diseño del juego, hemos tenido en cuenta la importancia de la motivación en la adherencia al ejercicio [MAJICV*11]. Trabajamos para mantener el interés del usuario en el juego y lograr los objetivos de la terapia al mismo tiempo. En ambos juegos, el usuario debe interactuar con los objetos que aparecen en la pantalla y desafían su estabilidad.

2.1. Diseño de juegos

Los juegos desarrollados son los siguientes:

- *Juego de alcance*: Este juego es una versión modificada del juego presentado en [JICBMAV14b]; se anima a los usuarios a alcanzar objetivos fuera de su BOS. Básicamente, el usuario tiene que mover su COM con el fin de alcanzar diversos ítems que aparecen en la pantalla. Una vez que se toca un objeto con una mano, esa parte es borrada. El usuario debe alcanzar el elemento tantas veces como sea necesario para que se borre por completo. En la versión actual, hemos mejorado la configuración del juego, por lo que el terapeuta puede cambiar los patrones de los ítems fácilmente mediante la inserción de su ubicación en la interfaz de configuración (Ver Figura. 1 y Figura. 2). Además, por razones de motivación, los elementos giran alrededor de sí mismos y una vez que son tocados, desaparecen y vuelven a aparecer después de un determinado tiempo establecido por el fisioterapeuta (en segundos) según las capacidades del usuario. Además, hemos añadido dos elementos simétricos al nivel de las caderas. Pueden ser eliminados si son alcanzados mediante la cadera al hacer el desplazamiento de peso hacia la izquierda o la derecha (Figura. 3).
- *Remate*: En este juego, balones de fútbol caen al azar dentro del mismo plano del usuario. Para golpearlos, el usuario debe moverse lateralmente y tocarlos con la cabeza cuando están a su nivel. El uso de cualquier otra parte del cuerpo, excepto la cabeza, pasa inadvertido durante el juego. El juego puede ser jugado también en una posición sentada. El usuario tiene que realizar movimientos laterales del tronco para poder tocar los elementos con la cabeza (Figura. 4).

En el desarrollo de los anteriores juegos serios, hemos seguido los requisitos indicados por la fisioterapeuta y hemos aplicado las siguientes características para el desarrollo de los juegos serios para la rehabilitación [JICMAV14]:

1. *Elementos de motivación*: Los temas de las imágenes influyen en la motivación de los usuarios. De hecho, el tiempo empleado para realizar una actividad de rehabilitación es menor cuando los patrones utilizados están relacionados con el interés del paciente [JICBMAV14b]. Tres temas diferentes se establecen de forma predeterminada en el *Juego de alcance*. El usuario puede elegir jugar con elementos que representan instrumentos



Figure 1: Juego del alcance: Interfaz principal.



Figure 4: Captura del juego Remate.

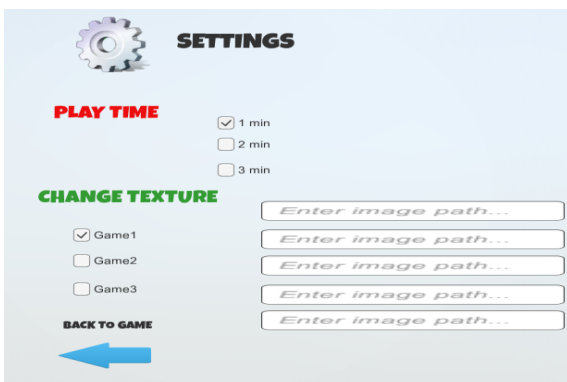


Figure 2: Juego de alcance: Ajustes.



Figure 3: Captura del juego de alcance.

musicales, pan, o pelotas (ver Figura. 5). Se pueden introducir nuevos temas de manera sencilla. El fisioterapeuta sólo tiene que descargar las imágenes preferidas del paciente e indicar su ubicación en la interfaz de configuración. Por otra parte, las imágenes de fondo en ambos juegos se seleccionan para hacer sentir al usuario que está inmerso en un entorno virtual.

2. *Retroalimentación*: Proporcionar retroalimentación en un juego serio es un factor clave en la adherencia al ejercicio, ya que la

mayoría de los programas de rehabilitación son largos y repetitivos. Al recibir comentarios auditivos y visuales, el usuario se anima a jugar y a continuar el ejercicio. En el *Juego de alcance*, se han utilizado efectos de explosión de estrellas y burbujas cuando un elemento desaparece. En el segundo juego, hemos utilizado sonidos de golpe de pelotas de fútbol y aplausos.

