

Sistemas de captura de movimiento como herramienta de apoyo en salud: Una revisión de su uso y aplicación

Dagoberto Mayorca-Torres¹

Edna Margarita Moncayo-Torres²

Diego Andrés López-Albán³

Manuel Alejandro López-Barrera⁴

Resumen

El entrenamiento orientado a tareas y centrado en el cliente es importante en la rehabilitación neurológica, pero lleva mucho tiempo y es costoso en la práctica clínica. El uso de la tecnología, especialmente los sistemas de captura de movimiento que son de bajo costo y fáciles de aplicar en la práctica clínica se pueden utilizar para apoyar este tipo de capacitación, sin embargo, el conocimiento y la evidencia de su uso para la capacitación es escaso. La presente revisión tiene como objetivo investigar los sistemas de evaluación basados en sistemas de captura de movimiento con y sin marcadores en el área de la salud. Se establece una descripción de su uso y aplicación en rehabilitación, ergonomía y marcha humana. Por lo anterior, se realizó una búsqueda en las bases de datos Scopus y Web of Science, catalogadas como unas de las mejores bases de datos en ingeniería.

Palabras clave: sistemas de captura de movimiento; rehabilitación; ergonomía; marcha humana.

¹Docente del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana, Pasto, Colombia. Correo electrónico: Dmayorca@umariana.edu.co

²Docente del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana, Pasto, Colombia. Correo electrónico: emmoncayo@umariana.edu.co

³Estudiante del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana, Pasto, Colombia. Correo electrónico: Diegoanlopez@umariana.edu.co

⁴Estudiante del Programa de Ingeniería Mecatrónica, Universidad Mariana, Pasto, Colombia. Correo electrónico: Manuellopez@umariana.edu.co

Motion capture systems as a health support tool: a review of their use and application

Abstract

Client-centered, task-oriented training is important in neurological rehabilitation, but it is time-consuming and expensive in clinical practice. While the use of technology, especially motion capture systems that are inexpensive and easy to apply in clinical practice can be used to support this type of training, the knowledge and evidence of its use for training are scarce. The present review aims to investigate assessment systems based on motion capture systems with and without markers in the health area. A description of its use and application in rehabilitation, ergonomics, and human gait is established. Therefore, a search was carried out in the Scopus and Web of Science databases, cataloged as one of the best engineering databases.

Keywords: motion capture systems; rehabilitation; ergonomics; human gait.

Sistemas de captura de movimento como uma ferramenta de suporte à saúde: uma revisão de seu uso e aplicação

Resumo

O treinamento centrado no cliente e orientado para a tarefa é importante na reabilitação neurológica, mas é demorado e caro na prática clínica. Embora o uso de tecnologia, especialmente sistemas de captura de movimento que são baratos e fáceis de aplicar na prática clínica, possam ser usados para apoiar esse tipo de treinamento, o conhecimento e a evidência de seu uso para o treinamento são escassos. A presente revisão tem como objetivo investigar sistemas de avaliação baseados em sistemas de captura de movimento com e sem marcadores na área da saúde. Uma descrição de seu uso e aplicação na reabilitação, ergonomia e marcha humana é estabelecida. Para tanto, foi realizada uma busca nas bases de dados Scopus e Web of Science, catalogadas como uma das melhores bases de dados de engenharia.

Palavras-chave: sistemas de captura de movimento; reabilitação; ergonomia; marcha humana.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, algunas enfermedades del sistema nervioso central como: la esclerosis múltiple (EM), accidentes cerebrovasculares (ACV) y lesiones de la médula espinal (LME) afectan negativamente la calidad de vida y en general alteran mayormente las funciones motoras y sensoriales del individuo (Brokaw et al., 2015). En la rehabilitación neurológica, la terapia funcional con ejercicios centrado en el paciente ha demostrado ser efectiva para pacientes con funciones motores y sensoriales limitadas; siempre y cuando esta sea específica, motivadora, repetitiva, intensiva y en concordancia con las necesidades funcionales de rehabilitación del paciente. Una de las mayores desventajas radica en que se requieren esquemas de capacitación individualizados, que puede llegar a ser extenuante para el terapeuta (Spooren et al., 2011).

De la misma manera, la incursión de la tecnología a los sistemas de rehabilitación es prometedora y puede ofrecer una alternativa orientada a tareas centradas en el paciente sin costos adicionales, mediante uso de un computador personal, trayendo consigo efectos positivos, tales como la mejora de la función motora de la extremidad afectada (Inamura et al., 2016). En la actualidad es cada vez más común el concepto de videojuego serio, estas son actividades que puede realizar una persona mediante los estímulos interactivos que simulan sensaciones de presencia; tienen dos objetivos, “divertir al paciente en su terapia (...) y proporcionarle al especialista una herramienta para el registro y análisis de datos de captura de movimiento” (Muñoz-Cardona, 2013, p. 44).

Es aquí donde los sistemas de captura de movimiento, sin marcadores, acompañados de tecnologías a bajo costo como Kinect, usan el concepto de videojuego para realizar una rehabilitación más acertada, efectiva y motivada, con el objetivo de mejorar la función motora (Tannous et al., 2016). La implicación directa al desarrollar sistemas de bajo costo es que se necesita procesar más la información, por lo cual se han desarrollado una serie de métodos que permiten determinar el posicionamiento de segmentos corporales, cinemática articular y demás, esto se describirá ampliamente más adelante.

