



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

“MÉTODOS GONIOMÉTRICOS EN LOS ESTUDIOS ERGONÓMICOS”

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR EL GRADO DE MAESTRA EN
ERGONOMÍA Y PSICOSOCIOLOGÍA
APLICADA AL TRABAJO

VIVIANA VALERIA VALENZUELA VELA

LIMA – PERÚ

2024

ASESOR

Mg. Maria Alejandra Urday Pareja

JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

MG. BRUNELLA YSABEL LIZARDO OTERO

PRESIDENTE

MG. MIRKO ROGERS PEZOA VILLANUEVA

VOCAL

MG. VICTOR RAUL ZAMATA MAQUERHUA

SECRETARIO

DEDICATORIA.

A mi querida madre que me enseñó la perseverancia, para poder realizar mis metas y por su constante apoyo en todo momento.

A mi hijo Tiziano, por ser el motivo y razón de mi vida.

AGRADECIMIENTOS.

A mis amigos por su apoyo incondicional.

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Tesis Autofinanciada

10% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...




Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de fuentes excluidas

Fuentes principales

- 9%  Fuentes de Internet
- 2%  Publicaciones
- 4%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN
ABSTRACT

I.	INTRODUCCION	1
II.	OBJETIVOS	7
III.	METODOLOGÍA.....	8
IV.	DESARROLLO DEL ESTUDIO	11
V.	CONCLUSIONES	45
VI.	RECOMENDACIONES	48
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

RESUMEN

La goniometría es esencial en la evaluación del rango de movimiento (ROM) de las articulaciones, ayudando a cuantificar las restricciones que pueden afectar la funcionalidad laboral. En Europa, las enfermedades y accidentes laborales representan entre el 2.6% y el 3.8% del PIB, con un notable porcentaje debido a trastornos musculoesqueléticos (TME). En EE. UU., los costos asociados ascienden a 215 mil millones anuales. La goniometría permite diagnosticar precozmente estos problemas y se utiliza en la evaluación del ROM activo y pasivo en diversas articulaciones. Existen diversos tipos de goniómetros que se emplean en diferentes contextos clínicos y de investigación, incluyendo dispositivos digitales que facilitan su uso. Los estudios ergonómicos buscan mejorar la correspondencia entre los trabajadores y sus entornos laborales, minimizando riesgos de TME. Evaluaciones y herramientas ergonómicas abordan factores de riesgo, como posturas incómodas y movimientos repetitivos, que son comunes en muchos sectores industriales. Investigaciones recientes sugieren que el uso de tecnología avanzada, como sensores portátiles y aplicaciones móviles, puede mejorar la precisión en las mediciones goniométricas. La validación de la goniometría se realiza a través de métodos comparativos, como el uso de inclinómetros y electrogoniometría, lo que demuestra la necesidad de estandarizar procedimientos y mejorar la formación de profesionales en su uso. Estos métodos deben ser implementados con pertinencia y ética, asegurando el bienestar y la seguridad del paciente. La integración de nuevas tecnologías, como inteligencia artificial y realidad virtual, se presenta como una prometedora vía para optimizar las evaluaciones ergonómicas y ofrecer soluciones

eficaces para prevenir TME. Sin embargo, la pesquisa en el área aún es limitada, un aspecto que debe ser abordado de manera continua.

PALABRAS CLAVES

ERGONOMÍA, GONIOMETRÍA, MÉTODOS GONIOMÉTRICOS, RANGOS DE MOVIMIENTO.

ABSTRACT

Goniometry is essential for assessing the range of motion (ROM) of joints, helping to quantify restrictions that may affect work functionality. In Europe, work-related illnesses and accidents account for between 2.6% and 3.8% of GDP, with a notable percentage attributed to musculoskeletal disorders (MSDs). In the U.S., associated costs amount to \$215 billion annually. Goniometry allows for the early diagnosis of these issues and is used to evaluate both active and passive ROM across various joints. There are different types of goniometers employed in various clinical and research settings, including digital devices that facilitate usage. Ergonomic studies aim to improve the correspondence between workers and their work environments, minimizing MSD risks. Ergonomic assessments and tools address risk factors such as uncomfortable postures and repetitive movements, which are common in many industrial sectors. Recent research suggests that advanced technology, such as portable sensors and mobile applications, can enhance the accuracy of goniometric measurements. The validation of goniometry is carried out through comparative methods, such as using inclinometers and electrogoniometry, highlighting the need to standardize procedures and improve professionals' training in its use. These methods should be implemented with relevance and ethics, ensuring patient well-being and safety. The integration of new technologies, such as artificial intelligence and virtual reality, presents a promising pathway to optimize ergonomic assessments and provide effective solutions for preventing MSDs. However, research in this area is still limited, a gap that needs to be continually addressed.

KEYWORDS

ERGONOMICS, GONIOMETRY, GONIOMETRIC METHODS, RANGES OF MOVEMENT.

I. INTRODUCCION

La Asociación Internacional de la Ergonomía (IEA) define a la ergonomía como la disciplina científica que se encarga de estudiar las interacciones entre las personas y los elementos de un sistema y la profesión que aplica la teoría, los principios, la información y los métodos para optimizar el bienestar humano y el desempeño general del sistema IEA.(1,2)

También se define como estudio ergonómico a la evaluación de un puesto de trabajo, tomando en cuenta todas las dimensiones de este, que son; tarea, trabajador y condiciones de trabajo. El objetivo principal de este tipo de estudios es encontrar una mejor correspondencia entre el trabajador y las condiciones de trabajo, para hacerlo eficiente, seguro y saludable. En los estudios ergonómicos antes de empezar a evaluar se deben tener en cuenta algunas consideraciones como: observar el trabajo realizado, identificar las tareas, identificar las operaciones realizadas de cada tarea, medición de la duración de las operaciones y por último análisis de la exigencia o demandas de las operaciones, luego de las cuales es necesario conocer las características y capacidades de cada persona tales como: edad, sexo, capacidades físicas y mentales; dimensiones corporales, con lo cual se busca adaptar el trabajo a la persona que lo llevará a cabo. (3,4)

En general, la población no tiene una buena postura ideal, lo que resulta en un desequilibrio postural que puede llevar a trastornos musculoesqueléticos, especialmente en el entorno laboral; para evaluar los rangos de movimiento de las articulaciones, tanto pasivos como activos, se utiliza un instrumento llamado goniómetro. (5)

La goniometría es una técnica y herramienta validada para cuantificar las restricciones en el rango de movimiento (ROM), que pueden emplearse para evaluar el estado funcional de las articulaciones, específicamente en cuanto a la amplitud de los movimientos. Etimológicamente tiene su origen en dos palabras griegas: gonía que significa ángulo y metrón que significa medir; se encarga de estudiar la medición de los ángulos de movilidad articular, esta técnica permite obtener criterios para evaluar la capacidad biomecánica del trabajador y las exigencias físicas del puesto de trabajo; y permite diagnosticar precozmente los problemas musculoesqueléticos.(6–9)

La goniometría es la aplicación de un análisis de grados de movimientos o el recorrido que realiza el segmento de un punto a otro, los cuales serán comparados mediante los grados establecidos que se tienen de estudios biomecánicos del ser humano, los cuales son útiles para los diferentes estudios ergonómicos que se realizarán según el objetivo deseado para el investigador.(5)

El problema se encuentra en la forma de aplicar los métodos goniométricos, lo cual puede dar lugar a diferentes criterios para evaluar la diversidad de métodos existentes a elegir, en las evaluaciones ergonómicas. Según varios estudios el objetivo es determinar si algunos métodos son más eficientes que otros para obtener mejores resultados, así como identificar los métodos más utilizados y aquellos que tienen menor evidencia, y por lo tanto deberían ser utilizados con menos frecuencia para reducir falsos positivos. Uno de los métodos más utilizados en los estudios ergonómicos incluye métodos como RULA, método

REBA, método Check List OCRA, entre otros. Estos métodos mencionados son herramientas para evaluar la carga biomecánica del cuello, tronco, miembros superiores y miembros inferiores en una tarea ocupacional determinada. En cuanto a algunos de estos métodos, un instrumento a utilizar es el goniómetro universal (UG), para poder evaluar los rangos de movimiento articular. En la actualidad se cuentan con nuevos estudios que presentan dispositivos modernos de detección de movimiento que son más fáciles de implementar y usar que un goniómetro universal. (10–12)

Un estudio se enfocó en el aplicativo llamado Kinect que sirve para medir los rangos de movimiento articular (ROM) del hombro, se evaluó su validez para poder realizar las comparaciones entre un goniómetro universal y el aplicativo Kinect, se midieron con el goniómetro y el aplicativo los diferentes movimientos del hombro en las movilizaciones pasivas y activas. Al finalizar se calcularon los valores de ROM y se encontró una concordancia entre las dos mediciones, se comprobó con el coeficiente de correlación intraclase, una excelente concordancia con las mediciones del goniómetro y el aplicativo. Estos resultados indicaron que Kinect se puede utilizar para medir el ROM del hombro como alternativa al goniómetro.(13)

En la actualidad, la relación entre los trastornos musculoesqueléticos (TME) de origen laboral y las alteraciones posturales del individuo no está claramente definida, pese a ello, está descrito que genera pérdidas económicas para las empresas. En Europa, los TME afectan a millones de trabajadores y generan un costo de billones de euros a los empleadores, la cual se debe principalmente a la sobrecarga funcional o postural teniendo como algunos de sus

factores provocadores las alteraciones estructurales; dentro de ellas a la escoliosis, las disimetrías pélvicas y la hiperlordosis, entre otras patologías. Algunos estudios han demostrado que el porcentaje de trabajadores de oficina que padecen TME oscilan entre el 20% y el 60%. (5)

En otros estudios compararon las limitaciones biomecánicas encontradas en las evaluaciones médicas, aplicando la anamnesis y la evaluación goniométrica en trabajadores con síntomas de TME y en otros asintomáticos, durante la evaluación periódica en una empresa ecuatoriana se concluyó que la incorporación de la goniometría en el examen médico ocupacional es importante, ya que podría contribuir a calificar una mejor aptitud física del trabajador y a realizar un diagnóstico precoz de TME. (6)

La importancia de este estudio de revisión es identificar y estandarizar los métodos goniométricos aplicados en los estudios ergonómicos encaminados, por ejemplo, en el ámbito profesional, el fisioterapeuta va a encontrar diferentes herramientas que puede aplicar para poder determinar, evaluar y prevenir alteraciones biomecánicas o trastornos musculoesqueléticos que se van a presentar durante el tiempo expuesto en sus actividades laborales. Se pueden observar diferentes métodos usados en la goniometría para evaluar los rangos de movimiento, por ejemplo, el goniómetro universal (UG), inclinómetro, análisis electrogoniométricos y los teléfonos inteligentes, tales como aplicativos móviles, en los que se requiere la toma de fotografías, para luego ser evaluadas por el mismo aplicativo. (14,15)

Es importante poder reproducir de manera confiable el ROM activo y las evaluaciones adecuadas. Utilizando una posición de prueba estandarizada, la goniometría es un instrumento confiable en la evaluación del rendimiento de las articulaciones. (16)

Por consiguiente, en los últimos años la ergonomía se ha posicionado como una estrategia confiable para controlar los posibles TME, por ejemplo, con las actividades laborales usando los métodos experimentales de análisis ergonómico. Recientemente han demostrado que la mejora de estos métodos fue mediante el uso combinado de inteligencia artificial y sensores portátiles, o sensores de biopotencial inteligencia artificial que ofrecen interesantes perspectivas tanto desde el punto de vista diagnóstico, pronóstico y preventivo, utilizando inteligencia artificial y sensores portátiles. En este sentido, esta revisión pretende dar un primer recuento de las investigaciones realizadas mediante estos métodos combinados. (17,18)

En la actualidad existen nuevas tecnologías como la inteligencia artificial (IA) para poder hacer el uso de goniómetro también se puede ampliar la revisión del uso de IA como goniómetro digital o como goniómetro de software de inteligencia artificial como lo evidencian algunos estudios en los cuales la aplicación de IA fue clínicamente aceptable y se pudo reemplazar los registros por la IA, lo que fue considerablemente notable, según estos estudios. (16,19)

La importancia de este estudio viene del hecho, de que no se ha encontrado suficiente información en la cual los evaluadores usen un solo método goniométrico, sino que existen diferentes instrumentos con los que es posible

evaluar los rangos de movimiento, para poder corroborar que es fundamental e importante saber usar bien estos instrumentos y que sean válidos y confiables en los estudios ergonómicos.

