

ESTUDIO DE LA HERRAMIENTA VR FOREN EN POBLACIÓN ANCIANA CON FRACTURA DE CADERA Y SITUACIÓN DE PÉRDIDA DE MOVILIDAD DE MÁS DE TRES MESES DE EVOLUCIÓN: UN DISEÑO CUASI-EXPERIMENTAL

Charo Ortín-Ramon, PhD¹; Alicia Blázquez-Piñán, PT²; María Cayón-Ariza, MSc²; Guillermo García-Morato, PT²; Miguel Antón-Sanz, PhD²

1. Occupational Thinks, Instituto de Neurociencias y Ciencias del Movimiento (INCIMOV), Centro Superior de Estudios Universitarios La Salle, Universidad Autónoma de Madrid, Madrid, España.
2. Centro de Rehabilitación Neurológica FOREN, Madrid, España.

Correspondencia:

Charo Ortín-Ramon, OT, PhD.
Facultad de Ciencias de la Salud, CSEU La Salle. Universidad Autónoma de Madrid.
Calle La Salle, nº 10, 28023 Madrid, España
Teléfono: (+34) 657200334
E-mail: r.ortin@lasallecampus.es

Conflicto de Intereses:

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses. Este proyecto no ha sido presentado en ningún evento científico

Financiación:

Los autores declaran no haber recibido financiación/compensación para el desarrollo de esta investigación.

DOI:

<https://doi.org/10.37382/jomts.v2i2.38>

Recepción del Manuscrito:

11-Noviembre-2020

Aceptación del Manuscrito:

9-Diciembre-2020

Licensed under:
CC BY-NC-SA 4.0



RESUMEN

Introducción: La fractura de cadera (FC) es una de las lesiones más comunes del mayor, más incapacitante y con mayor impacto en comorbilidad. La rehabilitación intensiva y precoz ha demostrado ser eficaz en variables motóricas, funcionales y cognitivas. En los últimos años se contempla el uso de nuevas tecnologías, incluyendo la realidad virtual (VR).

Objetivo: Conocer el impacto de la tecnología VR Foren en fuerza, reeducación y seguridad de la marcha en pacientes geriátricos con FC de más de tres meses de evolución que presentan incapacidad o déficit en la marcha.

Diseño: Estudio cuasi-experimental no aleatorizado.

Participantes: Muestra total de 8 pacientes. Se incluyeron residentes que hubiesen sufrido una FC y estuviesen dentro del periodo crónico y que presentaran en la actualidad una incapacidad para la marcha o una marcha inestable o insegura. Además no debían tener déficits cognitivos, déficits visuales no corregibles ni contraindicación para recibir electroestimulación.

Intervenciones: La duración total fue de 15 horas: 1 hora 3 veces por semana durante 5 semanas. Se realizó movilización activa para ganar amplitud articular, contracción muscular activa de la musculatura peritrocantérea, alivio del dolor y reeducación de la marcha. El grupo experimental (GE) realizó todas las técnicas empleando VR Foren sincronizado con electroestimulación. El grupo control (GC) realizó terapia convencional de fisioterapia, sin VR.

Variables principales: Se midieron aspectos pre-post intervención de valoración muscular funcional, cinemática y funcionalidad de la marcha.

Resultados: GE logró mejores resultados en fuerza en los grupos musculares de flexión dorsal de tobillo, IC 95% y $p < 0,05$ y en cinemática de la marcha, IC 95% y $p < 0,05$. VR Foren obtuvo un impacto en la rehabilitación de la fuerza, la funcionalidad y el patrón de marcha. Además, contó con una gran aceptación. Su aplicación en FC puede recomendarse en el tratamiento de la lesión, incluida la fase más aguda de la lesión (durante prescripción de descarga), con el fin de paliar posibles complicaciones de atrofia y control motor.

Palabras clave: Realidad virtual, Fractura de cadera, Geriátrica, Rehabilitación, Recuperación de la función.

INTRODUCCIÓN

Se decidió realizar un estudio en la población de mayores dado que se trata de una población que, en la actualidad y en los países desarrollados, exige una "compresión de la morbilidad"; es decir, aunque las personas viven más tiempo, no deben pasar más años padeciendo un mal estado de salud (Fernández García, 2015). Sin embargo, las causas biológicas, farmacológicas, sensoriales, etc. de la persona mayor conllevan en sí mismas una situación de fragilidad y vulnerabilidad, siendo un colectivo con un alto riesgo de padecer enfermedades. La fractura de cadera (FC) es una de las lesiones más frecuentes en el mayor. En España la incidencia global de FC en ancianos es de 517 casos por 100.000 habitantes y año; 270 casos por 100.000 varones ancianos y año y 695 por 100.000 mujeres ancianas y año. Por grupos de edad la incidencia va aumentando exponencialmente desde los 107 casos por 100.000 ancianos y año entre los 65 y los 69 años hasta alcanzar los 3992 casos por 100.000 ancianos y año para los mayores de 94 años. La incidencia en mujeres es prácticamente el doble que en los varones en todos los tramos de edad hasta los 94 años (Serra et al., 2002). La gravedad de la FC en el mayor es que conlleva una serie de consecuencias catastróficas en términos de funcionamiento físico, institucionalización, capacidad cognitiva y mortalidad, siendo la FC un precipitante hacia esta última en los dos años posteriores a la caída. El proyecto CHANCES (Consortio sobre Salud y Envejecimiento: Red de cohortes en Europa y Estados Unidos) realizó una revisión y un metaanálisis en 2017 con una muestra superior a los 220.000 pacientes y concluyó analizando ocho cohortes, que la FC se asoció con un exceso de mortalidad por causas múltiples a corto y largo plazo en ambos sexos. Los objetivos principales en mayores de 80 años (dada su importante comorbilidad) en los próximos años es, por un lado, reducir el número de casos de FC y, por el otro, poder ofrecer una asistencia terapéutica post-cirugía precoz, dado que en la fase aguda suceden el mayor riesgo de complicaciones (Katsoulis et al., 2017). En este sentido, la rehabilitación intensiva (con entrenamiento de resistencia progresivo y

entrenamiento funcional) y precoz en mayores con FC han demostrado ser eficaces en variables motóricas (fuerza, resistencia), funcionales y también anímicas y cognitivas (Hauer et al., 2002; Beaupre et al., 2013).

