



UNIVERSIDAD PERUANA
CAYETANO HEREDIA

ENFERMEDADES
NEUROMUSCULARES
OCUPACIONALES (MIOPATÍAS
OCUPACIONALES; NEUROPATÍAS
PERIFÉRICAS; TRASTORNOS DE LA
UNIÓN NEUROMUSCULAR)

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA
OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN
MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO
AMBIENTE

RICARDO ENRIQUE BENEL HUERTA

LIMA – PERÚ

2025

ASESOR

Mg. Jonh Maximiliano Astete Cornejo

JURADO DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

MG. HENRY ALEXANDER CUEVA VASQUEZ

PRESIDENTE

MG. CINTHIA KARINA CRUZ MEZA

VOCAL

MG. MIRKO ROGERS PEZOA VILLANUEVA

SECRETARIO (A)

DEDICATORIA.

A mis padres que hicieron esto posible.

A mi madre que me enseñó la perseverancia.

A mi padre, su sabiduría.

A mi esposa por su comprensión y paciencia.

AGRADECIMIENTOS.

A mis colegas por su apoyo

A los docentes por su guía y asesoramiento

FUENTES DE FINANCIAMIENTO.

Trabajo de investigación Autofinanciado

DECLARACIÓN DE AUTOR			
FECHA	31	ENERO	2025
APELLIDOS Y NOMBRES DEL EGRESADO	BENEL HUERTA, RICARDO ENRIQUE		
PROGRAMA DE POSGRADO	MAESTRÍA EN MEDICINA OCUPACIONAL Y DEL MEDIO AMBIENTE		
AÑO DE INICIO DE LOS ESTUDIOS	2022		
TITULO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN DE GRADO	“ENFERMEDADES NEUROMUSCULARES OCUPACIONALES (MIOPATÍAS OCUPACIONALES; NEUROPATÍAS PERIFÉRICAS; TRASTORNOS DE LA UNIÓN NEUROMUSCULAR)”		
MODALIDAD DE TRABAJO DE GRADO	Portafolio		
Declaración del Autor El presente Trabajo de Grado es original y no es el resultado de un trabajo en colaboración con otros, excepto cuando así está citado explícitamente en el texto. No ha sido ni enviado ni sometido a evaluación para la obtención de otro grado o diploma que no sea el presente.			
Teléfono de contacto (fijo / móvil)	976419398		
E-mail	Ricardo.benel@upch.pe		

Firma del Egresado

DNI 44868005

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUCCION.....	11
I. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS.....	5
1.1 Epidemiología ocupacional	5
1.2 Fisiopatología y Diagnostico ocupacional	25
1.3 Tratamiento y prevención de riesgos ocupacionales	49
II. CONCLUSIONES.....	80
III. RECOMENDACIONES	82
IV. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83

RESUMEN

Estamos expuestos a condiciones laborales perjudiciales como posturas forzadas y repetitivas, toxinas y otros que pueden generar enfermedades neuromusculares ocupacionales como miopatías; neuropatías periféricas; y enfermedades de la unión neuromuscular, y que producen diferentes grados de discapacidad y cargas psicosociales. Las miopatías ocupacionales son diversas, la literatura indica que 24% dorsalgias, 22% mialgias, 4.8% síndrome del túnel del carpo en trabajadores. Afectan al propio personal de salud, encontrándose en hasta 73% mala postura, 80% en bipedestación por más de 6 horas, y lumbalgias en 60%. La miopatía inflamatoria idiopática, con factores de riesgo genéticos conocidos, estaría asociada a exposición a la sílice; y la exposición al arsénico provocaría disminución de fuerza y diámetro de las fibras musculares, e inhibición en la regeneración muscular. A nivel de sistema nervioso periférico, el síndrome de túnel del carpo se asocia a movimientos repetitivos y posiciones forzadas en flexoextension y desviación radiocubital, asociados o no al frío y vibración, provocando entumecimiento, parestesias y debilidad en manos que puede ser incapacitante. Además, el nervio periférico puede afectarse por exposiciones a acrilamida, arsénico, n-hexano, organofosforados y tricloroetileno, provocando polineuropatías o neuropatías aisladas como del trigémino. Enfermedades de la unión neuromuscular, como la esclerosis lateral amiotrófica, pueden provocarse por exposición a metales pesados y formaldehído (OR 1.3). El espectro de enfermedades neuromusculares es amplio y frecuente, por ello la importancia de esta revisión abordando

exposiciones de riesgo y su relación con la prevalencia, fisiopatología, diagnóstico, manejo y prevención para implementar y fortalecer estrategias preventivo-promocionales, orientadas a reducción de riesgos.

PALABRAS CLAVES

ENFERMEDADES NEUROMUSCULARES; MIOPATÍAS;
NEUROPATÍAS PERIFÉRICAS; ENFERMEDADES DE LA UNIÓN
NEUROMUSCULAR, OCUPACIONALES O ASOCIADAS AL TRABAJO.

ABSTRACT

We are exposed to harmful working conditions such as forced and repetitive postures, toxins and others that can generate occupational neuromuscular diseases such as myopathies; peripheral neuropathies; and diseases of the neuromuscular junction, and that produce different degrees of disability and psychosocial burdens. Occupational myopathies are diverse, the literature indicates that 24% back pain, 22% myalgia, 4.8% carpal tunnel syndrome in workers. They affect the health personnel themselves, with up to 73% having poor posture, 80% standing for more than 6 hours, and low back pain in 60%. Idiopathic inflammatory myopathy, with known genetic risk factors, would be associated with exposure to silica; and exposure to arsenic would cause a decrease in strength and diameter of muscle fibers, and inhibition of muscle regeneration. At the level of the peripheral nerve, carpal tunnel syndrome is

associated with repetitive movements and forced positions in flexion-extension and radioulnar deviation, associated or not with cold and vibration, causing numbness, paresthesias and weakness in the hands that can be disabling. Furthermore, the peripheral nerve can be affected by exposure to acrylamide, arsenic, n-hexane, organophosphates and trichloroethylene, causing polyneuropathies or isolated neuropathies such as trigeminal neuropathies. Diseases of the neuromuscular junction, such as amyotrophic lateral sclerosis, can be caused by exposure to heavy metals and formaldehyde (OR 1.3). The spectrum of neuromuscular diseases is broad and frequent, hence the importance of this review addressing risk exposures and their relationship with prevalence, pathophysiology, diagnosis, management and prevention to implement and strengthen preventive-promotional strategies, aimed at risk reduction.

KEY WORDS

NEUROMUSCULAR DISEASES, MYOPATHIES, PERIPHERAL NERVOUS SYSTEM DISEASES, NEUROMUSCULAR JUNCTION DISORDERS, AND OCCUPATIONAL OR WORK-RELATED

INTRODUCCION

La medicina ocupacional ha evidenciado que estamos expuestos a condiciones laborales perjudiciales como posturas incómodas, posturas repetitivas, toxinas y otros que pueden generar patologías en diversos sistemas. ⁽¹⁾ Dentro de ellos, las afecciones neuromusculares ocupacionales son un grupo importante que incluyen miopatías; neuropatías periféricas; y enfermedades de la unión neuromuscular relacionadas al trabajo, y generan distintos niveles de discapacidad, menor autonomía y carga psicosocial. ⁽²⁾ Aproximadamente 2 millones de trabajadores mueren cada año de enfermedades y accidentes de origen ocupacional, ⁽³⁾ mientras que las causas genéticas o hereditarias de enfermedades neuromusculares, como Distrofia muscular de Duchenne, representan apenas a 3.5 pacientes por cada 100000 habitantes. ⁽⁴⁾

Las alteraciones musculares ocupacionales son muy diversas por el amplio espectro laboral actual, desde los clásicos empleos de alta exigencia física como construcción hasta el moderno trabajo remoto de la mano del sedentarismo. Según la Agencia Europea de Seguridad y Salud Laboral, los trastornos musculares son la afectación de salud relacionada con el trabajo con mayor incidencia en Europa, donde un 24% de empleados sufren dorsalgias y un 22% dolor muscular. ⁽⁵⁾ En México, Franco et al. (2017) estudiaron la incidencia de molestias musculares en empleados del Instituto del Seguro Social del 2012 al 2014; esta investigación comparativa comprendió a 942 empleados y encontró principalmente: la tenosinovitis radial de Quervain en 6.1% de los trabajadores,

síndrome del túnel del carpo 4.8%; y entesopatías 4,1%. ⁽⁵⁾ Por otro lado, Cáceres (2018) en Ecuador realizó una encuesta a 60 licenciadas y auxiliares de enfermería, uso metodología descriptiva, para evaluar los riesgos disergonómicos en trabajadores de salud del servicio de emergencia del Hospital Enrique Garcés; estos riesgos fueron: posiciones forzadas, manipulación manual de cargas, y movimientos repetitivos. Los datos mostraron que el 80% se encuentran de pie por más de 6 horas y el 73% presentaron mala postura. Se evidenciaron lumbalgias en 60% y tendinitis en 48%. ⁽⁵⁾ Cabe mencionar que existen además otros tipos de miopatías relacionadas con exposiciones laborales aun en investigación. Se conocen factores de riesgo genéticos para la Miopatía inflamatoria idiopática, sin embargo, poco se sabía sobre factores ambientales. Parks et al (2025), encontraron en un estudio de 1390 sujetos publicado este año que la exposición ocupacional a sílice contribuye a desarrollar miopatía inflamatoria idiopática ⁽⁶⁾. Por su parte, Clemens et al (2023) explicaron que el tejido muscular expuesto a bajas dosis de arsénico (50nM) genera vesículas extracelulares que producen señalización paracrina disfuncional la cual provoca disminución de fuerza y diámetro de las fibras musculares, así como inhibición en la regeneración de la miofibra. ⁽⁷⁾

Asimismo, existen manifestaciones neuromusculares a otro nivel, como el sistema nervioso periférico, cuyos casos se evalúan con estudios de conducción nerviosa y electromiografía. Uno de los cuadros más prevalentes es el síndrome de túnel del carpo, afectando a 1 de 10 trabajadores en algún instante de su vida. Se produce por compresión del nervio mediano que provoca edema perineural

alterando la conducción nerviosa por daño mielínico y axonal. El trabajador presenta entumecimiento, parestesias y debilidad en las manos que puede llegar a ser incapacitante. Entre los factores laborales que aumentan la presión intercarpiana están las posiciones forzadas de la muñeca en flexoextension o desviación radiocubital y la carga en los tendones dentro del canal. Asimismo, movimientos repetidos en flexoextension y desviación radial y cubital del puño, asociados o no al frío y vibración. El paciente puede requerir cirugía hasta en 2/3 de los casos.⁽⁸⁾ Otro compromiso frecuente a nivel de nervio periférico es debido a toxinas, las cuales suelen producir afectación simétrica en forma de polineuropatía sensitivomotora (acrilamida, carbón disulfido, arsénico, mercurio) que en algunos casos puede acompañarse de debilidad marcada (n-hexano y organofosforados) incluso en niños.^(9, 10) Las manifestaciones pueden ser diversas en función del componente, por ejemplo, en el caso del plomo (industria de extracción y fundición de plomo) puede provocar polineuropatía indolora en mano y pies, mientras que la exposición a tricloroetileno (solvente, refrigerantes, equipos metálicos) podría producir neuropatía del trigémino⁽¹¹⁾. La bibliografía señala que operadores de impresoras 3D estarían expuestos a compuestos orgánicos volátiles y nanopartículas de acrilonitrilo, estireno, nylon y algunos metales los cuales se han asociado igualmente a neuropatía periférica. Su tratamiento consiste en retirar la exposición y rehabilitación.⁽¹²⁾

Un tercer grupo de enfermedades neuromusculares ocupacionales afectan la unión neuromuscular, como por ejemplo la esclerosis lateral amiotrófica que es la forma más frecuente de afectación de motoneurona en el adulto. Se caracteriza

por rápido y progresivo compromiso de las motoneuronas superiores e inferiores. Los casos esporádicos son los más frecuentes, pero actualmente las investigaciones evidencian desarrollo de la enfermedad asociado a causas ocupacionales como exposición a metales pesados. ⁽¹³⁾ Seals et al realizaron un estudio caso control amplio donde encontraron relación entre el servicio militar y altas tasas de esclerosis lateral amiotrófica (OR=1.3). Explicaron que este grupo de sujetos estaría más expuesto a insecticidas, plomo en aerosol, formaldehído y solventes orgánicos, los cuales tendrían asociación con la mencionada enfermedad. ⁽¹⁴⁾ El mismo autor encontró un año después en 3690 expuestos a formaldehído ocupacional un riesgo de 1.3 veces más de padecer de esclerosis lateral amiotrófica. ⁽¹⁵⁾

Como vemos el espectro de enfermedades neuromusculares es amplio, y en algunos casos muy frecuente, por ello es importante reforzar e implementar estrategias preventivo-promocionales, destinadas a un adecuado uso de herramientas que disminuyan los riesgos. En esta revisión, se describirán exposiciones a riesgos disergonómicos, metales pesados, sílice, solventes, pesticidas, acrilamida, entre otros y su asociación con enfermedades neuromusculares, su fisiopatología, prevalencia, diagnóstico, tratamiento y prevención, describiendo las principales publicaciones involucradas.