Por todo lo anterior expuesto es importante conocer ¿Cuál es la información actualizada acerca de los métodos goniométricos en los estudios ergonómicos?

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Realizar una revisión bibliográfica de los métodos goniométricos en los estudios ergonómicos.

2.2. Objetivos específicos

- a) Describir que es la goniometría y su aplicación en el campo ocupacional.
- b) Describir que son los estudios ergonómicos.
- c) Identificar los métodos goniométricos relacionados a los estudios ergonómicos.
- d) Identificar las buenas prácticas en el uso de la goniometría en los estudios ergonómicos.
- e) Aplicación de Tecnología avanzada a las mediciones goniométricas.

III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño del estudio

Se realizó un estudio de revisión documentaria tipo cualitativa, incluyendo información relacionada a los objetivos del estudio de investigación.

Se consideraron los siguientes criterios de inclusión y exclusión:

- a) Documentos y artículos científicos publicados desde enero 2014 hasta marzo 2024. Se incluirán libros y publicaciones anteriores de no identificarse información más reciente o actualizada.
- b) Documentos normativos vigentes hasta el mes de marzo 2024
- c) Documentos publicados en idioma inglés, portugués y español.

3.2. Procedimientos y Técnicas

- a) Se acreditó los documentos relacionados a los objetivos del estudio de investigación en base a los datos como SCIELO, PUBMED/Medline, Elsevier, Google Académico.
- b) Se escogió los documentos relevantes para cumplir los objetivos del estudio de investigación.
- c) Se organizaron los artículos científicos seleccionados en una base de datos excel para una mejor redistribución.
- d) Se analizó la información de los artículos y documentos organizados para elaborar el informe de trabajo de investigación.

3.3. Análisis y procesamiento de datos

- a) La información de los documentos organizados se analizó de manera analítica, descrito en cada objetivo específico.

b) Se elaboró el informe del trabajo de investigación considerando un análisis global para redactar las conclusiones y recomendaciones del estudio.

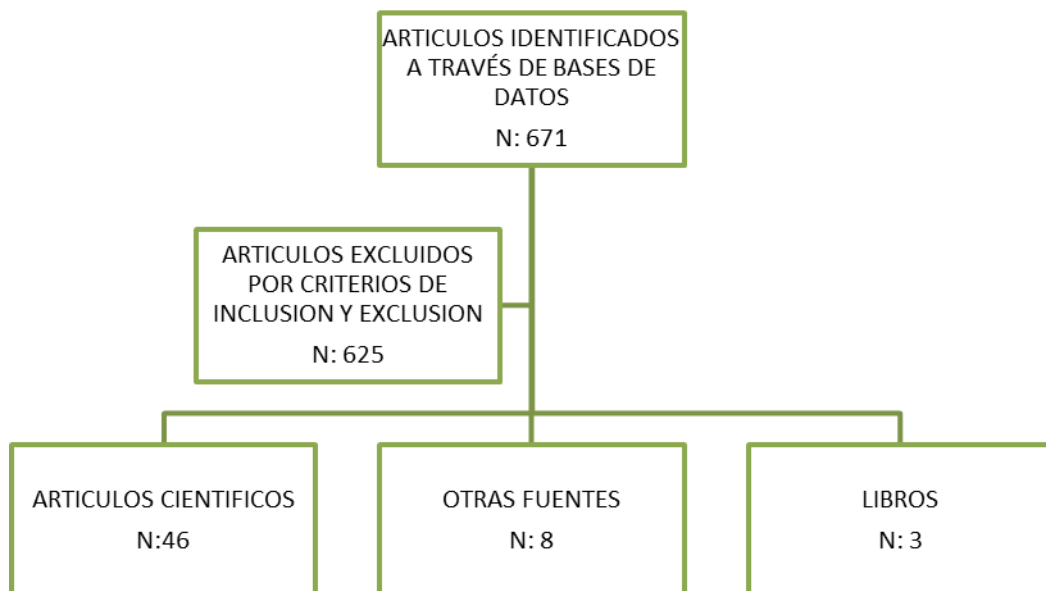
3.4. Consideraciones Éticas

a) Se aseguró que los datos obtenidos de estudios previos, sean utilizados de manera ética y respetando los derechos del autor.

b) Se mantuvo una postura imparcial y objetiva durante la revisión, por ende, no se realizó investigaciones en seres humanos por ningún motivo.

c) Se respetó los derechos de los documentos incluidos en la presente investigación con las referencias bibliográficas respectivas y citando adecuadamente todas las fuentes.

FLUJOGRAMA



IV. DESARROLLO DEL ESTUDIO

4.1.- La goniometría y su aplicación en el campo ocupacional.

En la Unión Europea los costos económicos de todas las enfermedades y accidentes de trabajo representan 2.6 a 3.8% del producto interno bruto, 40 a 50% de esos costos se deben a los trastornos musculoesqueléticos (TME). Este tipo de trastornos conllevan a tener altos costos económicos en términos de días perdidos de trabajo e invalidez resultante, que se calculan en unos 215 mil millones de dólares al año en Estados Unidos. (9)

La goniometría es una técnica y herramienta validada para cuantificar las restricciones en el rango de movimiento (ROM), que pueden emplearse para evaluar el estado funcional de las articulaciones, específicamente en cuanto a la amplitud de los movimientos. Etimológicamente tiene su origen en dos palabras griegas: gonía que significa ángulo y metrón que significa medir; se encarga de estudiar la medición de los ángulos de movilidad articular. Esta técnica permite obtener criterios para evaluar la capacidad biomecánica del trabajador y las exigencias físicas del puesto de trabajo; y permite diagnosticar precozmente los problemas musculoesqueléticos. (6–9)

Los rangos de movimientos que se pueden evaluar con el goniómetro son: flexión, extensión, abducción, aducción, rotación interna y rotación externa en todas las articulaciones del cuerpo humano tanto en rangos activos como pasivos. (9,20,21)

Existen diferentes tipos de Goniómetros:

a) Goniómetros universales, los cuales pueden ser de brazo corto (pequeñas articulaciones como la muñeca o el tobillo); y de brazo largo (articulaciones de palanca larga, como cadera o rodilla.), siendo este el más usado.

b) Electrogoniómetro de doble eje: es de difícil aplicación en la evaluación clínica, por lo que se utiliza en investigación frecuentemente, la confiabilidad entre el inter y el intraevaluador de este instrumento es mayor que la del goniómetro universal. c) Goniómetro/inclinómetro de gravedad: Uno de los brazos tiene un puntero con un peso que permanece vertical bajo la gravedad.

d) Goniómetro basado en software o teléfonos inteligentes: las ventajas de usar un teléfono inteligente como goniómetro digital son: disponibilidad, facilidad de uso al medir, seguimiento de las mediciones, se basa en aplicaciones y se usa con una sola mano. Estas aplicaciones utilizan los acelerómetros de los teléfonos para calcular los ángulos de las articulaciones.

e) Goniómetro artrodial: se considera este goniómetro ideal para medir la rotación cervical, la flexión anteroposterior y la flexión lateral de la columna cervical. (9,22,23)

Para su uso no se requiere gran preparación, pero si es necesario informar con antelación al individuo a evaluar que se precisa su consentimiento para el examen. Este debe realizarse de ser posible a la luz del día, con la articulación que se está evaluando y la zona circundante adecuadamente expuesta. Estas evaluaciones con goniómetros solo deberían ser realizadas por personal capacitado previamente, médicos, doctores, fisioterapeutas, terapeutas ocupacionales u otro personal capacitado. (24,25)

La técnica de goniometría se basa en la importancia del posicionamiento porque se colocan las articulaciones desde una posición inicial cero o neutra y ayuda a estabilizar el segmento articular proximal. El evaluador estabiliza el segmento articular proximal y luego moviliza cuidadosamente el componente distal de la articulación durante todo el recorrido de su rango de movimiento, hasta alcanzar la sensación final. (8,9,26)

Luego de definir el rango disponible de movimiento el evaluador debe retornar el componente distal a la posición inicial, palpar los puntos de referencia óseos de relevancia y alinear el goniómetro, luego registrar la medición inicial. Retirar el goniómetro y pedir al paciente que realice el movimiento a través del rango de movimiento, reemplazar y volver a alinear el goniómetro, leer y registrar la medición. Estas mediciones se deben repetir 3 veces y calcular el promedio para obtener la medición del rango de movimiento activo. También debe compararse el lado contralateral, se debe ser muy cuidadoso para conseguir que el paciente no mueva su cuerpo mientras mueve la articulación, obteniendo con seguridad una medición precisa. Durante las mediciones sucesivas se debe garantizar mantener la misma posición de prueba para asegurar que las cantidades de tensión se mantengan constantes en el tejido blando comparándolas con las mediciones anteriores. Enfocado de esta forma se garantiza la obtención de resultados similares. En definitiva, cualquier cambio en la posición puede conducir a lecturas erróneas de las mediciones. (26)

Es importante conocer los términos de la validez y la fiabilidad en este contexto. La validez es el grado en que se interfiere una interpretación útil que sea significativa para una medición. Por lo tanto, la validez de una medición se refiere

a cuan bien la medición representa el valor real de la variable de interés y lo bien que se usa esta medición para un propósito específico. Existen diferentes tipos de validez tales como validez aparente, validez de contenido, validez de criterio y validez de constructo y su relación con la medición del movimiento articular. Mientras tanto la fiabilidad se refiere a la consistencia entre sucesivas mediciones de la misma variable de la misma persona en las mismas condiciones. Por consiguiente, toda medición goniométrica es muy fiable si las sucesivas mediciones ofrecen los mismos resultados. (8)

Un estudio investigó la validez del goniómetro en las mediciones del codo en relación a la confiabilidad y validez de las mediciones goniométricas en adultos, de los 697 estudios obtenidos de su búsqueda bibliográfica, se incluyeron 12, luego 6 estudios fueron calificados como de alta calidad. Este estudio brindo como resultados, el coeficiente de correlación intraclase de confiabilidad intraevaluador, que osciló entre 0,45 y 0,99 y la confiabilidad entre evaluadores que osciló entre el coeficiente de correlación intraclase 0,53 y 0,97. Dentro de este estudio se encontró uno que proporcionó instrucciones sobre alineación goniométrica y no encontró diferencias entre examinadores expertos y no expertos, un segundo estudio en el que los examinadores no recibieron instrucción se encontró una mayor confiabilidad entre evaluadores en los examinadores expertos y en otro estudio se investigó la validez del goniómetro en las mediciones del codo se encontró un error estándar máximo de la media de $11,5^{\circ}$ para el rango total de movimiento. (14)