El propósito de este artículo de revisión es realizar un panorama sobre el tema de la rehabilitación basado en el uso de tecnologías como los sistemas de captura de movimiento (MOCAP). Este artículo se encuentra organizado de la siguiente manera: En la sección 2 se explican los métodos y criterios usados para la búsqueda de los artículos de las bases de datos; en la sección 3 se describe ampliamente las diferentes alternativas en tecnología para los sistemas de captura de movimiento; en la sección 4 se describen los diferentes métodos usados para el análisis de movimiento; en la sección 5 se plasma la aplicación en áreas como: rehabilitación, ergonomía y marcha humana.

Materiales y Métodos

Se realizó una búsqueda sistemática en las bases de datos Web Of Science y Scopus, que involucran revistas que fueron recolectadas en diciembre de 2019. Las palabras claves usadas para la búsqueda en títulos fueron las siguientes: [Title/ Abstract] ((kinect* OR depth sensor OR Camera) AND (image processing OR Analisis OR Study) AND (capture motion) AND (movement OR kinematic*)).

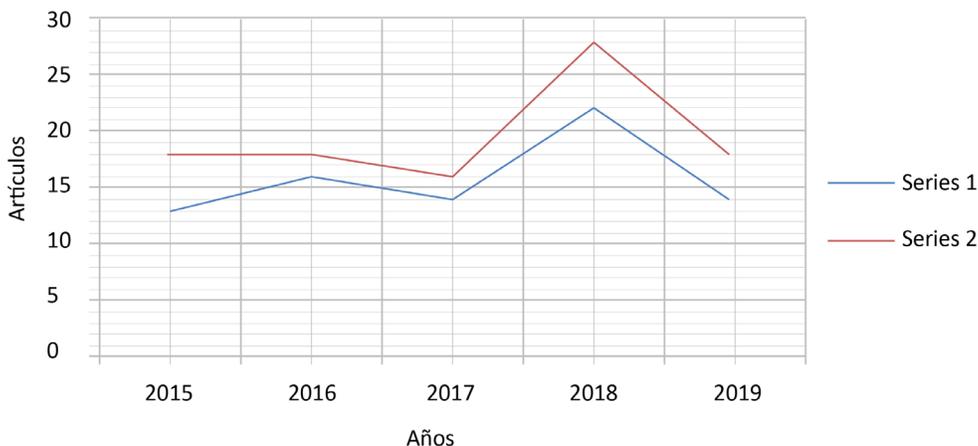
a) Criterios de inclusión: Se incluyen sistemas de captura de movimiento con y sin marcadores en personas con discapacidad motora y problemas posturales. Se hace énfasis en estudios relacionados con programas de rehabilitación de miembro superior e inferior. Se admiten estudios en inglés y español. Los estudios seleccionados de la búsqueda sistemática son de carácter cuantitativo. Se profundiza en aquellos sistemas ópticos.

b) Criterios de exclusión: Se excluyó aquellos estudios cuyo sistema de captura de movimiento de ojos, dedos de las manos, velocidad del habla y en donde el factor psicológico fuera notoriamente significativo. De igual manera, se descartaron los sistemas basados en sensores de medición inercial.

En la etapa de búsqueda sistemática de artículos se identificaron un total de 111 artículos en Scopus y 120 en Web Of Science; luego de la etapa de exclusión y filtrado por duplicados quedó un total de 84 artículos para una evaluación adicional. De estos se seleccionaron 50 artículos, correspondientes a artículos top y dentro de la venta de análisis de 5 años (ver Figura 1).

Figura 1

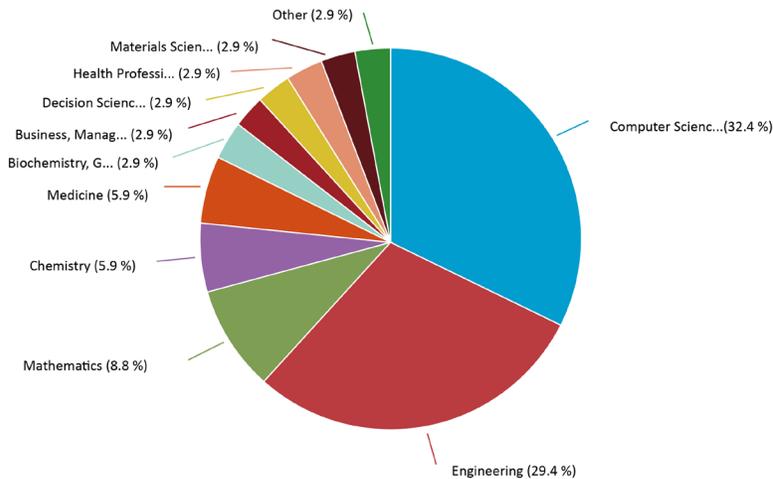
Relación de búsqueda sistemática de los últimos 5 años



Con relación a las áreas de contribución, se identificaron las más sobresalientes (ver Figura 2). En general se identificaron 3 áreas importantes: Ciencias computacionales, Ingeniería y Ciencias de la Salud.

Figura 2

Relación de búsqueda sistemática de los últimos 5 años



Después de realizar una inspección de los artículos, se logró corroborar que, en general, hay artículos que describen sistemas de captura de movimiento, técnicas de procesamiento y la aplicación de estas en estudios piloto. En las secciones posteriores se realizará una descripción de cada una de estas áreas, se hizo énfasis en aquellas que se basan en sistemas ópticos.