Por otro lado, la introducción de las nuevas tecnologías y la realidad virtual (VR) en rehabilitación en los últimos años están siendo herramientas cada vez más empleadas debido a su efecto motivacional y como apoyo a la adherencia a los tratamientos de rehabilitación. La literatura también ofrece estudios realizados en personas mayores que reflejan su aplicación como tratamiento eficaz para el dolor y la prevención de caídas (Molina et al., 2014). Cuando se analizó el tipo de VR utilizada se comprobó que se trataba de imagen generada por ordenador, poco inmersiva, trabajando con entornos artificiales (Bevilacqua et al., 2019). La tecnología VR Foren apuesta por la máxima inmersión del observador, dado que la congruencia espacial y la estereoscopia han demostrado ser factores muy importantes en la excitación del sistema de neuronas espejo y apoyando los mecanismos de imitación en el observador (Jola and Grosbras, 2013). Por esta razón se decidió estudiar el impacto de la tecnología VR Foren en el tratamiento rehabilitador de la FC, esperando conocer el efecto real en el tratamiento de la fuerza, amplitud articular y reeducación funcional (marcha), y poder conocer el grado de recomendación en la inclusión del protocolo de rehabilitación para esta patología.

VR Foren es una herramienta que sincroniza la observación, la contracción voluntaria y la electroestimulación funcional. La observación se realiza con un dispositivo de VR que garantiza una gran excitación del sistema de neuronas espejo. Las neuronas espejo son neuronas bimodales, sensitivomotoras (Kilner and Lemon, 2013), que transforman la señal sensitiva en motora. Es el substrato anatómico de la imitación y ha demostrado tener un importante papel en la recuperación motora dado que influye en la decisión final de reclutamiento de unidades motoras, permitiendo ser un sumatorio en la activación neuromuscular en situaciones de inmovilismo. El ecosistema VR se ha realizado de manera respetuosa con los factores que impactan

sobre el sistema de neuronas espejo, tales como la perspectiva, la verbalización de acciones, la tridimensionalidad y la integración espacial y personal (Jola and Grosbras, 2013). Por otro lado, la observación con intención imitatoria que se solicita al paciente permite realizar diana en la contractibilidad, pudiendo garantizarse el control motor (neuromuscular) del músculo dañado. El paciente puede realizar esta observación imitatoria incluso en las fases de inmovilismo absoluto, permitiendo entonces ser empleada como una herramienta para combatir la atrofia y favorecer el esquema corporal y la sensibilidad. A esta observación con VR se le incorpora un registro electromiográfico de la musculatura diana. Una vez garantizado el trabajo activo en la contracción, se facilitará una señal de electroestimulación que potencie la contracción voluntaria en un 20% (Requena-Sánchez et al., 2005). Los programas de VR Foren emplean corrientes de diferente forma de onda en función del objetivo terapéutico, teniendo en cuenta los siguientes parámetros: amplitud o intensidad de pulso, frecuencia o tasa de repetición de impulsos y duración o tren de impulsos. Los impulsos provocan una contracción concéntrica del músculo, permitiendo que realice la función correspondiente. En estos impulsos, la intensidad máxima (rampa de ascenso) y el cese (rampa de descenso) se alcanzan de forma progresiva, de modo que la contracción y relajación sean progresivas y adecuadas al estado de la musculatura y el sistema nervioso. La mayoría utilizan los impulsos bifásicos, ya que carecen de efectos galvánicos y provocan menor irritación en la piel. Con respecto a la intensidad de la corriente, esta debe provocar una contracción muscular suficiente para realizar la función que se pretende (no debe ser excesiva para no provocar dolor). La colocación de los electrodos se realiza en el punto motor, garantizando una respuesta sincronizada en todas las unidades motoras del músculo estimulado (Peckham and Knutson, 2005).

Una vez se permita la bipedestación el protocolo de VR Foren empleará otro ambiente para la observación, imitándose en esta fase un patrón normal de marcha en primera persona, realizado sobre un tapiz rodante. Las fases de todo el ciclo de

la marcha están muy marcadas, lo que permite que el fisioterapeuta pueda solicitar el trabajo analítico de la fase que identifique más deficitaria (choque de talón, flexión de cadera, extensión de rodilla, etc.). El trabajo de reaprendizaje motor se complementa con la estimulación eléctrica funcional, esta vez colocada en grupos musculares de interés o incluso en localización anatómica nerviosa. Además, se realiza un trabajo aeróbico que impactará en el trabajo vascular y fomentará el reacondicionamiento cardiopulmonar en el mayor.

Por tanto, el objetivo fue conocer el impacto de la tecnología VR Foren en la fuerza, la reeducación de la marcha (patrón cinemático), y seguridad de la marcha (estabilidad y riesgo de caídas) en pacientes geriátricos con fractura de cadera de más de tres meses de evolución que presentan incapacidad para la marcha o una marcha antiálgica, inestable, insegura y/o poco funcional.

MÉTODOS

Fue llevado a cabo un estudio cuasi experimental no aleatorizado, con un grupo de personas afectadas por fractura de cadera. Los participantes del estudio procedieron de dos centros de mayores del grupo Sanitas

Participantes

Los criterios de inclusión fueron: a) Diagnóstico de Fractura de cadera de más de 3 meses de evolución; b) Abordaje quirúrgico de la fractura mediante prótesis (total o parcial) u osteosíntesis y c) Incapacidad para la marcha o una marcha antiálgica, inestable, insegura y/o poco funcional.

Se tuvieron en cuenta los siguientes criterios de exclusión: a) Déficit cognitivo que limitase el seguimiento y comprensión de instrucciones. Puntuaciones menores de 16 +/-5 puntos en la escala Montreal Cognitive Assessment (MoCA), b) Presencia de trastorno emocional. Puntuaciones menores de 26 puntos, según el Cuestionario de Rosenberg, c) Problemática visual que comprometiese seguridad, d) Otras patologías previas que limitasen la funcionalidad y e) Enfermedades que contraindicasen el uso de Electroterapia.

Aleatorización

El presente estudio es un estudio no aleatorizado. El centro residencial Sanitas Mirasierra fue el seleccionado para realizar la intervención del grupo experimental porque el equipo de rehabilitación pudo recibir la formación en el manejo de la herramienta VR en la fecha prevista.

Cegamiento

Los pacientes conocían previamente la intervención que iban a realizar. La valoración pre-post intervención fue realizada por el mismo fisioterapeuta que realizó la intervención.

La valoración de los participantes para asegurar los criterios de inclusión fue realizada por otros profesionales del Centro residencial: médico, psicólogo y terapeuta ocupacional.

El análisis de datos fue realizado por un estadístico externo ajeno al centro residencial.

Intervenciones

Se realizó una intervención en paralelo en dos grupos de intervención: el grupo experimental (GE), de la Residencia para personas mayores Sanitas Mirasierra, y el grupo control (GC) de la Residencia para personas mayores de Sanitas Alorcón.

Las intervenciones de cada grupo fueron desarrolladas en las salas de Fisioterapia de los centros residenciales en los que se encontraban los participantes. La duración total de las intervenciones fue de 15 horas, desarrolladas a través de 1 hora de sesión, con una frecuencia de 3 veces por semana, a lo largo de 5 semanas. Las sesiones de trabajo fueron en ambos grupos realizadas de manera individual.

