

**PROFESSIONAL SAFETY**

JOURNAL OF THE AMERICAN SOCIETY OF SAFETY PROFESSIONALS

**PSJ**



**EXOSKELETONS**  
for Injury Prevention

**Identifying Toxic  
Leadership & Building  
Worker Resilience**

**Inside the Active Shooter  
Technical Report**

**Leading Edge Fall Protection**

**Protective Footwear**

**ASSP.ORG**

**MARCH 2019**

# EXOSKELETONS

TECHNOLOGY

## Utilización como EPI para la prevención de lesiones

por Terry Butler and Jason C. Gillette



**ESTE ARTÍCULO SE ENFOCA EN LA PREVENCIÓN** de los trastornos musculoesqueléticos del hombro (TME) comúnmente asociados con la fatiga muscular y el uso excesivo repetitivo en un entorno ocupacional. El propósito y la motivación de los autores es la posible consideración de los exoesqueletos como EPI para la prevención de lesiones en el hombro.

Un exoesqueleto de la parte superior del cuerpo es una tecnología portátil diseñada para mejorar la salud musculoesquelética de las extremidades superiores en profesionales y trabajadores especializados que realizan movimientos repetitivos del brazo o elevación estática de los brazos. Algunos exoesqueletos de parte superior (como el que se muestra en las fotos de las páginas 32 y 34) son livianos y transfieren el peso de los brazos desde los hombros, el cuello y la parte superior de la espalda hasta el centro del cuerpo, distribuyendo la energía de manera uniforme para reducir la fatiga.

### La prevención de lesiones y evaluación ergonómica

OSHA ofrece consultoría para evaluar cómo proteger mejor un trabajador de una lesión. El primer paso es tratar de eliminar el peligro de lesión. Cuando la eliminación no es posible, es mejor identificar un control de proceso de ingeniería adecuado. Si eso no funciona, entonces se pueden considerar controles administrativos. Por ejemplo, un estudio realizado definió que las tareas de soldadura conllevan el riesgo de desarrollar tendinitis del supraespinoso y que el dolor de hombro disminuyó después de la relajación y la modificación del modo de trabajo (Herberts, Kadefors, Andersson y col., 1981). Desafortunadamente, los trabajadores muchas veces se ven abocados a soportar esas deficiencias debido a diseños de puesto de trabajo defectuosos debido a que la solución es costosa de implementar. Por último, cuando el peligro no se puede eliminar o controlar se deben de utilizar EPIs. El EPI es cualquier dispositivo o aparato diseñado para ser usado por una persona cuando se expone a uno o más peligros para la seguridad y la salud.

Diversos estudios han demostrado la asociación entre fatiga muscular, des confort y reducción del rendimiento debido a la posición de brazos, sobre todo en trabajos repetitivos por encima de la cabeza.

A través de la investigación continua, diversas articulaciones del cuerpo han sido expuestas a factores de riesgo como carga excesiva, larga duración, alta frecuencia, posturas ergonómicamente desfavorables etc .. (Rostykus & Mallon, 2017). Un ejemplo es la herramienta de evaluación rápida de miembros superiores, que se basa en relaciones dosis- respuesta para lesiones de TME (Bernard, 1997; Marras, Allread, Burr, et al., 2000; Marras, Fine, Ferguson y col., 1999; Törnström, Amprazis, Cristo- ansson, et al., 2008). Otro ejemplo es el estudio de Rodgers sobre análisis de métodos de fatiga muscular. Las evaluaciones ergonómicas son una herramienta valiosa para determinar tareas laborales que involucran factores de riesgo donde los exoesqueletos pueden ser útil como EPI para prevenir los TME.

### Estudios Previos sobre músculos Fatiga & Exoesqueletos

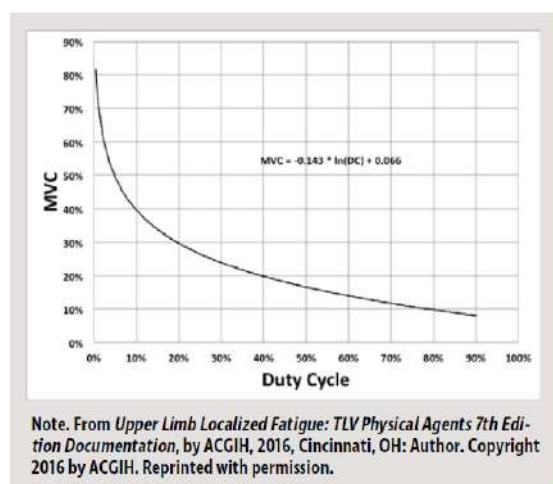
La fatiga es difícil de evaluar objetivamente, ya que puede involucrar componentes tanto físicos como mentales.