I. DESARROLLO DE LOS TRABAJOS

1.1 Epidemiología ocupacional

- *Estadísticas de prevalencia en ámbitos laborales específicos*

Una de las dolencias neuromusculares ocupacionales más prevalente posiblemente sea el síndrome del túnel carpiano con una prevalencia del 3% en la población en general.⁽¹⁶⁾ Esta enfermedad consiste en el entrapamiento del nervio mediano y al menos 1 de cada 10 personas lo desarrollarán en algún momento de sus vidas. Produce incapacidad laboral y social, conllevando a 54000 descompresiones quirúrgicas en Reino Unido por año, y se estima que se duplique para el 2030. Existen otras compresiones nerviosas ocupacionales como la del nervio ulnar y peroneal, pero menos frecuentes.⁽¹⁷⁾ Asimismo, algunos cuadros relacionados con el síndrome de túnel del carpo, como el síndrome de vibración mano-brazo, afectan los sistemas neurológico y musculoesquelético de extremidades superiores por la exposición a vibraciones transmitidas por las manos. Una revisión sistemática y metaanálisis recientes demostraron un mayor riesgo de daño neurológico en dedos en trabajadores expuestos a vibraciones en comparación con grupos no expuestos a vibraciones encontrando un OR de 7.3 (IC 95% 4.2-14.1). Ahmad et al, estudiaron 431 trabajadores de construcción y minas por síndrome de vibración mano-brazo en la Clínica Ocupacional del Hospital St. Michael's, en Toronto. El 79% de los pacientes informaron entumecimiento y el 20% tenía una percepción sensorial reducida. Casi la mitad (45%) tuvo síndrome de túnel del carpo y el

7% presentó neuropatía cubital. Además, la evidencia indica una prevalencia de hasta 35% de neuropatía por compresión del nervio mediano en trabajadores expuestos a vibraciones. Para el caso de la neuropatía cubital, la evidencia no es clara. Se ha encontrado una prevalencia de 14% en un grupo de 154 trabajadores de fundición, y del 40% en 167 pacientes expuestos a vibraciones. Es importante destacar la presencia de neuropatías cubitales en trabajadores manuales no expuestos a vibraciones, lo que sugiere que la vibración no sería un factor de riesgo independiente para esta neuropatía; por ejemplo, se informó una prevalencia del 7% de esta compresión nerviosa cubital en trabajadores portuarios sin exposición a vibraciones. ⁽¹⁸⁾

Un estudio muy interesante se realizó en Noruega en el 2023, donde los autores relacionaron la exposición acumulada a vibración mano-brazo y síndrome de túnel del carpo y neuropatía ulnar, considerando el perfil ergonómico del instrumento de trabajo. Estudiaron trabajadores operarios de taladros percutores y de perforadoras de rocas, empleando estudios de velocidad de conducción nerviosa y criterios clínicos. En los operadores de taladores percutores se encontró una relación lineal inversa entre exposición a la vibración mano brazo y la velocidad de conducción sensorial del nervio mediano; e igualmente, en los operadores de perforadoras de roca, una relación inversa para exposición a vibración y velocidad de conducción del nervio cubital. Adicionalmente, el tipo de herramienta utilizada influiría en el tipo de neuropatía que desarrollarán los trabajadores expuestos a vibración. La prevalencia de estas dos neuropatías periféricas fue mayor en este estudio que en trabajadores manuales no expuestos a vibración mano brazo, lo que sugiere

un posible papel sinérgico entre la exposición a vibración mano brazo con la herramienta utilizada, y el desarrollo de enfermedad. ⁽¹⁹⁾

Sakakibara et al en Japón, realizaron un estudio en trabajadores de construcción con síndrome de vibración mano-brazo, dentro de los cuales el 60-80% de casos presentó problemas para abotonarse sus prendas, recoger monedas, abrir un frasco, escribir, pasar páginas, y servir el té. ⁽²⁰⁾

En otras latitudes, los problemas neuromusculares ocupacionales pueden ser más crudos. Stjernbrandt et al, estudiaron a 252 mineros del ártico nórdico expuestos a vibración mano-brazo, vibración de todo el cuerpo, polvo inorgánico, gases de escape y ruido. Los síntomas neurosensoriales de la mano indicaron disfunción en los nervios periféricos sensoriales aferentes. El 44% trabajaba al aire libre o con máquina sin calefacción durante al menos dos horas al día; 10% informó exposición a vibración mano-brazo de la misma duración, y el 47% informó percepción reducida del tacto en las manos. ⁽²¹⁾

Otro grupo de trabajadores como los choferes de bus y de camiones pesados, fueron estudiados por Jensen et al en Dinamarca. Encontraron que las mononeuropatías de extremidad superior fueron más comunes en todos los conductores en comparación con la población general. Por ejemplo, el síndrome del túnel carpiano tuvo una medida de impacto (standardized hospitalization ratio) más alta entre los choferes de camiones de larga distancia (SHR: 163, IC95%:101–249), mientras que fue mayor para síndrome del túnel cubital en los conductores de autobuses (SHR: 197, IC 95%: 116–311). ⁽²²⁾

Por otro lado, la prevalencia de enfermedades neuromusculares en músicos de instrumentos oscila entre el 73.4% y 87.7%, y al menos el 75% experimenta

síntomas en las extremidades superiores relacionados generalmente con el uso excesivo. Roset-Llobet et al. mostraron que el 77.9% de los músicos tuvieron síntomas relacionados con el uso de su instrumento y el 37.3% se vieron afectados por los síntomas durante su desempeño. Una encuesta en Corea reveló que el 79.6% de los músicos de orquesta presentaron trastornos neuromusculares en hombros (59.6%) y espalda (48.1%). Por otro lado, el síndrome del túnel carpiano y la neuropatía del nervio cubital fueron también las neuropatías por compresión más común en músicos; siendo la del nervio cubital sobre todo en músicos de cuerda que requieren apoyar los codos o mantenerlos flexionados. ⁽²³⁾

Además del mecanismo de atrapamiento de un nervio, existen neurotóxicos que provocan neuropatía periférica ocupacional. Ciertos metales no realizan función biológica, pero cuando hay exposición excesiva pueden ser tóxicos (cadmio, plomo, aluminio, manganeso). Según Fonseca (2021), las fuentes predominantes de exposición a plomo se circunscriben a manufacturación de baterías (21.28%), campos de tiro (14.89%), mecánica automotriz (14.89%) y construcción (14.89%). Los trabajadores expuestos pueden presentar hasta en un 21.88% neuropatías. Inclusive existe literatura que reporta casos de neuropatía periférica y polimiositis concomitantes, con plumbemias de 97.61 µg/dl. Otra alteración de la salud, identificada por Ghiasvand et al. fue la pérdida de audición de alta frecuencia, con una plumbemia de 8.27- 51.43 µg/dl y la razón de momios del cuartil de plomo sérico más alto, de 2.89 (IC95%: 1.11–7.51 $p<0.03$).⁽²⁴⁾ El derrumbe de los edificios del World Trade Center (WTC) de Nueva York del 11 de septiembre de 2001 provocó grandes

volúmenes de polvo y gases en aerosol, incluyendo neurotoxinas como plomo, aluminio, cadmio, manganeso, estaño e hidrocarburos complejos (bifenilo policlorado, dioxinas) e hidrocarburos aromáticos policíclicos. Además, el esfuerzo de rescate de 10 meses expuso a los trabajadores a solventes orgánicos y pesticidas, causas conocidas de neuropatía periférica. Se estudió a 9239 bomberos del WTC y se encontró que el 30.6% presentaron neuropatía periférica, sobre todo parestesias.⁽¹⁰⁾

Revisando otros agentes, el cadmio puede producir polineuropatía, sin embargo, su prevalencia exacta se desconoce. León-Ruiz et al, publicaron un reporte de caso de un mecánico aeronáutico expuesto por 20 años, quien presentó parestesias en “guante y calcetín”, hipoestesia protopático-térmico-algésica en manos y los pies, e hiporreflexia aquilea bilateral que implicó un mes de baja laboral. Presentó una concentración de cadmio urinaria de 4.63µg/g de creatinina (normal ≤ 2) y en cabello de 2.84µg/kg (normal ≤ 1.5), compatible con polineuropatía sensitivomotora axonal, distal, simétrica, crónica, de origen ocupacional por cadmio. Retirada la exposición al cadmio e iniciada neurorrehabilitación (fisioterapia y terapia ocupacional), normalizó los valores de cadmio, y mejoró la clínica al control anual.⁽²⁵⁾

En otro rubro, los agricultores, inclusive niños, están constantemente expuestos a productos químicos para control de plagas. Los organofosforados son los más vendidos (52%), son neurotóxicos, y su empleo incorrecto puede mermar la salud acorde al tipo de fibra afectada. Si se trata de fibras pequeñas no mielinizadas desarrollan hipoalgesia, reducción de la sensibilidad térmica, y parestesia dolorosa; y en fibras sensitivas largas mielinizadas el umbral

palestésico aumenta, presentan ataxia sensorial, y arreflexia osteotendinosa.⁽²⁶⁾ Ismail et al, estudió en 100 niños trabajadores la relación entre exposición a pesticidas y desarrollo de enfermedades neuromusculares. Encontró una prevalencia significativamente más alta ($p<0.05$) de signos neuromusculares en los expuestos a pesticida en comparación al grupo no expuesto. Estos signos comprendieron: tremor, afectación de fuerza muscular, del reflejo aquileo y rotuliano, de la sensibilidad superficial y profunda, y de coordinación, encontrando medidas de asociación de OR desde 3.9 para afectación de la coordinación hasta OR 7.6 para afectación de la sensibilidad superficial ($p<0.05$).⁽⁹⁾

Grillo et al. en Chile realizaron un estudio en 113 agricultores expuestos a organofosforados, encontrando polineuropatía en 38% de expuestos frente a 14% para el grupo no expuesto. El riesgo de desarrollar polineuropatía de miembro inferior fue 3.6 veces mayor en los trabajadores expuestos a organofosforados que en los trabajadores no expuestos (ajustado por edad y sexo).⁽²⁷⁾ Los resultados de este estudio son similares a los hallazgos encontrados por un trabajo en la India donde un 40% de los aplicadores de plaguicidas desarrollaron síntomas de neuropatía versus solo un 9.1% en los no expuestos ($OR=6.6$; $IC95\%=2.53-17.51$), y un 21.4% de los aplicadores versus un 3% del grupo control dieron resultados positivos para polineuropatía.⁽²⁵⁾

Continuando en el campo, Price et al. encontraron que los trabajadores de los gallineros tenían más probabilidades de presentar autoanticuerpos antigangliósidos IgG, asociados a neuropatía periférica autoinmune. Estos

anticuerpos se relacionan a su vez con la infección por *Campylobacter jejuni*, bacteria encontrada en el tracto digestivo del ganado. Se ha estimado que la incidencia de síndrome Guillian Barre después de la infección por *C. jejuni* es de aproximadamente 1,17 por 1000 personas-año según un estudio de cohorte realizado en el Reino Unido. ⁽²⁸⁾

Finalmente, una sustancia muy usada en química industrial, la acrilamida, para fines de construcción e investigación de laboratorio, se asocia con neuropatía periférica con afectación en brazos y piernas de trabajadores expuestos. Park (2021) estudió la exposición a acrilamida por inhalación a 0,3 mg/m³ durante 3 años y encontró en 2% de sujetos alteración de la percepción vibratoria y disminución de las velocidades de conducción nerviosa, y a 10 años una prevalencia de afectación de hasta 14% en los trabajadores, indicando que el efecto se acumula linealmente en el tiempo. ⁽²⁹⁾