Otro artículo se encargó de revisar la literatura disponible en busca de evidencia sobre la confiabilidad y el error de medición de la evaluación

goniométrica basada en transportador de las articulaciones de los dedos. La evaluación de la calidad metodológica se realizó utilizando la lista de verificación de estándares basados en consenso para la selección de instrumentos de medición de la salud. Se informó un nivel aceptable de confiabilidad en un artículo de calidad metodológica regular y en 8 artículos de calidad metodológica baja. Debido a que no se calculó el cambio mínimo importante en los artículos, se desconoció el nivel de evidencia del error de medición; concluyeron que los criterios de los estándares basados en Consenso para la Selección de Instrumentos de Medición de Salud presentaron un nivel limitado de evidencia para una confiabilidad aceptable en el método de medición dorsal y un nivel desconocido de evidencia para el error de medición. (27)

Para obtener mejores resultados sobre la evaluación del goniómetro, un estudio obtuvo la validez y confiabilidad usando dos aplicaciones móviles goniométricas en el cual usaron dispositivos y factores examinadores para poder medir el rango de movimiento de las articulaciones; lo cual llevó a obtener diferentes factores que pueden afectar la validez de las mediciones generadas, sin embargo, no encontraron estudios que examinen las aplicaciones de goniómetros basados en teléfonos inteligentes que se centren en la variabilidad de las mediciones y los errores que surjan de las propiedades electromecánicas del dispositivo que se utiliza. A pesar de todo, en este estudio se tuvo como resultado la confiabilidad entre evaluadores para cada una de las aplicaciones de teléfonos inteligentes, inclinómetro y goniómetro universal fue excelente ($ICC = 0,995-1,000$). La validez concurrente también fue buena ($CCI = 0,998-0,999$). (11)

En un estudio observacional se midió la fiabilidad intraevaluador de la goniometría para medir la protracción y retracción escapular entre una muestra de adultos sanos. Los resultados obtenidos de los valores fueron como porcentaje de variación entre 15,9 y 43,7% para la confiabilidad intraevaluador y 21,9-52,8% para la confiabilidad inter evaluador. Existen pocas técnicas eficientes y confiables para medir la movilidad escapular en la práctica, sin embargo, la confiabilidad absoluta de la goniometría para medir la protracción y retracción escapular es similar a las mediciones de otras articulaciones. El estudio recomendó realizar más investigaciones y un posible refinamiento de la técnica para abordar aún más la confiabilidad y validez relativas. (28)

En un estudio sobre las mediciones del rango de movimiento de la rodilla, la diferencia mínima entre los métodos fue esencial para monitorear el cambio. El propósito de este estudio fue evaluar la confiabilidad y la diferencia mínima significativa de la estimación visual, los goniómetros de brazo corto y largo, una aplicación para teléfonos inteligentes y un inclinómetro digital para esta articulación. El inclinómetro digital fue el método más preciso para medir el ángulo de la rodilla, seguido del goniómetro de brazo largo. El estudio afirma que no se deben utilizar la estimación visual ni los goniómetros cortos si se requiere una evaluación precisa. (23)

En un estudio se desarrolló un goniómetro portátil en 3D de bajo costo, que fue capaz de producirse en impresoras 3D de escritorio de calidad para el usuario. Como resultado tuvo una validación preliminar donde participaron personas y realizaron una tarea estática de coincidencia de ángulos mientras estaban sentados en un escritorio. Por lo tanto, podemos decir que los dispositivos portátiles y la

tecnología de sensores nos proporcionan mediciones de rangos de movimientos objetivas e imparciales que ayudan a los profesionales de la salud a superar los obstáculos de la goniometría y así lograr que sean más preciso los resultados. En este estudio se analizaron y compararon dispositivos portátiles frente a la goniometría manual, logrando identificar que los primeros poseen mayor precisión. (20,29)

Adicionalmente existe la electrogoniometría, esta técnica ofrece una alternativa práctica de análisis de vídeo a los métodos basados en Captura de Movimiento óptico (OMC), ha demostrado que tiene una buena concordancia con los métodos basados en OMC y una mayor fiabilidad en el análisis de vídeo para las herramientas de evaluación ergonómica portátiles como los electrogoniómetros, también presenta varias ventajas y que son mínimamente molestas, lo que las hace más adecuadas a la hora del monitoreo a largo plazo en entornos ocupacionales. Los primeros enfoques utilizaban goniómetros electromecánicos conocidos como el goniómetro universal, que está compuesto por un marco rígido y un potenciómetro para detección angular. Sin embargo, con la llegada de los electrogoniómetros flexibles, se abandonó el uso de goniómetros electromecánicos, basados en potenciómetros. La razón de esto es que los electrogoniómetros flexibles son mínimamente intrusivos, más resistentes a los errores de alineación con respecto a los centros de rotación de las articulaciones y se pueden medir múltiples ejes de rotación con un solo dispositivo. (29)

En otro estudio donde participaron tres fisioterapeutas con muchos años de experiencia, en el cual se utilizaron tres diferentes aplicativos para tres celulares diferentes, llegaron a la conclusión de que si es confiable usar un sustituto y que

llega a ser tan viable como utilizar tanto un goniómetro universal o un inclinómetro o si usas los aplicativos para medir los cambios angulares que normalmente ocurren al examinar el rango de movimiento articular; se demostró la capacidad de los múltiples examinadores para usar con precisión goniómetros basados en teléfonos inteligentes. (15)

4.2.- Estudios ergonómicos

Un estudio ergonómico viene a ser la evaluación de un puesto de trabajo, tomando en cuenta todas las dimensiones de este, que son; tarea, trabajador y condiciones de trabajo. (3,4)

El objetivo principal de este tipo de estudios es encontrar una mejor correspondencia entre el trabajador y las condiciones de trabajo, para hacerlo eficiente, seguro y saludable. Para ello se requiere examinar las capacidades físicas y las limitaciones del cuerpo humano, en relación con las tareas que debe realizar cada persona, por consiguiente, hay herramientas utilizadas con respecto al entorno laboral. En estudios sobre el tema a nivel internacional, se han estado llevando a cabo varios análisis para poder identificar cuáles son los principales riesgos ergonómicos a los cuales están expuestos los trabajadores en la producción del campo a nivel de América Central y América del sur, y poder ayudar a mejorar sus condiciones de trabajo, para así poder disminuir los problemas que estos conllevan. Algunas de las entidades que se encargan de realizar estudios relacionados a los riesgos ergonómicos son: el Programa Salud, Trabajo y Ambiente (SALTRA), el Instituto Hondureño de Seguridad Social (IHSS), la Secretaría de Salud, entre otros. Las personas que trabajan actualmente en la

agricultura pueden estar expuesta a riesgos ergonómicos, con la probabilidad de desarrollar trastornos, afecciones o enfermedades que involucran a los tendones, músculos, nervios y otras estructuras que dan soporte y estabilidad al cuerpo humano, ocasionados por los requerimientos físicos en el trabajo, fundamentalmente debido a la adopción de posturas forzadas, la realización de movimientos repetitivos, la manipulación manual de cargas y la aplicación de fuerzas. (3,4,30)

La información de movimiento, posición y posturas, que pueden obtenerse durante la realización de una tarea que requiera esfuerzo físico, permite establecer a través de un método de evaluación ergonómica el nivel de riesgo de sufrir un trastorno musculoesquelético y el nivel de acción que se requiere. Para determinar el nivel de riesgo ergonómico en un grupo específico de trabajadores es necesario utilizar un método de evaluación ergonómico que permita analizar las posiciones de los elementos que intervienen en la tarea antes mencionada. (31)

Según la Asociación Internacional de Ergonomía (IEA), existen tres dominios de especialización dentro de este campo de estudio: La ergonomía física, ergonomía cognitiva y ergonomía organizacional. Por otro lado, existe la ergonomía geométrica que se centra en la relación entre el hombre y las condiciones métricas de su puesto de trabajo. La ergonomía ambiental que estudia las relaciones del hombre con todos los factores ambientales, y en ello guarda similitud con la higiene en el trabajo, también está la ergonomía temporal que estudia la relación fatiga/descanso. Sin embargo, los estudios ergonómicos también lo usan para diseñar diferentes puestos de trabajo, incluida la composición en los sistemas de realidad virtual. (1,32)

Las metodologías de evaluación ergonómica comúnmente utilizadas incluyen la evaluación rápida de las extremidades superiores (RULA), la evaluación rápida de todo el cuerpo (REBA), Método MAC, entre otros, las cuales se basan en análisis de expertos para clasificar las posturas y rangos generales para su posterior interpretación. (29)

En un artículo científico sobre la ergonomía en cirugía laparoscópica se observa que, a pesar del aumento en el uso de esta técnica, la ergonomía del quirófano aún es incipiente, la consecuencia es que las lesiones y enfermedades relacionadas con la cirugía laparoscópica están presentes. Los objetivos de aquel estudio fueron investigar cómo un aumento en la percepción de la fatiga del cirujano durante la ejecución de la intervención, influye en la salud del cirujano; y evaluar si existe una correlación entre el aumento de la fatiga y la dimensión del campo operatorio. Los métodos que se utilizaron fueron la escala Borg CR 0-10 y para realizar este estudio se analizaron dos grupos de 20 procedimientos quirúrgicos cada uno, de los cuales se compararon estadísticamente los resultados de ambos grupos y se llegó a la conclusión de que se debe mejorar los aspectos ergonómicos, especialmente en procedimientos laparoscópicos más complejos que requieren mayor tiempo operatorio e incluyen más de un cuadrante abdominal. (23,33)

Existen diferentes factores de riesgo disergonómicos que a la larga conllevan a un alto riesgo de trastornos musculoesqueléticos. En el desarrollo de un estudio científico sobre nuevos sistemas de producción de mayor grado de mecanización; en lugar de subdividir diferentes tareas. se obtuvo como resultado ciclos de trabajo más cortos para los trabajadores. Recientemente, se han implementado sistemas

de producción en línea dirigidos por máquinas en los cuales se evaluaron las diferencias en la carga de trabajo físico entre los sistemas de producción. Se registraron las posturas y los movimientos por medio de la inclinometría y goniometría, por otro lado, se evaluó la carga muscular por medio de la electromiografía, en los trabajadores de sistemas de producción de carcasas. La mayoría de las mediciones mostraron una tendencia estadísticamente significativa de disminución de la exposición física con el aumento de los grados de mecanización. Sin embargo, un nuevo método para cuantificar la variación de la postura, basado en la inclinometría, mostró que el sistema de carcasa dividida implicaba la mayor variación de las posturas del brazo superior dentro del minuto, pero la menor entre minutos, es decir, una baja variación durante el transcurso de la jornada laboral. En conclusión, la carga de trabajo físico en el sistema de producción en línea fue significativamente menor que en el de carcasa dividida, y también tendió a ser menor que en el sistema de sexta parte. Finalmente, puede haber desventajas en la producción en línea, como el ritmo de trabajo dirigido por la máquina. (34)