En ambos grupos hubo dos fases de entrenamiento. En la primera fase de la intervención (donde no era posible la carga), la rehabilitación se encaminó a la movilización activa para ganar amplitud articular, la contracción muscular voluntaria de la musculatura peritrocantérea y alivio del dolor. En el GE todas estas técnicas se hicieron exclusivamente con Realidad Virtual Foren (no se incluyó terapia convencional). En el GC se realizó únicamente terapia convencional de fisioterapia (sin VR). Una vez logrado el acondicionamiento de la musculatura y una fuerza en miembros inferiores que

permitiese la deambulación, se inició un programa de reeducación del patrón de marcha. El GE realizó el trabajo en tapiz rodante con Realidad Virtual Foren y sincronizado con electroestimulación funcional. El GC realizó el entrenamiento de la marcha en paralelas y cinta con empleo de ayudas técnicas. En ambos casos el terapeuta hace hincapié en los gestos biomecánicos que presentan mayor alteración.

Las sesiones desarrolladas por el GE de observación imitatoria de movimientos analíticos (“llevar la pierna al pecho, separar la pierna, realizar el puente, y bajar la pierna de la camilla”), consistieron en realizar en camilla la imitación de gestos de rango completo de lo que parecen ser sus propios miembros inferiores a través de las gafas de realidad virtual. Las sesiones de reeducación de marcha empleando el tapiz rodante emplearon la herramienta VR Foren para realizar la observación imitatoria de lo que parece ser su propia marcha pero realizada de manera eficaz (imitación del patrón de marcha ideal en perspectiva de primera persona y considerando el sexo del paciente, congruencia personal), y sin productos de apoyo (**Figura 1**).

Figura 1. Sesión tipo del grupo experimental.



En el GE, Tanto la imitación de movimientos analíticos como de la marcha en tapiz rodante fueron realizados en combinación de estimulación eléctrica funcional (FES) por medio de un aparato de electroterapia marca Neurotrac, modelo MyoPlus4.

En el caso de los ejercicios analíticos, los electrodos fueron colocados en grupos musculares implicados en la flexo-extensión y abducción de cadera y la extensión de rodilla durante los momentos de trabajo concéntrico e isométrico del video. En el empleo del FES durante la marcha en tapiz rodante, los electrodos fueron colocados en la musculatura flexo-extensora y abductora de cadera, extensores de rodilla y en flexores dorsales de tobillo. El terapeuta encargado de la aplicación del FES empleaba ésta una vez que el participante desarrollaba de manera activa (registro electromiográfico) los ejercicios del programa de RV para ayudar a completar los movimientos que componían estos.

El GC desarrolló una hora de sesión de Fisioterapia convencional compuesta por masoterapia, técnicas de relajación, ejercicios isométricos, concéntricos y excéntricos. También se realizó entrenamiento de marcha en paralelas y cinta.

La intervención del GE fue realizada por una Fisioterapeuta que trabajaba habitualmente con los participantes y que previamente fue entrenada en el manejo de la herramienta VR Foren. La intervención del GC fue llevada a cabo por la fisioterapeuta de la residencia que trabajaba habitualmente con los participantes.

Variables

Previamente a la participación en el programa de rehabilitación y en la semana inmediatamente posterior a la finalización del mismo se administraron las siguientes pruebas para conocer el resultado de la intervención:

Variables principales

- *Test de Daniels*. Es una prueba de valoración muscular funcional que implica el uso de observación, palpación y aplicación de fuerza por parte de un examinador para determinar la fuerza de una acción muscular (Avers and Brown, 2018). En ausencia de movimiento, la palpación y la observación se utilizan para discernir si los músculos de interés están activos. Cuando es posible el movimiento en todo el rango de prueba se usa la resistencia de una fuerza aplicada por el examinador para calificar la magnitud de la producción muscular.

La puntuación oscila entre los 0 (“ausencia de contracción”) y los 5 puntos (“fuerza normal”). Es una prueba que cuenta con unos niveles excelentes de fiabilidad y validez, >0,75 en el Índice de Kappa (Cuthbert and Goodheart, 2007).

- *Gait Assessment and Intervention Tool (GAIT)*.

Es una prueba de valoración del patrón de marcha a través de la observación. Permite valorar aspectos concretos del patrón (como la extensión de cadera) en diferentes fases del ciclo. Consta de 31 ítems y una puntuación máxima de 62 puntos. Es una herramienta con una excelente validez de contenido, dado que proporciona información exhaustiva sobre los diferentes momentos de la marcha de los miembros inferiores, tronco y miembros superiores. Además tiene capacidad objetiva para calificar el resultado y capacidad para medir cambios en cada elemento de la prueba. Finalmente, destacar que cuenta con una excelente fiabilidad inter e intra observador (Daly J. et al., 2009).

- *Get Up and Go (TUG)*. Valora la movilidad, el equilibrio, la capacidad funcional de la marcha y el riesgo de caídas en adultos mayores. El paciente está sentado en una silla y la prueba consiste en cronometrar el tiempo que tarda en levantarse, caminar tres metros y volver hacia la silla, finalizando la temporización cuando el paciente vuelve a sentarse en la silla. Es importante anotar el tipo de ayuda técnica o asistencia que el paciente requiere para poder realizar la prueba. Es una escala normalizada para adultos entre 60 y 90 años y está ampliamente recomendada por diferentes sociedades científicas (Steffen et al., 2002). Cuenta con una excelente fiabilidad test-retest, capacidad inter evaluador e intra evaluador (Nordin et al., 2006). Finalmente, destacar su correlación excelente con escalas de independencia en la realización de las actividades de la vida diaria (Richardson, 1991) y su sensibilidad en la predicción del riesgo de caídas (Bhatt et al., 2011).

Variables secundarias

- *Escala de Tinetti*. Consta de 16 elementos, de los cuales 9 son específicos de equilibrio y 7 de marcha.

Es una escala normalizada en mayores de 60 años y permite detectar deficiencias en el equilibrio, en los cambios posturales y en las transferencias. Cada ítem se puede calificar entre 0 y 2 puntos, siendo la puntuación más alta la más favorable. Tiene una fiabilidad excelente intra evaluador (Thomas and Lane, 2005) y test-retest (Faber et al., 2006).

Análisis de datos

Se empleó el contraste de scores de Wilcoxon con dos colas cuyo objetivo es conocer si la distribución de VR Foren versus terapia convencional es estadísticamente significativa. Wilcoxon es una prueba no paramétrica utilizada para medir diferencias en mediana significativas con muestras pequeñas. La hipótesis nula del contraste postula que las diferencias de las medianas son iguales a 0. En nuestro estudio la hipótesis nula fue “no existe diferencia entre los grupos”. El contraste se basa en el comportamiento de las diferencias entre las puntuaciones de los elementos de cada par asociado, teniendo en cuenta no sólo el signo, sino también la magnitud de la diferencia.