En relación con las miopatías ocupacionales, los trastornos musculares ocupacionales son descritos por el Centro para el Control de Enfermedades como lesiones en músculos, nervios, tendones, cartílagos y discos vertebrales en los que el entorno y desempeño laboral contribuyen a la afección; y/o la afección empeora o persiste debido a las condiciones de trabajo. Un estudio realizado por el Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de Estados Unidos informó que el 26% de las lesiones entre los trabajadores de instalaciones mecánicas se debían a sobreesfuerzos y lesiones por uso repetitivo. En el caso de operadores de máquinas de coser la prevalencia de trastornos musculares fue de 47.5%, en comparación con el 9-50% para los trabajadores de computadoras,

y hasta el 44% para los trabajadores de laboratorio que realizan tareas repetitivas de pipeteo. Según la Oficina de Estadísticas Laborales, los trastornos musculares en los Estados Unidos resultaron en 33.8 días de ausencia del trabajo por cada 10.000 trabajadores y representaron el 32% de todas las lesiones relacionadas con el trabajo en 2014. En promedio, estas enfermedades requirieron 13 días para volver al trabajo, en comparación con los 9 días por todas las causas. El costo de estas patologías en los Estados Unidos se ha estimado en US\$20 mil millones anuales. ⁽³⁰⁾ En ese sentido, muchos trabajadores se encuentran expuestos a altas demandas físicas como las cargas cíclicas aplicadas a diversas articulaciones, y relacionada con mayor riesgo de trastornos neuromusculares. En un ángulo de 90° de rodilla, después de carga cíclica, se presentó una disminución en la contracción voluntaria máxima durante la extensión, con una disminución asociada en la actividad del electromiograma del cuádriceps. Una carga cíclica leve sobre el ligamento cruzado anterior, durante un período relativamente corto, puede provocar laxitud, espasmos y disminución de la función muscular. Adicionalmente, el sexo femenino parece ser más susceptible que los varones. ⁽³¹⁾

Por otro lado, los trabajadores del gremio de la salud no están exentos de riesgos ocupacionales. En sala de operaciones, el diseño ergonómico generalmente no es prioridad al diseñar el quirófano o al elegir los instrumentos quirúrgicos. Como resultado, los cirujanos están expuestos a riesgo de lesiones crónicas durante sus procedimientos. Johnston et al, compararon la laparoscopia mano asistida con laparoscopia convencional y presencia lesiones neuromusculares, y

encontraron significativamente más lesiones en la mano/muñeca (33% vs 8%), antebrazo (25% vs 4%) y hombro (10% vs 0%) asociados con la laparoscopia mano asistida ($P<0,004$). La laparoscopia mano asistida asoció tensión neuromuscular más frecuente en la extremidad superior que la laparoscopia convencional, pero estos últimos experimentaron mayores molestias neuromusculares cervicales. ⁽³²⁾ Catanzarite et al., indicó que los cirujanos asocian molestias neuromusculares según la técnica, y en caso de cirugía abierta su prevalencia varía entre 66% y 94 %, y ocurre en manos, brazos, cuello, región lumbar y hombros. Los cirujanos asociaron sus molestias posturales con: pedales que predisponen a que el cirujano se pare en una pierna; dispositivos que conectan el equipo a la mesa operatoria; poca iluminación; instrumentos difíciles de sostener; altura o ancho excesivos de las mesas operatorias; operar con brazos elevados y tronco en pronación; posturas estáticas o forzadas; y movimientos repetitivos. Asimismo, encontró que el 35.6 % de cirujanos continuaron trabajando a pesar del dolor para que la calidad de su trabajo no se viera afectada, y que el 40% había sufrido al menos una lesión relacionada con el trabajo. Sorprendentemente sólo el 50% de estos cirujanos había recibido atención médica por estas lesiones y únicamente el 19% había informado de las lesiones a sus instituciones. En su estudio, la autora encontró que la cirugía laparoscópica convencional presentó una prevalencia de lesiones musculares entre el 73% y 100%, principalmente en cuello, espalda, hombro, codo y muñeca. Los galenos asociaron estas a un reducido rango de movimientos, diseño deficiente del instrumento, tiempo de operación prolongado y mala ubicación de la mesa operatoria y los monitores. En un estudio de 244 ginecólogos oncólogos, del

88% que reportó molestias por cirugía laparoscópica, el 29% buscó tratamiento y el 9% modificó su práctica debido al dolor. Sólo el 1% informó dolor a sus instituciones y únicamente el 16% recibió alguna vez capacitación en ergonomía.⁽³⁰⁾ La prevalencia de molestias neuromusculares en cirugía robótica han mostrado hallazgos variables informando tasas entre el 23 % y el 80%. Los cirujanos informan, en general, menos dolor en muñeca, el cuello, la espalda, el tobillo, la rodilla, la cadera, el pie, el hombro y el codo en comparación con las técnicas abiertas y laparoscópicas. Sin embargo, la cirugía robótica puede estar asociada con un mayor dolor en los dedos y la fatiga visual. Después de una capacitación ergonómica presencial, el 88% cambió su práctica y el 74% informó una disminución de sus molestias. Los ajustes ergonómicos de la capacitación fueron: posición adecuada de la silla que permita flexión de 90 grados en la rodilla, colocación del antebrazo paralelo al suelo con los codos pegados a los costados, flexión de la cabeza menor a 20 grados, poca o ninguna presión de la frente en el apoyacabezas.⁽³⁰⁾

Gofrit et al, realizaron un estudio en Chicago en 73 cirujanos. El 30% reportó síntomas neuromusculares durante sus cirugías, el más común fue la parestesia en los dedos (18%). Al finalizar una laparoscopia mano asistida, el 45% de los cirujanos sufrió entumecimiento de manos y muñecas y el 37% informó dolor en estas áreas. Se observó una asociación significativa entre el riesgo de sufrir lesiones durante la cirugía y el número total de procedimientos laparoscópicos realizados por el cirujano ($p=0.016$). La cirugía robótica fue el procedimiento menos asociado a lesiones y la laparoscopia mano asistida el que asoció más.⁽³³⁾

A pesar de la prevalencia relativamente alta de dolor neuromuscular entre los cirujanos (7-35%) y sus efectos adversos en varios aspectos de sus vidas y ocupación, únicamente el 0 al 8% realizan evaluaciones de ergonomía. Además, el 44% de los cirujanos pensó que el malestar físico o el dolor influirían su capacidad para realizar futuros procedimientos quirúrgicos. ⁽³⁴⁾

En otros profesionales de la salud, afectaciones musculares a nivel del hombro, tienen una prevalencia de 81% en dentistas, y del 74% en enfermeras; relacionados con movimientos repetitivos, fuerza, postura, vibración que están presentes durante los cuidados de enfermería, odontología y fisioterapia, o en algunas etapas de trabajo de laboratorio, como uso de pipetas. ⁽³⁵⁾

La Organización Mundial de la Salud indicó que en el 2021 las enfermedades por riesgos disergonómicos fueron la tercera causa de ausentismo laboral por discapacidad (13.7%), y generan dolor cervical y dorsal a causa de la exposición ocupacional asociada a permanecer sentado por mucho tiempo, vibración de todo el cuerpo y la manipulación manual de cargas. En Colombia, la Encuesta Nacional de Condiciones de Seguridad y Salud en el Trabajo reportó que los riesgos ocupacionales por carga física representaron el primer lugar, como movimientos repetitivos de las manos (64.8 %), oficios con la misma postura (61.8 %), y levantar o movilizar cargas pesadas sin ayuda mecánica (31.92%). ⁽³⁶⁾

Un grupo de miopatías, clásicamente atribuidas a causas genéticas, actualmente se relacionan con otros factores. Las exposiciones ocupacionales respirables se han asociado al grupo de Miopatías Inflamatorias Idiopáticas, que incluyen dermatomiositis, polimiositis y miositis con cuerpos de inclusión. En un estudio

europeo transnacional, pacientes con fenotipo de miopatía con cuerpos de inclusión, tuvieron más probabilidades de tener exposición previa a asbesto, sílice, fibra de vidrio, solventes y polvo de carbón que otros pacientes con miopatía inflamatoria idiopática (28% vs 16%, OR 2.06, IC 95% 1.20-3.52, $p=0.008$).⁽³⁷⁾ En Estados Unidos, Parks et al (2025) estudiaron en 1390 sujetos, y evidenciaron que la exposición a sílice se asoció fuertemente al desarrollo de dermatomiositis con un OR 2.02 95% (IC 1.18–3.46) $p=0.0004$ para alta intensidad de exposición. Asimismo, exposición a metales en baja concentración se asoció a dermatomiositis (OR 3.10, 95% CI 1.15–8.38), pero sin asociación a concentraciones mayores. Para el fenotipo miositis sobrepuesta asociada a enfermedad autoinmune sistémica, el OR fue alto para la exposición elevada a sílice (OR 2.07, 95% CI 1.19–3.61, $p=0.020$); y también para exposición alta a metales (OR 1.59, 95% CI 0.99–2.55, $p=0.051$); pero no se asoció a exposición a solventes.⁽⁶⁾

La exposición a factores de riesgo ocupacionales también puede afectar a nivel de la unión neuromuscular. Enfermedades incapacitantes como la esclerosis lateral amiotrófica (ELA) presentan formas esporádicas asociadas a productos químicos, soldaduras, agricultura y campos electromagnéticos. Se trata de un cuadro más prevalente en hombres que en mujeres (1.5:1) posiblemente debido a la protección hormonal en estas últimas y una mayor exposición entre los hombres por su actividad laboral. Cabe mencionar que presenta una mortalidad de 1.84 por 100000 habitantes.⁽¹³⁾ Seals et al., recopilaron información durante 27 años de pacientes con esclerosis lateral amiotrófica y analizaron la relación

entre ocupación militar previa y riesgo de desarrollar esta enfermedad. Los expuestos al régimen militar tuvieron un OR de 1.3 (95% CI: 1.1-1.6) y la prevalencia de enfermedad fue más alta en la década inmediatamente posterior del cese de la actividad (OR=1.6; 95% CI: 1.2-2.2). Asimismo, encontraron que por cada 10 años de incremento de años laborados militarmente se incrementaba el riesgo de enfermedad 1.2 veces (95% CI 1.0-1.4).⁽¹⁴⁾ El formaldehído, un compuesto orgánico con muchas aplicaciones industriales, se ha implicado en el riesgo de ELA en una gran cohorte estadounidense. El Estudio de Prevención del Cáncer consultó en millones de personas sobre exposiciones químicas, y encontró una tasa elevada de ELA entre aquellos que informaron una exposición al formaldehído (RR 1,34; IC del 95%: 0.93-1,92). Se encontró además una tendencia fuertemente significativa con el aumento de años de exposición (p 0.004). Un pequeño estudio de casos y controles en Nueva Inglaterra encontró un aumento de 3 veces en los más expuestos. La exposición al formaldehído se asoció con un riesgo 1,3 veces mayor aumento de la tasa de ELA (IC del 95%: 1,2 a 1,4). Este estudio concluyó que la exposición al formaldehído se relaciona con el riesgo de ELA.⁽¹⁵⁾

- *Exposición a Factores de riesgo ocupacional neuromuscular*

Con relación al síndrome del túnel del carpo, podemos diferenciar factores laborales: posiciones forzadas y movimientos repetidos de la muñeca en flexoextension o desviaciones radiocubitales; exposición al frío; exposición a vibración; actividad laboral como digitación, pulimentación, cajeros,

instrumentos musicales, cirugía, carpintería, albañilería, y carnicería; y factores individuales: mayores de 40 años, mujeres, obesos, embarazo.