En un estudio sobre la postura de la muñeca y el hombro en actividad muscular durante el uso de una tableta con pantalla táctil sus efectos de la configuración de uso, el tipo de tableta y la mano que interactúa, fue de rápido crecimiento en popularidad, por lo tanto, existe una necesidad inminente de realizar una evaluación ergonómica del factor de forma de las tabletas con pantalla táctil. El objetivo del estudio fue evaluar las posturas de los hombros y las muñecas y su actividad muscular asociada durante el uso de tabletas con pantalla táctil. Las posturas de los hombros se midieron utilizando un sistema de análisis de

movimiento basado en marcadores LED infrarrojos, las posturas de las muñecas mediante electrogoniometría y la actividad muscular del hombro y del antebrazo mediante electromiografía de superficie. Obtuvieron buenos resultados en el cual las posturas y la actividad muscular de la muñeca variaron significativamente entre las configuraciones y entre las manos, pero no entre las dos tabletas probadas. Las diferencias observadas en la postura y la actividad muscular del hombro fueron impulsadas por la ubicación de la tableta. Por lo tanto, concluyeron que los usuarios de tabletas con pantalla táctil están expuestos a posturas extremas de la muñeca que son menos neutrales que las de otras tecnologías informáticas y pueden correr un mayor riesgo de desarrollar síntomas musculoesqueléticos. Recomendaron que las tabletas debían colocarse en estuches o soportes que ajusten la inclinación de la pantalla en lugar de sostener e inclinar la tableta con una sola mano. (35)

Los trastornos musculoesqueléticos (TME) constituyen uno de los problemas más comunes relacionados con las enfermedades en el trabajo. En este estudio se llegó a un porcentaje en el cual fue que el 59,4 % de los pacientes correspondieron al sexo femenino, esto refiere que podría estar en relación con la menor masa muscular de las mujeres que las podría hacer más susceptibles a presentar TME en trabajos con alta exigencia física, por otro lado, la actividad laboral más afectada fue la de camareras y auxiliares de limpieza (18,9 %), la repetitividad estuvo presente como factor de riesgo en el 64,5 % de los pacientes y la epicondilitis afectó al 38,5 % de los mismos. Por último, el 60,4 % de los pacientes habían presentado crisis anteriores y el 72,9 % de ellos presentó incapacidad laboral. (36)

En la India, donde el 92% de los usuarios de motocicletas son hombres, las bases de datos existentes sobre antropometría y rango de movimiento (ROM) de motociclistas indios son inadecuadas en términos de información relevante o no son representativas de toda la población india. Se recopiló un conjunto de datos que incluía 29 mediciones antropométricas y 20 de ROM de 120 participantes masculinos siguiendo técnicas de confiabilidad intra e interobservador. Usando la técnica de reducción dimensional, se identificaron 14 y 6 de las variables antropométricas y de ROM más influyentes, que explican la varianza casi total. El porcentaje de diferencia osciló entre 26% y 56% al comparar las variables del estudio actual con la base de datos de la población general de la India, así como otras bases de datos internacionales de motociclistas/conductores. Aunque el tamaño de la muestra es relativamente menor, el conjunto de datos desarrollado se puede utilizar para el diseño ergonómico de motocicletas para usuarios indios hasta que se genere una base de datos más grande considerando los conocimientos del estudio actual. (37)

La prevalencia de al menos un síntoma de Trastornos Musculo Esqueléticos entre los hombres en los sectores del automóvil y el transporte fue un 20% mayor que en otros sectores ocupacionales, sus tareas implican muchos factores de riesgo, como posturas y movimientos incómodos y actividades que requieren mucha mano de obra. La mayoría de estas industrias han desarrollado programas ergonómicos, que se centran en la ergonomía física, utilizando una evaluación de la exposición al riesgo físico principalmente cualitativa, estos métodos son útiles como herramientas de detección para identificar factores de riesgo críticos de TME, pero las mediciones cuantitativas realizadas con un acelerómetro y un

inclinómetro, pueden proporcionar información confiable para crear nuevas estrategias de mejora en los métodos de evaluación. Los resultados de este estudio mostraron que la proporción de tiempo de exposición a la postura incómoda excesiva fue alta en el cuello y las muñecas entre los operadores de ensamblaje de camiones. También estuvieron expuestos a una postura moderadamente incómoda en el cuello, la espalda, los brazos y las muñecas. Los resultados confirman la variabilidad en la exposición entre operadores y entre estaciones de trabajo. Este estudio mostró que la exposición a posturas incómodas fue significativa y fue necesario implementar un programa ergonómico que incluyera una fase de evaluación confiable y la implementación de soluciones con el aporte de los actores, en particular los operadores. (38)

Por otro lado, en dos estudios realizados de clínicas dentales se evaluaron las intervenciones ergonómicas en el dominio físico, uno de los cuales evaluó una intervención ergonómica multifacética, que constó en capacitar e impartir conocimientos sobre ergonomía, modificar el puesto de trabajo, encuesta y capacitación sobre ergonomía en el puesto de trabajo y un programa de ejercicio regular; el otro, estudiando la efectividad de dos tipos diferentes de instrumentos utilizados para la mejora en la prevención de Trastornos musculoesquelética relacionados con el trabajo (WMSD). No fue posible para este estudio, combinar los resultados de ambos estudios revisados, debido a la diversidad de intervenciones y resultados. Intervenciones ergonómicas físicas. Según un estudio, existe evidencia de muy baja calidad de que una intervención multifacética no tiene un efecto claro en el riesgo de los dentistas de WMSD en los muslos o los pies en comparación con ninguna intervención durante el tiempo

de seis meses. Según un estudio, existe evidencia de baja calidad de que no hay una diferencia clara en el dolor de codo (o el dolor de hombro) en los participantes que usaron curetas livianas con mangos más anchos o curetas más pesadas con mangos estrechos para el raspado durante un período de 16 semanas. En conclusión, la evidencia que encontró el estudio fue de muy baja calidad entre los profesionales de la atención odontológica. (32)

En un estudio sobre los cirujanos, muestran que se encuentran sometidos a duras condiciones de trabajo debido al deficiente diseño ergonómico de los instrumentos, por ello, presentan un nuevo diseño de mango ergonómico, el cual ha sido diseñado utilizando principios ergonómicos, tratando de proporcionar tanto una manipulación más intuitiva del instrumento como una forma que reduzca las zonas de alta presión en el contacto con la mano del cirujano; estas características ergonómicas del nuevo mango se evaluaron mediante estudios objetivos y subjetivos, el estudio experimental se realizó con 28 voluntarios mediante la comparación del nuevo mango con el concepto de mango de anillo, (RH) en un instrumento disponible en el mercado. Se estudió la activación muscular y los movimientos de la mano, la muñeca y el brazo de los voluntarios mientras realizaban diferentes tareas. Los datos medidos en el experimento incluyen valores de electromiografía y goniometría; tuvieron como resultados del análisis subjetivo que la mayoría de los voluntarios (64%) prefirieron el nuevo prototipo al RH, reportando menos dolor y menos dificultad para completar las tareas. Los resultados del estudio objetivo revelan que la hiperflexión de la muñeca requerida para la manipulación del instrumento se reduce considerablemente; en conclusión, el nuevo mango ergonómico no solo ofrece

importantes ventajas ergonómicas, sino que también mejora la eficiencia a la hora de realizar las tareas. En comparación con los instrumentos RH, el nuevo prototipo reduce las zonas de alta presión y los movimientos extremos de la muñeca. (36)

4.3.- Métodos goniométricos relacionados a los estudios ergonómicos.

Uno de los principales problemas en las empresas de instalación de equipos y maquinas, son los problemas de salud que pueden contraer por las cargas y movimientos, el objetivo de un estudio fue gestionar estos riesgos ergonómicos por el levantamiento manual de cargas en las empresas, para lo cual se aplicaron dos métodos de evaluación, la goniometría evaluada por el médico ocupacional externo y el método MAC (Manual handling Assessment Charts) en los puestos de trabajo. Siendo así la goniometría un factor importante del análisis en el estudio que permite la evaluación exhaustiva de las articulaciones y tejidos blandos, mediante una entrevista y revisión de antecedentes de salud de los trabajadores por parte un médico ocupacional externo, determinaron que los parámetros identificados están dentro del rango aceptado por el método. (39)

La goniometría es un método viable para estudiar los movimientos también de la muñeca y en la mayoría de los trabajos que requieren un uso intensivo de la mano. La precisión y exactitud del método en sí es buena tanto para el conocimiento de la validez de las mediciones de campo, el tamaño de la imprecisión también es importante. En este estudio evaluaron esta condición en circunstancias estandarizadas donde seis mujeres realizaron tres tareas diferentes que requerían mucho trabajo manual: recolección de materiales, montaje ligero y montaje pesado, repetidas durante tres días diferentes. En el caso de los

movimientos, los coeficientes de variación de las velocidades angulares fueron de alrededor del 10% entre días y podrían explicarse en gran parte por diferencias en el ritmo de trabajo. La variabilidad entre sujetos fue mayor, del 20% al 40%. La precisión de las posiciones medidas fue buena, expresada como una pequeña variabilidad entre días y entre sujetos. Para los movimientos, la variabilidad entre días también fue pequeña, mientras que hubo una mayor variabilidad entre sujetos. La imprecisión de la goniometría es, en consecuencia, menor y comparable con la de la inclinometría, pero menor que la de la EMG (electromiografía). (37)

Un artículo donde se evaluó la influencia de las características ergonómicas se observaron desviaciones en los índices goniométricos del patrón de postura de trabajo de los conductores, lo que se debe a desventajas del asiento del conductor tanto en autobuses como en camiones. Por lo cual se finalizó que las patologías del sistema musculoesquelético de los conductores de autobús se relacionan con mucha más frecuencia con la permanencia prolongada en una posición fija e incómoda. (40)

En estos últimos años, ha variado la validación de la goniometría basada en teleconferencia para medir el rango de movimiento de las articulaciones. Este uso de la telemedicina para determinar el rango de movimiento ha despertado el interés de muchos médicos por lo cual la goniometría es un componente vital y fundamental del examen de un cirujano ortopédico. Estas mediciones se utilizan para establecer una línea de base para los pacientes, guiar una mejoría adicional o para una comparación posterior a la operación. Este estudio validó que las mediciones goniométricas del rango de movimiento a través de una teleconferencia son consistentes con las mediciones clínicas. Las mediciones por

teleconferencia, al igual que la fotografía, también requieren menos habilidad que tomar una medición del rango de movimiento en personas. Todo esto conllevó a una reducción de gastos y ahorros de costos para los sistemas médicos, también puede mejorar la tasa de retorno de los pacientes, ya que es más probable que realicen un seguimiento con un médico, ya que no es necesario viajar. (41)

En otro estudio se evaluó la proporción de tiempo en posturas de riesgo para las articulaciones principales de las extremidades superiores en una planta de ensamblaje de camiones donde se observó síntomas musculoesqueléticos. Fueron seleccionados catorce estaciones de trabajo de una planta de ensamblaje de camiones y se colocaron siete sensores en los segmentos corporales de los participantes. Estos sensores incluían acelerómetros triaxiales para los brazos y la espalda, inclinómetros para el cuello y electrogoniometría (sensores goniométricos) para cuantificar la flexión/extensión de las manos. Las proporciones de tiempo en posturas incómodas moderadas fueron altas en todas las estaciones de trabajo. Se encontró una relación insignificante entre el porcentaje de tiempo empleado en posturas incómodas de las extremidades superiores y los síntomas musculoesqueléticos. Sin embargo, los resultados de este estudio mostraron que la proporción de tiempo de exposición a la postura incómoda excesiva fue alta en el cuello y las muñecas entre los operadores de ensamblaje de camiones. También estuvieron expuestos a una postura moderadamente incómoda significativa en el cuello, la espalda, los brazos y las muñecas. (38)