### CONSEJOS CLAVE

- Este artículo examina la posible consideración de los exoesqueletos como EPI para la prevención de lesiones en el hombro.
- Proporciona una breve introducción a la prevención de lesiones y la evaluación ergonómica, y examina los estudios que han investigado la fatiga de los músculos del hombro y las evaluaciones ergonómicas de los exoesqueletos.
- Los autores presentan una serie de estudios realizados para evaluar el uso potencial de exoesqueletos como EPI.
- Los métodos de prueba presentados proporcionan datos cuantitativos para respaldar las decisiones sobre si los exoesqueletos deben clasificarse como EPI.

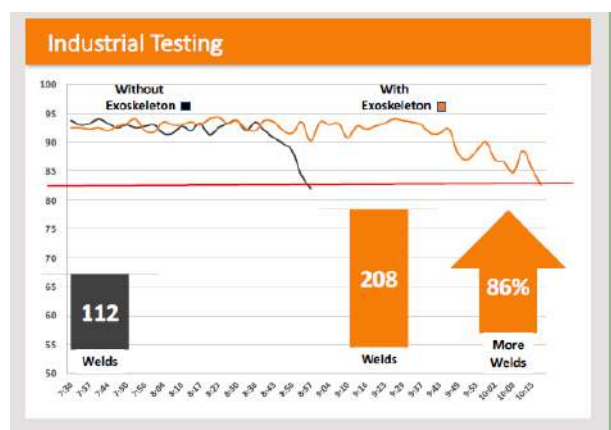
Un estudio basado en electromiografía (EMG) de movimientos repetitivos de impulsos encontró que la fuerza de agarre y el rango de movimiento del codo disminuyeron con la fatiga (Cote, Feldman, Mathieu, et al., 2008). Otro estudio utilizó espectroscopia de infrarrojo cercano y encontró que la fatiga muscular del hombro dependía del ángulo del hombro, la frecuencia de la tarea y el nivel de fuerza (Ferguson, Allread, Le, et al., 2013). Se ha propuesto una pauta de contracción voluntaria máxima (MVC) del 40% como umbral que no debe superarse durante más del 10% del ciclo laboral para evitar la fatiga y posibles lesiones en el hombro (Chaffin, Andersson y Martin, 1999). La Conferencia Estadounidense de Higienistas Industriales Gubernamentales (ACGIH, 2016) ha propuesto además valores límite umbral (TLV) que demuestran que el nivel de MVC para producir fatiga localizada en las extremidades superiores disminuye a medida que aumenta el ciclo de trabajo (Figura 1).

**FIGURA 1 : FATIGUE TLV FOR MVC / CONTRACCION ISOMETRICA (%)/VS. DUTY CYCLE (%)/ CICLO COMPLETO**



**FIGURA 2 : SOLDADUR SIMULACION DE SOLDADURA CON Y SIN EXOSQUELETO**

Línea naranja indica el rendimiento de soldadura con exoesqueleto y la línea negra sin utilizar exoesqueleto





Los estudios de laboratorio han utilizado sensores EMG para medir la actividad de los músculos del hombro en una escala de % MVC. Se ha informado que el tiempo de resistencia disminuyó significativamente cuando la amplitud de EMG aumentó de 20% a 40% MVC (Hagberg, 1981). Los datos de EMG también han indicado que el grado de elevación del brazo es el parámetro más importante que influye en la carga muscular del hombro (Sigholm, Herberts, Almström, et al., 1984). Otros estudios han proporcionado evidencia de que sostener el hombro mientras se trabaja reduce la actividad muscular y potencialmente el riesgo de lesiones (Rempel, Janowitz, Alexandre, et al., 2011; Rashedi, Kim y Nussbaum, 2014). Estudios recientes han respaldado que los exoesqueletos de la parte superior del cuerpo tienen el potencial de ser una intervención práctica y útil para la reducción de lesiones en el hombro sin aumentar la carga lumbar, pero sugieren que se necesita más investigación para evaluar las "consecuencias no deseadas" (Esfahani, Alemi, Kim, et al., 2017; Kim, Nussbaum, Esfahani, et al., 2018a; 2018b).

