

## Validación de dispositivos RGBD para medir terapéuticamente el equilibrio: el test de alcance funcional con Microsoft Kinect.

Ines Ayed<sup>a</sup>, Biel Moyà-Alcover<sup>b</sup>, Pau Martínez-Bueso<sup>c</sup>, Javier Varona<sup>b</sup>, Adel Ghazel<sup>a</sup>, Antoni Jaume-i-Capó<sup>b,\*</sup>

<sup>a</sup> *GresCom Lab. Ecole Supérieure des Communications de Tunis. Université de Carthage. Tunis.*

<sup>b</sup> *Unitat de Gràfics, Visió i Intel·ligència Artificial. Departament de Ciències Matemàtiques i Informàtica. Universitat de les Illes Balears. Spain.*

<sup>c</sup> *Grupo de Investigación en Evidencia, Estilos de Vida y Salud. Departamento de Enfermería y Fisioterapia. Universitat de les Illes Balears. Spain.*

### Resumen

Los dispositivos de captura RGBD han demostrado ser un enfoque tecnológico realista para la prevención terapéutica de caídas. Estos dispositivos RGBD facilitan la captura del movimiento humano y son conocidos gracias a su bajo coste. Por esta razón, su uso se ha generalizado y han sido validados en diferentes aplicaciones interactivas para la rehabilitación motora del equilibrio. En este tipo de rehabilitación es muy importante tener información sobre la evolución terapéutica del paciente. Además, en los casos en que el paciente realiza el tratamiento de rehabilitación en el domicilio y cada cierto tiempo recibe una visita del fisioterapeuta, si éste pudiese utilizar el dispositivo RGBD para valorar el equilibrio con un test estándar le simplificaría mucho el trabajo al no tener que desplazar ningún instrumento de medida. En este trabajo se demuestra que el dispositivo Microsoft Kinect es fiable y adecuado para calcular el test estándar de alcance funcional (FRT), uno de los más utilizados para medir terapéuticamente el equilibrio. Para ello, se ha realizado un experimento donde se ha comparado el cálculo del FRT de forma manual y utilizando un dispositivo RGBD sobre 14 usuarios sanos. Los resultados muestran una diferencia absoluta media de 2.84cm ( $\pm 2.62$ ) y la aplicación de un test t-student pareado sobre los datos indica que no hay diferencias estadísticamente significativas.

### Palabras Clave:

Visión Artificial; Microsoft Kinect; RGBD; Evaluación Terapéutica; Equilibrio; Rehabilitación Motora.

### 1. Introducción

Una de las prioridades del programa europeo Horizon 2020, el programa europeo que financia proyectos de investigación e innovación, está dedicada a los retos de la sociedad. Uno de sus retos principales es la salud a lo largo de la vida y el bienestar de todos, entre los que se encuentra el envejecimiento activo y saludable a través de las tecnologías de la información y comunicación (TIC) para la detección de riesgos e intervención temprana (Edirippulige et al., 2006) y (Pineau et al., 2006).

La población europea está envejecida. En España según el Banco Mundial el 18% de la población tiene más de 65 años, y está en mayor riesgo de deterioro cognitivo, fragilidad y exclusión social, con importantes consecuencias negativas para su calidad de vida y la de aquellos que se ocupan de ellos. Esto, además, supone un riesgo para la sostenibilidad de los sistemas de salud y una asistencia de calidad. La detección temprana de los riesgos asociados al envejecimiento utilizando enfoques de TIC, puede permitir una intervención más temprana para aliviar sus consecuencias negativas (Botsis et al., 2008) y (McCue et al., 2010).

Concretamente, entre las personas mayores, las caídas pueden llevar a un importante problema social, además de influir en gran manera en la esperanza de vida y conllevar problemas clínicos posteriores con un gasto socio-sanitario elevado. La pérdida de autonomía es la consecuencia más destacada. Diferentes estudios han demostrado la importancia de la prevención de caídas, y su efectividad cuando se utilizan programas específicos de fisioterapia para mejorar el equilibrio (Elavsky et al., 2005), (Metz et al., 2000) y (Rubenstein et al., 2006).