Resultados y Discusión

Sistemas de captura de movimiento:

La estimación del movimiento del cuerpo humano ha sido un tema de interés para muchos investigadores, dada su aplicación clínica; siendo los sistemas de captura de movimiento a través de sensores uno de los más usados. El propósito de estos sistemas es el seguimiento espacial de unos marcadores que pueden ser pasivos (reflectantes) o activos (emisores), en puntos anatómicos del cuerpo que permiten modelar el movimiento aparente entre segmentos adyacentes, con el fin de determinar los desplazamientos y angulaciones de las articulaciones del cuerpo (Lamine et al., 2017). Algunos de estos sistemas incorporan acelerómetros, sensores magnéticos y mecánicos, en su mayoría, requieren de infraestructuras complejas y

condiciones controladas de iluminación. Esta instrumentación es usada para calcular geométricamente la orientación de los diferentes segmentos corporales y estimación de parámetros cinemáticos del movimiento (Vilaseca et al., 2005). La desventaja del uso de sensores sobre el cuerpo humano radica en que, si bien estos métodos miden de forma directa el movimiento, son de alguna manera invasivos y exponen al sujeto a posibles lesiones en la piel si no se usa de manera adecuada. Otra desventaja de estas técnicas es la introducción a estímulos sobre los patrones de marcha no sean naturales a la hora de caminar o desplazarse; al colocar dispositivos sobre los segmentos corporales puede llegar a tener cambios en la velocidad y angulaciones de las articulaciones, que lleva a una interpretación incorrecta del movimiento por parte del especialista. Por lo tanto, la capacidad de medir con precisión las pautas de locomoción, sin el riesgo de un estímulo y sin intervenir en el proceso de locomoción, sigue siendo un campo de estudio amplio; no solo para las ciencias exactas, sino para las humanas, dado el factor psicológico que puede tener (Villa et al., 2008).

En la actualidad, los avances en materia de sensores y las tecnologías informáticas han proporcionado nuevas oportunidades para optimizar estos procesos de captura y análisis de la información, minimizando los riesgos de intrusión en el proceso de captura, como se mencionó con anterioridad. Las nuevas metodologías han hecho que sea factible hacer extensiva la aplicación de análisis cinético y cinemático de manera híbrida, y usar sistemas más complejos. Dentro de los métodos más usados se encuentran los sistemas de captura de movimiento (del inglés Motion Capture, MOCAP), caracterizado por la identificación de patrones tridimensionales de manera objetiva; no se requiere colocar ningún tipo de fijación en la piel. Hasta la fecha, los sistemas ópticos representan la tecnología más precisa para la evaluación de la cinemática articular (Castelli et al., 2015). Dentro de los dispositivos comerciales que permiten la captura de movimiento 3D con un alto grado de precisión se encuentran: Vicon (2017), OptiTrack (2017), Xsens (2017) y Kinect (2017). Este último, desarrollado por Microsoft, ha sido muy usado gracias a su facilidad de configuración y a que mediante una interfaz natural de usuario se puede llegar a reconocer: gestos, comandos de voz, objetos e imágenes (Camargo et al., 2012).

El sensor Kinect ha sido usado por científicos para evaluación postural y realizar mediciones biomecánicas del cuerpo humano, con la suficiente precisión y confiabilidad para rastrear los movimientos teniendo en cuenta algunas configuraciones. Es así como, se ha llegado establecer la repetibilidad del dispositivo Kinect en comparación con otras técnicas, en cuanto a la medición de longitudes de segmentos corporales. Los resultados del estudio sugieren que el sensor Kinect ofrece la misma repetibilidad durante la evaluación de la postura como un dispositivo basado en marcadores (Bonnechére et al., 2013; Brandao et al., 2016). En relación con la validez concurrente y la confiabilidad interdía, los parámetros cinemáticos medidos por Kinect V2 han sido

comparados con sistemas basados en marcadores 3DMA (2017) (Al-Naji et al., 2017). Un total de 30 adultos sanos realizaron pruebas de marcha cómodas y de ritmo rápido, en dos sesiones. Se examinaron las medidas espaciotemporales relacionadas con las medidas cinemáticas, de lo cual se obtuvo un coeficiente de del 0.75 y la variabilidad de la velocidad de la marcha de ritmo rápido de 0.73. La conclusión de este estudio lleva a pensar que la Kinect V2 puede llegar a tener un gran potencial como herramienta para medir parámetros de la marcha.

Desde estas ideas, cabe resaltar que existen otras variables que determinan el rendimiento y las limitaciones del sensor Microsoft Kinect como lo establece (Villa et al, 2008) en el contexto de la investigación biomecánica y aplicaciones clínicas. El rendimiento de Kinect ha sido comparado con un sistema de captura profesional llamado Qualisys (2017), donde se encontró que la correlación para rastrear desplazamientos de articulaciones es del 78 %, mientras que para rastrear ángulos es del 58 %. De los hallazgos anteriores, el autor sugiere que el sensor Kinect es un dispositivo viable para la investigación biomecánica en general, con límites específicos sobre los niveles de rendimiento, dado la relación de algunos movimientos no convencionales (Alahaivala y Oinas-Kukkonen, 2016). Este dispositivo también ha sido evaluado y comparado con otros sistemas comerciales, como es el caso de Vicon, donde se ha medido correlaciones con respecto a medidas de ángulos superiores al 92 %, información importante que puede ser útil para la evaluación del movimiento funcional (Kumar et al., 2017). Por otra parte, autores como Gao et al. (2015) proponen en su estudio mejorar la fiabilidad de la estimación de la postura a través de dos sensores Kinect, a fin de garantizar la medición de los parámetros, aunque haya oclusión significativa bajo restricciones en el dominio temporal. Esta investigación aprovecha la información de las cámaras RGB para realizar mapeo de la nube de puntos, mediante visión estereoscópica; se encontró correlaciones entre esta y el mapa de profundidad Kinect alrededor del 90 %, siendo una alternativa viable en comparación a la Kinect monocular o sistemas como OptiTrack (2017).