RESULTADOS

Características de los pacientes

Ambos centros residenciales realizaron un primer cribado de los usuarios para poder verificar los criterios de inclusión. En primera instancia se solicitó al médico del centro la revisión de los historiales para identificar fracturas de cadera sometidas a prótesis total o parcial y osteosíntesis. Además, debían encontrarse en un periodo crónico, de más de tres meses de evolución. Tras la revisión del plazo de evolución y el tratamiento quirúrgico, se revisaron los posibles criterios de exclusión en los residentes seleccionados: patologías visuales no corregibles con lentes de aumento y contraindicaciones para el uso de electroterapia.

Después se solicitó la colaboración del Departamento de Psicología y Terapia Ocupacional para continuar asegurando los criterios de inclusión de los participantes. Se realizaron valoraciones cognitivas y cuestionarios anímicos (test de Moca y cuestionario de Roseberg).

La selección de pacientes precisó de 2 semanas y resultó en una muestra de 8 pacientes. La muestra final de participantes fue homogénea en términos de edad y características clínicas (Tabla 1). Este periodo de selección y reclutamiento de pacientes finalizó con las correspondientes formaciones a los participantes sobre su intervención y la firma del consentimiento informado. Durante la intervención ningún participante abandonó el tratamiento (Figura 2).

Tabla 1. Características sociodemográficas y clínicas de la muestra.

	Grupo Experimental (n=4)	Grupo Control (n=4)
Sexo mujer / hombre, n (%)	3 (75%) / 1 (25%)	2 (50%) / 2 (50%)
Edad media (min-máx)	88 (85-93)	87 (76-96)
Solución quirúrgica	Osteosíntesis 3 (75%) Prótesis 1 (25%)	Osteosíntesis (50%) Prótesis 2 (50%)
Tiempo de evolución (meses)	3	3
Cuestionario de Rosenberg	(34)	(33)
Cuestionario de MOCA (media)	(26)	(24)

Variables principales y secundarias

El estudio de contraste rechaza la hipótesis nula y demuestra que la diferencia fue estadísticamente significativa en la escala Daniels de los grupos musculares de la flexión dorsal de tobillo, con un intervalo de confianza 95% (IC) y $p < 0,05$ (Figura 3). En la escala GAIT, de estudio biomecánico de la marcha, también se han obtenido diferencias estadísticamente significativas a favor del GE, con un IC 95% y $p < 0,05$ (Figura 4).

En el resto de escalas analizadas, a pesar de la mejora clínica y la diferencia obtenida a favor del GE, no se obtuvieron datos estadísticamente significativos en comparación con el GC (Tabla 2).

Test de Daniels

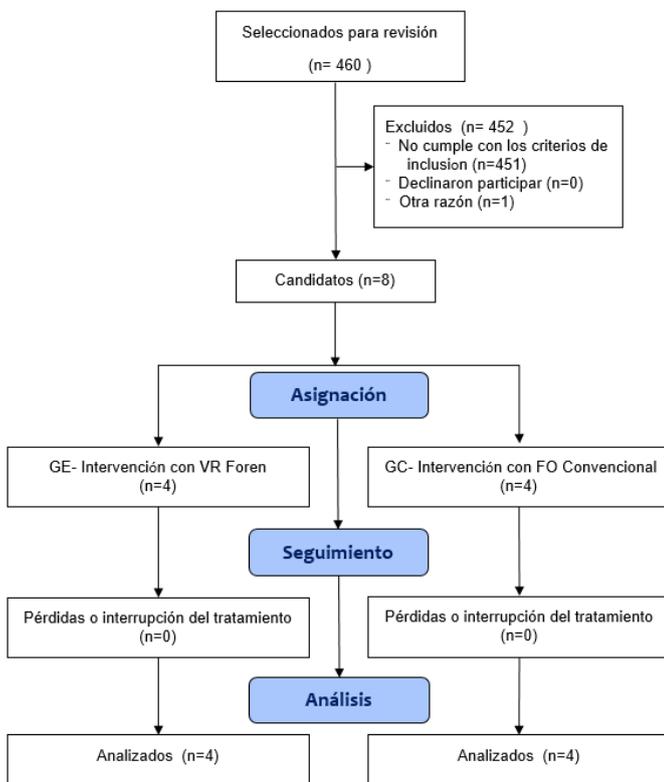
Con la escala Daniels también se calculó el porcentaje de mejora de cada ítem, para comparar los grupos GE y GC pre post intervención. Cuando comparamos este porcentaje de mejora entre ambos grupos se deduce que la diferencia en la mejora para el GE versus el GC en los flexores de cadera fue de un 12%, de los extensores de un 10%, de los

separadores de un 12%, de los flexores de rodilla de un 5%, de los extensores de rodilla de un 12% y de los flexores dorsales de tobillo de un 28% (Tabla 3).

Get Up and Go

La escala TUG también se agrupó en la media de la suma total de los segundos reducidos de cada grupo de intervención, con el fin de comparar los resultados (Tabla 4).

Figura 2. Diagrama de flujo.



Gait Assessment and Intervention Tool (GAIT)

La escala GAIT fue calculada según el porcentaje de mejora de cada participante y posteriormente como sumatorio total de cada grupo, con el fin de comparar estos porcentajes de mejora pre-post intervención entre GE y GC. La mejora post-intervención fue de un 15% a favor del GE versus el GC (Tabla 5).

Escala Tinetti

Finalmente, la escala Tinetti también se agrupó en el GE y el GC con el fin de comparar el porcentaje de mejora obtenido pre-post intervención. En este caso

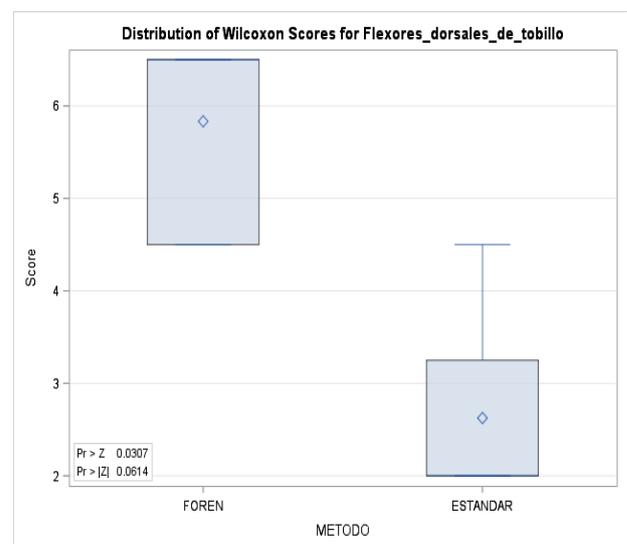
el GE obtuvo una ventaja del 8% tras el entrenamiento con VR Foren frente al GC (Tabla 6).

DISCUSIÓN

Este estudio ha querido conocer la utilidad de la herramienta de VR Foren para poder decidir su incorporación o no en los protocolos de rehabilitación obtenidos de la Medicina Basada en la Evidencia (MBE) una vez analizados los posibles cambios en fuerza, patrón y seguridad de la marcha.