La lesión del nervio peroneo puede ocurrir por permanecer en cuclillas durante mucho tiempo, sentarse con las piernas cruzadas o con un pie metido debajo de la otra pierna. La parálisis del nervio peroneo se desarrolla como resultado de estar bajo compresión externa durante más de 5-6 horas, la afectación bilateral es rara. Cursa con debilidad del pie, que aumenta gradualmente y se convierte en pie caído, entumecimiento en la parte posterior del pie y en la parte delantera de la pierna. Los trabajadores agrícolas no siempre pueden estar protegidos contra los riesgos físicos, químicos y biológico; y trabajan muchas horas de pie, o en cuclillas.⁽¹⁷⁾

En cirugía abierta, los cirujanos frecuentemente se quejan de dolor de cuello y espalda, generalmente relacionados con la necesidad de obtener una mejor visión y exposición al asumir posiciones menos ergonómicamente apropiadas. La laparoscopia elimina la necesidad de reposicionar el cuerpo o el cuello para obtener una mejor visión durante la cirugía. Los factores asociados a dolor neuromuscular por cirugía laparoscópica incluyen: reducido rango de movimiento, diseño deficiente del instrumental, tiempo quirúrgico prolongado y mala ubicación de la mesa de operaciones y monitores. Los factores que pueden ser protectores para los cirujanos laparoscópicos incluyen el conocimiento de la ergonomía del quirófano, el ejercicio, una mayor cantidad de años de práctica y una edad creciente del cirujano.⁽³⁰⁾ La introducción de laparoscopia mano asistida permite retroalimentación táctil, disección de los dedos, y tiempo operatorio más cortos. Sin embargo, restringe el espacio de trabajo e inhibe el

movimiento libre y sincronizado de la mano, la muñeca, el antebrazo y el hombro, y puede requerir una postura más lordótica, lo que provoca dolor de espalda y cuello.

En el caso de exposición a neurotóxicos, el riesgo ocurre por inhalación de partículas en trabajos más expuestos como el galvanizado, plomería, minería, la pintura y la reparación de baterías; sobre todo en ausencia de equipo de protección personal. En relación con el plomo, éste se relaciona con fundición, loza, pinturas, electrónicos, baterías plomo ácido, e incineración de residuos. Respecto al manganeso, las fuentes incluyen producción de cemento, plantas de energía, y gasolina. Mientras que fuentes de exposición al cadmio se relacionan con baterías recargables, fertilizantes fosforados, pigmentos y PVC. Solventes como n-hexano y tricloroetileno que provocan polineuropatía sensitivo motora y afectación trigeminal respectivamente, exponen a trabajadores de industria de adhesivos, pegamentos, metalúrgica, textil y automotriz.

Por otro lado, factores de riesgo asociados a esclerosis lateral amiotrófica incluyen la exposición a metales, disolventes o productos químicos y la residencia en zonas rurales. Weisskopf et al. realizaron un estudio prospectivo y transversal, en el que observaron la asociación entre la exposición a agentes químicos y la ELA. Indicó un mayor riesgo de ELA con la exposición al formaldehído, insecticidas, plomo en aerosol, cobre, selenio inorgánico, lesiones traumáticas, infecciones virales, actividad física intensa y servicio militar.

- *Métodos de recolección y análisis de datos relacionados con exposiciones agudas/ crónicas*

El Síndrome de túnel del carpo se evidencia con hallazgos de estudio de conducción nerviosa indicativos de atrapamiento del nervio mediano y la presencia de síntomas predefinidos. La neuropatía nerviosa se puede clasificar según la escala de calificación de Padua. ⁽¹⁹⁾

Los síntomas corresponden a sensación de hormigueo o entumecimiento en dedos por la noche y reducción de los síntomas al mover el brazo. Para la evaluación de exposición a vibración puede emplearse monitores de vibración humanas como el Larson Davis HVM100 o el Svantek SV106 usados regularmente en los estudios, así como un cuestionario para complementar información del tiempo de exposición. ⁽¹⁹⁾ Por otro lado, para la recolección de datos en ergonomía en cirugía pueden usarse cuestionarios, y herramientas objetivas. La escala de malestar en las partes del cuerpo (BPD) y el índice de carga de tareas de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA-TLX) se han utilizado en múltiples estudios previos de ergonomía quirúrgica. El BPD es una escala validada que permite a los participantes calificar el malestar en 27 regiones del cuerpo en una escala de 5 puntos, y da como resultado una escala de gravedad y frecuencia. El NASA-TLX proporciona una puntuación de la carga de trabajo que incorpora subescalas que incluyen demandas mentales y físicas, demandas temporales, desempeño personal y frustración. Ello da como resultado una puntuación total de NASA-TLX entre 0 y 600, y las puntuaciones más altas indican cargas de trabajo más altas. El NASA-TLX se ha adaptado y validado más recientemente en un

cuestionario específico de cirugía llamado Índice de carga de tareas de cirugía que agrega complejidad de la tarea, estrés situacional y distracciones. Otra evaluación es mediante grabación de vídeo del cirujano y luego se evalúa su ergonomía analizando el video. Sin embargo, el sistema de puntuación más utilizado probablemente sea la Evaluación Rápida de las Extremidades Superiores (RULA), que evalúa la tensión causada por los movimientos de las extremidades superiores y las posturas estáticas. Al integrar las puntuaciones de la postura de las extremidades superiores, el cuello, el tronco y las piernas con el uso de los músculos y los índices de fuerza, se calcula una puntuación total que oscila entre 1 y 7. Las puntuaciones de 3 o más indican un posible riesgo ergonómico, y una puntuación de 7 indica un riesgo ergonómico alto que requiere evaluación y modificaciones inmediatas. Otra herramienta de análisis postural, que fue desarrollada para capturar las combinaciones de posicionamiento dinámico y estático, así como el acoplamiento de carga observado en los trabajadores de la salud, se denomina Evaluación Rápida de Todo el Cuerpo (REBA). Recientemente, las unidades de medición inercial, que consisten en sensores que combinan componentes de acelerómetro, giroscopio y magnetómetro, se han introducido como una herramienta para estudiar la ergonomía quirúrgica. Las unidades de medición inercial se han utilizado anteriormente para el seguimiento del movimiento en las industrias deportivas y espaciales y tienen la ventaja de poder usarse debajo del mandil quirúrgico. ⁽³⁰⁾

• *Importancia de la vigilancia epidemiológica en enfermedades neuromusculares ocupacionales*

Para prevenir los enfermedades neuromusculares Krammer et al recomiendan realizar vigilancia de los trabajadores y tomar medidas para evitar 7 actividades específicas: (1) repeticiones, definidas como un ciclo de menos de 30 segundos o 1 elemento de actividad básica presente durante más del 50% del tiempo total del ciclo; (2) esfuerzo prolongado o repetitivo de más del 30% de la fuerza del operador; (3) segmentos del cuerpo mantenidos en una posición extrema; (4) postura estática prolongada; (5) actividades con herramientas vibratorias; (6) exposición al frío; y (7) combinaciones de las condiciones anteriores. El autor concluye que son esenciales herramientas para facilitar el posicionamiento corporal adecuado y el entrenamiento en técnicas fisiológicamente adecuadas para tareas repetitivas. Las tareas cíclicas realizadas con mucha frecuencia y magnitudes altas de carga pueden provocar un aumento de la laxitud de los tejidos y cambios en la función neuromuscular que, junto con la fatiga y los cambios en la propiocepción, pueden aumentar el riesgo de lesión.

Es necesario informar y adoptar medidas en los centro de labores de alta demanda física sobre los riesgo de la exposición a manipulación manual de cargas pesadas, sus límites y complicaciones.⁽³¹⁾ Realizar capacitaciones a los agricultores para que eviten estar en cuclillas por más de 2 horas para poder extender la rodilla, fortalecer los músculos, los ayudaría a evitar neuropatía.⁽¹⁷⁾

En general, los trastornos neuromusculares por exposición a riesgos disergonómicos en cirugía repercuten en productividad, ausentismo, modificaciones en la práctica quirúrgica, o incluso jubilación forzada. Aunque

muchos cirujanos laparoscópicos buscan tratamiento médico y modifican su práctica en función del dolor, no están capacitados en ergonomía y rara vez informan de su dolor a las instituciones. La falta de atención a la ergonomía en la cirugía laparoscópica refleja una cultura de sufrimiento silencioso que perpetua el ciclo de mala ergonomía y dolor entre los cirujanos. Es por ello imprescindible el desarrollo de medidas de prevención enfocadas en intervenir a distintos niveles, informativos y prácticos y que incluyan: verificar la altura de la mesa de operaciones, la posición de los monitores laparoscópicos, el diseño del instrumental laparoscópico y fuentes de energía para electrocoagulación con la mano en lugar de con el pie.⁽³⁰⁾ En el caso de trabajadores con neuropatía cubital incluidos construcción, músicos, personal de salud y otros, debe mantenerse vigilancia para indicar un procedimiento quirúrgico en el momento oportuno para una rápida reincorporación a su actividad.

En el caso de neurotoxinas, se conocen los límites permitidos de exposición profesional según cada país, y están comprendidos en el caso de plomo por ejemplo en un rango que va desde 5 a 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Se emplea de preferencia, la medición de la concentración de sanguínea, para monitorear la exposición y en caso se requiera, el trabajador pueda ser retirado de la exposición al metal, cuando la plumbemia es $\geq 50 \mu\text{g}/\text{dl}$ (construcción) o $60 \mu\text{g}/\text{dl}$ (industria en general) y se les permite regresar a sus puestos de labores con plumbemia menor a $40 \mu\text{g}/\text{dl}$.

Por ello es importante la vigilancia, para recopilar la exposición usando registros de mediciones del neurotóxico considerando límites máximos; identificar las fuentes de exposición e implementar estrategias de disminución de los efectos

tóxicos de los metales. Asimismo, capacitar al personal y supervisores con el objetivo que implementen e incentiven medidas de protección adecuadas y que tengan conocimiento sobre el adecuado uso de las sustancias químicas con las que trabajan. Finalmente realizar las evaluaciones y controles periódicos considerando el nivel de riesgo de cada puesto, e implementar un sistema integrado de gestión que comprenda las direcciones de salud ocupacional, seguridad industrial y protección ambiental, la identificación de peligros y la disminución de riesgos.

1.2 Fisiopatología y Diagnostico ocupacional

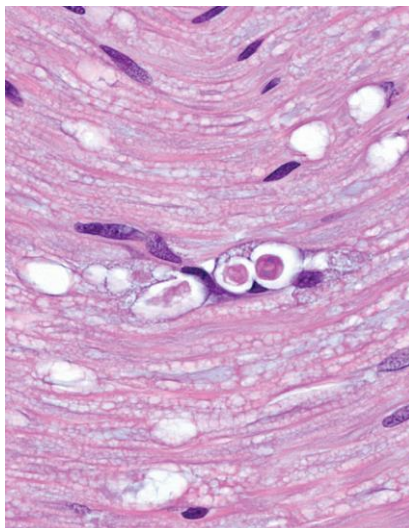
Neuropatía periférica

La afectación más prevalente del sistema nervioso periférico por parte de un agente neurotóxico es una polineuropatía axonal (axonopatía) dependiente de la longitud simétrica, con desmielinización segmentaria secundaria.⁽³⁸⁾ Para comprender el proceso patológico se mencionarán los principales conceptos fisiológicos del nervio periférico.