### Estudios de autor de evaluación de los exoesqueletos

Esta sección describe una serie de estudios que diversos autores han realizado para evaluar el uso potencial de exoesqueletos como EPI. El exoesqueleto evaluado a lo largo de estos estudios es el Levitate Airframe, un exoesqueleto pasivo de la parte superior del cuerpo diseñado para soportar el peso de los brazos durante las tareas aéreas. Bradley Chase, director del laboratorio de ergonomía de la Universidad de San Diego, realizó una evaluación inicial del exoesqueleto, quien recopiló datos EMG mientras 15 participantes completaban tareas que capturan múltiples elementos del trabajo industrial con y sin el exoesqueleto. En el estudio del profesor Chase, observó una reducción estadísticamente significativa del 33% en la actividad de los músculos del hombro / cuello al usar el exoesqueleto durante tareas de trabajo exigentes en un entorno de laboratorio. Chase afirmó que "la reducción en la actividad de los músculos del hombro / cuello con el exoesqueleto puede conducir a una mayor seguridad, comodidad y productividad del trabajador".

Se realizó un segundo estudio que evaluó el exoesqueleto en una empresa de fabricación del Medio Oeste y se centró en llevar a cuatro sujetos a la máxima fatiga. Este estudio utilizó simuladores de soldadura y pintura para capturar datos de rendimiento y calidad en tiempo real (Butler, 2016). La fatiga máxima se retrasó cuando se usó el exoesqueleto al permitir que el soldador mantuviera una soldadura de calidad durante un 73% más, extendiendo el tiempo de resistencia en 71 minutos (Figura 2, p. 33). Las puntuaciones de la calidad de la soldadura trazadas a lo largo del tiempo refuerzan que el control motor fino de los músculos se mantuvo durante la duración de la prueba. Los resultados indican que el uso del exoesqueleto pospone la fatiga para los soldadores involucrados en trabajos estáticos (posturas estresantes) y los pintores involucrados en trabajos dinámicos (larga duración y alta frecuencia). Los participantes que experimentaban dolor en el hombro antes del inicio de la prueba declararon que mientras usaban el exoesqueleto, su dolor disminuyó o desapareció.



LEVITATE TECHNOLOGIES

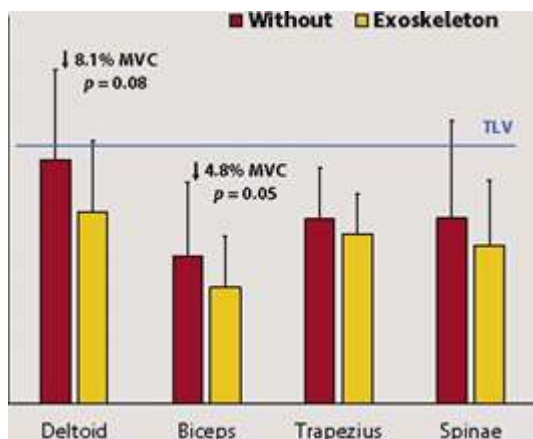
El exoesqueleto evaluado a lo largo de estos estudios es el Levítate Airframe de parte superior, exoesqueleto pasivo diseñado para soportar el peso de los brazos durante las tareas aéreas

Un tercer estudio se realizó en dos fábricas de John Deere, mediante recopilación de datos EMG de seis trabajadores de dos plantas diferentes durante su turno de trabajo mientras están expuestos a varios tipos de factores de fatiga físicos y ergonómicos que no se simulan fácilmente en un entorno de laboratorio (Gillette & Stephenson, 2017). Este enfoque innovador midió los beneficios físicos de usar y no usar el exoesqueleto mientras se realizan tareas laborales que involucran posturas por encima de la cabeza. La recopilación de datos in situ proporcionaron una evaluación del mundo real de los posibles beneficios del exoesqueleto como una forma de EPI para reducir las lesiones por trastornos musculoesqueléticos del hombro. Se recopilaron datos sobre seis trabajadores experimentados que realizaban tareas de ensamblaje, pintura, colgado de piezas y soldadura. Este estudio utilizó sensores EMG inalámbricos para monitorear la actividad de ocho músculos durante ciclos de trabajo de 10 minutos con y sin exoesqueleto al comienzo y al final del turno de trabajo.

FIGURE 3

### JOHN DEERE: MAXIMUM 10% EMG

Resultados John Deere amplitud EMG .Mostramos promedio de resultados con la desviación standard. La línea azul representa el 40% MVC ACGIH TLV de la fatiga del hombro.