La puntuación es un parámetro opcional para mostrar o no en la pantalla.

En ambos juegos, el usuario siempre se puede ver a sí mismo en la pantalla lo que facilita la interacción con los objetos virtuales [JICMBMAV14a].

3. *Adaptabilidad*: El envejecimiento, entre otros factores, pueden alterar significativamente el movimiento y el funcionamiento de las capacidades de las personas. Por ejemplo, en [HB86] las mujeres mayores mostraron valores significativamente más pequeños de la longitud del paso, longitud de la zancada, el rango de movimiento del tobillo, la oblicuidad pélvica, y la velocidad en comparación con las mujeres más jóvenes. De este modo, el fisioterapeuta debe tener en cuenta las características de cada usuario y adaptar la rehabilitación según sus necesidades. La configuración de los juegos permite al fisioterapeuta a cambiar los siguientes parámetros:

- El tiempo máximo de juego: Se puede ajustar en cada sesión en función de los requisitos de la terapia sugerida, el nivel de fatiga, o la velocidad de los usuarios.
- Tasa de la caída de objetos: En *Remate*, el tiempo entre dos objetos consecutivos que caen puede ser modificado. Puede ser constante o aleatorio en un rango preestablecido. Ver muchos objetos que caen al mismo tiempo en la pantalla puede confundir a los pacientes y lo hacen más vulnerables a las caídas.
- Rango de la caída de objetos: La posición desde donde caen las pelotas se asigna al azar dentro de un rango que se puede ajustar fácilmente. En consecuencia, el fisioterapeuta puede minimizar este rango si el usuario no puede moverse demasiado o prefiere jugar mientras se está sentado en una silla.
- Velocidad de la caída de objetos: El fisioterapeuta puede cambiar la velocidad que tiene una pelota al caer para obligar al usuario a hacer pasos laterales más rápidos o más lentos.

4. Supervisión: En los programas de rehabilitación, es muy importante observar el progreso de los pacientes a lo largo del tiempo. El terapeuta puede acceder a un archivo XML, donde se guardan varios datos, incluyendo el perfil del usuario, sus preferencias, fecha de la sesión, la duración del juego, y la puntuación. El archivo se puede analizar fácilmente. El sistema dispone de dos interfaces, una para el paciente y una para el terapeuta que tienen diferentes objetivos y necesidades.

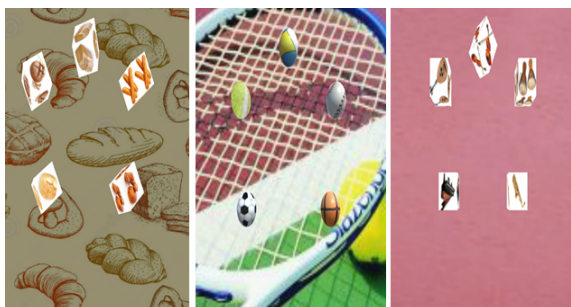


Figure 5: Temas por defecto en Juego de alcance

2.2. Detalles de la implementación

Además de su bajo coste, Microsoft Kinect ofrece una interacción intuitiva para los usuarios sin la necesidad de tener que sostener ningún dispositivo. Su uso es beneficioso en los programas de rehabilitación usando juegos de ordenador, ya que para algunos pacientes es imposible sostener un objeto con sus manos. Por las razones anteriormente descritas, utilizamos el dispositivo de captura Kinect conjuntamente con Unity, una plataforma de desarrollo flexible y potente para la creación de juegos en dos y tres dimensiones.