El abordaje de la FC precisa de una atención multidisciplinar y de planes de tratamiento que engloben desde la prevención de las caídas en la atención primaria (Sherrington et al., 2016), mejoras en la atención hospitalaria (realizar la intervención quirúrgica con la mayor brevedad tras la confirmación de fractura y permitir la sedestación y carga con la mayor brevedad), hasta la asistencia terapéutica post-cirugía precoz con el objetivo de perseguir la recuperación en la funcionalidad y la seguridad en los desplazamientos. La FC es una patología con un alto índice de complicaciones; se sabe que es un precipitante hacia la mortalidad reduciendo la esperanza de vida de manera muy significativa. El exceso de mortalidad después de la fractura de cadera se debe a las complicaciones en la función cardiorrespiratoria, función inmune, remodelación ósea y control glucémico (Sheehan et

Figura 3. Análisis de contraste de la flexión dorsal de tobillo.

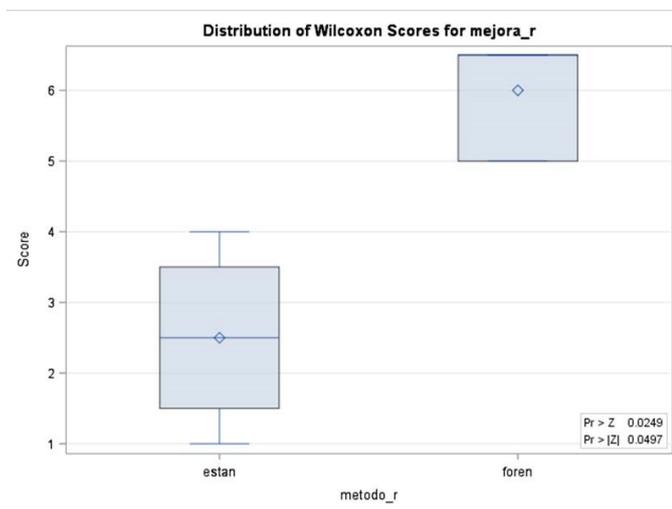


Las diferencias entre GE y GC superan $P < 0,05$. Z Distribución con una cola. /Z/ Distribución con dos colas.

al., 2016). Por esta razón, la importancia en la rehabilitación posterior a la cirugía debe ser altamente considerada, teniendo como objetivos disminuir la mortalidad y recuperar la situación funcional previa a la fractura, tratando de conseguir estos objetivos en el menor tiempo y al menor coste posible (Serra-Rexach and Vidán-Astiz, 2006). Una revisión Cochrane con 19 ensayos incluidos (que seleccionaron a 1589 adultos de edad avanzada) refiere una duración aproximada de 12 semanas con programas de fuerza, condicionamiento aeróbico, electroterapia y entrenamiento funcional (Handoll et al., 2011).

(Tuena et al., 2020). Este tipo de empleo de la tecnología contrasta con los hallazgos obtenidos con los estudios más recientes de neuroimagen, donde se defiende la importancia del entorno real y de la congruencia espacial y personal para poder estimular el sistema de neuronas espejo. Todas las técnicas de observación de acciones, imaginación y reminiscencia motora se fundamentan en las neuronas espejo, un tipo de neuronas sensitivo-motoras que están implicadas en el reconocimiento de acciones, anticipación motora e imitación (Stefan et al., 2005, Mattar and Gribble, 2005). Los estudios defienden su uso en los programas de rehabilitación porque ha sido evidenciado que la observación e imitación de acciones produce un aumento en la excitabilidad de las vías corticoespinales y mejora el control motor (Fadiga et al., 1995, Hari et al., 1998). Por este motivo, conocer los aspectos de máxima excitabilidad de este sistema espejo es clave para asegurar el éxito en la intervención y construir o aplicar los mejores dispositivos que logren impactar en su excitabilidad. En este sentido, VR Foren es pionera en su visionado de acciones, dado que asegura el fenómeno de permanencia en el contexto real, observando exactamente el mismo entorno, vestimenta y perspectiva que tiene el observador sin las gafas de VR. También es importante destacar que la grabación VR respeta la tridimensional en la observación, aspecto clave en la excitabilidad de las neuronas espejo canónicas del lóbulo parietal (Rizzolatti; 1998). Por estos motivos de máxima inmersión y congruencia, previo a la intervención del GE, fue necesario trabajar en la realización del material de la herramienta de realidad virtual propia de VR Foren. El entorno de la residencia que fue utilizado como espacio de trabajo fue grabado y editado posteriormente realizando el cosido virtual, para poder diseñar el programa de VR y visualizar el contexto idéntico en tres dimensiones (“realidad real”). El software VR Foren es un dispositivo médico clase I cuyo número de licencia es 7898-PS. Se emplea la aplicación Oculus y las gafas Oculus Go para su visionado. Esta tecnología está registrada a modo de patente No. EP 18 708 371.2, con referencia FM1-001EP y con el nombre: Display of a three dimensional recording in a system for rehabilitation.

Figura 4. Análisis de contraste del GAIT.



Las diferencias entre GE y GC superan $P < 0,05$. Z Distribución con una cola. /Z/ Distribución con dos colas.

Respecto al uso de la VR existen estudios que han analizado el impacto de esta tecnología en el tratamiento rehabilitador del mayor, con especial hincapié en el manejo de la ansiedad y del equilibrio (Ortiz-Piña et al., 2019; Donathet al., 2016). Sin embargo, los estudios concluyen con la necesidad de explorar este campo tan novedoso de VR en el anciano, sobre todo para conocer los beneficios de esta tecnología en el funcionamiento físico (Molina et al; 2014). Además, cuando se analiza la tecnología empleada en las intervenciones realizadas en rehabilitación, es difícil encontrar propuestas de VR donde el mayor esté sometido a un efecto de inmersión, empleando gaming o pantallas auxiliares

Los resultados obtenidos en este estudio comparan la intervención realizada con VR Foren versus la fisioterapia convencional para el trabajo de la fuerza muscular, la funcionalidad y la reeducación de la marcha. Para ello se emplearon escalas estandarizadas y validadas para cada objetivo, antes de la intervención y tras 5 semanas de trabajo. El GE obtuvo mejoras significativas en la fuerza (Daniels)

20%, los extensores de rodilla un 27% y los flexores dorsales de tobillo un 33%. En el GC la mejora en los flexores de cadera fue de un 15%, de los extensores de un 10%, de los separadores de un 15%, de los flexores de rodilla de un 15%, de los extensores de rodilla de un 15% y de los flexores dorsales de tobillo de un 25%.

La Organización Mundial de la Salud (OMS)

Tabla 2. Resultados de la escala Daniels, Get Up and Go, GAIT y Tinetti pre-post intervención del grupo experimental y del grupo control.

