

Automatización para la evaluación ergonómica integrando las tecnologías de realidad virtual, captura de movimiento, electromiografía de superficie y uso de exoesqueleto

G. Salcedo Eugenio¹, D. Ojados González¹, I.J. Ibarra Berrocal¹, A. Macián Morales¹

¹Servicio de Apoyo a la Investigación Tecnológica (SAIT), Universidad Politécnica de Cartagena, Cartagena, España
{gustavo.salcedo, lola.ojados, isidro.ibarra, alvaro.macian}@upct.es

Resumen

Este proyecto trata el desarrollo de un sistema automático de evaluación ergonómica en tiempo real, lo que permitirá realizar un análisis biomecánico basado en los métodos más relevantes de evaluación ergonómica, para identificar riesgos de lesiones musculoesqueléticas de un trabajador durante la ejecución de su tarea.

Mediante una aplicación de realidad virtual se integran los movimientos de un trabajador en un modelo virtual utilizando la tecnología de captura de movimiento que permite obtener posiciones y ángulos de las articulaciones. Adicionalmente permite obtener parámetros biológicos de esfuerzos musculares mediante un sistema de electromiografía de superficie.

En la aplicación virtual se programarán los métodos de evaluación ergonómica (Rula, Reba y ecuación NIOSH, entre otros) y se visualizarán las alertas de las posturas forzadas, sobreesfuerzos y parámetros biológicos.

Este sistema facilitará la labor del técnico de prevención, proporcionando información objetiva, fiabilidad en las mediciones, se podrá utilizar en cualquier entorno y permitirá realizar una evaluación ergonómica en tiempo real y generar un informe final cuando finalice la evaluación.

1. Introducción

Las nuevas tecnologías abarcan casi todas las disciplinas, la ingeniería del factor humano puede aprovechar estas nuevas herramientas para implementarlas en alguno de sus métodos convencionales basados en técnicas de evaluación subjetiva. Actualmente, existen herramientas de medición que eliminan cualquier factor subjetivo y aportan datos objetivos para los análisis.

Un ejemplo de estas nuevas herramientas es la captura de movimiento, o mocap por sus siglas en inglés (Motion Capture), es una tecnología utilizada en la industria del entretenimiento y la animación para registrar y digitalizar los movimientos de objetos o seres vivos en el mundo real y luego aplicar esos movimientos a modelos digitales en 3D. Esto se logra mediante el uso de sensores, cámaras y software especializado que rastrean y registran los movimientos en tiempo real. (Ver Figura 1).

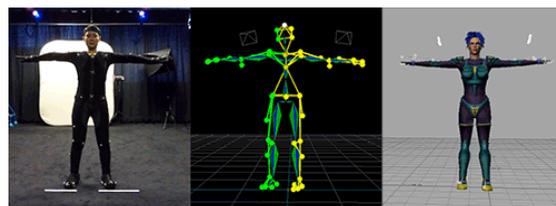


Figura 1. Mocap (Sistema óptico)

Fuente: <https://coatayork1.wordpress.com/2015/03/15/post-proceso-del-mocap/>

El Mocap Inercial es una tecnología de captura de movimiento que utiliza sensores inerciales, como acelerómetros y giroscopios, para registrar y rastrear movimientos en tiempo real. Estos sensores se colocan en el cuerpo o en objetos, eliminando la necesidad de marcadores externos. (Ver Figura 2).



Figura 2. Mocap (Sistema no óptico / Seguimiento inercial)

Fuente: <https://www.awn.com/news/mpc-puts-new-xsens-motion-capture-system-work>

Los movimientos digitalizados pueden analizarse en un escenario virtual utilizando los datos procesados que se capturaron y generando evaluaciones objetivas que podrían sustituir a los métodos actuales de observación para medir los ángulos posturales que son incluidos en un informe con una puntuación de riesgo.

Otra tecnología que se aprovecha en este proyecto es la Realidad Virtual (VR) concretamente la realidad virtual no inmersiva, se refiere a experiencias de realidad virtual que no requieren el uso de cascos o gafas de VR para bloquear completamente la vista del mundo real. En cambio, estas experiencias de VR se ejecutan en dispositivos de pantalla tradicionales, como computadoras, tabletas y teléfonos móviles.

Aunque la VR no inmersiva ofrece una experiencia menos envolvente en comparación con la VR inmersiva, sigue siendo una forma valiosa de experimentar contenido virtual y puede ser más accesible y económica. (Ver Figura 3).