El término “fibra nerviosa” comprende al axón y su vaina de mielina. Estas fibras pueden ser mielinizadas (por células de Schwann) o no mielinizadas, con calibres de 2-20 μm (conducción rápida) y 0.2 a 3 μm respectivamente. Los axones son rodeados por células de Schwann en su trayecto, y cuando son expuestos a tóxicos, sus organelas forman grupos enredados en vez de mantener una dispersión homogénea.⁽³⁸⁾

La axonopatía, afecta preferentemente a fibras de gran diámetro y a nivel distal del axón, y luego prosigue en sentido proximal. Estas porciones distales se encuentran a mayor distancia del cuerpo celular de la neurona, que es donde producen la mayoría de las proteínas necesarias para mantener la integridad del axón. Por ello, las axonopatías son evidenciables en miembros inferiores en etapas tempranas, donde los axones tienen mayor longitud y están más alejados del cuerpo de la célula nerviosa.⁽¹¹⁾

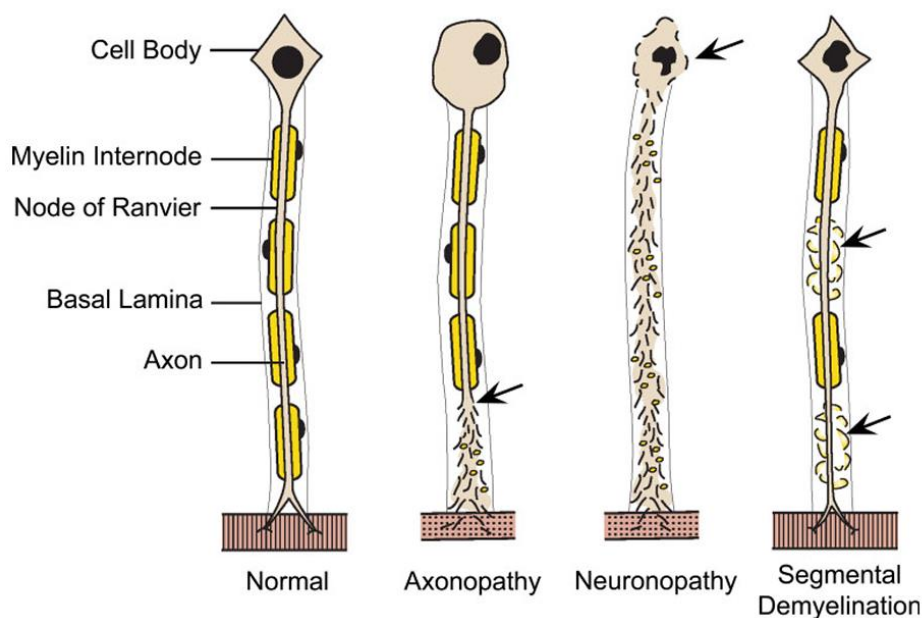
Figura 1. *Degeneración de fibra nerviosa ciática, con vacuolas
conteniendo mielina y/o detritus axonal*



*Nota. Pardo I. Toxicologic Pathology of the Peripheral Nervous System.
2018.*

La axonopatía conduce a la pérdida del axón distal y a la desintegración secundaria de su vaina de mielina con agrandamiento compensatorio y cromatolisis de la neurona para apoyar el crecimiento del axón. En cambio, la lesión primaria al cuerpo celular (neuronopatía) produce la destrucción del cuerpo celular de la neurona y la pérdida secundaria irreparable de su axón y de la vaina de mielina. El daño primario a la vaina de mielina o a la célula de Schwann conduce a la desmielinización segmentaria y degeneración del axón debido a la pérdida de factores tróficos producidos por las células de Schwann. La descomposición de la mielina provoca el reclutamiento de macrófagos, que contribuyen a la disolución de la mielina dañada. ⁽¹¹⁾

Figura 2. Lesiones por tóxicos en el axón (flechas)



Nota: Pardo I. Toxicologic Pathology of the Peripheral Nervous System.

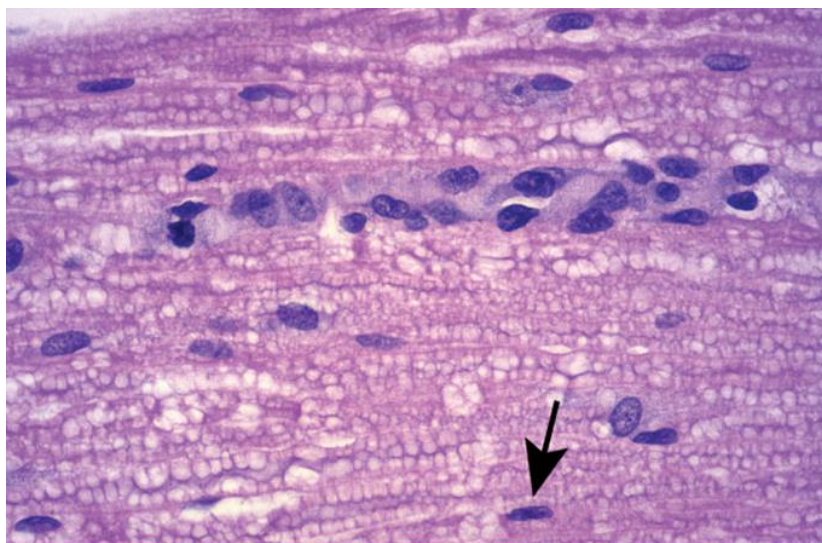
2018.

Si se produce un daño axonal suficiente, ocurre una desmielinización secundaria; mientras que, si los axones están preservados, puede haber regeneración de las células de Schwann y remielinización. La remielinización como evento regenerativo puede ocurrir tanto en el sistema nervioso periférico como en el central, pero el patrón de recuperación del sistema nervioso periférico varía según el tipo de daño. ⁽¹¹⁾

Las axonopatías se asocian con proliferación de células de Schwann en “columnas lineales” seguidas de un recrecimiento axonal posterior a través de estas columnas, mientras que las mielinopatías aparecen como un mayor

número de núcleos de células de Schwann (células de Schwann recién producidas son más pequeñas) que rodean axones intactos. La restauración axonal es lenta, de aproximadamente 0,5–1 mm/día, y ocurre en sentido contrario: de proximal a distal del axón. El grado de regeneración axonal en el sistema nervioso periférico puede subestimarse con microscopio óptico (en relación con microscopio electrónico), especialmente fibras nerviosas de diámetro pequeño.⁽¹¹⁾

Figura 3. La flecha indica el núcleo angosto y alargado de célula de Schwann “en reposo” que proporciona la vaina de mielina para un axón intacto.



Nota. Pardo I. Toxicologic Pathology of the Peripheral Nervous System. 2018.

La proliferación de células de Schwann, denominada bandas de Büngner, se caracteriza por columnas lineales de células con abundante citoplasma basófilo y núcleos ovalados grandes. Estas estructuras, que llenan las antiguas vacuolas

con detritus de axones en degeneración, aportan un microambiente permisivo para los axones en regeneración al secretar factores de crecimiento. Las células de Schwann producen un factor de crecimiento nervioso en respuesta a la liberación de macrófagos de interleucina-1, lo que estimula generación de mielina. Empero, de permanecer la desconexión axonal, las células de Schwann degeneran y la formación de colágeno de los fibroblastos enlentece la regeneración.⁽¹¹⁾

La disminución de mielina enlentece la velocidad de conducción de los impulsos nerviosos. Así, la lesión de fibras motoras y sensitivas genera un desarrollo progresivo de hormigueo intermitente y entumecimiento que devienen en disminución de sensibilidad, debilidad muscular y atrofia. La reducción de reflejos osteotendinosos y de sensibilidad anatómicamente congruentes que afecta a miembros inferiores más que a los superiores, es característica de la neuropatía periférica.⁽³⁸⁾

El cuadro clínico electrofisiológico se caracteriza por la afectación predominante de unas fibras sobre otras (sensitivas mielinizadas, sensitivas pobremente mielinizadas, fibras autonómicas o fibras motoras), según cada tipo de neurotóxico.⁽³⁹⁾

Algunos agentes como el disulfuro de carbono (industria de tela rayon), son directamente neurotóxicos, mientras que otros como ditiocarbamatos y hexano deben metabolizarse para producir la molécula neurotóxica. Otros mecanismos propuestos de neurotoxicidad del sistema nervioso periférico incluyen daño al ADN, activación enzimática y disrupción mitocondrial en neuronas del ganglio

de la raíz dorsal, lo que enfatiza la importancia de evaluarlo en conjunto con sus nervios asociados. ⁽³⁸⁾

Tabla 1. Fenotipos de neuropatías periféricas asociadas a toxinas:

Tipo de neuropatía	Toxina
Sensitivomotora sin rasgos de desmielinización	Acrilamida, arsénico (crónica), etileno, mercurio
Motora o Sensitivomotora con rasgos de desmielinización	Acrilamida, arsénico (aguda), disulfuro de carbono, n hexano
Neuronopatía predominante motora	Plomo (agudo), organofosforados
Neuronopatía predominante sensitiva	Pb (crónico)

Nota. Toledano M. Toxic-induced neuropathies. Neuro Clin 38. 2020

En el caso de la toxicidad por metales, ésta aumenta según su peso atómico, siendo los más importantes el mercurio y plomo, y se requiere determinar la duración y ruta de exposición. Los metales puros se absorben por inhalación, por contacto de vapores con la piel (mercurio), partículas pequeñas (plomo), o

vía oral (plomo). La toxicidad por plomo (pintura y gasolina) se asocia con neuropatía subaguda de predominio motor de debilidad asimétrica y atrofia de los extensores de la muñeca y los dedos (caída de la muñeca). La concentración de plomo en sangre es el principal método de detección para evaluar su toxicidad, acusa toxicidad con valores mayor o igual a 10 mg/dl, pero los síntomas suelen ocurrir sobre los 80 mg/dl. Los depósitos de plomo del organismo son liberados lentamente y su depósito en los huesos sólo se reduce en un 50 % en 10 años. ⁽³⁸⁾⁽⁴¹⁾

La exposición al mercurio elemental (industria cloroalcalina, enchapado de metales, curtido, termómetros, interruptores electromagnéticos, luces fluorescentes y amalgamas dentales), mediante vapor se absorbe fácilmente por los pulmones. La exposición aguda a vapor de mercurio en niveles altos causa temblor postural, daño pulmonar y nefrotoxicidad. La exposición crónica se asocia con neuropatía sensitiva dependiente de la longitud y con ataxia sensitiva asociada. ⁽³⁸⁾⁽⁴¹⁾

En el caso del cadmio, empleado en la industria de metales primarios, baterías de aviones, y galvanoplastia, altera el equilibrio excitación-inhibición sináptico, disminuyendo la liberación de neurotransmisores excitatorios (glutamato y aspartato) al espacio extracelular y aumentando la de neurotransmisores inhibitorios (glicina y ácido γ -aminobutírico). El efecto sobre la neurotransmisión, el daño oxidativo microvascular (proapoptosis neuronal y liberación de especies reactivas de oxígeno), la interacción con cobalto y zinc, un efecto estrogen-like (disrupción endocrina y afectación del

eje hipotalámico-hipofisario-gonadal) y la modificación epigenética son posibles mecanismos implicados. ⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾⁽⁴¹⁾

Por otro lado, la exposición al arsénico inorgánico (fundición de cobre y plomo, minería, electrónica, curtido de pieles, combustibles fósiles) se diferencia del arsénico orgánico (pescados y mariscos), causa frecuente de un falso positivo biológico en la prueba de metales pesados en orina. En una única exposición masiva comienza de 5 a 10 días después de la exposición y progresa durante semanas incluso en falta de contacto continuo con la fuente. En estos casos, la neuropatía puede evolucionar hacia una poliradiculoneuropatía con desmielinización sensitivomotora difusa. La exposición crónica a niveles bajos se asocia a polineuropatía de sensitivo dolorosa dependiente de la longitud. ⁽³⁸⁾⁽⁴¹⁾

En trabajadores con neuropatía generada por n-hexano y metilbutilcetona se reducen las velocidades de conducción de los nervios motores. La polineuropatía por N-hexano es principalmente axonal con retracción paranodal secundaria de la mielina y se observa un patrón desmielinizante en los estudios de conducción nerviosa. Los cambios electrofisiológicos correlacionan con la presentación clínica, los trabajadores con enfermedad subaguda, con síntomas y signos marcados quienes presentan una pérdida de velocidad de conducción nerviosa motora, latencias motoras distales aumentadas y potenciales de fibrilación en reposo. Por el contrario, los trabajadores con poca afectación clínica pueden tener velocidades de conducción nerviosa motora normal pero potenciales de fibrilación. Ello puede

producir un grado variable de parestesias y polineuropatía sensitivomotora simétrica, algunas veces similar al Guillian-Barré. El desarrollo de neuropatía periférica después de la exposición al n-hexano puede depender de factores individuales o genéticos. De hecho, se ha demostrado que los modelos celulares del haplogrupo J de la enfermedad de neuropatía óptica hereditaria de Leber tienen mayor sensibilidad a este agente tóxico. Además, en un estudio de 56 trabajadores de imprenta con exposición similar al n-hexano, sólo 20 mostraron síntomas clínicos de intoxicación por n-hexano; 26 sujetos sólo tenían un estudio de conducción nerviosa anormal y 10 trabajadores eran asintomáticos y tenían exámenes normales.⁽³⁸⁾⁽⁴²⁾