Variables a medir	Grupo experimental								Grupo control								
	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	PRE	POST	
Fuerza (Escala Daniels)																	
Flexores de cadera	2/5	3/5	3/5	5/5	4/5	5/5	3/5	4/5	4/5	4/5	3/5	4/5	3/5	4/5	4/5	5/5	
Extensores de cadera	2/5	3/5	4/5	5/5	4/5	5/5	3/5	4/5	4/5	4/5	3/5	3/5	3/5	4/5	3/5	4/5	
Separadores de cadera	2/5	3/5	3/5	5/5	4/5	5/5	3/5	4/5	4/5	4/5	3/5	4/5	2/5	3/5	3/5	4/5	
Aproximadores de cadera	2/5	3/5	4/5	4/5	4/5	5/5	3/5	4/5	5/5	5/5	3/5	4/5	3/5	4/5	3/5	5/5	
Flexores de rodilla	2/5	3/5	4/5	5/5	4/5	5/5	3/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5/5	3/5	4/5	4/5	5/5	
Extensores de rodilla	2/5	3/5	3/5	5/5	4/5	5/5	3/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5/5	4/5	5/5	
Flexores dorsales de tobillo	4/5	4/5	4/5	5/5	3/5	5/5	2/5	4/5	4/5	4/5	4/5	5/5	4/5	4/5	4/5	4/5	
Flexores plantares de tobillo	4/5	4/5	4/5	5/5	4/5	5/5	3/5	4/5	3/5	5/5	3/5	4/5	4/5	5/5	3/5	4/5	
Marcha (Get Up and Go)	NVL	NVL	46seg	32seg	27seg	20seg	NVL	NVL	25seg	16seg	NVL	NVL	NVL	65seg	NVL	37seg	
Marcha (GAIT)	NVL	NVL	19/62	11/62	16/62	6/62	40/62	30/62	16/62	9/62	13/62	12/62	12/62	21/62	9/62	37/62	
Marcha (Tinetti)	1/28	1/28	11/28	23/28	15/28	21/28	3/28	14/28	20/28	21/28	7/28	12/28	1/28	10/28	1/28	18/28	
Equilibrio	1/16	1/16	6/16	14/16	10/16	12/16	3/16	9/16	11/16	12/16	7/16	7/16	1/16	2/16	1/16	7/16	
Marcha	0/12	0/12	5/12	9/12	5/12	9/12	0/12	5/12	9/12	9/12	0/12	5/12	0/12	8/12	0/12	9/12	

NVL: No Valorable

de los grupos musculares implicados en la flexión dorsal del tobillo, así como en el patrón de marcha (GAIT). En el resto de pruebas se obtuvieron mejoras clínicas a favor del GE, pero sin significación estadística.

Los resultados reflejan que las variables pre post en el GE han mejorado en la escala Daniels en los flexores de cadera un 27%, los extensores un 20%, los separadores un 27%, los flexores de rodilla un

defiende la inclusión de programas de fortalecimiento muscular y ejercicios de equilibrio prescritos por profesionales sanitarios con formación adecuada para los mayores, con el fin de prevenir las caídas que sufren por los trastornos físicos que padecen. En este sentido, los estudios recomiendan programas muy demandantes, con niveles del 80% de resistencia máxima progresiva (Hauer; 2002). El entrenamiento recibido por ambos grupos durante el estudio fue

intensivo, pero no se trabajó en ningún momento con esos parámetros de resistencia. Sin embargo se lograron mejorar aspectos muy significativos de fuerza en el GE en musculatura clave tras la FC, como en los extensores de cadera. El glúteo medio es uno de los principales objetivos en rehabilitación tras FC, debido a su efecto en la estabilidad que evita alteraciones en la marcha (Trendelenburg) y por su evidente sufrimiento tras la cirugía (Voight et al; 2010). El GE también logró mejorar la fuerza de los grupos musculares implicados en la flexión dorsal de tobillo. El fortalecimiento de este conjunto muscular permite garantizar minimizar los tropiezos, que son uno de los factores de riesgo más importantes en las caídas del mayor (Kemoun; 2002). Finalmente,

el despegue del pie en la fase de apoyo, y aumenta la flexión de cadera en la fase de oscilación. Además, existió una consecuencia muy positiva en la extensión de tronco en ambas fases (oscilación y apoyo), logrando repercutir en el centro de gravedad durante la marcha estando más alineado y centrado (a nivel de S2). El GC, en su defecto, no obtuvo cambios biomecánicos e incluso existió un deterioro en ciertos aspectos, manteniendo pasos cortos y donde el lado sano no superaba a la pierna operada en la oscilación y la flexión de cadera de la pierna operada era ineficiente. Se observó también que el tronco en este grupo mantenía cierta posición de flexión, lo que afecta a la estabilidad y equilibrio en marcha.

Tabla 3. Resultados de la escala Daniels en porcentajes de mejora.

Daniels Fuerza		
	GE	GC
Flexores de cadera	27%	15%
Extensores de cadera	20%	10%
Separadores de cadera	27%	15%
Aproximadores de cadera	13%	20%
Flexores de rodilla	20%	15%
Extensores de rodilla	27%	15%
Flexores dorsales de tobillo	33%	5%
Flexores plantares de tobillo	20%	25%

GE, grupo experimental y GC, grupo control. Color verde, los porcentajes que implican mejores resultados y en color rojo, los porcentajes que implican peores resultados.

destacar el nivel de fuerza del cuádriceps como otro indicador clave en los artículos de rehabilitación tras la FC (Buir et al; 2016), estando íntimamente relacionado con la recuperación funcional y la vuelta a las actividades de la vida diaria tras la cirugía. El GE logró mejoras estadísticamente significativas en los flexores dorsales y mejoras de un 10% en los extensores de cadera y un 12% en los extensores de rodilla frente al GC.

La escala GAIT evidenció cambios tras la intervención a nivel biomecánico, donde tras el estudio cinemático de la marcha se puede concluir que el GE aumenta el rango de extensión de cadera y

La escala TUG es una prueba válida y fiable para personas mayores que participan en un programa de rehabilitación. Refleja de manera consistente el estado funcional y tiene una excelente correlación con otras medidas de independencia en actividades de la vida diaria, como la escala de Medida de Independencia Funcional (Brooks et al., 2006). Sus resultados están normalizados para personas mayores de 65 años y valores mayores de 14 segundos indican riesgo de caídas (Shumway-Cook et al., 2000). Todos los participantes del estudio (GE y GC) sobrepasaban este tiempo, indicando el alto riesgo de caídas que presentaban previamente a la intervención. Al finalizar la intervención, a pesar de haber reducido en ambos grupos los tiempos de manera considerable (9 segundos en el GC y 11 segundos en el GE) ningún participante logró estar por debajo de los 14 segundos recomendados. Por otro lado cabe destacar que un cambio de 3,5 segundos implica un cambio clínico mínimo detectable (MCCD) y este cambio se logró en ambos grupos.