Técnicas de análisis de movimiento

Una de las primeras implicaciones de usar sistemas a bajo costo es la necesidad de realizar un esfuerzo adicional en la parte computacional, con el objetivo de equiparar los resultados con los sistemas comerciales. En general, se requieren algoritmos capaces de realizar reconocimiento de elementos constitutivos del cuerpo humano, como articulaciones, segmentos corporales y demás. Es así como, los métodos de extracción de características de los gestos y patrones de movimiento han sido ampliamente estudiados y evaluados en cuanto a referentes comerciales. A continuación, se describe de las métricas de exactitud en algoritmos que permiten la extracción, reconocimiento y clasificación de gestos de movimiento (Tabla 1).

Tabla 1*Resumen de algoritmos de detección de movimiento*

Método	Autor	Algoritmos de extracción y Clasificadores	Exactitud
Kinect	Kim et al. (2017)		800 movimientos
		Algoritmo clasificador basado en KNN	85,66 %
		Algoritmo clasificador basado en SVM	93,92 %
		Algoritmo ELMC- Sigmoid	93,12 %
		Algoritmo ELMC- Hard limit	92,50 %
		Algoritmo propuesto PCA+ ADL	97,00 %
	Eltoukhy et al. (2017)	Comparación de Vicon Motion System y sensor Kinect	90 %
	Choi y Kim (2017)		18 gestos G3D
		3 Kinect+ algoritmo DTW	76,65 %
		DTW con rincipal sensores	79,55 %
		Compensación de movimiento DTW	83,75 %
		Compensación de punto de vista DTW	93,33 %
		Compensación completa DTW	97,77 %
	Kim et al. (2017).	Comparación de seguimiento de Multi-Kinect y sistema (Xsens)	6 tipos de movimiento 63,28 % and 85,33 %
	Yang et al. (2014)	Comparación de seguimiento de Multi-Kinect y sistema (OptoTrack)	Correlación 75 % Correlación :88 %
	Yavşan y Uçar (2016)	Algoritmo ELMC	99,5833 %,
		Feed-Forward Neural Networks (FNNs)	98,5417 %,
		Algoritmo clasificador basado en KNN	96,4583 %
	Liddy et al. (2017)	Algoritmo basado en aprendizaje de máquina	Correlación: 94,5 %
	Chi y Caldas (2012)	Segmentación de imágenes de rango	Identificación: 97,5 %

A partir de la Tabla 1 es posible establecer dos grandes líneas: aquellos algoritmos que trabajan sobre imágenes 2D y los que trabajan en el plano de profundidad. En los trabajos de Kim et al., (2017), Chi y Kim (2017), Yavşan y Uçar (2014), Liddy et al. (2017) es posible ver que las técnicas de Suport Vector Machine (SVM), k-Nearest Neighbor (KNN), rincipal Component Analysis (PCA) y Feed-Forward Neural Networks (FNNs) son los algoritmos más usados para el análisis y clasificación de movimiento.

Aplicaciones de los sistemas de captura en rehabilitación, marcha y ergonomía

Una vez se abordaron las características técnicas y tecnológicas, se procedió a detallar la aplicación de estos sistemas en algunas áreas de la salud: análisis de marcha humana, rehabilitación y ergonomía. En la Tabla 2 se realiza una clasificación de los estudios por su diseño, autores, tipo de población, descripción del contenido y área de aplicación.

Tabla 2

Resumen de diferentes estudios de aplicaciones de sistemas de captura

Diseño	Autores	Tipo	Población/ Pacientes	Contenido	Área
Caso de estudio	Al-Naji et al. (2017)	Kinect	Apnea de sueño	Sistema de monitoreo respiratorio	Rehabilitación
Caso de estudio	Chang et al. (2013)	Kinect	Parálisis cerebral	Sistema para mejorar	Rehabilitación
Serie de Casos	Chang et al. (2011)	Kinect	Discapacidades motoras	habilidades motoras Sistema para mejorar	Rehabilitación
Validación	Clark et al. (2012)	Kinect y múltiples cámaras	Sujetos sanos	habilidades motoras Sistema de evaluación de control postural y equilibrio.	Ergonomía
Ensayo Controlado		Sistema Smart 7000DX	Sujetos sanos	Sistema de evaluación de riesgo de lesiones deportivas	Biomecánica del deporte
Ensayo Controlado	Clark et al. (2015)	Kinect y sistema (3DMA)	Sujetos sanos	Evaluación de equilibrio estático y dinámico.	Ergonomía