Los dispositivos de captura RGBD que se pueden conectar o vienen incorporados a las videoconsolas, ordenadores, y televisores inteligentes (SmartTV), han demostrado ser un enfoque TIC realista para la prevención terapéutica de caídas. Estos dispositivos RGBD facilitan la captura del movimiento humano y son populares a causa de su bajo coste. Por eso han empezado a usarse y han sido validados en diferentes estudios sobre rehabilitación motora: en el control postural (Clark et al., 2012), análisis clínicos funcionales y de rehabilitación (Bonnehche et al., 2014), reaprendizaje de la marcha (Clark et al., 2013), actividades de la vida diaria (Cogollor et al., 2012), para guía y corrección terapéutica de movimientos normales (Gama et al., 2012), para entrenar el equilibrio estático (Lange et al., 2012), y juegos para mejorar el equilibrio y el control postural (Jaume-i-Capó et al., 2014). Estos sistemas de tratamiento de

\* Autor en correspondencia.

Correos electrónicos: antoni.jaume@uib.es (Antoni Jaume-i-Capó)

URL: [www.uib.es](http://www.uib.es)

rehabilitación motora se podrían utilizar en el domicilio de los pacientes para que éstos no se tuvieran que desplazar al centro hospitalario o centro de rehabilitación, y así, los pacientes podrían dedicar más tiempo a su rehabilitación. De hecho, es habitual que un paciente haga ejercicios de rehabilitación de forma autónoma en su domicilio, y cada cierto tiempo un fisioterapeuta lo visite para comprobar que realiza el tratamiento de forma correcta y que es efectiva (Lourido et al., 2008), (Mehta et al., 2011) y (Keays et al., 2006).

Para que un tratamiento sea efectivo es necesario medir su efectividad clínica utilizando tests confiables y válidos. Existe un amplio conjunto de herramientas y tests que permiten a los fisioterapeutas medir la evolución de los pacientes, pero existen escasos mecanismos para evaluar la efectividad de un tratamiento de rehabilitación en domicilio sin los equipos y herramientas que se pueden encontrar en los hospitales o centros de rehabilitación (Durfée et al., 2007), (Hailey et al., 2010) y (Hailey et al., 2011). Por este motivo, aunque el paciente realice el tratamiento para la prevención de caídas en su domicilio, al final tiene que visitar a un fisioterapeuta en el hospital o centro de rehabilitación, para que éste pueda medir la evolución clínica y poder adaptar el tratamiento. Las líneas de investigación actuales, van en la dirección de estudiar la validez de los distintos sensores de captura del movimiento que existen en el mercado para realizar mediciones fisioterapéuticas (Galen et al., 2015) y BioTrack Home (<http://www.biotraksuite.com/>).

El test de alcance funcional (FRT) (Duncan et al., 1990), es uno de los más utilizados para medir terapéuticamente el equilibrio porque mide los límites de estabilidad en bipedestación. Además, señala limitaciones en las actividades de la vida diaria (AVD) e indica el riesgo de caídas. En este trabajo se quiso validar el cálculo del FRT utilizando un dispositivo RGBD, ya que si el usuario utiliza aplicaciones interactivas para la rehabilitación motora del equilibrio usando dispositivos RGBD, el fisioterapeuta podría aprovechar este dispositivo para medir el FRT en casa del paciente cuando quisiera hacer un seguimiento de su evolución o como test de exploración clínica inicial antes de comenzar un tratamiento. De esta manera, dicho profesional, podría realizarle el test al paciente sin tomar medidas de forma manual, y sin transportar consigo ningún material adicional. Para realizar este experimento, se comparó el cálculo del FRT de forma manual con el cálculo del FRT a través de un sistema experimental (SE) que hace uso de un dispositivo RGBD, concretamente la Microsoft Kinect.

El resto de artículo, se estructura de la siguiente forma. En la sección 2, se presenta el SE que permite valorar el FRT de forma automática, utilizando dispositivos RGBD. En la siguiente sección, se presenta el experimento que se utilizó para validar preliminarmente el SE. En la sección 4, se presentan y analizan los resultados. Para terminar, en la última sección se exponen las conclusiones y el trabajo futuro.

## 2. Sistema Experimental

El sistema experimental (SE) se diseñó para validar si los dispositivos RGBD podían valorar de forma correcta el FRT. Para ello, se implementó un SE, que permite a un fisioterapeuta en tres pasos medir el FRT del usuario.