Figura 3. Realidad Virtual no inmersiva

Fuente: <https://www.fisioterapia-online.com/articulos/realidad-virtual-una-alternativa-terapeutica-en-fisioterapia>

Además, se incluye la "electromiografía de superficie" (sEMG) que es una técnica médica utilizada para registrar la actividad eléctrica superficial de los músculos. A diferencia de la electromiografía de aguja, que implica la inserción de agujas delgadas en los músculos para medir la actividad eléctrica directamente, la sEMG coloca electrodos en la piel sobre los músculos que se están evaluando. (Ver Figura 4).

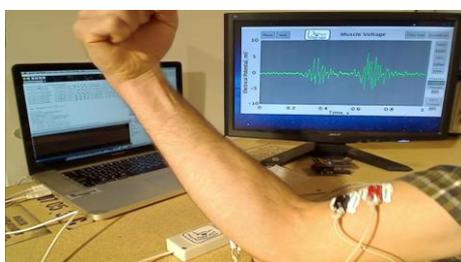


Figura 4. sEMG

Fuente: <https://fisioterapeutaadomicilio.es/electromiograma-superficie-biofeedback-muscular/>

Estos electrodos registran las señales eléctricas generadas por los músculos durante su contracción y relajación. La sEMG es menos invasiva que la EMG de aguja y se utiliza a menudo en estudios de investigación, evaluaciones de rendimiento muscular en deportes y fisioterapia.

En este proyecto se aplican las anteriores tecnologías a la ingeniería del factor humano, específicamente a la evaluación ergonómica. Los métodos de evaluación ergonómica permiten identificar y valorar los factores de riesgo presentes en los puestos de trabajo para, posteriormente, en base a los resultados obtenidos, plantear opciones de rediseño que reduzcan el riesgo y lo sitúen en niveles aceptables de exposición para el trabajador. La exposición al riesgo de un trabajador en un puesto de trabajo depende de la amplitud del riesgo al que se expone, de la frecuencia del riesgo y de su duración (las posturas forzadas, los levantamientos de carga, la repetitividad de movimientos, etc.). Dicha información es posible obtenerla mediante métodos de evaluación ergonómica.

Finalmente se incluirán pruebas con un exoesqueleto textil para soporte lumbar que está compuesto por una estructura flexible diseñada para ser usada en el cuerpo humano y proporcionar soporte, protección o mejora de la movilidad. A diferencia de los exoesqueletos tradicionales hechos de materiales rígidos como metal, los

exoesqueletos textiles utilizan tejidos y materiales flexibles para lograr sus objetivos. Incorporan elementos elásticos o compresivos para ayudar a los usuarios a moverse con mayor facilidad, reducir la fatiga muscular o brindar soporte a áreas específicas del cuerpo. (Ver Figura 5).



Figura 5. Exoesqueleto textil HELK

Fuente: <https://www.gogo.eu/en/exoesqueleto-sociosanitario-helk>

El objetivo del proyecto es crear un sistema automático y portátil de evaluación ergonómica, basado en las tecnologías de realidad virtual, captura de movimiento y electromiografía de superficie. Integrar los principales métodos de evaluación ergonómica para generar un análisis biomecánico e identificar riesgos de lesiones musculoesqueléticas de un trabajador durante la ejecución de su tarea.

2. Metodología

La adquisición de datos y variables del trabajador se genera mediante tres tecnologías. La captura de movimiento (MoCap) se realiza utilizando un hardware inalámbrico con sensores inerciales (Traje Perception Neuron Pro) y mediante el software (Axis Neuron Pro), se captura en tiempo real los movimientos en un modelo virtual. (Ver Figuras 6 y 7).



Figura 6. Mocap (Perception Neuron Pro)

Fuente: https://www.aiuto-jp.co.jp/products/product_2459.php

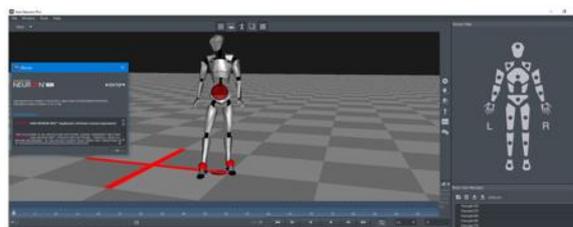


Figura 7. Axis Neuron Pro

Los datos obtenidos se exportan en tiempo real y de forma sincronizada al software de realidad virtual Unity. Unity es un software esencial en la industria del

desarrollo de videojuegos y aplicaciones interactivas debido a su versatilidad, capacidad multiplataforma y amplia base de usuarios. (Ver Figura 8).