Caso de estudio	Galna et al. (2014)	Kinect y Vicon 3D	Parkinson	Estudio comparativo	Rehabilitación
Ensayo Controlado	Ye et al. (2016)	Kinect y Vicon 3D	Sujetos sanos y apoplejías	Estudio comparativo	Marcha humana
Ensayo Controlado	Xu et al. (2015)	Kinect	Sujetos sanos	Estimar parámetros cinemáticos de la marcha	Marcha humana
Caso de estudio	Tong et al. (2015), Manghisi et al. (2017)	Sensores de fuerza	Sujetos con lesiones neurológicas	Juego serio para mejoramiento de destrezas	Rehabilitación
Ensayo Controlado	Villada y Muñoz (2014)	Kinect	Sujetos sanos	Evaluación de riesgo en puesto de trabajo mediante TEST RULA	Ergonomía
Ensayo Controlado	Macpherson et al. (2016)	Kinect	Sujetos con discapacidades motoras	Juego serio para mejoramiento de destrezas	Rehabilitación
Ensayo Controlado	Voon et al. (2016)	Kinect	Sujetos sanos	Medidas cinemáticas de tronco y pelvis en tiempo real	Marcha humana
Ensayo Aleatorio	Vernadakis et al. (2014)	Kinect	Sujetos con quemaduras en miembros inferiores	Juego serio para rehabilitación funcional	Rehabilitación
Patente	Haro (2014)	Sensor	No se específica	Herramienta de diagnóstico, predictiva o terapéutica	Rehabilitación

Sistemas de análisis de marcha humana

La marcha humana es uno de los mecanismos que utilizan los individuos para el desplazamiento bipedestal, lo realiza de una manera eficiente requiriendo un mínimo esfuerzo a nivel locomotor y energético. Es un proceso complejo que corresponde a una secuencia de movimientos sincrónicos de las extremidades de miembro inferior y superior, sujeto a un excelente papel del sistema nervioso central, que involucra movimiento de los huesos y fuerzas a cargo del sistema muscular (Cifuentes et al., 2010). Alteraciones en cualquiera de estos niveles son denominados intrínsecos y puede determinar modificaciones en los patrones de marcha. Existen, sin embargo, otros factores llamados extrínsecos, asociados al tipo de calzado, tipo de suelo y transporte de carga, que como consecuencia puede influir en el cambio de manera transitoria o permanente (Villa et al., 2008).

El patrón de marcha de una persona puede verse alterado en patologías asociadas a accidentes cerebro-vasculares, parálisis cerebral y como resultado de un accidente. El estudio del movimiento de los segmentos corporales del cuerpo humano se establece como una de las herramientas más objetivas para el diagnóstico de estas patologías, ya que esta valoración permite cuantificar el grado de evolución de la misma, así como la comparación de estos patrones con los de una marcha normal. La marcha puede ser valorada desde el punto de vista cinético y dinámico (Martínez et al., 2009). En el cinético se estudian causas del movimiento a nivel energético, se obtienen señales (EMG), monitoreo de fuerzas sobre el pie, torques generados en las articulaciones, etc. Con toda esa información es posible obtener un reporte clínico de diagnóstico que recopila los elementos cuantitativos de la marcha de las personas. Lo anterior tiene efectos directos sobre el paciente y sus familiares, ya que se obtienen ventajas como menor riesgo de complicaciones asociadas a patologías musculoesqueléticas; y una más rápida re inserción a sus actividades cotidianas.

En el mundo es posible encontrar diferentes aplicaciones médicas que permiten la captura de movimiento 3D con un alto grado de precisión, la desventaja radica en que muchas de estas tienen un alto costo y necesitan de un entorno completo de laboratorio para su correcto funcionamiento. Este artículo recopila una revisión bibliográfica de los métodos de valoración de marcha y ergonomía, se hace énfasis en las aplicaciones del sensor Microsoft Kinect y los avances tecnológicos en este dispositivo; finalmente se describen las principales aplicaciones de Kinect como herramienta de rehabilitación, diagnóstico y medición (Agudelo et al., 2013). Debido a la complejidad de los factores involucrados, es necesario la realización de una valoración por parte de un profesional especializado en el área; él debe tener la capacidad de examinar de manera completa las características mencionadas anteriormente, para ofrecer alternativas de rehabilitación y mejora de su condición patológica. El patrón de marcha debe ser evaluado sobre la base de un examen clínico exhaustivo, debe realizarse de acuerdo con el modelo de la CIF-IA (Clasificación Internacional del funcionamiento de la discapacidad física), describir los factores ambientales, expectativas, preocupaciones y el impacto que tendría en su condición en la calidad de vida (Yeung et al., 2014).

El análisis de la marcha puede ser evaluada desde los enfoques de la cinética y cinemática. Mientras la cinemática busca describir el movimiento del sujeto en relación con medidas fundamentales como desplazamiento, variación angular de las articulaciones, velocidad de los segmentos corporales; en el cinético se miden variables como gasto energético, estado electrofisiológico, gasto cardiopulmonar y fuerzas de las articulaciones. Con esta información recopilada es posible generar un reporte clínico con elementos objetivos para la valoración del patrón de marcha, con la posibilidad de una representación tridimensional, que permite complementar la información para un diagnóstico adecuado (Dao et al. 2016). Para la evaluación pueden utilizarse métodos cualitativos, como la observación del patrón de marcha, o cuantitativos, basado en la obtención de datos en sensores, siendo el segundo un método más objetivo, ya que permite una valoración más fiable, evita posibles errores de interpretación en

evaluación cualitativa observacional. En la siguiente sección se realiza una búsqueda bibliográfica de los sistemas de medición más usados desde el contexto histórico.

a) Sistemas de análisis en rehabilitación: En la actualidad es cada vez más común el concepto de videojuego serio, estas son actividades que puede realizar una persona mediante los estímulos interactivos que simulan sensaciones de presencia. Tienen dos objetivos: divertir al paciente en su terapia, y proporcionarle al especialista una herramienta para el registro y análisis de datos de captura de movimiento. En este sentido, Cardona y Muñoz (2016) proponen el desarrollo de un sistema interactivo de recuperación basado en Kinect para el monitoreo de las señales electromiográficas, durante los ejercicios de rehabilitación de miembro inferior, en entornos no clínicos; centraron su investigación en desarrollar ejercicios de rehabilitación supervisados. Uno de los mayores aportes de este trabajo es la fusión entre Kinect y otros sensores que permiten obtener datos del movimiento, la articulación en 3D con alta precisión.