### 2.1. El test de alcance funcional (FRT)

En este test (Duncan et al., 1990), el paciente está en posición cómoda de pie, y mirando al frente, de perfil a una pared, pero sin tocarla. El fisioterapeuta marca la altura de los hombros del paciente en una pared, y a continuación, le pide al paciente que levante el brazo que está más cerca de la pared 90° respecto el tronco (flexión de hombro), con el codo estirado (extensión completa: 0°), con la muñeca en posición neutra y los dedos en extensión completa: aquí se marca en la pared la posición del dedo más largo, que habitualmente será el tercero (ésta será la posición inicial, B). Desde esta posición, se le pide al paciente que flexione el tronco todo lo que pueda, llegando lo más adelante o lejos que pueda sin perder el equilibrio; y que estire los dedos todo lo que pueda: aquí se marca de nuevo en la pared la posición del tercer dedo (ésta será la posición final, C). (ver Figura 1).

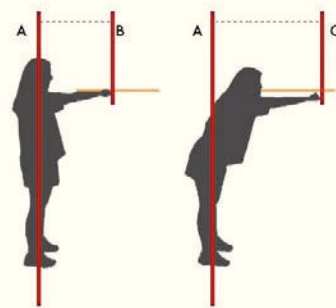


Figura 1: Procedimiento para medir el alcance funcional (FRT).

La puntuación final del FRT es la distancia entre las posiciones inicial y final. Resultados de menos de 25 cm indican una limitación en las actividades de la vida diaria (AVD) y un riesgo de caídas (Riolo, 2004) y (Lovallo et al., 2010).

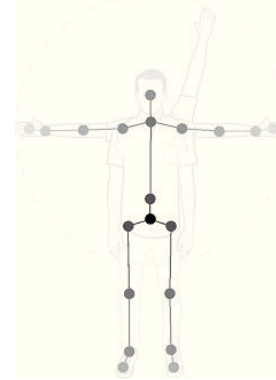


Figura 2: Modelo de esqueleto que devuelve el SDK 1.8 de Microsoft Kinect.

### 2.2. Sistema propuesto

El SE permite al fisioterapeuta calcular el FRT en tres pasos. Como método de entrada del SE se utiliza un dispositivo RGBD, concretamente la Microsoft Kinect. Este dispositivo está formado por una cámara RGB, un sensor infrarrojo de profundidad, un micrófono y un procesador personalizado. Permite la captura de movimiento de todo el cuerpo humano en 3D, reconocimiento

facial y tiene capacidades de reconocimiento de voz. Se eligió este dispositivo de captura porque facilita la captura del movimiento humano y su coste es bajo.

El dispositivo RGBD dispone de un SDK que permite acceder a las imágenes RAW de sus sensores (imágenes de profundidad e imágenes de color). También recuperar un modelo de esqueleto del usuario que está en frente del dispositivo para la implementación de aplicaciones con gestos, como es nuestro caso. El modelo de esqueleto que permite recuperar el SDK consta de 20 articulaciones, con 3 grados de libertad cada una. En la Figura 2 se muestra el modelo de esqueleto que devuelve el SDK 1.8 de Microsoft Kinect.

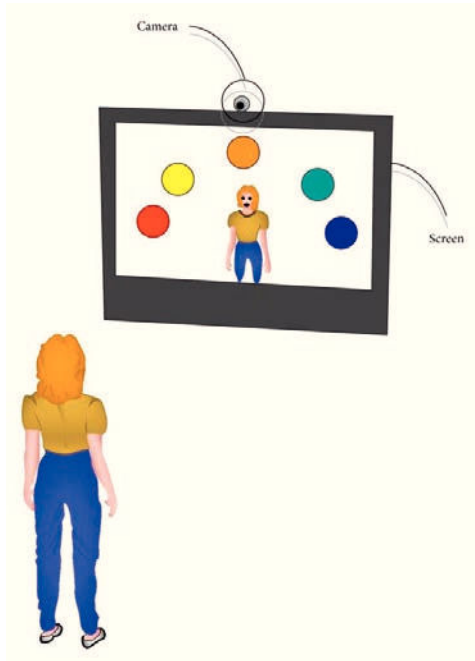


Figura 3: Arquitectura del entorno del sistema

Para que el fisioterapeuta pueda calcular el FRT a través del SE propuesto, el usuario se debe situar de pie en frente del dispositivo RGBD y una pantalla, como se puede observar en la Figura 3. Esta es la típica arquitectura de un videojuego en que se capturan los movimientos del usuario. El paciente estará familiarizado con el uso de aplicaciones interactivas para la rehabilitación motora del equilibrio con dispositivos RGBD, por lo tanto dispondrá y conocerá esta arquitectura.