Figura 8. Software UNITY

En Unity se visualiza el modelo virtual y se programan los métodos más relevantes para realizar una evaluación ergonómica (REBA, RULA, NIOSH, OWAS y BIO-MEC).

El sistema visualiza alertas de los ángulos críticos de las articulaciones, los sobreesfuerzos de los músculos y la superación de los límites de los parámetros biológicos.

Por medio del sistema inalámbrico y portátil de sEMG Delsys Trigno se adquieren los datos eléctricos de los músculos que intervienen. (Ver Figura 9).



Figura 9. sEMG DELSYS Trigno Wireless

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/DELSYS-Trigno-wireless-EMG-measurement-instrument_fig2_279278282

En el software EMGworks Acquisition se configuran, visualizan y guardan los datos de los sensores sEMG. (Ver Figura 10).

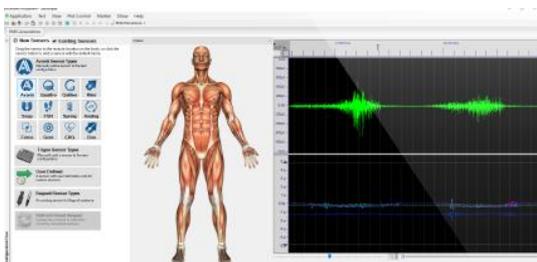


Figura 10. EMGworks Acquisition

Fuente: <https://www.medicaexpo.fr/prod/delsys/product-123919-989599.html>

3. Resultados

Se ha desarrollado un procedimiento de trabajo para la validación del uso de las tecnologías de Mocap y sEMG.

Se realizó un estudio piloto en una muestra de población de personal sanitario (Personal limpieza de hospital – Auxiliar de enfermería del Hospital General Universitario Santa Lucía “HGUSL”). Además, se incorporó el empleo de un exoesqueleto para comparar las posturas y esfuerzos realizados durante la jornada laboral usando o no este dispositivo. (Ver Figura 11).

Se toman datos en campo para realizar la evaluación ergonómica en tiempo real de las tareas de limpieza de pacientes, cambio de sábanas y acondicionamiento de camas en los ámbitos hospitalario.

Para la toma de datos en campo se selecciona una muestra de 5 trabajadores/as voluntarios/as que realicen las tareas indicadas anteriormente, primero sin ayuda del exoesqueleto y posteriormente con ayuda del exoesqueleto, durante al menos 5 horas de su jornada de trabajo.

El procedimiento de toma de datos se realizó colocando el traje Mocap y sensores sEMG en el trabajador en uno de los ensayos con una duración de 2 horas, un descanso de 1 hora para recarga de sensores y en el siguiente ensayo se incorporó el exoesqueleto durante 2 horas.

Se tomaron fotografías y captura de vídeo, por lo que fue necesario la autorización de los implicados según lo indicado en la ley de protección de datos.



Figura 11. Mocap, sEMG y exoesqueleto durante el ensayo

El sistema de captura de movimiento (Mocap) permitió registrar y analizar los movimientos corporales durante la actividad laboral, brindando información precisa sobre las posturas adoptadas, la amplitud de movimiento y la interacción de los empleados con su entorno de trabajo. (Ver Figura 12).

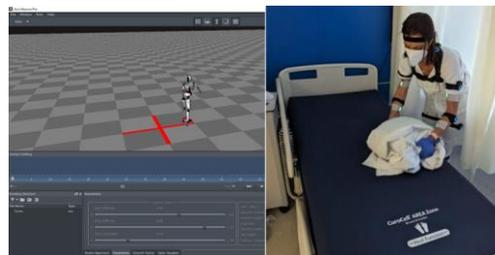


Figura 12. Voluntaria del HGUSL con Mocap y sEMG

Por otro lado, los equipos de electromiografía hicieron posible la medición de los esfuerzos musculares realizados por los trabajadores, registrando la actividad

eléctrica de los músculos y proporcionando datos objetivos sobre la carga física a la que se vieron sometidos durante sus labores diarias. (Ver Figura 13,14 y 15).



Figura 13. Voluntaria del HGUSL con sensores de sEMG

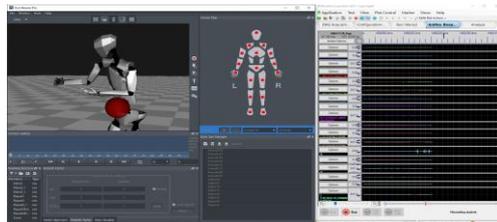


Figura 14. Adquisición de datos Mocap y sEMG

En el software Unity se realiza la integración de los sistemas Mocap, sEMG y métodos de evaluación ergonómica.