Hay patologías que afectan y aceleran el deterioro cognitivo y funcional de las personas, muchas veces el resultado de una lesión neurológica puede tener consecuencias devastadoras en tareas tales como incapacidad para ejercer actividades cotidianas e instrumentales (Shin et al. 2015). Dentro de esta perspectiva, Manghisi et al. (2017) proponen la implementación de una herramienta basada en el concepto de juego serio para ayudar a los terapeutas ocupacionales a evaluar el funcionamiento cognitivo y funcional, con el fin de identificar signos de deterioro y mejorar potencialmente las habilidades. Estudios similares proponen el desarrollo de herramientas para la rehabilitación de adultos con discapacidades motoras debido a parálisis. El estudio evidenció un aumento significativo en motivación para la rehabilitación física y rendimiento durante el ejercicio fases de intervención (Chang et al., 2011). Algunos estudios indican que la rehabilitación de realidad virtual basada en juegos tiene efectos específicos en la calidad de vida relacionada con la salud, la depresión y la función de las extremidades superiores, en pacientes con golpe hemiparético (Valdenebro et al., 2016).

El sensor Kinect también ha sido usado para la observación de las frecuencias respiratorias en abdomen y tórax, al igual que la detección de apnea, mediante el análisis de secuencias de imágenes en tiempo real capturadas en posición de sueño. Los resultados experimentales en un conjunto de datos de video mostraron que el sistema de monitoreo puede medir con precisión la frecuencia respiratoria y, por lo tanto, es una alternativa eficiente para los sistemas de monitoreo del sueño en el hogar (Al-Naji et al., 2017). El uso de datos de captura de movimiento para analizar el rendimiento de ciertos ejercicios en el gesto deportivo es vital para el mejoramiento de las habilidades motrices, es aquí donde se propone la posibilidad de comparar los datos de movimiento para un individuo con una base de datos de movimientos grabados para una población, con el fin de generar un régimen de entrenamiento personal y de esta manera lograr monitorear el progreso de cada persona.

b) Sistemas de análisis en ergonomía: En esta área ha sido usado para la captura de movimiento en puestos de trabajo. En general, estas aplicaciones permiten reproducir el movimiento del trabajador en un modelo biomecánico tridimensional para la posterior evaluación ergonómica de los riesgos musculoesqueléticos derivados de la actividad realizada. En la actualidad existen diferentes sistemas muy avanzados para la captura de movimiento, pero requieren condiciones de laboratorio, sin mencionar los costos y altos requisitos de capacitación de los profesionales que los utilizan (Marín et al., 2004).

A nivel comercial, se proponen aplicaciones que incorporen sensores junto con sensores ópticos, de esta manera es posible reconstruir en tres dimensiones el puesto de trabajo y conocer con precisión los aspectos dimensionales del puesto, lo cual es de gran ayuda, debido a que no es necesario hacer ninguna medición en el puesto de trabajo. Una vez realizada la captura, la información recogida en campo se procesa mediante diferentes tipos de software, con la capacidad de visualizar el movimiento resultante sobre un modelo biomecánico, cuya antropometría se puede variar de forma automática para analizar los riesgos de los sujetos. En resumen, el propósito está dirigido a técnicos de prevención de riesgos laborales que realizan estudios de campo, ya que les facilita la elaboración de los estudios ergonómicos correspondientes y la valoración del riesgo. Por lo tanto, al introducir algunos parámetros, tales como la fuerza aplicada, los pesos manejados o la frecuencia de los movimientos, se está en condiciones de aplicar diferentes métodos de evaluación. En este sentido, existen aplicaciones comerciales registradas como patentes, donde se propone una configuración que permite la captura de una secuencia de mapas de profundidad a lo largo del tiempo del miembro superior, esta información es procesada para detectar una dirección y velocidad de movimiento de la parte del cuerpo para análisis de puestos de trabajo.

Conclusiones

Existen diferentes tipos de sistemas de captura de movimiento en rehabilitación neurológica, marcha y ergonomía, se basan, en su mayoría, en el sensor Microsoft Kinect. Casi todas las aplicaciones se dirigen a pacientes con accidente cerebrovascular y se centran en el entrenamiento de la extremidad superior. Estudios comparativos de Kinect con respecto a los demás sistemas comerciales evidencian que es validada en términos de eficacia de la detección, repetibilidad, resolución para medición de segmentos, como de ángulos, lo que permite establecer una solución pertinente en aplicaciones médicas, dado su bajo costo y alta reproducibilidad.