En un estudio sobre evaluación de carga de trabajo física se utilizaron los métodos de inclinometría, goniometría y electromiografía en 33 ecografistas

mujeres durante la toma de ecocardiografías (se realiza sentado, con una mano se maniobra un transductor con cable y con la otra mano se controla el teclado integrado al ecógrafo, al mismo tiempo se observan las imágenes en la pantalla) y en qué medida esa carga de trabajo difiere de la carga de otras tareas laborales (otros exámenes ecográficos y tareas no ecográficas) utilizando tres formas diferentes de realizarlas); los participantes llevaban registradores de datos portátiles que registraban y almacenaban los datos, se utilizaron inclinómetros basados en acelerómetros triaxiales en combinación con un registrador de para medir y registrar posturas (inclinación relativa a la línea de gravedad) y movimientos de la cabeza, la parte superior de la espalda y ambos brazos, también se utilizaron electrogoniómetros flexibles biaxiales, colocados bilateralmente en las muñecas y, así mismo se realizó electromiografía de superficie bipolar con electrodos, para registrar la actividad muscular bilateral de los músculos trapecios y los músculos extensores del antebrazo; los resultados que mostraron fueron que la ecocardiografía se caracterizó por bajas velocidades de la cabeza, los brazos y las muñecas, y una baja proporción de tiempo de reposo muscular en los antebrazos, en la extremidad del transductor y en la extremidad de la computadora, también se encontró una alta proporción de posturas incómodas en la muñeca del transductor en las tres técnicas; en una debido a la flexión prolongada y en las otras debido a la extensión prolongada. Otras tareas laborales fueron menos estáticas y se realizaron con velocidades más altas en la parte superior del brazo y la muñeca. (42)

El objetivo de un estudio piloto fue realizar un análisis postural de los neurólogos con respecto a sus actividades ocupacionales durante su trabajo, ya

que estas tareas requieren una tensión y concentración excesivas en actividades que implican levantar constantemente objetos pesados, trabajar durante largos períodos de tiempo en posiciones estáticas de pie o realizar numerosas tareas repetitivas. Se recopilaron un total de datos de 64,8 h (3885,74 min) de nueve (tres hombres y /seis mujeres) neurólogos (médicos asistentes). Los datos cinemáticos fueron recolectados mediante el sistema CUELA (electrogoniometría), además, las actividades ocupacionales realizadas en el lugar se sometieron a un análisis objetivo detallado de la actividad. Se asignaron categorías a las actividades, por ejemplo "Actividades de consulta" (I), "Mediciones en pacientes" (II) y "Otras actividades" (III). Se realizó la valoración de los ángulos de cada región del cuerpo (parámetros de evaluación) de acuerdo con las normas ergonómicas ISO (International Organization for Standardization). Brindando como resultado que las tareas de la categoría (II) "Mediciones en pacientes" revelaron un mayor riesgo ergonómico para las áreas de la cabeza, el cuello, el tronco y la espalda. Durante la categoría (I) "Actividades de consulta", especialmente los movimientos de cuello y espalda en el plano sagital mostraron mayores niveles de riesgo ergonómico, pese a las posiciones corporales incómodas frecuentes en la actividad (II) "Mediciones en pacientes", el riesgo ergonómico se considera bastante bajo, dado que el porcentaje de tiempo utilizado fue de un escaso 3,4%. (43)

4.4.- Buenas prácticas en el uso de la goniometría en los estudios ergonómicos

Es necesario que el evaluador se encuentre atento a los cuidados que se requieren con el paciente para lograr una evaluación precisa de la Amplitud de movimiento. En un inicio debe estar descubierta la zona de será evaluada, explicar

de forma clara el movimiento requerido y, si es necesario realizar una demostración del movimiento en la amplitud del movimiento disponible. La postura anatómica debe ser priorizada. Además, una forma de realizarse debe estandarizarse en el momento, a fin de evitar los intercambios de posturas. es decir, si la evaluación fue iniciada con el paciente en una posición, todas las medidas deben entonces ser evaluadas en esta misma posición para después la postura ser modificada. (24,25,44–46)

Para realizar la técnica de goniometría, el evaluador estabiliza el segmento articular proximal y luego moviliza cuidadosamente el componente distal de la articulación durante todo el recorrido de su rango de movimiento, hasta alcanzar la sensación final. El dolor es un mecanismo subjetivo de experiencia sensorial y emocional desagradable, por ello el examinador se debe encontrar atento, pues la manipulación puede agravar o estimular el mecanismo del dolor durante la evaluación. Si hay una zona con herida, quemadura u otra disfunción residual, se debe tener especial cuidado con relación al tacto y al movimiento. Cualquier contacto con el cuerpo del paciente debe ser realizado, previa información y consentimiento del paciente, sin herir la ética profesional, en forma de respetar los principios morales y el pudor del individuo a evaluar. (24,25,44,45)

Estas evaluaciones con goniómetros solo deberían ser realizadas por personal capacitado previamente, médicos, doctores, fisioterapeutas, terapeutas ocupacionales u otro personal capacitado por la necesidad de que se encuentren familiarizados de cierto modo con el conocimiento anatómico. (24,25)

El examinador debe palpar los puntos de referencia óseos de relevancia y alinear el goniómetro, luego registrar claramente la medición inicial. Retirar el goniómetro y pedir al paciente que realice el movimiento a través del rango de movimiento, reemplazar y volver a alinear el goniómetro, leer y registrar la medición. Estas mediciones se deben repetir 3 veces y calcular el promedio para obtener la medición del rango de movimiento activo. (26)

Una de las buenas prácticas del uso de la goniometría en el estudio ergonómico es mediante movimientos articulares activos y pasivos, durante la exploración física al trabajador se permite al examinador detectar movimientos anormales, medir y documentar el grado de movilidad articular, así como las posiciones fijas anormales de la articulación, a la vez que proporciona información sobre la presencia, ausencia o cambios en el deterioro de la articulación, diagnóstico, pronóstico que al finalizar permite valorar progresos en la rehabilitación y modificar tratamiento, entre otros. (6)

En la práctica de la goniometría se ha visto que existe una falta de herramientas y calidad a la hora de evaluar a los pacientes, por ende, no permiten un buen diagnóstico. La evaluación precisa del rango articular es una tarea esencial en el trabajo diario en especial, por ejemplo, para los fisioterapeutas para poder evaluar correctamente el progreso del tratamiento. En un estudio, examinaron la fiabilidad y seguridad de una aplicación del sistema Android llamada G-Pro para evaluar sus características y observar su utilidad como goniómetro para medir ángulos articulares. Los resultados obtenidos en este estudio demuestran que estos dispositivos representan un recurso adicional para evaluar los rangos de movilidad articular. Finalmente, el goniómetro es de bajo costo y accesible para los

profesionales de la salud; además, es fácil de usar ya que cuenta con un inclinómetro confiable tanto a nivel visual como evaluativo lo que nos brinda una buena práctica a la hora de aplicarlo. (47)

En un estudio sobre confiabilidad intra e interexaminador y error de medición en el uso del goniómetro e inclinómetro digital, las mediciones de Rango de Movimiento Articular (ROM) se realizaron de forma pasiva con un goniómetro universal, realizando el uso correcto: la alineación de los brazos del goniómetro con los segmentos proximal y distal de la articulación se realiza utilizando referencias anatómicas óseas de los segmentos cercanos a la articulación; sin embargo, el inclinómetro digital, que es un instrumento de ingeniería para medir la inclinación de superficies, tiene una ventaja importante al medir el ROM ya que su posicionamiento no depende de referencias anatómicas, es un dispositivo aún poco utilizado y esto se debe, entre otros factores, a su mayor costo en comparación con el goniómetro; ambas mediciones dependen de la habilidad de los examinadores, el instrumento utilizado, la articulación y el movimiento evaluados. A pesar de ser fundamental en la clínica, la medición del ROM no es una medida intrínsecamente confiable y precisa; por lo que es fundamental que el evaluador ponga a prueba su capacidad para realizar esta medición. (48)

Un artículo de revisión sobre las evaluaciones ergonómicas de la realidad virtual (VR). La inmersión que obtienen los usuarios en entornos VR depende en gran medida de su experiencia visual. Por ello, la investigación de la ergonomía visual de la realidad virtual cobra especial importancia. La latencia se refiere a la diferencia entre el tiempo necesario para que un dispositivo de realidad virtual responda a una señal de comportamiento ingresada por el usuario y el tiempo para

que un dispositivo de realidad virtual presente la señal. En septiembre de 2020, IEEE (Instituto de Ingeniería Eléctrica y Electrónica) desarrolló un estándar HMD para reducir las enfermedades de la realidad virtual. Mencionó que la latencia de la realidad virtual puede afectar la inmersión del usuario y causar inconvenientes, lo que planteó nuevos requisitos para el hardware HMD. La latencia debe ser lo más baja posible; serán aceptables 20 ms o incluso menos de latencia. La velocidad de fotogramas es la cantidad de fotogramas por segundo que se actualiza la imagen y las velocidades de fotogramas bajas pueden provocar parpadeos. Dado que el parpadeo y las velocidades de cuadros bajas pueden causar síntomas como dolores de cabeza, fatiga ocular y convulsiones en usuarios sensibles, la velocidad de cuadros en el contenido de realidad (2).

En un estudio comparativo entre la anamnesis y la ergonometría en la detección de limitaciones biomecánicas por sintomatología musculoesquelética resultó que la técnica goniométrica es un método no invasivo y económico que puede realizarse en un consultorio o en el puesto de trabajo, por ende, la medición realizada es confiable y práctica; y se puede aplicar fácilmente en el contexto clínico. En tal sentido, dentro de las técnicas que muchos médicos ocupacionales están incorporando en el examen físico, se encuentra la goniometría, que es una técnica práctica y económica, que está siendo aplicada en algunos países de Latinoamérica. (6)

Durante los últimos años, se han realizado pocos estudios en el cual han evaluado la viabilidad y confiabilidad de la evaluación remota del ROM mediante fotografías, capturas de pantalla y aplicaciones/software de goniómetro. Los estudios que evalúan la confiabilidad de la medición, es decir, mediciones

repetidas de las imágenes adquiridas a diferencia de la confiabilidad del procedimiento, donde se repite todo el procedimiento de medición, incluido el posicionamiento del paciente, la captura de imágenes y la medición posterior, sugieren una confiabilidad de buena a excelente. (49)

En un artículo científico sobre la precisión y fiabilidad de los métodos de goniometría de rodilla hubo tres usuarios que evaluaron los ángulos de rodilla que estuvo conformado por un cirujano ortopédico consultor, un cirujano ortopédico en formación y un fisioterapeuta experimentado. Se utilizaron los cinco métodos para evaluar tres ángulos de rodilla, además de la flexión y extensión activas completas, en seis rodillas. Los ángulos de rodilla de los sujetos se fijaron mediante soportes para las extremidades durante la medición, manteniendo al mismo tiempo una distancia adecuada para permitir una reproducción de la evaluación en la clínica. Se tomaron un total de 300 mediciones. Hubo buenos resultados de confiabilidad interevaluador e intraevaluador, lo cual fue alta para todos los métodos respectivamente. El inclinómetro digital fue el método de evaluación más preciso, sin embargo, el goniómetro de brazo largo tuvo una diferencia significativa mínima de 10° , la aplicación para teléfonos inteligentes de 12° y tanto la estimación visual como la goniometría de brazo corto resultaron igualmente inexactas. (22)