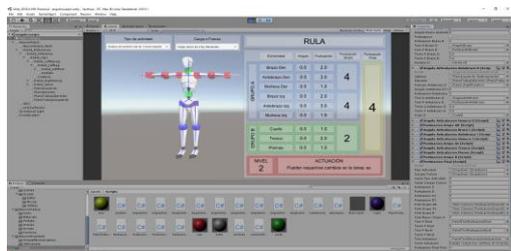


Figura 15. Integración de Mocap, sEMG y Sistema automático de evaluación ergonómica en Unity

Por medio de una encuesta se recogió la opinión de cada trabajador para evaluar la experiencia de uso del exoesqueleto. Se obtienen datos del perfil del entrevistado y opinión sobre el exoesqueleto.

4. Conclusiones

Este sistema facilita la labor del técnico de prevención, proporciona información objetiva, fiabilidad en las mediciones, se puede utilizar en cualquier entorno y permite aplicar los métodos ergonómicos más relevantes generando un informe final.

Es una herramienta tecnológica para analizar y evaluar las posturas de un trabajador, genera un modelo 3D en tiempo real, fácil de calibrar, configurable para percentiles de ambos géneros y los datos obtenidos se almacenan en una base de datos.

El exoesqueleto proporciona soporte adicional a las extremidades del cuerpo, reduciendo la carga sobre las articulaciones y mejorando la movilidad de los usuarios. Además, los trabajadores del sector sanitario pueden utilizar este exoesqueleto para reducir la fatiga muscular y

prevenir lesiones musculoesqueléticas al levantar y transportar pacientes.

Según los datos de la encuesta realizada a cada trabajador, el exoesqueleto es cómodo, ligero, fácil de utilizar, ajustable al cuerpo, permite realizar todos los movimientos necesarios para llevar a cabo el trabajo, no es transpirable, genera una sensación de calor en la zona lumbar y piernas. Respecto al traje Mocap, los sensores de las manos son incómodos a la hora de realizar su trabajo.

Posteriormente se realizará el análisis biomecánico basado en los métodos más relevantes de evaluación ergonómica, para identificar riesgos de lesiones o traumatismos musculoesqueléticos de un/a trabajador/a durante la ejecución de tareas propias de su puesto de trabajo.

La inclusión del exoesqueleto en las pruebas permitirá realizar evaluaciones y comparaciones adicionales en cuanto a las posturas adoptadas y los esfuerzos ejercidos por los empleados en sus tareas con y sin su ayuda. Este dispositivo, diseñado para asistir y mejorar la biomecánica del cuerpo humano, facilita información valiosa para la investigación.

Agradecimientos

Por último, agradecer el apoyo y compromiso al SEDIC (Servicio de Diseño Industrial y Cálculo Científico) de la UPCT y al Hospital General Universitario Santa Lucía.

Referencias

- [1] Balasubramanian, K R. (2018). Fatigue Evaluation in Manual Handling Using Surface EMG and Ergonomic Design of Trolley. *Ergonomics International Journal*. 2. 10.23880/EOIJ-16000145.
- [2] Plantard, P., Shum, H., Multon, F. (2017). Usability of corrected Kinect measurement for ergonomic evaluation in constrained environment", *International Journal of Human Factors Modelling and Simulation*, 5(4), 338.
- [3] Bleser, G., Miezal, M., Christmann, C., Bleser, G., Taetz, B., Miezal, M., Christmann, C., Steffen, D. (2017). Development of an Inertial Motion Capture System for Clinical Application. *De Gruyter Oldenbourg*. [Online]. 16(2), 113–129, 2017. [date of reference October 25th of 2017]. Available at: <https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/icom.2017.16.issue-2/icom-2017-0010/icom2017-0010.pdf>
- [4] Wu, J., Wang, Z., Raghuraman, S., Prabhakaran, S., Jafari, R. (2014). Demonstration abstract: Upper body motion capture system using inertial sensors. *IPSN-14 Proceedings of the 13th International Symposium on Information Processing in Sensor Networks*, pp. 351–352.
- [5] Jing, C., Lei, Y., Jiasun, D. et al. (1994). The application of surface electromyography in the assessment of ergonomic risk factors associated with manual lifting tasks. *J. Huazhong Univ. Sci. Technol. [Med. Sci.]* 24, 552–555. <https://doi.org/10.1007/BF02911352>