Referencias

- Agudelo, A., Briñez, T., Guarín, V., Ruiz, J. y Zapata, M. (2013). Marcha: descripción, métodos, herramientas de evaluación y parámetros de normalidad reportados en la literatura. *CES Movimiento y Salud*, 1(1), 29-43.
- Alahaivala, T. & Oinas-Kukkonen, H. (2016). Understanding persuasion contexts in health gamification: A systematic analysis of gamified health behavior change support systems literature. *International Journal of Medical Informatics*, 96, 62-70.
- Al-Naji, A., Gibson, K., Lee, S. & Chahl, J. (2017). Real Time Apnoea Monitoring of Children Using the Microsoft Kinect Sensor: A Pilot Study. *Sensors (Basel)*, 17(2).
- Bonnechere, B., Jansen, B., Salvia, P. & Bouzahouene, H. (2013). Validity and reliability of the Kinect within functional assessment activities: comparison with standard stereophotogrammetry. *Gait Posture*, 39(1), 593-598.
- Brandao, A., Díaz, D., Castellano, G., Parizotto, N. & Trevelin, L. (2016). RehabGesture: An Alternative Tool for Measuring Human Movement., *Telemed J E Health*, 22(7), 584-589
- Brokaw, E., Eckel, E. & Brewer, B. (2015). Usability evaluation of a kinematics focused Kinect therapy program for individuals with stroke. *Technol Health Care*, 23(2), 143-151.
- Camargo, E., Garzón, Y. y Camacho, V. (2012). Sistema portátil de captura de movimiento para el análisis cinemático de la marcha humana. *Tecnura*, 16(34), 67-83.
- Cardona, H. y Muñoz, J. (2016). Multidisciplinary production of interactive environments to support occupational therapies. *Journal of Biomedical Informatics*, 63, 90-99
- Castelli, A., Paolini, G., Cereatti, A. & Della, U. (2015). A 2D Markerless Gait Analysis Methodology: Validation on Healthy Subjects. *Computational and Mathematical Methods in Medicine*, 2015(1). <https://www.hindawi.com/journals/cmmm/2015/186780/>
- Chang, Y., Chen, S. & Huang, J. (2011). A Kinect-based system for physical rehabilitation: a pilot study for young adults with motor disabilities. *Res Dev Disabil*, 32(6), 2.566-2.570.
- Chang, Y., Han, W. & Tsai, Y. (2013). A Kinect-based upper limb rehabilitation system to assist people with cerebral palsy. *Res Dev Disabil*, 34(11), 3.654-3.659.
- Chi, S. & Caldas, C. (2012). Image-Based Safety Assessment: Automated Spatial Safety Risk Identification of Earthmoving and Surface Mining Activities. *Journal of Construction Engineering and Management*, 138(3), 341-351.

- Choi, H. & Kim, T. (2017). Combined Dynamic Time Warping with Multiple Sensors for 3D Gesture Recognition. *Sensors (Basel)*, 17(8).
- Cifuentes, C., Martínez, F. y Romero, E. (2010). Análisis teórico y computacional de la marcha normal y patológica: una revisión. *Revista Médica*, 18(2), 182-196.
- Clark, R., Pua, Y., Fortin, K., Rirchie, C., Webster, K., Denehy, L. & Bryant, A. (2012). Validity of the Microsoft Kinect for assessment of postural control. *Gait & Posture*, 36(3), 372-377
- Clark, R., Pua, Y., Oliveira, C., Bower, K., Thilarajah, S., McGaw, R., Hasanki, K. & Mentiplay, B. (2015). Reliability and concurrent validity of the Microsoft Xbox One Kinect for assessment of standing balance and postural control. *Gait & Posture*, 42(2), 210-213
- Dao, T., Tannous, H., Pouletaut, P., Gamet, D., Istrate, D., Tho, H. (2016). Interactive and Connected Rehabilitation Systems for E-Health. *IRBM*, 37(5-6), 289-296.
- Eltoukhy, M., Oh, J., Kuenze, C. & Signorile, J. (2017). Improved kinect-based spatiotemporal and kinematic treadmill gait assessment. *Gait Posture*, 51, 77-83
- Galna, B., Barry, G., Jackson, D., Mhiripiri, D., Oliver, P. & Rochester, L. (2014). Accuracy of the Microsoft Kinect sensor for measuring movement in people with Parkinson's disease. *Gait & Posture*, 39(4), 1.062-1.068
- Gao, Z., Yu, Y., Zhou, Y. & Du, S. (2015). Leveraging Two Kinect Sensors for Accurate Full-Body Motion Capture. *Sensors (Basel)*, 15(9), 24.297-24.317. <https://doi.org/10.3390/s150924297>
- Haro, M. (2014). Laboratorio de análisis de marcha y movimiento. *Revista Médica Clínica Las Condes*, Vol.25(2), 237-247.
- Inamura, T., Unenaka, S., Shibuya, S., Ohli, Y., Oochida, Y. & Izumi S. (2016). Development of VR platform for cloud-based neurorehabilitation and its application to research on sense of agency and ownership. *Advanced Robotics*, 31(1), 97-106.
- Kim, D., Kim, D. & Kwak, K. (2017). Classification of K-Pop Dance Movements Based on Skeleton Information Obtained by a Kinect Sensor. *Sensors (Basel)*, 17(6). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5492663/>
- Kim, Y., Baek, S. & Bae, B. (2017). Motion Capture of the Human Body Using Multiple Depth Sensors. *ETRI Journal*, 39(2), 181-190.
- Kumar, P., Gauba, H., Pratim, P. & Dogra, D. (2017). A multimodal framework for sensor based sign language recognition. *Neurocomputing*, 259, 21-38.