1. Seguimiento del usuario: El SDK de Kinect procesa los datos proporcionados por el sensor Kinect (imagen de color y imagen de profundidad) para aportar, entre otros datos, información de seguimiento del esqueleto. El sensor Kinect puede realizar un seguimiento de hasta 6 usuarios, incluyendo dos esqueletos completos con 20 articulaciones cada uno. También puede realizar un seguimiento de los esqueletos sentados con sólo las 10 articulaciones superiores. En nuestros juegos nos hemos centrado en el seguimiento de las manos y la cabeza. Para lograr un buen seguimiento de esqueleto, el usuario primero debe ser detectado y debe permanecer dentro del rango de profundidad válido para Kinect. De acuerdo con estas restricciones, el usuario tiene que estar frente al sensor.
2. Mecanismo de interacción: La interacción con los objetos en los juegos se logra mediante la implementación de eventos de colisión. Se asignó un *collider* y un *RigidBody* para cada articulación que necesitamos para utilizarla en la interacción. En Unity, los *rigidbodies* permiten a los *GameObjects* la realización de colisiones realistas entre objetos. En respuesta a las colisiones y las fuerzas aplicadas, los objetos desaparecen o toman otra dirección. Así que cuando el usuario toca un objeto con la cabeza o la mano, la articulación choca con el elemento tocado y el elemento reacciona sobre el evento de colisión. En nuestro caso, el objeto desaparece en el juego *de alcance* y la pelota rebota en el juego *Remate*.

3. Pruebas: Todas las pruebas se realizaron utilizando un PC con las siguientes características:

- Intel Core i3 Dual-core (2 Core) CPU P8400
- 4 GB de RAM
- Tarjeta gráfica Mesa DRI Mobile Intel GM45 expreso
- Windows 7
- Microsoft Kinect

El sistema tiene un rendimiento de 30 fps. Este resultado garantiza una respuesta en tiempo real [VJICGP09]. Los juegos serios se han desarrollado usando C++ y Unity. El proceso de captura, procesamiento de imágenes y visualización de imágenes se realizan por medio del SDK de Microsoft Kinect.

3. Supervisión del fisioterapeuta

El diseño y la implementación del juego serio fueron supervisados por un fisioterapeuta con el fin de alcanzar los objetivos terapéuticos. El usuario puede realizar los siguientes ejercicios mientras está jugando:

- Pequeños y grandes pasos laterales.
- Desplazamiento del COM a ambos lados.
- Flexión, extensión, flexión lateral, y rotación del cuello.
- Flexión, extensión y abducción de los brazos y hombros.
- Flexión, extensión, flexión lateral y rotación del tronco.
- Flexión y extensión de las extremidades inferiores y la rodilla.

Los ejercicios que ofrecen nuestros juegos serios se pueden encontrar en diferentes programas de terapia convencional. Cada ejercicio en nuestros juegos tiene un objetivo determinado. De hecho, los movimientos laterales del tronco ayudan a mejorar la fuerza de los músculos del tronco, mientras que el desplazamiento lateral tiene como objetivo mejorar la fuerza de los cuádriceps, rotadores externos de cadera, aductores de la cadera y abductores, que son muy importantes en el equilibrio de la pelvis y la estabilidad del sujeto. También son útiles para mejorar la oscilación de postura unilateral y bilateral.

El sistema permite especificar el nivel de dificultad de los ejercicios al terapeuta, la frecuencia, el número de repeticiones y la distancia desde el sensor.

4. Conclusiones y trabajo futuro

En este trabajo, describimos los prototipos de juegos que hemos desarrollado para el equilibrio y el control postural en la rehabilitación. Los juegos se centran principalmente en ejercicios de alcance fuera del BOS, desplazamiento lateral y ejercicios de desplazamiento del COM. Estas tareas ayudan a las personas mayores a mantener su actividad física y reducir el riesgo de caídas [HRR*11].

Durante el proceso de diseño hemos seguido las indicaciones proporcionadas por un fisioterapeuta y las directrices para la creación de un juego serio para la rehabilitación. Los juegos ofrecen los principales factores clave para la realización de ejercicios en entornos clínicos y hogares: motivación, retroalimentación y supervisión de juego. Los temas y patrones de juego fueron elegidos con el objetivo de atraer la atención del

usuario y distraerlo de las tareas específicas de los programas de rehabilitación. Los parámetros se han diseñado para permitir que el fisioterapeuta pueda adaptar los ejercicios para cada usuario según sus necesidades y preferencias. Utilizamos el sensor Microsoft Kinect por lo que el jugador puede disfrutar de un seguimiento no invasivo y un control sencillo del juego.

Como trabajo futuro, tenemos la intención de realizar un ensayo clínico con el fin de validar la utilidad de los juegos y estudiar sus efectos terapéuticos sobre personas mayores.

Acknowledgments

This work was partially funded by European commission under Alyssa Program (ERASMUS-MUNDUS action 2 lot 6), by the Projects TIN2012-35427 and TIN2015-67149-C3-2-R of the Spanish Government, with FEDER support. The authors also thank the Mathematics and Computer Science Department at the University of the Balearic Islands for its support.