4.5.- Aplicación de Tecnología avanzada a las mediciones goniométricas

Los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo (TME) son una de las principales causas de discapacidad en todo el mundo y tienen costos sociales de consideración. El uso de instrumentos portátiles de captura de

movimiento tiene un papel fundamental en la prevención de los TME, ya que contribuye a mejorar la exposición y la evaluación de riesgos y potencialmente mejora la eficacia en la capacitación en técnicas de trabajo. La tecnología portátil permite mediciones continuas de múltiples segmentos corporales con una precisión y exactitud superiores en comparación con las herramientas de observación, también permite la visualización en tiempo real de las exposiciones, análisis automáticos y retroalimentación en tiempo real para el usuario. Si bien la miniaturización y la mejora de la usabilidad y la portabilidad pueden expandir el uso también a más entornos ocupacionales y aumentar el uso entre los profesionales de la seguridad y la salud ocupacional, aún quedan varios desafíos fundamentales por resolver, las oportunidades futuras de un mayor uso de dispositivos portátiles de captura de movimiento para la prevención de trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo pueden requerir más colaboraciones internacionales para crear estándares comunes para mediciones, análisis y métricas de exposición, que puedan relacionarse con categorías de riesgo basadas en la epidemiología para los trastornos musculoesqueléticos relacionados con el trabajo. (50)

Generalmente, en la actualidad ya existen tecnologías avanzadas donde hacen uso de los teléfonos inteligentes con cámara que dan lugar a un creciente conjunto de pruebas sobre su uso en la obtención de imágenes médicas en una amplia gama de especialidades médicas. Un artículo analizó las pruebas actuales sobre el uso de la salud móvil (m-health) en la obtención de imágenes médicas. Entre estos estudios, la salud móvil se utilizó como ayuda diagnóstica, para el seguimiento de los pacientes y para mejorar la comunicación entre los profesionales de la salud.

Últimamente con el creciente uso de celulares inteligentes para la obtención de imágenes médicas, es necesario tener en cuenta el consentimiento informado, la privacidad, el almacenamiento y la transferencia de imágenes y las directrices para los trabajadores de la salud y los pacientes. Se llegó a la conclusión que existen varios usos novedosos de los dispositivos móviles para la obtención de imágenes médicas que resultan prometedores en diversas áreas y subespecialidades de la atención médica. Actualmente, los estudios son en su mayoría de naturaleza exploratoria. Para validar estos dispositivos, se requieren estudios con mayor rigor metodológico. Gracias al avance tecnológico, podemos mejorar, innovar y demostrar los resultados de las evaluaciones articulares para asegurar su precisión. Esto, a su vez, garantiza que el tratamiento brindado sea adecuado y específico para cada paciente. (47)

En la actualidad, es más frecuente ver sobre la realidad virtual (VR) que viene ser una combinación de tecnologías que permiten al usuario interactuar con un entorno simulado por computadora con la experiencia de inmersión, interactividad e imaginación. Sin embargo, los problemas ergonómicos relacionados con la realidad virtual tienen efectos adversos en la salud y la experiencia de los usuarios, que restringen la aplicación de la tecnología de realidad virtual. La tecnología de realidad virtual que crea un entorno inmersivo será una solución adecuada para mejorar la ergonomía en el lugar de trabajo. (2)

La importancia de la investigación en ergonomía con respecto a las mediciones goniométricas es esencial para la realidad virtual. Por consiguiente, en unos estudios utilizaron voluntarios sanos donde se utilizó un sensor 3D RGB-D que generaba simultáneamente una imagen en color y un mapa de profundidad.

Luego, usaron varios métodos para el reconocimiento de hombros a una medida de movimiento 3D. Para cada posición, hubo dos evaluadores que realizaron una medición visual (EyeREF) y goniométrica (GonioREF). Se evaluó la correlación intraclase (ICC) entre evaluadores, entre observadores y el coeficiente de correlación de concordancia (CCC) entre los tres métodos. Para las evaluaciones manuales EyeREF y GonioREF, ICC se mantuvo constantemente los movimientos más amplios en el plano. Fue muy bueno para ER1 e IR2 y bastante bueno para aducción, extensión y ER2. Hubo diferencias entre las medias de las mediciones de EyeREF y RoM del hombro ya que fueron significativas para todos los movimientos. Por lo tanto, en comparación con GonioREF, RoM del hombro proporcionó resultados similares para abducción, aducción y flexión y EyeREF proporcionó resultados similares para aducción, ER1 y ER2. Los tres métodos mostraron una Coeficiente de Correlación de Concordancia general de buena a excelente. Por último, la combinación RGB-D/AI es confiable para medir el RoM del hombro en consulta, en comparación con la goniometría clásica y la observación visual. (16)

En un estudio sobre medición del ángulo de abducción del hombro con modelo de inteligencia artificial de estimación de la postura. Existen avances sustanciales en la precisión de la captura de movimiento sin marcadores, pero persisten discrepancias al medir los ángulos de las articulaciones en comparación con los tomados con un goniómetro. Este estudio integra técnicas de aprendizaje automático con captura de movimiento sin marcadores, con el objetivo de mejorar esta precisión. Se emplearon dos bibliotecas basadas en inteligencia artificial, MediaPipe y LightGBM, para ejecutar la captura de movimiento sin marcadores

y la estimación del ángulo de abducción del hombro. En conclusión, este estudio presenta un avance valioso en la captura de movimiento sin marcadores basada en IA para la estimación del ángulo articular y se validó que la aplicación innovadora de MediaPipe para detectar puntos de referencia corporales, calcular distancias, ángulos y áreas entre articulaciones y establecer parámetros para LightGBM es efectiva. Estos hallazgos establecen una base sólida para futuras exploraciones e innovaciones en este campo, con aplicaciones prácticas más allá de la evaluación de la abducción del hombro. En investigaciones futuras, se podría ampliar la gama de movimientos articulares evaluados, como la flexión del hombro, la rotación interna y externa, y evaluar los ángulos de las articulaciones de las extremidades inferiores, aumentando el número de ángulos de entrenamiento. Además, pretendemos aplicar el aprendizaje automático a movimientos específicos para un análisis de movimiento más detallado.(51)

En un estudio sobre la Automatización, inteligencia artificial y robótica: cuestiones emergentes y debates en factores humanos y ergonomía a menudo se hace referencia que dentro del campo de los factores humanos y la ergonomía (HFE) en respuesta a los llamados a sistemas "totalmente automatizados" sin participación humana, incluidos los sistemas basados en inteligencia artificial (IA), y su incorporación dentro de tecnologías robóticas. La HFE está en una posición privilegiada para comprender los posibles efectos de la automatización, la IA y la robótica, tanto en el lugar de trabajo como en la sociedad en general. Por lo tanto, es cada vez más importante para nosotros aplicar y ampliar las teorías y nuestros métodos para respaldar el diseño de tecnologías avanzadas y los sistemas más amplios en los que se integrarán. Esperamos que los artículos de esta

colección de números especiales inspiren la investigación y la práctica que respalden el diseño de una automatización, una IA y una robótica seguras, eficientes, efectivas y éticas. (52)

En un estudio sobre la evaluación y la capacitación ergonómicas mediante video en tiempo real basadas en inteligencia artificial mejoran la ergonomía de los residentes, al finalizar la cirugía exige muchas horas y un esfuerzo intenso, por lo que conllevó a tener problemas ergonómicos. Así que probaron una aplicación de análisis ergonómico asistida por inteligencia artificial (IA) sin sensores para determinar su viabilidad para su uso con residentes, los resultados que obtuvieron de los residentes de cirugía que participaron en el estudio fue que los residentes mejoraron sus puntuaciones ergonómicas en los ángulos del cuello y del hombro derecho. Por consiguiente, los residentes expresaron una mayor conciencia de la ergonomía en función del contenido de la sesión y la información de la IA. Al finalizar, el software de IA para evaluación ergonómica puede brindar retroalimentación inmediata a los cirujanos en formación para mejorar la ergonomía. Sin embargo, se necesitan estudios adicionales que utilicen tecnología de IA sin sensores. (53)

En la actualidad, el uso una aplicación de inteligencia artificial es más frecuente y este estudio de evaluación del método de medición universal de Rennes (RUMM), se usó la IA para la evaluación del ángulo de las articulaciones de la mano. Aunque la medición goniométrica se considera el estándar de oro para la medición del rango de movimiento digital, la estimación visual se emplea a menudo debido a su simplicidad a pesar de ser inconsistente con las pautas recomendadas. Por ende, evaluaron este método de Medición Universal de

Rennes, que es una herramienta innovadora que emplea inteligencia artificial para analizar simultáneamente los ángulos de las articulaciones de la mano basándose en una sola fotografía. Por lo cual encontraron una fuerte correlación entre el método goniométrico y el enfoque basado en fotografías. Con respecto a la reproducibilidad con diferentes ángulos fotográficos, se observó un excelente coeficiente de correlación intraclase de 0,9. Para finalizar combinaron simplicidad, alta reproducibilidad y buena confiabilidad entre evaluadores, y se llegó a la conclusión que es una herramienta potencialmente útil que se puede utilizar para monitorear el progreso del paciente en lugar de la goniometría tradicional. (54)

En la última década, la Realidad Virtual (RV) ha experimentado un desarrollo continuo en lo que respecta a fines médicos y existen numerosos dispositivos basados en el concepto clásico de "ciberamor" que se utilizan como nuevo método terapéutico para patologías de miembros superiores, especialmente problemas neurológicos. Uno de los dispositivos de RV es Pablo (Tyromotion), con sensores muy sensibles que pueden medir la fuerza de agarre de la mano y la fuerza de pinza, también el ROM (rango de movimiento) para todas las articulaciones del miembro superior (hombro, codo, muñeca) y que ofrece la posibilidad de juegos interactivos basados en el concepto de Realidad Virtual con aplicación en programas de terapia ocupacional. Utilizaron Pablo en este estudio sobre pacientes con cirugía de mano como una herramienta objetiva para la evaluación y como método terapéutico adicional al programa de rehabilitación clásico. Los resultados del estudio demostraron que Pablo representa una opción moderna para la evaluación de déficits y disfunciones de la mano, con medición objetiva que

reemplaza la goniometría y dinamometría clásicas, con base de datos computarizada de pacientes con monitoreo de parámetros durante el programa de recuperación y con mejor retroalimentación muscular y neurocognitiva durante los módulos terapéuticos interactivos. (55)

La tecnología portátil es un campo que avanza rápidamente, desde los apósitos inteligentes para heridas hasta la predicción de la intensidad del dolor, este tipo de dispositivos permiten a los médicos y al personal sanitario utilizar mediciones objetivas en su práctica diaria, siendo su principal ventaja el eliminar la subjetividad de la evaluación clínica; el rango de movimiento de la mano es un parámetro difícil de evaluar, ya que, según un estudio, las evaluaciones visuales y la goniometría no son técnicas de medición fiables, dan a conocer que las nuevas técnicas de medición requieren un alto nivel de precisión y reproducibilidad para recomendar su uso y, por tanto, es fundamental estar al tanto de los errores de medición al evaluar su rendimiento, se compararon sus dispositivos con la goniometría manual para evaluar la precisión. Esta técnica goniométrica, propensa al error humano, no es lo suficientemente confiable para proporcionar mediciones precisas, pero su uso extensivo es comprensible debido a las dificultades para obtener el equipo para la goniometría virtual o basada en cámara. Sin embargo, esto genera dudas sobre la validez de las mediciones de precisión para algunos de estos dispositivos. Aunque la evidencia sobre la validez de las cámaras infrarrojas, el seguimiento electromagnético de los dedos y la fotogoniometría para la medición del rango de movimiento de la mano es escasa, se plantea la hipótesis de que estas técnicas de medición podrían ser más precisas al eliminar la subjetividad humana. Los estudios futuros que calculen la precisión de los

wearables (dispositivos para colocarse como pulseras y guantes) en la medición del rango de movimiento de la mano deberían utilizar estas técnicas de medición para evaluar el rendimiento. (20)