Figura 4: Secuencia de funcionamiento del sistema experimental (SE).

Antes de que el usuario realice el FRT, se le muestra un video sobre cómo funciona el SE, para que sepa lo que tiene que hacer. La figura 4 muestra la secuencia de funcionamiento del SE.

En primer lugar, el fisioterapeuta indica al usuario que debe colocarse en la postura inicial del FRT (posición AB Figura 1). Cuando el fisioterapeuta considera que el usuario realiza de forma correcta la posición inicial se lo indica al sistema a través del ratón y el sistema almacena la posición de la mano del usuario.

A continuación el fisioterapeuta indica al usuario que debe llegar hasta la postura final del FRT (posición AC Figura 1). Cuando el profesional clínico considera que el usuario no puede avanzar más sin perder el equilibrio, se lo indica al sistema a través del ratón y este almacena la posición de la mano del usuario. Para finalizar, el sistema calcula el FRT entre la posición inicial y la posición final.

Con el objetivo de motivar al usuario, éste puede verse a sí mismo en la pantalla (ver Figura 5). Mensajes de texto son mostrados para informar al usuario de su ejecución. El fondo de la imagen se elimina, para minimizar distracciones al usuario y que sólo pueda verse a él mismo.

El SE fue desarrollado con C++ y Unity. El proceso de captura, el procesamiento de imágenes y la visualización se realizó con Microsoft Kinect Software Development Kit.



Figura 5: Captura de pantalla del sistema experimental

### 3. Experimento

El experimento que se realizó en este trabajo tuvo como objetivo validar el uso de dispositivos RGBD para medir el alcance funcional, para en un futuro utilizar estos dispositivos para la tele evaluación clínica.

#### 3.1. Participantes

La experimentación se realizó en 14 adultos sanos (11 hombres), de entre 22 y 48 años (media 29,4, desviación típica 7,2). Ninguno de los sujetos presentaba problemas cognitivos y/o motores. Todos los participantes firmaron un formulario de consentimiento informado.

### 3.2. Procedimiento

Con el objetivo de validar si el SE permite valorar de forma correcta el FRT con la misma confianza que el mecanismo estándar, se realizó un test de estudio con usuarios reales en un laboratorio. Por una parte, se calculó sobre el conjunto de participantes el FRT de forma estándar. Por otra parte, se volvió a calcular el FRT con el SE en los mismos participantes.

El estudio se centró en las diferencias entre el SE y la aplicación estándar del FRT. El objetivo era comprobar si había diferencias estadísticamente significativas entre el cálculo del FRT con el SE y el sistema estándar. El procedimiento estándar del cálculo del FRT indica que cada usuario, debe realizar el procedimiento 3 veces. Por este motivo los usuarios también utilizaron el SE en 3 ocasiones. Para evitar el factor de aprendizaje previo, el orden en que se aplicaba el FRT estándar y el SE se decidía de forma aleatoria, así como cada repetición. Un ejemplo de secuencia experimental para un usuario podría ser: FRT<sup>1</sup>, SE<sup>1</sup>, SE<sup>2</sup>, FRT<sup>2</sup>, SE<sup>3</sup>, FRT<sup>3</sup>.

Como puede comprobarse, se utilizó un diseño intra-sujetos con el FRT estándar como grupo control. Para que los usuarios supieran como utilizar el SE, se les mostraba un video de cómo era el procedimiento antes de empezar el experimento. En el caso del SE, el usuario se situaba a una distancia de 2 metros, respecto el dispositivo RGBD.