References

- [ALMK10] ALANKUS G., LAZAR A., MAY M., KELLEHER C.: Towards customizable games for stroke rehabilitation. In *Proceedings of the 28th International Conference on Human Factors in Computing Systems* (2010), pp. 2113–2122. [2](#)
- [BAMT97] BERG W. P., ALESSIO H. M., MILLS E. M., TONG C.: Circumstances and consequences of falls in independent community-dwelling older adults. *Age and Ageing* 26 (1997), 261–268. [1](#)
- [BMTB12] BUDHIA S., MIKYAS Y., TANG M., BADAMGARAV E.: Osteoporotic fractures: A systematic review of U.S. healthcare costs and resource utilization. *Pharmacoeconomics* 30 (2012), 147–170. [1](#)
- [CBS*90] CAMPBELL A. J., BORRIE M. J., SPEARS G. F., JACKSON S. L., BROWN J. S., FITZGERALD J. L.: Circumstances and consequences of falls experienced by a community population 70 years and over during a prospective study. *Age and Ageing* 19 (1990), 136–141. [1](#)
- [CRAM81] CAMPBELL A. J., REINKEN J., ALLAN B. C., MARTINEZ G. S.: Falls in old age: A study of frequency and related clinical factors. *Age and Ageing* 10 (1981), 264–270. [1](#)
- [dSFV*07] DE SÈZE M., FALGAIROLLE M., VIEL S., ASSAIAnte C., CAZALETS J. R.: Sequential activation of axial muscles during different forms of rhythmic behavior in man. *Experimental Brain Research* 185 (2007), 237–247. [1](#)
- [FTC*08] FLORES E., TOBON G., CAVALLARO E., CAVALLARO F. I., PERRY J. C., KELLER T.: Improving patient motivation in game development for motor deficit rehabilitation. In *Proceedings of the 2008 International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology* (2008), pp. 381–384. [2](#)
- [GBR07] GOUDE D., BJÖRK S., RYDMAR M.: Game design in virtual reality systems for stroke rehabilitation. *Stud. Health Technol. Inform.* 125 (2007), 146–148. [2](#)
- [GJS*14] GALNA B., JACKSON D., SCHOFIELD G., MCNANEY R., WEBSTER M., BARRY G., MHIRIPIRI D., BALAAM M., OLIVIER P., ROCHESTER L.: Retraining function in people with parkinson's disease using the microsoft kinect: game design and pilot testing. *Journal of NeuroEngineering and Rehabilitation* 11 (2014), 1–12. [2](#)
- [HB86] HAGEMAN P. A., BLANKE D. J.: Comparison of gait of young women and elderly women. *PHYS THER.* 66 (1986), 1382–1387. [3](#)
- [HRR*11] HEINRICH S., RAPP K., RISSMANN U., BECKER C., KÖNIG H. H.: Service use and costs of incident femoral fractures in nursing home residents in Germany: The bavarian fall and fracture prevention project (bf2p2). *J Am Med Dir Assoc.* 12 (2011), 459–466. [1, 4](#)
- [HSH*05] HICKS G. E., SIMONSICK E. M., HARRIS T. B., NEWMAN A. B., WEINER D. K., NEVITT M. A., TYLAVSKY F. A.: Trunk muscle composition as a predictor of reduced functional capacity in the health, aging and body composition study: the moderating role of back pain. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 60 (2005), 1420–1424. [1](#)
- [IHK*13] IWATA A., HIGUCHI Y., KIMURA D., OKAMOTO K., ARAI S., IWATA H., FUCHIOKA S.: Quick lateral movements of the trunk in a seated position reflect mobility and activities of daily living (ADL) function in frail elderly individuals. *ARCHIVES OF GERONTOLOGY AND CERITATRICS* 56 (2013), 482–486. [1](#)
- [ISGB13] INSEOP K., SEUNGJAE J., GEONCHEOL L., BYUNGWOOK A.: Effects on balance and gait for chronic stroke patients with side walking training. *Journal of The Korean Society of Integrative Medicine* 1 (2013), 1–9.
- [JICMAV14] JAUME-I-CAPÓ A., MOYÀ-ALCOVER B., VARONA J.: *Technologies of Inclusive Well-Being: Serious Games, Alternative Realities, and Play Therapy*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg, 2014, ch. Design Issues for Vision-Based Motor-Rehabilitation Serious Games, pp. 13–24. [2](#)
- [JICMBMAV14a] JAUME-I-CAPÓ A., MARTÍNEZ-BUESO P., MOYÀ-ALCOVER B., VARONA J.: Improving vision-based motor rehabilitation interactive systems for users with disabilities using mirror feedback. *The Scientific World Journal* 2014 (2014). [3](#)
- [JICMBMAV14b] JAUME-I-CAPÓ A., MARTÍNEZ-BUESO P., MOYÀ-ALCOVER B., VARONA J.: Interactive rehabilitation system for improvement of balance therapies in people with cerebral palsy. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* 22 (2014), 419–427. [1, 2](#)
- [KSYZ95] KRICHEVETS A. N., SIROTKINA E., YEVSEVICHEVA I. V., ZELDIN L. M.: Computer games as a means of movement rehabilitation. *Disability and rehabilitation* 17 (1995), 100–105.
- [LACN12] LLORÉNS R., ALCAÑIZ M., COLOMER C., NAVARRO M. D.: Balance recovery through virtual stepping exercises using kinect skeleton tracking: a follow-up study with chronic stroke patients. *Stud Health Technol Inform.* 181 (2012), 108–112. [2](#)
- [LCS*11] LANGE B., CHANG C. Y., SUMA E., NEWMAN B., RIZZO A., BOLAS M.: Development and evaluation of low cost game-based balance rehabilitation tool using the microsoft kinect sensor. In *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, IEEE* (2011), pp. 1831–1834. [2](#)
- [LFR09] LANGE B., FLYNN S., RIZZO A.: Initial usability assessment of off-the-shelf video game consoles for clinical game-based motor rehabilitation. *Phys Ther Rev.* 14 (2009), 355–363. [2](#)
- [LKLK95] LUUKINEN H., KOSKI K., LAIPPALA P., KIVELA S. L.: Risk factors for recurrent falls in the elderly in long-term institutional care. *PUBLIC HEALTH* 109 (1995), 57–65. [1](#)
- [MAJICV*11] MOYÀ-ALCOVER B., JAUME-I-CAPÓ A., VARONA J., MARTÍNEZ-BUESO P., CHIONG A. M.: Use of serious games for motivational balance rehabilitation of cerebral palsy patients. In *The proceedings of the 13th international ACM SIGACCESS conference on Computers and accessibility* (2011), pp. 297–298. [2](#)
- [MJMR05] MILLE M. L., JOHNSON M. E., MARTINEZ K. M., ROGERS M. W.: Age-dependent differences in lateral balance recovery through protective stepping. *Clinical Biomechanics* 20 (2005), 607–616.
- [MM98] MAKI B., MCILROY W.: Control of compensatory stepping reactions: age-related impairment and the potential for remedial intervention. *Physiotherapy Theory and Practice* 15 (1998), 69–90. [1](#)
- [Nor98] NORMAN D. A.: *The Invisible Computer*. Cambridge, MA: MIT Press, 1998. [2](#)