Para enfatizar los aspectos más extenuantes de una tarea laboral, una forma de analizar los resultados es enfocarse en el 10% más alto de amplitudes EMG para el brazo dominante (Figura 3). Si equiparamos el 10% más alto de EMG con un ciclo de trabajo del 10%, entonces el TLV ACGIH para la fatiga del hombro sería 40% MVC (Figura 1, p. 33). Durante el estudio de John Deere, el exoesqueleto resultó en una reducción de la EMG del deltoides anterior ( $p = 0.08$ ) y del bíceps braquial ( $p = 0.05$ ) con el exoesqueleto. También hubo reducciones modestas en la EMG del trapecio superior y del erector de la columna con el exoesqueleto. Una pequeña parte del rango de desviación estándar del deltoides anterior superó ligeramente el umbral del 40% de MVC con el exoesqueleto. Sin embargo, casi todo el rango de desviación estándar excedió el umbral del 40% de MVC sin el exoesqueleto. El rango de desviación estándar del erector de la columna cayó por debajo del umbral del 40% de MVC con el exoesqueleto, pero excedió este umbral sin el exoesqueleto.

Se completó un cuarto estudio en Toyota Canadá que evaluó el exoesqueleto durante el ensamblaje del tren de aterrizaje automotriz (Gillette & Stephenson, 2018). El ensamblaje del tren de rodaje tiene tiempos de ciclo rápidos y es típico de los trabajos por encima de la cabeza donde hay dos opciones básicas para reducir el riesgo ergonómico.

Una solución viene en forma de voltear el automóvil de lado para ensamblar, lo que presenta desafíos ergonómicos y financieros. El otro es proporcionar apoyo a los brazos mientras se trabaja para reducir la activación muscular y la fatiga. Once trabajadores se ofrecieron como voluntarios para esta tarea de repeticiones en múltiples estaciones. Al igual que en el estudio de John Deere, se utilizaron sensores EMG inalámbricos para controlar la actividad de ocho músculos con y sin el uso del exoesqueleto.

Para poner más énfasis en la naturaleza repetitiva de una tarea laboral, otra forma de analizar los resultados es enfocarse en el 50% más alto de amplitudes EMG para el brazo dominante (Figura 4). Si equiparamos el 50% más alto de EMG con un ciclo de trabajo del 50%, entonces el TLV ACGIH para la fatiga del hombro sería 16.5% MVC (Figura 1, p. 33). Durante el estudio de Toyota Canadá, el exoesqueleto resultó en una reducción del deltoides anterior ( $p = 0,001$ ), bíceps braquial ( $p = 0,001$ ) y erector de la columna ( $p = 0,03$ ) EMG con el exoesqueleto. Hubo un modesto aumento en la EMG del trapecio superior con el exoesqueleto. La EMG media del deltoides anterior y del erector de la columna cayó por debajo del umbral de MVC del 16,5% con el exoesqueleto, pero excedió este umbral sin el exoesqueleto. La EMG media del trapecio superior excedió el umbral de MVC del 16,5% con y sin exoesqueleto, por lo que esta es un área donde la intervención adicional, como un soporte para el cuello, puede ser beneficiosa.

Se completaron un análisis de fatiga muscular de Rodgers y un análisis de riesgo ergonómico específico de la empresa en las 10 tareas laborales que se evaluaron con EMG en Toyota en Canadá. En algunos casos, el riesgo para cada parte del cuerpo coincidió en ambos análisis (Figura 5, pag. 36); en otros hubo desacuerdo. Cuando se les preguntó sobre la consistencia de las puntuaciones de la evaluación de riesgos ergonómicos, una sala llena de profesionales de la ergonomía automotriz respondió que no es inusual cierta variabilidad en las puntuaciones. Si se identifica una tarea laboral con una alta puntuación de riesgo ergonómico, entonces se puede usar EMG para determinar si existe un beneficio al usar un exoesqueleto. Para esta tarea laboral, las evaluaciones ergonómicas indicaron que el cuello y el hombro derecho tenían puntuaciones de riesgo altas. Los resultados de la EMG demuestran que la actividad del músculo deltoides anterior y del trapecio superior se redujo con el exoesqueleto (aunque todavía ligeramente por encima del TLV para el trapecio superior), de acuerdo con las partes del cuerpo de interés (Figura 5, p. 36).