Intagliata E y Vizzini C, Vecchio R. realizaron un estudio de validación sobre un novedoso sistema portátil de análisis y adquisición de datos multiflujo para estudios ergonómicos donde se usó el Biohub que es adecuado para realizar análisis de datos en línea, que hasta la fecha son cada vez más fundamentales para trasladar los estudios de ergonomía fuera de las condiciones clásicas de laboratorio, es decir, a escenarios de la vida real más ecológicos y, por tanto, exigentes. En el presente artículo científico, presentaron la plataforma Biohub que es un dispositivo capaz de medir la dinámica del cerebro humano en entornos aplicados donde hay una descripción de la arquitectura hardware/software, validación de sus capacidades de sincronización en adquisiciones multimodales, y finalmente, una demostración de la aplicación de Biohub, como la conducción de automóviles. Tuvo como evidencia respaldada sobre la usabilidad de Biohub en el campo de la neuro-ergonomía, siendo una plataforma flexible capaz de adquirir, sincronizar con precisión y registrar de manera confiable múltiples flujos de diversas señales relacionadas con el cerebro humano y el comportamiento en entornos de la vida cotidiana. (56)

Un estudio mostró las nuevas generaciones de unidades de medición inercial (IMU) con giroscopios incorporados y tecnología Bluetooth brindan potencial para nuevos métodos para evaluar la velocidad de la muñeca, estas IMU se pueden conectar de forma inalámbrica a una aplicación de teléfono inteligente para procesar los datos y generar resultados de evaluación automáticamente, lo que es

conveniente tanto para el usuario, los profesionales y los investigadores; estos sistemas comunes integran las señales de los giroscopios y acelerómetros para mejorar el rendimiento de la evaluación de la postura y el movimiento bajo movimientos rápidos; se observaron diferencias distintivas entre la norma IMU y el goniómetro, con diferencias mayores a medida que la velocidad de movimiento aumentaba y durante la pronación/supinación que durante la desviación; IMU y el goniómetro tuvieron errores al calcular la velocidad de flexión de la muñeca a niveles similares durante la desviación; identificaron mejor precisión con la IMU comparado con el goniómetro. Los resultados sugieren que el método basado en IMU puede considerarse como un método conveniente para evaluar el movimiento de la muñeca para estudios ocupacionales o evaluaciones ergonómicas para el diseño de estaciones de trabajo y herramientas tanto por investigadores como por profesionales. (57)

Las limitaciones identificadas fueron:

Muchos artículos científicos no se encontraban traducidos del idioma inglés al español y no se llegó a ampliar la búsqueda en otros idiomas como en chino mandarín, alemán, japones entre otros. Que por criterios de inclusión sobre antigüedad de la información no se obtuvo acceso a toda la información sobre goniometría. Que se obtuvo un sesgo en la información por encontrarse artículos incompletos.

V. CONCLUSIONES

1.- Los estudios concuerdan en que la goniometría permite diagnosticar precozmente los problemas musculoesqueléticos, se utiliza en la evaluación de rango de movimiento activo y pasivo en diversas articulaciones y pueden ser la base de muchos de los estudios ergonómicos, que buscan mejorar la correspondencia entre los trabajadores y sus entornos laborales, minimizando riesgos de trastornos musculoesqueléticos; esta relación entre la goniometría y los estudios ergonómicos aún se encuentra poco estandarizada.

2.- La goniometría es una técnica y herramienta validada para cuantificar las restricciones en el rango de movimiento, los diversos tipos de goniométricos que existen, tales como el goniómetro universal, inclinómetro, electrogoniometría y diversos aplicativos en dispositivos electrónicos o teléfonos inteligentes, permiten obtener criterios para evaluar la capacidad biomecánica del trabajador y las exigencias físicas del puesto de trabajo; permitiendo, a su vez, diagnosticar precozmente los trastornos musculoesqueléticos.

3.- Se define a un estudio ergonómico como la evaluación que se realiza de un puesto de trabajo, tomando en cuenta todas sus dimensiones inherentes, tarea, trabajador y condiciones de trabajo, cuyo objetivo principal es encontrar una mejor correspondencia entre el trabajador y las condiciones de trabajo, para hacerlo eficiente, seguro y saludable. Para ello requiere examinar las capacidades físicas y las limitaciones del cuerpo humano, en relación con las tareas que debe realizar cada persona.

4.- Los métodos goniométricos en estudios ergonómicos se centran en la medición de ángulos del cuerpo humano para evaluar cómo las posturas y acciones afectan la salud y la eficiencia en el trabajo. Estos métodos incluyen: Goniometría con Goniómetro Universal, inclinómetros, electrogoniometría, entre otros; esenciales para mejorar la ergonomía de los espacios laborales, promover la salud y aumentar la productividad, pero que carecen de procedimientos estandarizados en la práctica real.

5.- Es importante que las mediciones con goniómetro sean realizadas por personal capacitado, por la necesidad de que se encuentren familiarizados, de cierto modo, con el conocimiento anatómico ya que debe priorizarse la postura anatómica para, de alguna forma estandarizar la toma, a fin de evitar los intercambios de posturas. Es decir, si la evaluación fue iniciada con el paciente en una posición, todas las medidas deben entonces ser evaluadas en esta misma posición, estas mediciones dependen de la habilidad de los examinadores y determinan su precisión y confiabilidad para los estudios ergonómicos.

6.- La tecnología portátil de captura de movimiento está emergiendo como una herramienta clave para prevenir trastornos musculoesqueléticos, mejorando la evaluación de riesgos y la capacitación en técnicas laborales, a pesar de sus beneficios, aún existen desafíos que requieren estándares comunes y colaboraciones internacionales. La salud móvil (m-health) permite el uso de teléfonos inteligentes para obtener imágenes médicas, sin embargo, esto plantea

desafíos en cuanto a privacidad y consentimiento que deben ser abordados para validar su eficacia. La realidad virtual (VR) ha mostrado potencial en la mejora de la ergonomía laboral, aunque también conlleva problemas ergonómicos que impactan la salud del usuario en su uso. La investigación en mediciones goniométricas en VR es crucial, y estudios han mostrado correlaciones entre diferentes métodos de evaluación del rango de movimiento. La inteligencia artificial (IA) se está integrando en la evaluación del movimiento y la ergonomía. Estudios recientes han demostrado avances en técnicas de captura de movimiento sin marcadores y en modelos que analizan la postura corporal, mejorando así la precisión en la medición de ángulos articulares. Las unidades de medición inercial (IMU) ofrecen un método conveniente para evaluar el movimiento de la muñeca, superando algunas limitaciones de la goniometría tradicional. Estos métodos innovadores son fundamentales para el desarrollo de evaluaciones más precisas en el campo de la ergonomía y la salud ocupacional.

VI. RECOMENDACIONES

1. Desarrollar y promover protocolos estandarizados para la realización de mediciones goniométricas en el entorno laboral, lo que facilitaría la correspondencia entre estudios ergonómicos y garantizaría la consistencia en la evaluación del rango de movimiento.
2. Impulsar a que el personal encargado de realizar las mediciones goniométricas reciba capacitación continua sobre anatomía y técnicas de medición, enfocado en la importancia de mantener una postura anatómica constante del examinado, durante las evaluaciones.
3. Fomentar la integración de tecnologías emergentes, como la captura de movimiento portátil e inteligencia artificial, en la evaluación ergonómica para obtener medidas más precisas y eficaces del rango de movimiento y la postura del trabajador, sin necesidad de “reemplazar” al ser humano.
4. Crear y dar a conocer redes de colaboración a nivel internacional para compartir investigaciones y mejores prácticas en el uso de la goniometría y la ergonomía, lo que puede ayudar a establecer consensos sobre estándares y metodologías.
5. Impulsar estudios ergonómicos que no solo se centren en la goniometría, sino que también evalúen las capacidades físicas del trabajador, las exigencias del puesto y las condiciones ambientales, asegurando un enfoque integral en la prevención de trastornos musculoesqueléticos.

6. Fomentar el desarrollo de políticas claras que aborden la privacidad y el consentimiento en el uso de tecnologías móviles para la salud, garantizando que la implementación de nuevas herramientas tecnológicas cumpla con los estándares éticos y proteja la información personal de los trabajadores.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Estrada Muñoz J. Ergonomía básica. Ediciones de la U; 2016. 240 p.
2. Chen Y, Wu Z. A review on ergonomics evaluations of virtual reality. Work. 1 de enero de 2023;74(3):831-41.
3. Portal INSST [Internet]. 2024 [citado 8 de septiembre de 2024]. Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo - INSST - Prevención de Riesgos Laborales - Portal INSST - INSST. Disponible en: <https://www.insst.es>
4. Villar Fernández MF. Procedimiento paara la evaluación de los riesgos ergonómicos.
5. Huapaya Paredes C, Gomero Cuadra R. Evaluación postural y presencia de dolor osteomuscular en trabajadores de una clínica materno-infantil, en la ciudad de Lima. Rev Medica Hered. enero de 2018;29(1):17-21.
6. Pino-Sánchez J, Tapia-Claudio O, Merino-Salazar P, Campos-Villalta Y. Estudio comparativo entre la anamnesis y la ergonometría en la detección de limitaciones biomecánicas por sintomatología musculoesquelética. Investig Clínica. marzo de 2021;62(1):52-62.
7. Torrealba F. Aplicaciones de la goniometría en la gestión de la salud ocupacional en Venezuela. Salud Trab Maracay. 2017;167-74.
8. Norkin CC, White DJ. Manual de goniometría: Evaluación de la movilidad articular (Color). Paidotribo; 2019. 1326 p.

9. Gandbhir VN, Cunha B. Goniometer. En: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 [citado 27 de agosto de 2024]. Disponible en: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK558985/>
10. Xavier Lima IA, Meneghini Belmonte L, Pereira Moro AR, Monterrosa Quintero A, Xavier Lima IA, Meneghini Belmonte L, et al. Incomodidad Corporal, Carga Física y Nivel de Flexibilidad en Trabajadores del Sector Administrativo de una Institución de Enseñanza Superior en Florianópolis, del Sur de Brasil. *Cienc Amp Trab.* diciembre de 2016;18(57):145-9.
11. Serranheira F, Sousa Uva A de. Evaluación de riesgo de ETRSME TMOLCE: diversas herramientas, diversos resultados!: Qué estamos midiendo? *Med Segur Trab.* septiembre de 2008;54(212):7-19.
12. Diego-Mass JA. Método RULA - Rapid Upper Limb Assessment [Internet]. [citado 14 de febrero de 2024].
13. Lee SH, Yoon C, Chung SG, Kim HC, Kwak Y, Park H won, et al. Measurement of Shoulder Range of Motion in Patients with Adhesive Capsulitis Using a Kinect. *PLoS ONE.* 24 de junio de 2015;10(6):e0129398.
14. an-Rijn SF, Zwerus EL, Koenraadt KL, Jacobs WC, van den Bekerom MP, Eygendaal D. The reliability and validity of goniometric elbow measurements in adults: A systematic review of the literature. *Shoulder Elb.* octubre de 2018;10(4):274-84.