Tabla 4. Media de los segundos reducidos post-intervención en la escala Get Up and Go.

Get Up and Go		
	GE	GC
Get Up and Go	11	9

GE, grupo experimental y GC, grupo control. Color verde, los segundos que implican mejores resultados y en color rojo, los segundos que implican peores resultados.

Tabla 5. Escala GAIT

Foren GAIT		
PRE	POST	MEJORA
19	11	13%
16	6	16%
40	30	16%
Total mejora		15%

Estándar GAIT		
PRE	POST	MEJORA
16	9	11%
13	12	2%
12	21	-15%
9	13	-6%
Total mejora		-2%

Porcentajes de mejora post-intervención de cada uno de los participantes y como muestra total de cada grupo. Foren GAIT es el Grupo experimental; Estándar GAIT es el grupo control.

En lo que respecta a la escala Tinetti los resultados objetivaron una mejora a favor del GE de 9 puntos versus 7 del GC. Si calculamos el porcentaje de mejora de dicha escala el GE obtuvo un 35% frente al 27% del GC. Los cambios evidenciados se corresponden con los cambios recogidos en Daniels y GAIT, siendo los ítems de arrastre de los pies y avance en la oscilación los que más han mejorado en los resultados pre post de esta escala en el GE. Esto se debe al aumento de fuerza de los flexores dorsales de tobillo y flexores de cadera, así como en los extensores de rodilla.

Tabla 6. Porcentaje de mejora obtenido tras la intervención en la escala Tinetti, puntuación global.

Tinetti	Tinetti	
	GE	GC
	35%	27%

GE, grupo experimental y GC, grupo control.

El presente estudio también permitió conocer la importancia del estado cognitivo y emocional como un factor principal para poder realizar esta terapia, dado que la colaboración del paciente y su capacidad atencional han sido determinantes para conseguir los beneficios. En la población con deterioro cognitivo se entiende la necesidad de realizar nuevos estudios que

propongan otra herramienta de acuerdo a sus necesidades.

A pesar de los resultados a favor del GE cabe destacar que únicamente se obtuvo significación estadística en la flexión dorsal del Daniels y en el GAIT. El tamaño de la muestra ha sido un importante factor de potencia estadística. Finalmente, el papel del fisioterapeuta como evaluador pre post y como agente de intervención debía haberse evitado, con el fin de generar una metodología mejor.

CONCLUSIÓN

El análisis de los resultados del estudio ha demostrado que el empleo de la herramienta VR Foren merece ser considerada en la rehabilitación de la fractura de cadera en el anciano para trabajar la fuerza y el patrón de marcha realizando estudios mayores con mejor validez. Por otro lado, se defiende la necesidad de investigar en las nuevas tecnologías y en su enorme capacidad inmersiva para apoyar los mecanismos de reaprendizaje motor.

FRASES DESTACADAS

- El objetivo del estudio fue conocer el efecto de VR Foren en el abordaje de la fractura de cadera en ancianos, dado que se trata de una lesión con consecuencias catastróficas.
- Existen pocos estudios sobre el trabajo con nuevas tecnologías en población anciana.
- El grupo VR Foren obtiene mejoras en los parámetros de fuerza, equilibrio, patrón cinemático de marcha y riesgo de caídas. Las diferencias fueron estadísticamente significativas en fuerza y marcha.
- La tecnología VR Foren logró altos niveles de adherencia y satisfacción.

REFERENCIAS

Avers D, Brown M. Daniels and Worthingham's Muscle Testing: Techniques of Manual Examination and Performance Testing. 10a Ed. Elsevier, St Louis, EE. UU; 2018.