FIGURA 4

### TOYOTA: MAXIMUM 50% EMG

Resultados Toyota amplitud EMG . Resultados promedio 10 empleados con la desviación standard. La línea azul representa el 16.5% MVC ACGIH TLV de la fatiga del hombro.

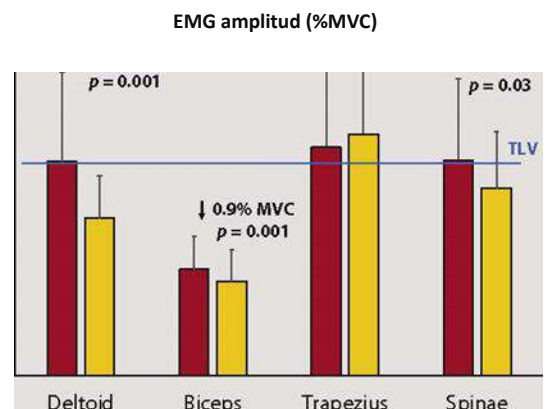
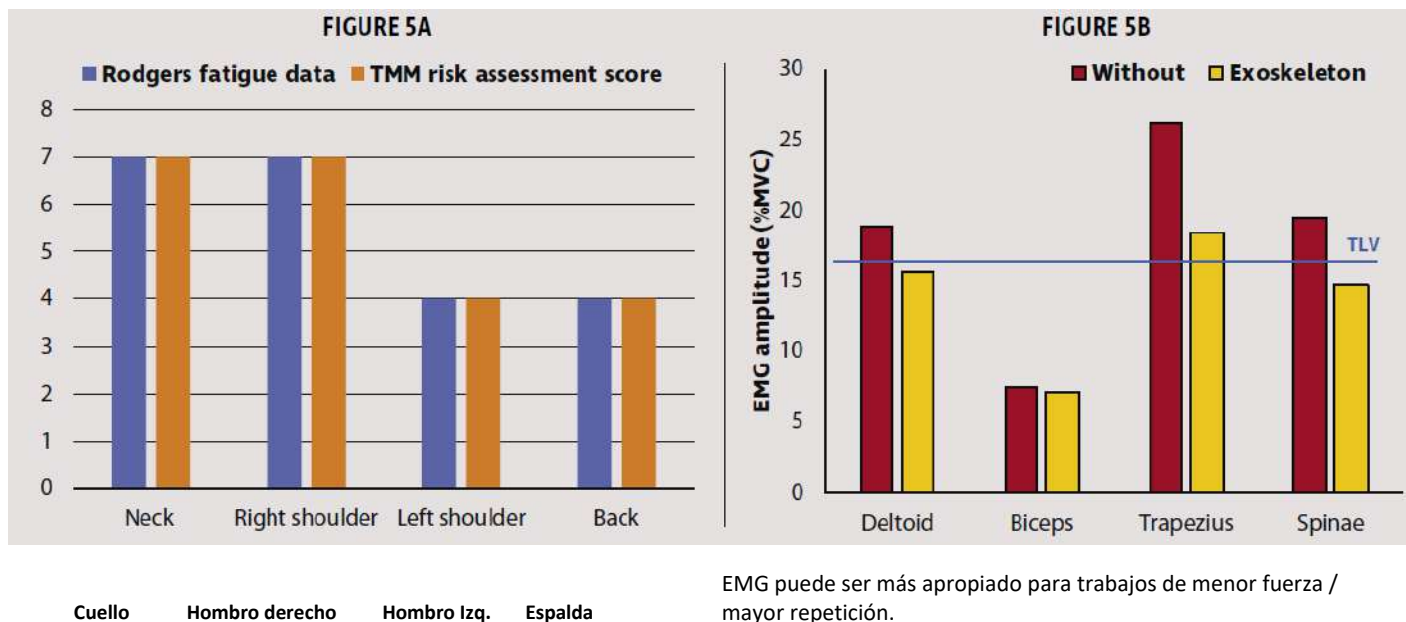


FIGURA 5

## RODGERS ANÁLISIS DE FATIGA MUSCULAR Y ANÁLISIS ERGONÓMICO DE LA EMPRESA

La Figura 5a muestra ejemplos de análisis de fatiga muscular de Rodgers y análisis ergonómico de la empresa para la tarea de trabajo n. ° 3. En la Figura 5b, se muestran las amplitudes EMG promedio para los tubos de piso para validar el análisis de riesgo. La línea azul representa el 16.5% MVC ACGIH TLV para hombro fatigado.