### 3.3. Medidas

El SE estuvo asistido en todo momento por una fisioterapeuta y fue monitoreado por el equipo investigador. Todos los experimentos se realizaron utilizando un PC con la siguiente configuración:

- Intel Core i3 Dual-core (2 Core) CPU P8400 @2.40 GHz
- 4 GB RAM
- Graphic card Mesa DRI Mobile Intel GM45 Express

- Windows 7
- Microsoft Kinect
- Kinect SDK 1.8

El SE trabajaba a más de 30 fps. Este resultado aseguraba una respuesta en tiempo real por parte del SE (Varona et al., 2009). Las características de la Microsoft Kinect hace que se obtengan mejores resultados si el usuario se sitúa mirando el dispositivo, por este motivo el SE se diseñó de forma frontal y no lateral respecto al usuario.

Las medidas utilizadas fueron la distancia en cm entre la posición inicial y final, tanto para el SE ( $M_{SE}$ ) como el FRT estándar ( $M_{FRT}$ ). A estas medidas se les aplicó la prueba estadística t-Student independiente para muestras pareadas (paired t-test), con el objetivo de conocer si había diferencias estadísticamente significativas entre las medidas. La herramienta de análisis estadístico utilizada fue R.

Tabla 1: Resultado de las 6 mediciones en cm, realizadas a cada usuario.

Usuari	$M_{FRT}^1$	$M_{FRT}^2$	$M_{FRT}^3$	$M_{SE}^1$	$M_{SE}^2$	$M_{SE}^3$
o						
1	35.50	36.50	42.00	37.06	38.13	31.57
2	42.00	44.50	48.00	36.00	40.50	37.00
3	48.00	47.50	45.70	49.16	51.28	41.97
4	47.00	42.20	46.60	39.79	53.94	46.11
5	55.20	56.60	52.90	60.94	50.75	56.38
6	33.50	35.50	38.90	30.00	28.44	37.08
7	49.50	45.50	51.50	50.57	57.00	50.51
8	45.00	43.50	40.00	46.23	37.34	40.60
9	45.50	42.00	42.00	50.03	45.30	36.41
10	34.50	44.00	43.00	44.83	38.93	38.91
11	38.50	44.00	45.00	34.45	36.66	43.28
12	36.00	33.00	34.50	37.40	32.59	43.60
13	33.00	36.00	41.00	46.10	43.05	47.54
14	42.50	41.50	41.50	40.10	41.90	42.70
<b>Media</b>	41.84	42.31	43.76	43.05	42.56	42.40
<b>SD</b>	06.86	05.95	04.94	08.16	08.26	06.38

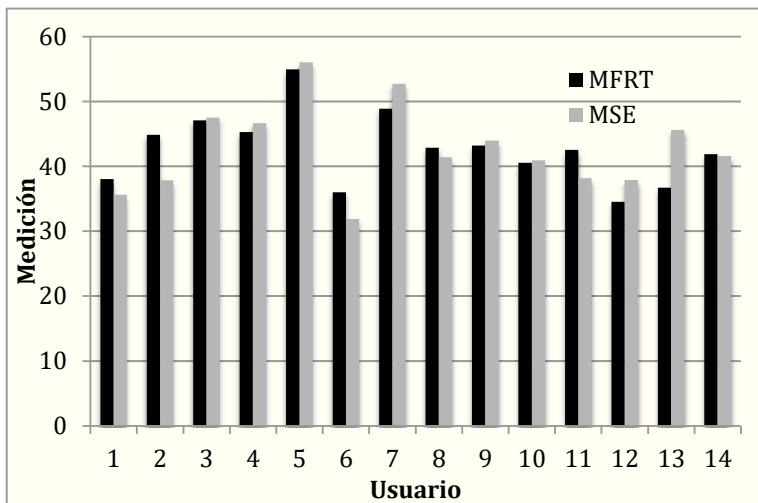


Figura 4: Gráfico comparativo para cada usuario de la media del FRT y de la media del sistema experimental (en cm).

#### 4. Resultados

La Tabla 1 muestra las mediciones realizadas en nuestro experimento.