Debido a que los solventes hexacarbonados neurotóxicos provocan degeneración axonal, se crean daños secundarios de la mielina que sustentan la disminución global de la velocidad de conducción pese al valor dentro de los rangos normales obtenido por las fibras de conducción conservadas. Por otro lado, la exposición a 3,3'-iminodipropionitrilo (industrias farmacéuticas) genera atrofia axonal y acumulación de neurofilamentos, posiblemente debido a una producción deficiente de energía. El 4-hidroxi-2-nonenal, aldehído tóxico, interrumpe el transporte mitocondrial axonal y provoca la formación de aductos proteicos. El 1,2-diacetilbenceno, usado en industria de caucho y cuero, altera el metabolismo energético y el plegamiento de proteínas, lo que provoca la desorganización de los neurofilamentos y el acopio de orgánulos. Cabe resaltar que los solventes, dañan los mecanismos celulares como los cambios en la estructura de los lípidos en las membranas celulares, la interferencia con el transporte de la membrana sináptica, y la detención de la

comunicación intercelular. Además, los solventes interactúan con las proteínas celulares, lo que altera el transporte axonal y estimula la síntesis de especies reactivas de oxígeno. Los solventes pueden inhibir el receptor del ácido N-metil-D-aspartico, aumentar la vulnerabilidad a la excitotoxicidad y afectar los sistemas de neurotransmisores mediados por dopamina, la serotonina y la norepinefrina. ⁽³⁸⁾

Por otro lado, los organofosforados fosforotioatos requieren bioactivación a su metabolito activo denominado oxon, el cual inhibe la acetilcolinesterasa (AChE) al fosforilar el grupo hidroxilo de la serina en su sitio activo. La privación de la AChE conduce a la acumulación de acetilcolina en las sinapsis y las uniones neuromusculares, lo que provoca estimulación de receptores muscarínicos y nicotínicos. La AChE fosforilada puede "envejecer", dejándola inactiva e inhibiéndose irreversiblemente. Sin embargo, esta enzima puede recuperar su actividad, pero precisa la síntesis de nuevas enzimas hepáticas. La mayoría de los organofosforados son dialquilfosfatos o dialquilfosforotioatos, que forman derivados de dialcoxifosforilo cuando interactúan con la AChE. Los índices de reactivación espontánea y envejecimiento de esta enzima dependen de la naturaleza de los grupos alcoxi, mientras que la tasa de inhibición depende del grupo saliente. Los derivados de dimetoxifosforilo muestran una reactivación más rápida comparado con los derivados de dietoxifosforilo. Otros ingredientes presentes en la formulación y la lipofilia de estos insecticidas pueden afectar la rapidez de aparición y supresión de la intoxicación. En relación con su farmacodinámica, los organofosforados

pueden entregarse y guardarse en la grasa corporal, lo cual implica una eliminación lenta y con ello la gravedad de la intoxicación puede aumentar durante 12 a 36 horas después de la exposición, hacerla prolongada, y predisponer a recaídas incluso posterior a una recuperación aparente. Estas neuropatías son principalmente sensitivas y la clínica se relaciona fuertemente con el tipo de fibra afectada. Respecto a la afectación de fibras pequeñas no mielinizadas presentan hipoalgesia, reducción de la sensibilidad térmica, y parestesia dolorosa; y en fibras sensitivas largas mielinizadas presentan arreflexia osteotendinosa, parestesia con adormecimiento o prurito, aumento del umbral palestésico, y ataxia sensorial. ⁽²⁷⁾⁽⁴³⁾

Por otro lado, los trabajadores químicos expuestos a acrilamida fomentan neurotoxicidad mediada por degeneración del axón distal en el sistema nervioso periférico y lesión de células de Purkinje en cerebelo. El hallazgo típico es un aumento de volumen en la región distal del axón de las fibras mielinizadas más largas, que contienen neurofilamentos, mitocondrias y tubulovesiculares degenerados. La desmielinización es marcada y se altera la concentración de proteínas citoesqueléticas. La exposición a 40mg/kg de acrilamida aumenta la degradación de la IP3R-3 una proteína transmembrana del retículo endoplásmico, cuya afectación causa pérdida axonal. Los trabajadores expuestos a acrilamida por 10 años en el aire a 0.3mg/m³, les genera hasta un 14% de casos de alteración de la percepción vibratoria y de la velocidad de conducción nerviosa. ⁽²⁹⁾

En otras latitudes, la exposición ocupacional a aves de corral o ganado

predisponen a infección por *C. jejuni* la cual da una respuesta inmune que incluye anticuerpos anti-*C. jejuni*. A su vez estos causan reacción cruzada con epítopes de gangliósidos humanos lo que fomentaría proliferación de anticuerpos anti-gangliosido. Estos últimos generarían una neuropatía periférica autoinmune incluyendo síntomas de entumecimiento y debilidad. ⁽²⁸⁾

En contraparte, las neuropatías por atrapamiento se originan por carga física directa que genera distintos grados de afectación en los tejidos. En general, presiones extraneurales pueden afectar el flujo sanguíneo microvascular, transporte axonal y función nerviosa en minutos u horas. Los síntomas neurosensitivos se pueden dividir en síntomas positivos (ganancia de función, como parestesias, hormigueo, ardor o alodinia) y síntomas negativos (pérdida de función, como percepción reducida del tacto, frío, calor, vibración o presión), y suelen ser de larga duración. En determinados casos, se pueden identificar factores asociados a la manipulación de cargas como aplicación de fuerzas, posturas forzadas, y sobrecargas repentinas, donde los tejidos se ven sometidos a fuerzas directas o de torsión de gran intensidad, lo cual provoca afectación directa en los tejidos por atrapamiento o compresión. ⁽³⁸⁾ A fin de comprender estos mecanismos se puede considerar dos tipos de exposición:

1. Interna: por la exigencia laboral y subsecuente respuesta del organismo reflejada en dolor agudo/crónico y fatiga. Condicionada por características intrínsecas del empleado como la edad, género, condición física, umbral de tolerancia, y personalidad. ⁽³⁸⁾⁽⁴⁴⁾
2. Externa: no dependiente del empleado y directamente asociada con las

condiciones de la actividad laboral y su diseño, como el esfuerzo excesivo; daño acumulativo; y complementariamente, efectos traumáticos propios de los accidentes. ⁽³⁸⁾⁽⁴⁴⁾

La neuropatía por atrapamiento más frecuente es el síndrome del túnel carpiano, que ocurre por la compresión del nervio mediano por estrechamiento de la luz del túnel carpiano. Es provocado por actividades repetitivas que incluyen flexión-extensión repetitivos de la muñeca, rotación rápida de la muñeca, desviación radial o cubital, vibración mano-brazo, prensión con la mano, y el frío. El uso excesivo de los tendones flexores de los dedos puede aumentar el riesgo de lesión por cizallamiento del tejido sinovial, produciendo hiperplasia local y fibrosis de los tendones flexores, y compresión del nervio mediano. Adicionalmente, puede conducir al desarrollo de adherencias entre el nervio mediano y los tendones flexores. Además, provoca un suministro sanguíneo deficiente en la muñeca que puede generar una deficiencia de nutrientes y oxígeno disponible para el nervio mediano. Los síntomas que presenta el trabajador suelen ser nocturnos en el pulgar, índice y dedo medio. Por otro lado, menos común, la compresión del nervio ulnar o síndrome del túnel cubital, es provocado por extensión-flexión prolongadas de la muñeca y presión en la eminencia hipotenar. ⁽¹⁶⁾⁽²⁰⁾⁽³⁸⁾

Un cuadro importante de neuropatía periférica es producido por el síndrome de vibración mano-brazo, que afecta fibras nerviosas en los dedos y los mecanorreceptores de la piel. La exposición a vibración puede provocar alteraciones neuromusculares que incluyen entumecimiento, percepción

cutánea alterada, afectación de la destreza para manipulación, y disminución de la fuerza de agarre en las manos. ⁽¹⁸⁾⁽³⁸⁾

Miopatías

Se sabe que la habilidad de manipular objetos recae en la precisión del sistema de control motorsensitivo subyacente para movimientos de dedos con retroalimentación precisa de los mecanorreceptores de la piel de los dedos. El control preciso para coger objetos requiere información sensitiva exacta de aferentes de inhibición y en menor medida de aferentes de rápida adaptación. La exposición a vibración provoca afectación de la percepción vibrotáctil y se ha reportado asociada a conducción nerviosa sensitiva digital disminuida. Biopsias del abductor corto del pulgar en trabajadores expuestos a vibración han mostrado mal alineamiento de las miofibrillas y que las fibras expuestas directamente están más afectadas que las distales. La exposición prolongada afecta tanto a los músculos de la mano como a los nervios motores de los músculos de la mano. ⁽¹⁸⁾⁽³⁸⁾

Por otro lado, la exposición a determinadas posturas o movimientos puede generar miopatías ocupacionales. En los músicos, movimientos que provocan estrés al tocar un instrumento pueden ser divididos en dos categorías: 1) movimientos isotónicos: sofisticados y rápidos que están diseñados para producir sonido (tocar el diapason, piano o teclado); y 2) movimiento isométrico: movimientos para estabilizar instrumentos durante períodos prolongados en posturas inestables. Movimientos repetitivos asociados con actividad muscular intensa que estabiliza la muñeca, el codo y el hombro

provocan tensión en los tendones circundantes; con el tiempo, esto puede provocar dolor debido a una tendinopatía crónica. Además, mantener una postura estática prolongadamente donde los hombros y el cuello están elevados o fijos lateralmente para sostener instrumentos con mucha fuerza provocan un desequilibrio muscular que puede provocar dolor miofascial crónico. ⁽²³⁾

Por su parte, la exposición a cargas puede afectar tejidos blandos en la rodilla considerando que su base fisiológica está estrechamente relacionada con la respuesta de los músculos asociados a cargas externas estáticas y cíclicas. Estas cargas provocan afectación en los ligamentos de varias articulaciones, acompañado de cambios sustanciales en la activación de los reflejos musculares asociados. Como alteración neuromuscular, provoca disminución en la actividad electromiográfica; y espasmos aleatorios en la electromiografía que representan daño tisular. Además, genera distensión de ligamentos que asocia desensibilización de los arcos reflejos mediados por mecanorreceptores presentes en el ligamento, reduciendo la actividad muscular refleja y exponiendo a la articulación a mayor inestabilidad y lesión. ⁽³¹⁾ La fuerza voluntaria máxima de un grupo muscular depende de la activación de motoneuronas alfa del sistema nervioso central, sin embargo, el impulso neuronal central se ajusta continuamente según la información periférica que llega de mecanorreceptores en los ligamentos y otros aferentes. Una disminución en la contractura máxima voluntaria y en la actividad electromiográfica del cuádriceps se puede observar después de cargas cíclicas leves por 10 minutos en el tendón infrapatelar. La pérdida de la retroalimentación de los mecanorreceptores en el ligamento cruzado anterior

podría ser el mecanismo subyacente en la debilidad persistente en el cuádriceps usualmente observada en trabajadores expuestos a cargas cíclicas. Se ha demostrado una menor activación muscular voluntaria máxima como efecto de la vibración, y este hallazgo se ha explicado en base a una disfunción de la neurona aferente mediado por el huso muscular. La reducción de la fuerza se asocia con menor actividad electromiográfica, y la distensión ligamentosa causada tanto por cargas estáticas como cíclicas, está asociada con desensibilización de los arcos reflejos iniciados por mecanorreceptores ubicados en los ligamentos, resultando en una afectación de la respuesta neuromuscular refleja. En ese sentido, la pérdida de la activación voluntaria podría ser provocada por pérdida de sensibilidad de mecanorreceptores como consecuencia de la carga cíclica y la resultante laxitud del ligamento cruzado anterior. Además, la distensión ligamentaria está relacionada con la disminución de la propiocepción, y a medida que aumente la laxitud en el ligamento cruzado anterior, los mecanorreceptores internos no tendrán los mismos límites de longitud/fuerza. Ello afecta las respuestas propioceptivas y reflejas, lo cual aumenta el riesgo de lesión y disfunción neuromuscular. ⁽³¹⁾

En otros ámbitos, los trabajadores expuestos a arsénico también desarrollan afectación de su fisiología muscular. Este elemento interfiere con factores circulantes que estimulan las células madre musculares y con la diferenciación miogénica. Estas células liberan vesículas extracelulares encargadas de la señalización sistémica y paracrina muscular, que transportan lípidos, proteínas y ácidos nucleicos que contribuyen a la cascada de regeneración muscular. El

arsénico se dirige a estas células madre musculares y las afecta directamente induciendo función mitocondrial aberrante y alterando la matriz extracelular. Se ha evidenciado asimismo liberación incrementada de NFkB molécula que reprime la regeneración, y disminución de factores proregenerativos como el mRNA.⁽⁷⁾

Unión neuromuscular

La degeneración de las neuronas motoras espinales conduce a atrofia muscular y debilidad sin cambios sensitivos acompañados, mientras que la degeneración de las neuronas motoras en la corteza cerebral conduce a hiperreflexia.⁽³⁸⁾⁽⁴⁵⁾

La exposición a formaldehído provoca efectos neurológicos directos en los trabajadores expuestos, y además puede cruzar la barrera hematoencefálica libremente. El formaldehído se asocia con un incremento de estrés oxidativo mediante la desregulación de la superóxido dismutasa, así como con incremento de la permeabilidad de la membrana mitocondrial; factores observados en la patogenia de la esclerosis lateral amiotrófica. Mientras que, la exposición a acrilamida en entornos laborales puede interrumpir los componentes del citoesqueleto del axón y posteriormente afectar la unión neuromuscular.⁽¹⁵⁾⁽³⁸⁾

Asimismo, el plomo puede ser sustituido por calcio en muchas reacciones intracelulares, causando daños oxidativos a la mitocondria y tejidos nerviosos; y amplifica la excitotoxicidad del glutamato. Estos mecanismos predisponen a esclerosis lateral amiotrófica, sobre todo en individuos genéticamente

predispuestos. ⁽³⁸⁾⁽⁴⁵⁾

Finalmente, el esfuerzo físico excesivo conduciría a un aumento en el estrés oxidativo o excitotoxicidad por glutamato. La actividad física excesiva podría alterar el balance entre la formación y remoción de radicales libres, conllevando a estrés oxidativo, sumado a una sobreestimulación de neuronas motoras, resultado en muerte neuronal y afectando la unión neuromuscular.