### Discusión

El enfoque de este artículo es el uso potencial como EPI, de un exoesqueleto pasivo de parte superior, para ayudar a prevenir lesiones de MSD en el hombro. Los autores han descrito las recopilaciones de datos en laboratorio, en simulaciones y en el lugar como posibles métodos para recopilar evidencia sobre si un exoesqueleto sirve como EPI. Los estudios de laboratorio se benefician de poder manipular sistemáticamente las condiciones de la postura y las capacidades de medición adicionales, pero es difícil simular las condiciones de trabajo industrial y los participantes pueden no estar capacitados para las tareas del ensayo. Los simuladores se benefician de mediciones de rendimiento precisas, pero se limitan a la aplicación específica para la que se desarrolló el simulador. Los estudios in situ se benefician de las condiciones de las tareas del mundo real y los participantes experimentados, pero están potencialmente limitados en la instrumentación de medición y requieren coordinación para minimizar la interrupción del trabajo.

Esta serie de estudios indica que los trabajadores con trabajos que implican soportar o transferir cargas por encima del nivel del hombro (por ejemplo, ensamblaje, pintura, soldadura, manipulación de piezas) pueden beneficiarse del uso del dispositivo de exoesqueleto evaluado en los estudios como EPI. Se esperaría que la reducción de la EMG con el uso del exoesqueleto retrasara la aparición de la fatiga muscular y pudiera reducir el riesgo de lesiones crónicas del hombro.

De los trabajos probados, el exoesqueleto puede ser una solución ergonómica como EPI para tareas que involucran una flexión del hombro de 30 ° a 170 ° que no se puede eliminar mediante la modificación del lugar de trabajo. Los resultados de la EMG muestran que los músculos todavía están funcionando, pero no con tanta fuerza, lo que reduce las preocupaciones por el desarrollo de atrofia muscular (Butler y Wisner, 2017). Analizar un máximo de 10% de EMG puede ser más apropiado para trabajos de mayor fuerza / menor repetición, mientras que un máximo de 50% de

EMG puede ser más apropiado para trabajos de menor fuerza / mayor repetición.

Los estudios de los autores evaluaron un diseño de exoesqueleto pasivo de la parte superior del cuerpo, pero otros exoesqueletos pueden funcionar de manera diferente y, por lo tanto, no se sabe si cumplirán con la definición de PPE. El PPE es personal. Los respiradores, guantes o gafas de seguridad deben probarse con diferentes estándares de desempeño para demostrar si el nivel de protección cumple con los requisitos para llamarse EPI. Como se demostró con los hallazgos de la investigación señalados, se puede argumentar que la misma lógica es válida para diferentes fabricantes de exoesqueletos. Por ejemplo, duplicar el peso del exoesqueleto requerirá que el usuario gaste más energía solo para llevar la unidad y activarla para obtener apoyo cuando sea necesario. El uso de un exoesqueleto pasivo debe equilibrarse con la antropometría del usuario, así como con las tareas laborales, las herramientas utilizadas y las piezas manipuladas. Esto requiere conocer el cuidado, las limitaciones y el uso de la tecnología para que los empleados puedan estar debidamente capacitados. Como se señaló, el PPE es personal y, como tal, el ajuste adecuado, como todas las demás formas de PPE, es fundamental para su uso. Al igual que otras formas de PPE, los exoesqueletos deben pasar los estándares de desempeño para garantizar que los empleados estén adecuadamente protegidos y no estén sujetos a riesgos no deseados. Desafortunadamente, no existen tales estándares. La base de esta investigación es presentar métodos de prueba para obtener datos cuantitativos que respalden las decisiones sobre si los exoesqueletos deben clasificarse como EPI.

Cuando el cuidado, las limitaciones y el uso del PPE están claramente definidos, se puede brindar al empleado la capacitación adecuada para evitar el uso indebido o la introducción de riesgos no deseados en el entorno de trabajo. Para comprender estos riesgos, se debe considerar una evaluación cuidadosa de las características y beneficios de cada exoesqueleto. El diseño del exoesqueleto, el peso y el propósito previsto deben ser aplicables para el usuario y el trabajo. Solicitar ver los datos utilizados para respaldar las afirmaciones de marketing realizadas por el fabricante ayudará a minimizar el uso indebido o los posibles efectos

negativos en el usuario.