- [Org96] ORGANIZATION W. H.: The heidelberg guidelines for promoting physical activity among older persons. [1](#)
- [RHJ*01] ROGERS M. W., HEDMAN L. D., JOHNSON M. E., CAIN T. D., HANKE T. A.: Lateral stability during forward-induced stepping for dynamic balance recovery in young and older adults. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 56 (2001), 589–594. [1](#)
- [RHM91] ROBINOVITCH S. N., HAYES W. C., MCMAHON T. A.: Prediction of femoral impact forces in falls on the hip. *J. Biomech. Eng* 113 (1991), 366–374. [1](#)
- [RMR10] REGO P., MOREIRA P., REIS L.: Serious games for rehabilitation: a survey and a classificatin towards a taxonomy. In *5th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)* (2010), pp. 1–6. [2](#)
- [SMHR09] SANDLUND M., MCDONOUGH S., HÄGER-ROSS C.: Interactive computer play in rehabilitation of children with sensorimotor disorders: a systematic review. *Developmental Medicine and Child Neurology* 51 (2009), 173–179. [2](#)
- [VJICGP09] VARONA J., JAUME-I-CAPÓ A., GONZÁLEZ J., PERALES F. J.: Toward natural interaction through visual recognition of body gestures in real-time. *Interacting with Computers* 21 (2009), 3–10. [4](#)