⁽¹³⁾⁽³⁸⁾⁽⁴⁵⁾

Diagnostico neuromuscular ocupacional

El diagnóstico de enfermedades neuromusculares ocupacionales es un proceso complejo que requiere una evaluación detallada del historial clínico del paciente, el examen físico y diversas pruebas complementarias. La evaluación clínica comprende la historia laboral y la exposición a factores de riesgo. El examen físico se centra en la evaluación de la fuerza muscular, los reflejos y la coordinación. Las pruebas complementarias incluyen electromiografía, estudios de conducción nerviosa, análisis de sangre, biopsia muscular, resonancia magnética y tomografías. Con dicha información se identifican los criterios diagnósticos con síntomas específicos y se correlaciona la exposición laboral y se excluyen otras enfermedades neuromusculares no ocupacionales.

⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾

En ese sentido, Mergler et al. sugiere considerar 4 procesos para las enfermedades neurotóxicas: ⁽³⁸⁾

1. Exposición significativa: evaluar el tipo, grado y duración de exposición.
2. Síntomas oportunos: Identificar el aumento progresivo de síntomas de neuropatía periférica.
3. Signos y exámenes auxiliares de neuropatía periférica: Identificar alteraciones en pruebas sensitivas, cuantitativas y estudios de conducción.
4. Exclusión de otras enfermedades en el diagnóstico diferencial.

Por ejemplo, el síndrome de túnel del carpo se define con la combinación de hallazgos de estudios de conducción nerviosa compatibles con atrapamiento de nervio mediano (escala de calificación de Padua), y la presencia de síntomas predefinidos. Dos de estos síntomas deben estar presentes: episodios con una sensación de hormigueo o entumecimiento en los cuatro dedos radiales en noche y reducción de los síntomas al mover el brazo. Uno de estos síntomas podría sustituirse si cualquiera de los familiares de los pacientes de primer grado tiene síndrome de túnel carpiano. ^{(19) (46)}

Figura 4. *Confiabilidad de los estudios de neuroconducción en síndrome del túnel del carpo*

Grado	Descripción
Normal	Neuroconducciones normales
Incipiente o mínimo	Anormalidad limitada a la prueba comparativa en el 4º dedo (diferencia mediano – ulnar $\geq 0,8$ ms)
Leve	Velocidad de conducción sensitiva del nervio mediano al 2º dedo anormal (diferencia mediano-ulnar de los dedos 2º y 5º ≥ 0.8 ms)
Moderado	Anormalidad en prueba convencional sensitiva y anomalía en latencia motora (diferencia mediano – ulnar $\geq 1,5$ ms)
Severo	ausencia de respuesta sensitiva, latencia motora prolongada
Extremo	ausencia de respuesta sensitiva y motora

Nota. López-Monsalve A, Rodríguez-lozano A.. *Rev. salud pública vol.19 no.4. Bogotá. 2017*

Las pruebas de función sensitiva se centran en las fibras sensoriales aferentes grandes o pequeñas. La función de las fibras grandes (subtipo A α y A β) se pueden evaluar mediante la prueba de la fuerza muscular ejercida y los reflejos tendinosos, así como la propiocepción y la percepción del tacto y la vibración. Las fibras pequeñas (subtipo A δ y C) constituyen una parte más grande de los nervios sensitivos aferentes, y son más difíciles de evaluar. En el ámbito clínico, la función de las fibras pequeñas se evalúa en función de las respuestas al dolor y los estímulos de temperatura. ⁽²¹⁾

En el caso de neuropatía del nervio cubital en el codo, segundo síndrome de compresión más común ocurre en el músico de cuerdas que mantiene determinada posición y usa los codos como apoyo. En ese caso el codo flexionado aumenta la presión en el túnel cubital, y puede llegar a provocar distonías focales. Se encuentra en 40% de casos de calambres ocupacionales

en músicos, y existe una alta prevalencia de la neuropatía cubital en músicos con flexión distónica de los dedos meñique y anular. En relación con el diagnóstico, los músicos con neuropatía cubital presentan un patrón similar al observado en los pacientes distónicos. ⁽²³⁾

En cuanto a neuropatía por tóxicos, el diagnóstico se sospecha en base a una historia clínica compatible y estudios electrofisiológicos de rutina. Las pruebas electrofisiológicas de la piel son una técnica sensible para evaluar la neuropatía sensitiva y podrían ser más objetivas que las pruebas sensitivas cuantitativas, que dependen de la cooperación del sujeto. Los criterios internacionales para la definición de la neuropatía sensitiva sugieren que una reducción significativa de la Densidad de Fibra Nerviosa Intraepidérmica en la biopsia cutánea confirma el diagnóstico. ⁽¹¹⁾⁽³⁸⁾

Por otro lado, los niveles urinarios de 2,5-hexanodiona pueden confirmar una exposición excesiva al N-hexano, pero lamentablemente esta prueba no está disponible generalmente. Recientemente, se ha sugerido que el aumento de los niveles de proteína básica de mielina y la presencia de su anticuerpo en suero podrían ser un biomarcador de intoxicación por N-hexano. ⁽¹¹⁾⁽³⁸⁾

Existen pruebas especiales dentro de las técnicas electrofisiológicas aparte del estudio de velocidad de conducción directa. Los potenciales evocados somatosensitivos, auditivos y visuales estudian las características de los sistemas de conducción sensitivos, y de pares craneales específicos. Los circuitos aferentes-eferentes se logran evaluar con la prueba del reflejo del

parpadeo, en el que intervienen las respuestas del V par craneal a músculos inervados por el VII par craneal; los reflejos H valoran las vías de los reflejos motores segmentarios. La estimulación vibratoria separa las afectaciones de fibras de mayor y menor tamaño. Además, técnicas electrónicas bien controladas permiten medir el umbral necesario para estimular una respuesta, para posteriormente hallar la velocidad con la que se desplaza dicha respuesta, la amplitud de la contracción muscular, y el patrón de un potencial de acción sensitivo evocado. Estos hallazgos fisiológicos se deben evaluar según la clínica y los procesos fisiopatológicos subyacentes. ⁽³⁸⁾

Con relación a los metales, el inicio de la neuropatía por mercurio suele asociarse con niveles altos de orina ($>500 \mu\text{g/L}$, VN $<20 \mu\text{g/L}$), un nivel que suele asociarse con el desarrollo de temblor postural y dermatitis. El arsénico puede hallarse en orina, cabello y uñas. Con respecto al cadmio, la expresión más frecuente es una polineuropatía sensitivomotora axonal que se correlacionan con la carga corporal de cadmio (estimada por concentración urinaria) y una mayor edad. ⁽³⁸⁾⁽³⁹⁾⁽⁴¹⁾

En cuanto al síndrome vibración mano brazo, la norma 13091-1 de la Organización Internacional de Normalización (ISO) describe métodos y procedimientos para realizar la prueba del umbral de percepción vibrotáctil (VPT) para diagnosticar cambios en la función sensitiva táctil asociada con exposiciones ocupacionales. Se aplica vibración a una frecuencia específica sobre la piel y se aumenta la amplitud hasta que el sujeto o paciente informa que detecta el estímulo. Sin embargo, la amplitud del estímulo se reduce gradualmente hasta que el sujeto informa que ya no siente la vibración. Este

procedimiento se sigue para cada frecuencia probada y se evalúan las respuestas para cada frecuencia. La amplitud en la que hay al menos un 50 % de respuestas positivas se registra como el umbral para esa frecuencia específica. Este examen se utiliza para detectar cambios en la percepción sensitiva en trabajadores que utilizan herramientas manuales vibratorias para determinar si presentan neuropatía por vibraciones o síndrome del túnel carpiano. ⁽²⁰⁾

Por otro lado, en cuanto al diagnóstico de afectaciones musculares por ejemplo en personal de salud se pueden emplear herramientas como la escala de malestar en las partes del cuerpo (BPD); el índice de carga de tareas de la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio (NASA-TLX); el Cuestionario musculoesquelético holandés Likert; o escalas analógicas visuales para el dolor/malestar después de la cirugía. Otra evaluación implica la observación directa del trabajador de salud mediante grabación de vídeo con una o varias cámaras. Luego, los observadores analizan los vídeos utilizando sistemas de puntuación estandarizados para evaluar el desempeño ergonómico. El sistema de puntuación más utilizado es la Evaluación Rápida de las Extremidades Superiores (RULA), a menudo usado con el índice de tensión que analiza trastornos relacionados con la tensión en el codo, antebrazo, muñeca y mano. Otra herramienta de análisis postural, que captura combinaciones únicas de posicionamiento dinámico y estático, y el acoplamiento de carga observado en los trabajadores de la salud, es la Evaluación Rápida del Cuerpo Entero (REBA). La electromiografía es útil para detectar actividad muscular excesiva, así como fatiga muscular asociada con tareas particulares. Por último, existen

unidades de medición inercial, que consisten en sensores que combinan componentes de acelerómetro, giroscopio y magnetómetro, como una herramienta para estudiar la ergonomía quirúrgica. ⁽³⁰⁾

Por su parte, trabajadores con distonía focal, son diagnosticados clínicamente y es una de las condiciones médicas más graves y difíciles de curar. Se caracteriza por contracciones musculares sostenidas, involuntarias y anormales en una sola parte del cuerpo y es específica de una tarea. Es una afección relacionada con el trabajo porque es el resultado de un movimiento particular que se repite con fuerza durante un período prolongado. En los músicos de cuerda, la pérdida de control y los movimientos involuntarios de los dedos izquierdos son los síntomas más comunes. ⁽²³⁾

Finalmente, con relación a la esclerosis lateral amiotrófica, se diagnostica clínicamente por afectación de neurona motora superior e inferior, así como electromiográficamente. Debido a su curso clínico rápido y progresivo, los pacientes fallecen entre 2 y 5 años después de su aparición. ^{(13) (45)}

1.3 Tratamiento y prevención de riesgos ocupacionales

Tratamiento

El manejo de enfermedades neuromusculares ocupacionales comprende en esencia la restricción de la exposición y soporte. El Canadian Centre for Occupational Health and Safety recomienda considerar los siguientes pilares básicos: ⁽⁵³⁾

- ***Exposición***

El primer paso es disminuir la exposición lo que puede requerir restricciones laborales. En el caso de patrones repetitivos, puede plantearse mecanizar el trabajo. Cuando la mecanización no es factible, existen alternativas como la rotación de puestos. Diferentes puestos implican diferentes tareas que involucren distintos grupos musculares para permitir la recuperación de aquellos músculos que están tensos. Asimismo, se puede rediseñar el trabajo para evitar cargas extremas sobre zonas del cuerpo afectadas. Idealmente el puesto de trabajo debe ser ajustable, y que se adapte a la anatomía del trabajador, con diseño de herramientas y equipos adecuados. Los empleados deben conocer cómo ajustar sus puestos de trabajo para que se adapten a las tareas y sus necesidades.