Por ejemplo, es importante considerar cómo sacar al usuario del exoesqueleto en caso de una emergencia. Tener un solo punto de liberación o hebillas de ruptura en caso de que el usuario quede atrapado en una línea en movimiento es una consideración clave. El perfil y qué tan lejos del cuerpo se proyecta el exoesqueleto también pueden contribuir al riesgo de que el dispositivo quede atrapado por una pieza o una línea en movimiento. Asegurarse de que el material y los componentes del exoesqueleto que entran en contacto con el cuerpo estén hechos de material transpirable y fresco es importante para la comodidad y la aceptación del producto como EPI.

¿La unidad está clasificada como resistente al fuego en caso de exposición a chispas o llamas? ¿La unidad acumula una carga estática en aire altamente atomizado como en una cabina de pintura electrostática? ¿Hay cubiertas protectoras disponibles para usar en entornos de alto acabado cuando se trabaja alrededor de piezas pintadas para evitar rayones? ¿Cómo es la activación al levantar los brazos? ¿Es suave o desigual? Se necesita una activación suave del reposabrazos para controlar los movimientos finos y evitar movimientos no deseados. ¿Cuál es el peso del exoesqueleto y puede afectar negativamente al usuario aumentando la frecuencia cardíaca de la persona o aumentando las fuerzas en las articulaciones, como se puede encontrar con algunos respiradores de máscara completa o aparatos de respiración autónomos?

Todas estas fueron consideraciones al seleccionar el exoesqueleto utilizado en los estudios en una planta de fabricación del Medio Oeste para John Deere y Toyota. Los resultados de la investigación que se presentan aquí son aplicables a los exoesqueletos de activación pasiva de la parte superior del cuerpo con un peso de menos de 6.5 libras. Los exoesqueletos con un peso de más de 6.5 libras y características de diseño diferentes de la unidad probada pueden producir resultados de rendimiento diferentes. Pueden tener diferentes limitaciones y, como tales, su clasificación como una forma de EPP puede no ser aplicable.

Los estudios de los autores proporcionaron evidencia cuantitativa de los beneficios del exoesqueleto en condiciones de trabajo del mundo real a corto plazo, pero también se necesitan estudios a más largo plazo. Los exoesqueletos deben pasar las pruebas de rendimiento para garantizar la seguridad. El Comité F48 de ASTM sobre exoesqueletos y exotrajés ha comenzado a desarrollar dichos estándares.

## Referencias

American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). (2016). *Upper limb localized fatigue: TLV physical agents 7th edition documentation*. Cincinnati, OH: Author.

Bernard, B.P. (Ed.). (1997). *Musculoskeletal disorders and workplace factors: A critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of the neck, upper extremity and low back* (NIOSH Publication No. 97-141). Washington, DC: U.S. Department of Health and Human Services.

Butler, T. (2016, Sept.). Exoskeleton technology: Making workers safer and more productive. *Professional Safety*, 61(9), 32-36.

Butler, T. & Wisner, D. (2017). Exoskeleton technology: Making workers safer and more productive, part 2 (Session 579). *Proceedings of Safety 2017: ASSE's Professional Development Conference, Denver, CO*.

Chaffin, D.B. (1973). Localized muscle fatigue: Definition and measurement. *Journal of Occupational Medicine*, 15(4), 346-354.

Chaffin, D.B., Andersson, G.B.J. & Martin, B.J. (1999). *Occupational biomechanics*. New York, NY: John Wiley & Sons.

Cote J.N., Feldman, A.G., Mathieu, P.A., et al. (2008). Effects of

fatigue on intermuscular coordination during repetitive hammering. *Motor Control*, 12(2), 79-92.

Esfahani, M.I.M., Alemi, M.M., Kim, S., et al. (2017). Effects of an occupational wearable assistive device on low back loads. *Proceedings of the American Society of Biomechanics Annual Meeting, Boulder, CO*.

Ferguson, S.A., Allread, W.G., Le, P., et al. (2013). Shoulder muscle fatigue during repetitive tasks as measured by electromyography and near-infrared spectroscopy. *Human Factors*, 55(6), 1077-1087.

Gillette, J.C. & Stephenson, M.L. (2017). EMG assessment of a shoulder support exoskeleton during on-site job tasks. *Proceedings of the American Society of Biomechanics Annual Meeting, Boulder, CO*.

Gillette, J.C. & Stephenson, M.L. (2018). EMG analysis of an upper body exoskeleton during automotive assembly. *Proceedings of the American Society of Biomechanics Annual Meeting, Rochester, MN*.

Hagberg, M. (1981). Work load and fatigue in repetitive arm elevations. *Ergonomics*, 24(7), 543-555.