- Lamine, H., Bennour, S., Laribi, M., Romdhane, L. & Zaghoul. (2017). Evaluation of Calibrated Kinect Gait Kinematics Using a Vicon Motion Capture System. *Computer Methods in Biomechanics and Biomedical Engineering*, 20(1), 111-112.
- Liddy, J., Zelaznik, H., Huber, J., Rietdyk, S., Claxton, L., Samuel, A. & Haddad, J. (2017). The efficacy of the Microsoft Kinect(TM) to assess human bimanual coordination. *Behav Res Methods*, Vol.49(3), 1.030-1.047.
- Macpherson, T., Taylor, J., McBain, T., Weston, M. & Spears, I. (2016). Real-time measurement of pelvis and trunk kinematics during treadmill locomotion using a low-cost depth-sensing camera: A concurrent validity study. *J Biomech*, 49(3), 474-478.
- Manghisi, V., Uva, A., Fiorentino, M., Bevilacqua, V., Trotta, G. & Monno, G. (2017). Real time RULA assessment using Kinect v2 sensor. *Appl Ergon*, 65, 481-491.
- Marín, J., Boné, M., Ros, R., Martínez, J. y Álvarez, J. (2004). Move-Human: Sistema portátil para captura y análisis tridimensional del movimiento humano en puestos de trabajo basado estéreo-visión y simulación 3D con modelos biomecánicos. *VIII Congreso Internacional de Ingeniería de Proyectos. Bilbao*. https://www.aeipro.com/files/congresos/2004bilbao/ciip04_1113_1120.1311.pdf
- Martínez, F., Gómez, F., y Romero, E. (2009). Análisis de vídeo para estimación del movimiento humano: una revisión. *Revista Médica*, 17(1), 95-106.
- Muñoz-Cardona, J., Henao-Gallo, O. y López-Herrera, J. (2013). Sistema de rehabilitación basado en el uso de análisis biomecánico y videojuegos mediante sensor Kinect. *Tecnológicas*, (edición especial), 43-54.
- Shin, J., Bog Park, S. & Ho Jang, S. (2015). Effects of game-based virtual reality on health-related quality of life in chronic stroke patients: A randomized controlled study. *Comput Biol Med*, 63, 92-98
- Spooren, A., Janssen-Potten, Y., Kerckhfs, E., Bongers, H. & Seelen, J. (2011). ToCUEST: a task-oriented client-centered training module to improve upper extremity skilled performance in cervical spinal cord-injured persons. *Spinal Cord*, 49(10), 1.042-1.048.
- Tannous, H., Istrate, D., Ho, M. & Dao, T. (2016). Feasibility study of a serious game based on Kinect system for functional rehabilitation of the lower limbs. *European Research in Telemedicine*, 5(3), 97-104.
- Tong, T., Chignell, M. & Sieminowski, T. (2015). Case Study: A Serious Game for Neurorehabilitation Assessment. *Procedia Computer Science*, 69, 125-131.

- Valdenebro, L., López, M., Quirós, A., Montiel, L. y Sánchez, J. (2016). Evaluación ergonómica de un puesto de trabajo en el sector metalmeccánico. *Revista Ingeniería Industrial*, 15(1), 69-83.
- Vernadakis, N., Derri, V., Tsitskari, E. & Antoniou, P. (2014). The effect of Xbox Kinect intervention on balance ability for previously injured young competitive male athletes: A preliminary study. *Physical Therapy in Sport*, 15(3), 148-155.
- Vilaseca, J., Figuera, R. y Müller, B. (2005). Técnicas instrumentales de diagnóstico y evaluación en rehabilitación: estudio de la marcha. *Rehabilitación*, 39(6), 305-314.
- Villa, A., Gutiérrez, E. y Pérez, J. (2008). Consideraciones para el análisis de la marcha humana, Técnicas de videogrametría, electromiografía y dinamometría. *Revista ingeniería biomédica*, 2(3), 16-26.
- Villada, F. y Muñoz, J. (2014). Desarrollo de un software de análisis biomecánico a través de datos de captura de movimiento usando el sensor KINECT para rehabilitación asistida con video juegos. *Entre Ciencia e Ingeniería*, 8(16), 72-77.
- Voon, K., Silberstein, I., Eranki, A., Phillips, M., Wood, F. & Edgar, D. (2016). Xbox Kinect™ based rehabilitation as a feasible adjunct for minor upper limb burns rehabilitation: A pilot RCT. *Burns*, 42(8), 1.797-1.804.
- Xu, X., McGorry, R., Chou, L., Lin, J. & Chang, C. (2015). Accuracy of the Microsoft Kinect for measuring gait parameters during treadmill walking. *Gait & Posture*, 42(2), 145-151
- Yang, Y., Pu, F., Li, Y., Li, S., Fan, Y. & Li, D. (2014). Reliability and Validity of Kinect RGB-D Sensor for Assessing Standing Balance. *IEEE Sensors Journal*, 14(5), 1.633-1.638
- Yavşan, E. & Uçar, A. (2014). Gesture imitation and recognition using Kinect sensor and extreme learning machines. *Measurement*, 94, 852-861.
- Ye, M., Yang, C., Stankovic, V., Stankovic, L. & Kerr, A. (2016). A Depth Camera Motion Analysis Framework for Tele-rehabilitation: Motion Capture and Person-Centric Kinematics Analysis. *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, 10(5), 877-887.
- Yeung, L., Cheng, K., Fong, C., Lee, W. & Tong, K. (2014). Evaluation of the Microsoft Kinect as a clinical assessment tool of body sway. *Gait Posture*, 40(4), 532-538.