A primera vista, para cada usuario los resultados de cada medida son muy similares. Para tener un visión más gráfica, la Figura 4 muestra para cada usuario la media de sus 3 medidas  $M_{FRT}$  y la media de sus tres medidas  $M_{ES}$ . Se calculó la diferencia entre las medias para cada usuario ( $M_{FRT} - M_{ES}$ ), y los resultados mostraron una diferencia absoluta media de 2.84cm ( $\pm 2.62$ ).

Para comprobar si había diferencia estadística significativa, sobre estas medias se aplicó el paired t-test de la diferencia, y como se muestra en la Tabla 2, no hay diferencias estadísticas significativas ya que  $p = 0.973$ , mucho mayor que 0.05 que el valor de  $p$  que habitualmente se utiliza para considerar que es estadísticamente significativo. La hipótesis alternativa era que la diferencia de medias no era igual a cero.

Tabla 2: Resultado del test estadístico (paired t-test) aplicado sobre los resultados obtenidos.

$t(13) = -0.0345$
$p\text{-value} = 0.9730$
Media de las diferencias = $-0.0364$

También se aplicó, ad-hoc, un análisis de la potencia estadística del test realizado, y el resultado indicó que con 14 sujetos la menor diferencia estadística que se podía detectar entre el FRT y el SE era de 3.9 cm.

#### 5. Conclusiones

En este trabajo se presenta un sistema experimental (SE) para valorar el test de alcance funcional con un dispositivo RGBD, concretamente la Microsoft Kinect. El sistema, con la ayuda del fisioterapeuta, indica paso a paso al usuario lo que debe hacer, e internamente mide su test de alcance funcional (FRT).

Se validó el SE que se presenta, y los resultados mostraron una diferencia absoluta media de 2.84cm ( $\pm 2.62$ ) y la aplicación de un test de significancia de un factor (medida RGBD vs medida Estándar) con muestras emparejadas donde la hipótesis es que no hay diferencia en la media, indicó que no había diferencias estadísticamente significativas.

Por otra parte, el análisis de la potencia estadística del test realizado indicó que la menor diferencia estadística que se podían detectar con 14 sujetos era de 3.9 cm, por lo tanto como trabajo futuro sería interesante realizar el experimento sobre una muestra mayor para poder detectar diferencias menores entre el FRT y el SE y así poder validar más eficientemente los dispositivos RGBD para el test de alcance funcional. Estos resultados preliminares indican que los dispositivos RGBD son aptos para medir terapéuticamente el equilibrio, concretamente el FRT con la Microsoft Kinect.

El sistema presentado podría usarse en un futuro como método de evaluación clínica de pacientes en su domicilio por parte de los profesionales de la salud desde los centros sanitarios. De esta

manera, podría aportar datos de seguimiento y evolución de los pacientes (como en los estudios de (Savard et al., 2014) y (Forducey et al., 2002)) como parte de un servicio de telerehabilitación, procurando atención domiciliaria cuando por motivos de salud o de accesibilidad geográfica no se puede acceder a un centro de rehabilitación.

Además, otros estudios muestran el desarrollo de sistemas de telerehabilitación basados en la combinación de ejercicios con herramientas de medición y técnicas de evaluación como la presentada en este trabajo, que permiten la cuantificación precisa y fiable de movimientos del paciente a través de enlaces de internet de bajo ancho de banda (Russell et al., 2008) y (Russell et al., 2011), aumentando las posibilidades de éxito del tratamiento (Huijgen et al., 2008).

#### English Summary

##### Validation of RGBD devices for balance clinical measurement: the functional reach test with Microsoft Kinect

##### Abstract

RGBD capture devices have been proven as an ICT realistic approach for clinical prevention of falls. RGBD devices facilitate the capture of human movement and are known because of its low cost. According to that, its use is widespread and has been validated in different interactive applications for balance rehabilitation. In this type of rehabilitation, it is very important to have information on clinical patient outcomes. Moreover, it would be helpful to use RGBD devices in case the patient performs the rehabilitation treatment at home because the specialist could use the RGBD devices to assess the balance. This paper demonstrates that the Microsoft Kinect device is reliable and adequate to calculate the standard functional reach test (FRT), one of the most widely used balance clinical measurement. To do so, an experiment was performed on 14 healthy users to compare the FRT calculation manually and using a RGBD device. The results show an average absolute difference of 2.84cm ( $\pm 2.62$ ), and there are no statistically significant differences applying a paired t-student test for the data.