15. Wellmon RH, Gulick DT, Paterson ML, Gulick CN. Validity and Reliability of 2 Goniometric Mobile Apps: Device, Application, and Examiner Factors. 1 de diciembre de 2016 [citado 8 de septiembre de 2024];
16. Gauci MO, Olmos M, Cointat C, Chammas PE, Urvoy M, Muriene A, et al. Validation of the shoulder range of motion software for measurement of shoulder ranges of motion in consultation: coupling a red/green/blue-depth video camera to artificial intelligence. *Int Orthop*. febrero de 2023;47(2):299-307.
17. Donisi L, Cesarelli G, Pisani N, Ponsiglione AM, Ricciardi C, Capodaglio E. Wearable Sensors and Artificial Intelligence for Physical Ergonomics: A Systematic Review of Literature. *Diagnostics*. 5 de diciembre de 2022;12(12):3048.
18. Nica AS, Brailescu CM, Scarlet RG. Virtual reality as a method for evaluation and therapy after traumatic hand surgery. *Stud Health Technol Inform*. 2013;191:48-52.
19. Yamaura K, Mifune Y, Inui A, Nishimoto H, Kataoka T, Kurosawa T, et al. Accuracy and reliability of tridimensional electromagnetic sensor system for elbow ROM measurement. *J Orthop Surg*. 29 de enero de 2022;17(1):60.
20. Avila FR, Carter RE, McLeod CJ, Bruce CJ, Giardi D, Guliyeva G, et al. Accuracy of Wearable Sensor Technology in Hand Goniometry: A Systematic Review. *Hand N Y N*. marzo de 2023;18(2):340-8.

21. Ravi b, kapoor m, player d. Feasibility and reliability of a web-based smartphone application for joint position measurement. *J Rehabil Med.* 18 de diciembre de 2020;53(5):2740.

22. Hancock GE, Hepworth T, Wembridge K. Accuracy and reliability of knee goniometry methods. *J Exp Orthop.* 19 de octubre de 2018;5:46.

23. Intagliata E, Vizzini C, Vecchio R. Ergonomics in laparoscopic surgery. *Ann Ital Chir.* 2022;92:117-21.

24. Melián-Ortiz A, Varillas-Delgado D, Laguarda-Val S, Rodríguez-Aparicio I, Senent-Sansegundo N, Fernández-García M, et al. Fiabilidad y validez concurrente de la app Goniometer Pro vs goniómetro universal en la determinación de la flexión pasiva de rodilla. *Acta Ortopédica Mex.* febrero de 2019;33(1):18-23.

25. Hoe VC, Urquhart DM, Kelsall HL, Zamri EN, Sim MR. Ergonomic interventions for preventing work-related musculoskeletal disorders of the upper limb and neck among office workers. *Cochrane Database Syst Rev.* 23 de octubre de 2018;10(10):CD008570.

26. Soucie JM, Wang C, Forsyth A, Funk S, Denny M, Roach KE, et al. Range of motion measurements: reference values and a database for comparison studies. *Haemoph Off J World Fed Hemoph.* mayo de 2011;17(3):500-7.

27. Kooij YE van, Fink A, Sanden MWN van der, Speksnijder CM. The reliability and measurement error of protractor-based goniometry of the

fingers: A systematic review. *J Hand Ther.* 1 de octubre de 2017;30(4):457-67.

28. Short N, Almonroeder TG, Fenker CA, Fisher OA, Francetic KE, Hodel AE, et al. Intra-rater reliability of goniometry to measure scapular protraction and retraction. *J Hand Ther.* 1 de abril de 2022;35(2):275-81.

29. Young C, DeDecker S, Anderson D, Oliver ML, Gordon KD. Accuracy of a Low-Cost 3D-Printed Wearable Goniometer for Measuring Wrist Motion. *Sensors.* 14 de julio de 2021;21(14):4799.

30. Madrid-Casaca HE. Estudio de riesgos ergonómicos y condiciones de trabajo decentes en la agroexportación de café hondureño. *Ergon Investig Desarro.* 23 de diciembre de 2021;3(3):9-17.

31. Zambrano Moya L, Baydal-Bertomeú JM, Baño Morales D, Fuentes Rosero P, Zambrano Orejuela I, Cesén Arteaga M. Ergonomic study on nurses that attend the feeding task to neonates through data Acquisition, Validation, and processing obtained from depth sensors. *Mater Today Proc.* 1 de enero de 2022;49:23-7.

32. Mulimani P, Hoe VC, Hayes MJ, Idiculla JJ, Abas AB, Karanth L. Ergonomic interventions for preventing musculoskeletal disorders in dental care practitioners. *Cochrane Database Syst Rev.* 15 de octubre de 2018;2018(10):CD011261.

33. Catanzarite T, Tan-Kim J, Whitcomb EL, Menefee S. Ergonomics in Surgery: A Review. *Urogynecology.* febrero de 2018;24(1):1.

34. Arvidsson I, Balogh I, Hansson GÅ, Ohlsson K, Åkesson I, Nordander C. Rationalization in meat cutting – Consequences on physical workload. *Appl Ergon.* 1 de noviembre de 2012;43(6):1026-32.

35. Young JG, Trudeau MB, Odell D, Marinelli K, Dennerlein JT. Wrist and shoulder posture and muscle activity during touch-screen tablet use: Effects of usage configuration, tablet type, and interacting hand. *Work.* 1 de enero de 2013;45(1):59-71.

36. Sancibrian R, Redondo-Figuero C, Gutierrez-Diez MC, Gonzalez-Sarabia E, Manuel-Palazuelos JC. Ergonomic evaluation and performance of a new handle for laparoscopic tools in surgery. *Appl Ergon.* noviembre de 2020;89:103210.

37. Balogh I, Arvidsson I, Björk J, Hansson GÅ, Ohlsson K, Skerfving S, et al. Work-related neck and upper limb disorders - quantitative exposure-response relationships adjusted for personal characteristics and psychosocial conditions. *BMC Musculoskelet Disord.* 1 de abril de 2019;20(1):139.

38. Zare M, Bodin J, Sagot JC, Roquelaure Y. Quantification of Exposure to Risk Postures in Truck Assembly Operators: Neck, Back, Arms and Wrists. *Int J Environ Res Public Health.* enero de 2020;17(17):6062.

39. Berrones Guapulema EI, Enriquez MÁ. Gestión de riesgos ergonómicos por levantamiento manual de cargas en la Empresa JC Termosolar Energía Renovable de la ciudad de Riobamba. *Polo Conoc Rev Científico - Prof.* 2022;7(10 (OCTUBRE 2022)):239-68.

40. Spigelman T, Simpkins L, Humphrey C, Vitel Y, Sciascia A. Reliability Analysis of In-person and Virtual Goniometric Measurements of the Upper Extremity. *Int J Sports Phys Ther.* 2023;18(4):969-76.
41. Dent PA, Wilke B, Terkonda S, Luther I, Shi GG. Validation of Teleconference-based Goniometry for Measuring Elbow Joint Range of Motion. *Cureus.* 9 de febrero de 2020;12(2):e6925.
42. Simonsen JG, Dahlqvist C, Enquist H, Nordander C, Axmon A, Arvidsson I. Assessments of Physical Workload in Sonography Tasks Using Inclinometry, Goniometry, and Electromyography. *Saf Health Work.* septiembre de 2018;9(3):326-33.
43. Bijanzadeh A, Hermanns I, Ellegast R, Fraeulin L, Holzgreve F, Mache S, et al. A kinematic posture analysis of neurological assistants in their daily working practice-a pilot study. *J Occup Med Toxicol Lond Engl.* 9 de diciembre de 2020;15(1):36.
44. Paula AR de, Paula SC de, Polese JC. Descomplicando a Goniometria: Um Guia Para a Prática Clínica. *Lulu.com;* 2019. 60 p.
45. Carley P, Burkhart KL, Sheridan C. Virtual Reality vs Goniometry: Intraclass Correlation Coefficient to Determine Inter-Rater Reliability for Measuring Shoulder Range of Motion. *J Allied Health.* 2021;50(2):161-5.
46. Pottorf O, Vapne D, Ghigiarelli J, Haase K. Reliability and Concurrent Validity of a Markerless, Single Camera, Portable 3D Motion Capture System

for Assessment of Glenohumeral Mobility. *Int J Sports Phys Ther.* 18(5):1176-85.

47. Yarin Achachagua AJ, Saravia Saucedo P, Coveñas Lalupú J, Esenarro Vargas D, Tafur Anzualdo VI. [Test-retest reliability of standard goniometry and the G-pro smartphone in shoulder flexion-extension]. *Rehabilitacion.* 2021;55(3):183-9.

48. Santos CM dos, Ferreira G, Malacco PL, Sabino GS, Moraes GF de S, Felício DC. Confiabilidade intra e interexaminadores e erro da medição no uso do goniômetro e inclinômetro digital. *Rev Bras Med Esporte.* febrero de 2012;18:38-41.

49. Gagnon M, Merlo GM, Dahan-Oliel N, Veilleux LN. Measurement Repeatability and Reproducibility of Virtual Goniometry of a Set of Acquired Images in Youths with Arthrogyrosis Multiplex Congenita. *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2023;23(2):175-88.

50. Lind CM, Abtahi F, Forsman M. Wearable Motion Capture Devices for the Prevention of Work-Related Musculoskeletal Disorders in Ergonomics-An Overview of Current Applications, Challenges, and Future Opportunities. *Sensors.* 25 de abril de 2023;23(9):4259.

51. Kusunose M, Inui A, Nishimoto H, Mifune Y, Yoshikawa T, Shinohara I, et al. Measurement of Shoulder Abduction Angle with Posture Estimation Artificial Intelligence Model. *Sensors.* 16 de julio de 2023;23(14):6445.

52. Read GJM, Waterson P. Automation, artificial intelligence and robotics: emerging issues and debates in human factors and ergonomics. *Ergonomics*. noviembre de 2023;66(11):1653-5.

53. Hamilton BC, Dairywala MI, Highet A, Nguyen TC, O'Sullivan P, Chern H, et al. Artificial intelligence based real-time video ergonomic assessment and training improves resident ergonomics. *Am J Surg*. noviembre de 2023;226(5):741-6.

54. Dutrey T, Maximen J, Mevel G, Ropars M, Dreano T. Evaluation of the Rennes Universal Measurement Method (RUMM), an artificial intelligence application for hand joint angle assessment. *J Hand Surg Eur Vol*. 11 de junio de 2024;17531934241258868.

55. Mayr A, Kofler M, Saltuari L. ARMOR: Elektromechanischer Roboter für das Bewegungstraining der oberen Extremität nach Schlaganfall. Prospektive randomisierte kontrollierte Pilotstudie. *Handchir · Mikrochir · Plast Chir*. 6 de marzo de 2008;40:66-73.

56. Ascari L, Marchenkova A, Bellotti A, Lai S, Moro L, Koshmak K, et al. Validation of a Novel Wearable Multistream Data Acquisition and Analysis System for Ergonomic Studies. *Sensors*. enero de 2021;21(24):8167.

57. Manivasagam K, Yang L. Evaluation of a New Simplified Inertial Sensor Method against Electrogoniometer for Measuring Wrist Motion in Occupational Studies. *Sensors*. enero de 2022;22(4):1690.