- Beaupre LA, Binder EF, Cameron ID, Jones CA, Orwig D, Sherrington C, Magaziner J. Maximising functional recovery following hip fracture in frail seniors. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. Bailliere Tindall Ltd; 2013;27(6):771–88 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.berh.2014.01.001>.
- Bevilacqua R, Maranesi E, Riccardi GR, Donna VD, Pelliccioni P, Luzi R, Lattanzio F, Pelliccioni G. Non-Immersive Virtual Reality for Rehabilitation of the Older People: A Systematic Review into Efficacy and Effectiveness. *J Clin Med*. MDPI AG; 2019;8(11):1882 DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/jcm8111882>.
- Bhatt T, Espy D, Yang F, Pai YC. Dynamic gait stability, clinical correlates, and prognosis of falls among community-dwelling older adults. *Arch Phys Med Rehabil*. *Arch Phys Med Rehabil*; 2011;92(5):799–805 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2010.12.032>.
- Brooks D, Davis AM, Naglie G. Validity of 3 physical performance measures in inpatient geriatric rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. *Arch Phys Med Rehabil*; 2006;87(1):105–10 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2005.08.109>.
- Buirs LD, Van Beers LW, Scholtes VA, Pastoors T, Sprague S, Poolman RW. Predictors of physical functioning after total hip arthroplasty: a systematic review. *BMJ Open*. *BMJ Open*; 2016;6(9):e010725 DOI: <http://dx.doi.org/10.1136/bmjopen-2015-010725>.
- Cuthbert SC, Goodheart GJ. On the reliability and validity of manual muscle testing: A literature review. *Chiropr Osteopat*. *BioMed Central*; 2007;15:4 DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1746-1340-15-4>.
- Daly JJ, Nethery J, McCabe JP, Brenner I, Rogers J, Gansen J, Butler K, Burdsall R, Roenigk K, Holcomb J. Development and testing of the Gait Assessment and Intervention Tool (G.A.I.T.): A measure of coordinated gait components. *J Neurosci Methods*. *J Neurosci Methods*; 2009;178(2):334–9 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jneumeth.2008.12.016>.
- Donath L, Rössler R, Faude O. Effects of Virtual Reality Training (Exergaming) Compared to Alternative Exercise Training and Passive Control on Standing Balance and Functional Mobility in Healthy Community-Dwelling Seniors: A Meta-Analytical Review. *Sport Med*. Springer International Publishing; 2016;46(9):1293–309 DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s40279-016-0485-1>.
- Faber MJ, Bosscher RJ, van Wieringen PC. Clinimetric properties of the performance-oriented mobility assessment. *Phys Ther*. 2006;86(7):944–54.
- Fadiga L, Fogassi L, Pavesi G, Rizzolatti G. Motor facilitation during action observation: A magnetic stimulation study. *J Neurophysiol*. American Physiological Society; 1995;73(6):2608–11 DOI: <http://dx.doi.org/10.1152/jn.1995.73.6.2608>.
- Fernández-García M. Review of the incidence of hip fracture in Spain. *Rev Osteoporos Metab Min*. 2015;4:115–20.
- Handoll HH, Sherrington C, Mak JC. Interventions for improving mobility after hip fracture surgery in adults. *Sao Paulo Med J*. John Wiley & Sons, Ltd; 2011;129(6):435 DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD001704.pub4>.
- Hari R, Forss N, Avikainen S, Kirveskari E, Salenius S, Rizzolatti G. Activation of human primary motor cortex during action observation: A neuromagnetic study. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 1998;95(25):15061–5 DOI: <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.95.25.15061>.
- Hauer K, Specht N, Schuler M, Bärtsch P, Oster P. Intensive physical training in geriatric patients after severe falls and hip surgery. *Age Ageing*. *Age Ageing*; 2002;31(1):49–57 DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/ageing/31.1.49>.
- Jola C, Grosbras MH. In the here and now: Enhanced motor corticospinal excitability in novices when watching live compared to video recorded dance. *Cogn Neurosci*. *Cogn Neurosci*; 2013;4(2):90–8 DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/17588928.2013.776035>.
- Katsoulis M, Benetou V, Karapetyan T, Feskanich D, Grodstein F, Pettersson-Kymmer U, Eriksson S, Wilsgaard T, Jørgensen L, Ahmed LA, Schöttker B, Brenner H, Bellavia A, Wolk A, Kubinova R, Stegeman B, Bobak M, Boffetta P, Trichopoulos A. Excess mortality after hip fracture in elderly persons from Europe and the USA: the CHANCES project. *J Intern Med*. Blackwell Publishing Ltd; 2017;281(3):300–10 DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/joim.12586>.
- Kemoun G, Thoumie P, Boisson D, Guieu JD. Ankle dorsiflexion delay can predict falls in the elderly. *J Rehabil Med*. *J Rehabil Med*; 2002;34(6):278–83 DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/165019702760390374>.
- Kilner JM, Lemon RN. What we know currently about mirror neurons. *Curr Biol*. *Cell Press*; 2013;23(23):R1057 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2013.10.051>.
- Mattar AAG, Gribble PL. Motor learning by observing. *Neuron*. *Cell Press*; 2005;46(1):153–60 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuron.2005.02.009>.
- Molina KI, Ricci NA, De Moraes SA, Perracini MR. Virtual reality using games for improving physical functioning in older adults: A systematic review. *J Neuroeng Rehabil*. *BioMed Central Ltd*; 2014;11(1):156 DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1743-0003-11-156>.
- Nordin E, Rosendahl E, Lundin-Olsson L. Timed “Up & Go” test: reliability in older people dependent in activities of daily living—focus on cognitive state. *Phys Ther*. 2006;86(5):646–55.
- Ortiz-Piña M, Salas-Fariña Z, Mora-Traverso M, Martín-Martín L, Galiano-Castillo N, García-Montes I, Cantarero-Villanueva I, Fernández-Lao C, Arroyo-Morales M, Mesa-Ruiz A, Castellote-Caballero Y, Salazar-Graván S, Kronborg L, Martín-Matillas M, Ariza-Vega P. A home-based tele-rehabilitation protocol for patients with hip fracture called @ctivehip. *Res Nurs Heal*. John Wiley and Sons Inc.; 2019;42(1):29–38 DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/nur.21922>.
- Peckham PH, Knutson JS. Functional electrical stimulation for neuromuscular applications. *Annu Rev Biomed Eng*. *Annu Rev Biomed Eng*; 2005;7:327–60 DOI:

- <http://dx.doi.org/10.1146/annurev.bioeng.6.040803.140103>.
 Requena-Sánchez B, Padial-Puche P, González-Badillo JJ. Percutaneous Electrical Stimulation in Strength Training: An Update. *J Strength Cond Res*. Ovid Technologies (Wolters Kluwer Health); 2005;19(2):438 DOI: <http://dx.doi.org/10.1519/13173.1>.
- Richardson S. The Timed “Up & Go”: A Test of Basic Functional Mobility for Frail Elderly Persons. *J Am Geriatr Soc*. *J Am Geriatr Soc*; 1991;39(2):142–8 DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x>.
- Rizzolatti G, Fadiga L. Grasping objects and grasping action meanings: The dual role of monkey rostroventral premotor cortex (area F5). *Novartis Found Symp*. *Novartis Found Symp*; 1998;218(218):81–103 DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/9780470515563.ch6>.
- Serra JA, Garrido G, Vidán M, Marañón E, Brañas F, Ortiz J. Epidemiología de la fractura de cadera en ancianos en España. *An Med Interna*. 2002;19:389–95.
- Serra-Rexach JA, Vidán-Astiz M. Intervención geriátrica en la fractura de cadera. *Rev Esp Geriatr Gerontol*. Ediciones Doyma, S.L.; 2006;41(2):83–4 DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0211-139X\(06\)72930-4](http://dx.doi.org/10.1016/S0211-139X(06)72930-4).
- Sheehan KJ, Sobolev B, Chudyk A, Stephens T, Guy P. Patient and system factors of mortality after hip fracture: A scoping review. *BMC Musculoskelet Disord*. *BioMed Central Ltd*.; 2016;17(1) DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/s12891-016-1018-7>.
- Sherrington C, Tiedemann A, Fairhall NJ, Hopewell S, Michaleff ZA, Howard K, Clemson L, Lamb SE. Exercise for preventing falls in older people living in the community. *Cochrane Database Syst Rev*. *John Wiley and Sons Ltd*; 2016;2016(11) DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/14651858.CD012424>.
- Shumway-Cook A, Brauer S, Woollacott M. Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Phys Ther*. 2000;80(9):896–903.
- Stefan K, Cohen LG, Duque J, Mazzocchio R, Celnik P, Sawaki L, Ungerleider L, Classen J. Formation of a motor memory by action observation. *J Neurosci*. *J Neurosci*; 2005;25(41):9339–46 DOI: <http://dx.doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2282-05.2005>.
- Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. Age- and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Phys Ther*. *American Physical Therapy Association*; 2002;82(2):128–37 DOI: <http://dx.doi.org/10.1093/ptj/82.2.128>.
- Thomas JJ, Lane J V. A pilot study to explore the predictive validity of 4 measures of falls risk in frail elderly patients. *Arch Phys Med Rehabil*. *Arch Phys Med Rehabil*; 2005;86(8):1636–40 DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apmr.2005.03.004>.
- Tuena C, Pedroli E, Trimarchi PD, Gallucci A, Chiappini M, Goulene K, Gaggioli A, Riva G, Lattanzio F, Giunco F, Stramba-Badiale M. Usability issues of clinical and research applications of virtual reality in older people: A systematic review. *Front Hum Neurosci*. *Frontiers Media S.A.*; 2020;14 DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2020.00093>.
- Voight ML, Robinson K, Gill L, Griffin K. Postoperative Rehabilitation Guidelines for Hip Arthroscopy in an Active Population. *Sport Heal A Multidiscip Approach*. *SAGE Publications*; 2010;2(3):222–30 DOI: <http://dx.doi.org/10.1177/194173811036638>