##### Keywords:

Computer Vision; Microsoft Kinect; RGBD; Clinical evaluation; Balance; Motor Rehabilitation.

##### Agradecimientos

This work was partially funded by European commission under Alyssa Program (ERASMUS-MUNDUS action 2 lot 6), by the Project TIN2012-35427 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.



## Referencias

- Bonnechere, B., Jansen, B., Salvia, P., Bouzahouene, H., Omelina, L., Moiseev, F., ... & Jan, S. V. S., 2014. Validity and reliability of the Kinect within functional assessment activities: comparison with standard stereophotogrammetry. *Gait & posture*, 39(1), 593-598.
- Botsis T, Demiris G, Pedersen S, Hartvigsen G, 2008. Home telecare technologies for the elderly. *J Telemed Telecare*. SAGE Publications;14(7):333–7.
- Clark, R. A., Pua, Y. H., Fortin, K., Ritchie, C., Webster, K. E., Denehy, L., & Bryant, A. L., 2012. Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control. *Gait & posture*, 36(3), 372-377.
- Clark, R. A., Pua, Y. H., Bryant, A. L., & Hunt, M. A., 2013. Validity of the Microsoft Kinect for providing lateral trunk lean feedback during gait retraining. *Gait & posture*, 38(4), 1064-1066.
- Cogollor, J. M., Hughes, C., Ferre, M., Rojo, J., Hermsdörfer, J., Wing, A., & Campo, S., 2012. Handmade task tracking applied to cognitive rehabilitation. *Sensors*, 12(10), 14214-14231.
- Duncan, P. W., Weiner, D. K., Chandler, J., Studenski, S., 1990. Functional reach: a new clinical measure of balance. *Journal of gerontology*, 45(6), M192-M197.
- Durfee, W. K., Savard, L., & Weinstein, S., 2007. Technical feasibility of teleassessments for rehabilitation. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, IEEE Transactions on, 15(1), 23-29.
- Edirippulige S, Wootton R, 2006. Telehealth and communication: Using the Internet in Healthcare. *Heal Informatics Transform Healthc with Technol* Sydney Thomson.
- Elavsky S, McAuley E, Motl RW, Konopack JF, Marquez DX, Hu L, et al., 2005. Physical activity enhances long-term quality of life in older adults: Efficacy, esteem, and affective influences. *Ann Behav Med.*; 30(2):138–45.
- Forducey PG, Ruwe WD, Dawson SJ, Scheideman-Miller C, McDonald NB, Hantla MR. Using telerehabilitation to promote TBI recovery and transfer of knowledge. *NeuroRehabilitation*. 2002;18(2):103–11.
- Galen, S. S., Pardo, V., Wyatt, D., Diamond, A., Brodith, V., & Pavlov, A. (2015). Validity of an Interactive Functional Reach Test. *Games for health journal*, 4(4), 278-284.
- Gama, A. D., Chaves, T., Figueiredo, L., & Teichrieb, V., 2012. Guidance and movement correction based on therapeutics movements for motor rehabilitation support systems. In *Virtual and Augmented Reality (SVR)*, 2012 14th Symposium on (pp. 191-200). IEEE.
- Hailey D, Roine R, Ohinmaa A, Dennett L., 2010. Evidence on the effectiveness of telerehabilitation applications. *Institute of Health Economics*.
- Hailey D, Roine R, Ohinmaa A, Dennett L., 2011. Evidence of benefit from telerehabilitation in routine care: a systematic review. *J Telemed Telecare*.
- Huijgen, B. C., Vollenbroek-Hutten, M. M., Zampolini, M., Opisso, E., Bernabeu, M., Van Nieuwenhoven, J., ... & Marchese, S. S. (2008). Feasibility of a home-based telerehabilitation system compared to usual care: arm/hand function in patients with stroke, traumatic brain injury and multiple sclerosis. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 14(5), 249-256.
- Jaume-i-Capó, A., Martínez-Bueso, P., Moya-Alcover, B., Varona, J., 2014. Interactive rehabilitation system for improvement of balance therapies in people with cerebral palsy. *Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, IEEE Transactions on, 22(2), 419-427
- Keays, S. L., Bullock