Herberts, P., Kadefors, R., Andersson, G., et al. (1981). Shoulder pain in industry: An epidemiological study on welders. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 52(3), 299-306.

Kim, S., Nussbaum, M.A., Esfahani, M.I.M., et al. (2018a). Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part I—"Expected" effects on discomfort, shoulder muscle activity, and work task performance. *Applied Ergonomics*, 70, 315-322. doi:10.1016/j.apergo.2018.02.025

Kim, S., Nussbaum, M.A., Esfahani, M.I.M., et al. (2018b). Assessing the influence of a passive, upper extremity exoskeletal vest for tasks requiring arm elevation: Part II—"Unexpected" effects on shoulder motion, balance, and spine loading. *Applied Ergonomics*, 70, 323-330. doi:10.1016/j.apergo.2018.02.024

Marras, W., Allread, W., Burr, D., et al. (2000). Prospective validation of a low-back disorder risk model and assessment of ergonomic interventions associated with manual materials handling tasks. *Ergonomics*, 43(11), 1866-1886.

Marras, W., Fine, L., Ferguson, S., et al. (1999). The effectiveness of commonly used lifting assessment methods to identify industrial jobs associated with elevated risk of low-back disorders. *Ergonomics*, 42(1), 229-245.

Rashedi, E., Kim, S. & Nussbaum, M.A. (2014). Ergonomic evaluation of a wearable assistive device for overhead work. *Ergonomics*, 57(12), 1864-1874.

Rempel, P., Janowitz, I., Alexandre, M., et al. (2011). The effect of two alternative arm supports on shoulder and upper back muscle loading during pipetting. *Work*, 39(2), 195-200.

Rodgers, S.H. (1992). A functional job evaluation technique. *Occupational Medicine: State of the Art Reviews*, 7(4), 679-711.

Rostykus, W. & Mallon, J. (2017, Sept.). Leading measures preventing MSDs and driving ergonomic improvements. *Professional Safety*, 62(9), 37-42.

Sigholm, G., Herberts, P., Almström, C., et al. (1984). Electromyographic analysis of shoulder muscle load. *Journal of Orthopaedic Research*, 1, 379-386.

Törnström, L., Amprazis, J., Christmansson, M., et al. (2008). A corporate workplace model for ergonomic assessments and improvements. *Applied Ergonomics*, 39(2), 219-228.

Terry Butler, CSP, es presidente de Lean Steps Consulting. Su experiencia profesional de 38 años se ha centrado en la fabricación global. Durante los últimos 20 años, ha desempeñado como vicepresidente de instalaciones y director de EH&S para Vermeer Corp. Durante los últimos 4 años, Butler ha estado trabajando con la Universidad Estatal de Iowa y fabricantes globales para cuantificar los beneficios físicos de trabajar con y sin el ayuda de la tecnología del exoesqueleto en beneficio de todos los sectores de fabricación y servicios profesionales. Butler tiene un B.S. en Ingeniería de Seguridad Ocupacional y Tecnología Industrial de la Universidad Estatal de Illinois. Es un miembro profesional del Capítulo Hawkeye de ASSP.

Jason C. Gillette es profesor asociado y Director de Educación de Posgrado en el Departamento de Kinesiología de la Universidad Estatal de Iowa. Sus intereses de investigación incluyen biomecánica, ergonomía y mecanismos de lesiones. Utiliza mediciones de video, fuerza y EMG para analizar el movimiento humano, junto con modelos musculoesqueléticos para estimar la carga interna en las estructuras del cuerpo humano. Gillette tiene un B.S. en Ciencias de la Ingeniería, un M.E. en Ingeniería Mecánica y un Ph.D. en Ingeniería Biomédica / Ingeniería Mecánica de la Universidad Estatal de Iowa.

#### Expresiones de gratitud

Los autores agradecen a la gerencia y los empleados de John Deere Iowa y Toyota Manufacturing Cambridge Canada por brindar al equipo de pruebas de campo acceso a sus instalaciones, experiencia y equipos. Los autores también agradecen a quienes participaron en estos estudios, así como a Bradley Chase, de la Universidad de San Diego, por ayudar a avanzar en la investigación y comprensión de esta tecnología emergente y su aplicación como EPP en el entorno laboral.

#### Para más información

Para obtener más información sobre el dispositivo de exoesqueleto probado en este artículo, comuníquese con Joseph Zawaideh de Levitate en [josephz@levitatetech.com](mailto:josephz@levitatetech.com).