- ***Calor o frío***

No se recomienda el uso de hielo en caso de mialgias o espasmos porque las temperaturas frías contraerán aún más el músculo. Asimismo, agrava los casos de síndrome de túnel del carpo. El calor se recomienda para aliviar el dolor

muscular ya que aumenta el flujo sanguíneo, lo que facilita la eliminación de la acumulación de ácido láctico.

- ***Ejercicio***

Los estiramientos favorecen la circulación y reducen la tensión muscular. Sin embargo, el trabajador con miopatía debe ser guiado con un fisioterapeuta previamente (ejercicios convencionales pueden agravar la afección existente).

- ***Medicación y cirugía***

Los antiinflamatorios pueden reducir el dolor y la inflamación. Si fallan, puede plantearse cirugía, como las descompresiones del nervio mediano. ⁽⁵³⁾

Neuropatía periférica

En el caso de la compresión del nervio mediano, el tratamiento habitual ante síntomas permanentes o la discapacidad es la cirugía con descompresión del túnel del carpo. Este es un procedimiento común y generalmente exitoso, pero implica altos costos para la sociedad debido al gran número de casos: uno a dos tercios de los trabajadores con síndrome de túnel del carpo se somete a cirugía. Este porcentaje varía según criterios y acceso a la descompresión quirúrgica. El Clinical Commissioning Group de Inglaterra recomienda la cirugía para los casos moderados a graves, o que no han respondido a medidas conservadoras. ⁽⁸⁾ Sin embargo, se han propuesto diversas intervenciones conservadoras puesto que se ha informado dolor recurrente en los dos años siguientes a la descompresión quirúrgica hasta en el 75% de los pacientes. Además, en las primeras etapas de esta afección se indican tratamientos no quirúrgicos como el principal enfoque terapéutico. Los tratamientos conservadores incluyen

infiltración con corticoides, férulas, antiinflamatorios orales, fisioterapia (ultrasonido y masajes), movilización, aparatos ortopédicos, y laser. El vendaje kinesiológico es una técnica complementaria que la literatura ha investigado y respalda sus efectos beneficiosos en las variables funcional y electrofisiológica del síndrome de túnel del carpo. La técnica empleada en los estudios es de expansión del túnel carpiano en pacientes durante 4 semanas produciendo descompresión del nervio mediano.

Figura 5. *Kinesio taping como alternativa de tratamiento en síndrome de túnel carpiano.*



Nota. Aminian F et al. Kinesio taping as an alternative for manual laborers with carpal tunnel syndrome. A double-blind randomized clinical trial. 2022

El kinesiotape produce inhibición de los flexores de la muñeca lo que reduce los síntomas, y además provoca una mayor sensación de confianza, estabilidad, y seguridad. Esta terapia no limita las actividades diarias de los pacientes en comparación con las férulas y los aparatos ortopédicos, no provoca efectos adversos, y conduce a un mayor cumplimiento y satisfacción del paciente. Este método terapéutico es preferible a otros en trabajadores que padecen síndrome túnel carpiano leve a moderado. ⁽⁴⁹⁾

Por otro lado, los músicos pueden presentar también neuropatía compresiva y a menudo requiere cirugía. Los AINEs y la inyección de corticoides deben considerarse primero como en los demás casos, y la cirugía de segunda línea. ⁽²³⁾

Los trabajadores agrícolas, en cambio, no suelen estar protegidos contra los riesgos en sus entornos laborales como trabajar largas horas de pie, en cuclillas o agachados. El tratamiento de lesiones de nervios periféricos de miembros inferiores suele ser la cirugía cuando la lesión es por sección nerviosa, mientras que el tratamiento conservador es el tratamiento de primera línea en las lesiones por compresión. La cirugía de descompresión nerviosa debe realizarse en trabajadores sin respuesta al manejo conservador y no muestran respuestas de potenciales evocados motores en la electromiografía. Para reducir el edema alrededor del nervio resultado de la compresión, se puede utilizar corticoides y fisioterapia con rangos de movimiento, fortalecimiento isométrico, ejercicios de facilitación neuromuscular propioceptiva y estimulación eléctrica. Ello proporciona reeducación en los músculos desnervados y mejor recuperación. ⁽¹⁷⁾

Con relación a metales pesados y agentes industriales, una historia detallada y toma de muestras de posibles exposiciones ocupacionales son importantes para el manejo adecuado:

- *Arsénico*: son útiles muestras de orina de 24 horas para exposición actual o reciente (96 horas), y muestras de cabello y uñas para exposiciones repetidas. En casos de exposición conocida o sospechada, se puede iniciar la quelación con penicilamina o dimercaprol; aunque la eficacia para prevenir la neuropatía sigue sin demostrarse.
- *Plomo*: toxicidad en adultos se define con plumbemia mayor o igual a $5\mu\text{g/dl}$ mg/dl , y se puede considerar la terapia de quelación en pacientes sintomáticos con niveles mayor a $45\mu\text{g/dl}$.
- *Mercurio*: La neuropatía se asocia con niveles en orina $>50\mu\text{g/l}$, y se puede considerar terapia de quelación con dimercaprol o penicilamina, aunque la eficacia sigue sin demostrarse.
- *Cadmio*: no existe un tratamiento específico, y se debe restringir la exposición. A nivel experimental, el ácido clorogénico (antioxidante polifenólico) ha sido efectivo en modelos murinos⁽²⁵⁾
- *Disulfuro de carbono*: intoxicación sugerida por la combinación de neuropatía y parkinsonismo. La recuperación es deficiente después de suspender la exposición.
- *N hexano*: El cese de la exposición es el único tratamiento y los síntomas pueden continuar empeorando semanas después de la última exposición, pero el pronóstico es favorable.

- *Organofosforados*: ejercen su efecto neurotóxico primario al inactivar la acetilcolinesterasa, y se trata con atropina que reduce los efectos muscarínicos. Entre 1 y 4 días, algunos pacientes desarrollan debilidad proximal de las extremidades, debilidad de músculos extraoculares, flexores del cuello y respiratorios. Esta paresia autolimitada se ha denominado síndrome intermedio y no responde a la atropina. La neurotoxicidad retardada inducida por organofosforados puede ocurrir entre 7 y 21 días después de la exposición. Se caracteriza por una neuropatía sensitivomotora axonal con caída temprana del pie y debilidad de los músculos intrínsecos de la mano. No existe un tratamiento específico disponible para prevenir la neurotoxicidad retardada. Una minoría de los pacientes se recuperan por completo, pero la mayoría experimenta una recuperación modesta de los síntomas. ⁽⁴⁰⁾

Miopatía

Se han utilizado varios métodos para tratar los síntomas neuromusculares de los músicos instrumentistas. En primeras etapas se considera antiinflamatorios no esteroideos con un tratamiento complementario, como fisioterapia. En los casos en los que no hay respuesta al tratamiento, la rehabilitación con ejercicios de estiramiento y fortalecimiento estabilizan los músculos de las áreas sintomáticas. En última instancia, se recurre a tratamiento quirúrgico cuando el conservador falla. En el caso de una distonía focal, se recomiendan medicamentos como levodopa, relajantes musculares, botox y entrenamiento propioceptivo. ⁽²³⁾

Unión neuromuscular

La esclerosis lateral amiotrófica se ha asociado a exposición a formaldehído, acrilamida, plomo y excesiva actividad física. El riluzol es el único medicamento aprobado para su tratamiento y parece reducir la progresión de la enfermedad en algunas personas, probablemente reduciendo los niveles de glutamato. La fisioterapia puede disminuir los síntomas, pero no existe una cura definitiva para esta enfermedad.

Prevención

Un primer paso para la prevención de enfermedades ocupacionales es la identificación de riesgos. Las herramientas más empleadas para ello son los cuestionarios, organigramas, diagramas de flujo, inspecciones y entrevistas. El Instituto Nacional de Seguridad y Salud en el Trabajo, indica que el estudio integral de riesgos laborales permite identificar riesgos potenciales para implementar intervenciones específicas. Esta evaluación debe seguir el siguiente proceso: ⁽⁵⁾⁽⁵²⁾

- 1) Determinación de riesgo en puestos de trabajo:* neurotóxicos, tensión física prolongada, vibración, movimientos repetitivos
- 2) Análisis de normativas, referencias y documentos*
- 3) Caracterización del riesgo:* ventilación, iluminación, procesamiento de residuos
- 4) Valoración del riesgo*

5) *Planificación, implementación y seguimiento*: modificar entorno laboral, EPP, rotación de puestos, mecanización, ergonomía, educación

La reducción de la exposición a los factores de riesgo ergonómicos para el síndrome del túnel carpiano y el síndrome de túnel ulnar, como movimientos repetitivos y forzados y la carga estática de la muñeca y el codo, así como la vibración mano-brazo, representan la principal prevención para estas enfermedades. Asimismo, las herramientas vibratorias como perforadoras de roca y llaves de impacto pueden usarse con amortiguadores para operaciones de perforación rotativa que van directo al dispositivo, o empuñaduras amortiguadas con resortes que disminuyen hasta 75% las vibraciones que se transmiten al operario.⁽¹⁹⁾ En el caso de la exposición a vibración mano-brazo, es importante seleccionar herramientas con bajos niveles de aceleración, lo que se puede lograr de manera efectiva aplicando anillos de equilibrio en las herramientas rotativas y absorbedores de vibraciones en las herramientas de impacto. Para operaciones a gran escala, se pueden emplear robots de perforación y demolición controlados a distancia. Existen normas para la medir y evaluar la exposición humana a las vibraciones transmitidas a través de las manos (ISO 5349-1:2001), donde señalan que las condiciones climáticas y otros factores que afectan la temperatura deben considerarse en la evaluación de riesgos. Por último, si no se pueden limitar suficientemente las exposiciones ocupacionales, se debe administrar equipo de protección personal. Esto podría incluir tener varios pares de guantes para cambiarlos cuando se mojen y superficies de contacto acolchadas entre las herramientas manuales vibrantes y el sistema mano-brazo.

Los trabajadores también podrían beneficiarse de capacitaciones sobre los riesgos asociados con la vibración mano-brazo, así como mantener vigilancia médica. ⁽²¹⁾

En el caso particular de síndrome de túnel carpiano, existe una asociación entre los factores socioeconómicos y la función de la mano después de la cirugía. Un mayor nivel de educación y mayores ingresos se correlacionan positivamente con el síndrome de túnel carpiano, y un nivel socioeconómico más bajo se asocia con una discapacidad peor percibida tanto antes como después de la operación. Los pacientes con un nivel socioeconómico más bajo perciben su discapacidad después de la cirugía como peor. Es por ello, que la educación es un influyente importante de los resultados de salud, a través del conocimiento, la alfabetización y las habilidades para resolver problemas. Es posible que las personas con un mayor nivel de educación tengan una mayor conciencia de enfermedad y busquen atención médica con mayor frecuencia y más tempranamente, lo cual podría afectar los resultados del tratamiento, ya que el síndrome del túnel carpiano de larga duración puede provocar daño nervioso irreversible. ⁽¹⁶⁾

Corregir posturas o malos hábitos en conductores podría prevenir lesiones nerviosas periféricas. La compresión del nervio cubital se ha descrito entre los conductores de larga distancia como “codo del conductor” y se atribuye a apoyar habitualmente el codo en la puerta de la cabina o el marco de la ventana durante períodos de tiempo prolongados y repetidos. Los conductores de camiones con cabina sobre el motor tienen riesgo de sufrir lesiones al saltar desde la cabina o

desde el nivel del remolque. Los saltos repetidos también pueden aumentar el riesgo de enfermedades de las extremidades inferiores a las altas fuerzas que impactan en las piernas. ⁽²²⁾

La prevención de riesgos para neuropatía periférica en los trabajadores agrícolas se debe enfocar en mejorar los conocimientos, prácticas de manejo y uso de equipos de protección. En ese sentido, las leyes del estado son claves para reducir la exposición ocupacional y la educación para enseñarles a identificar síntomas que representen señales de alerta para esta patología. Las evaluaciones de este grupo de trabajadores deben tener un enfoque preventivo y de rehabilitación neuromotora para prevenir complicaciones que afecten su desempeño funcional.⁽²⁷⁾ Una revisión de nuestras políticas en seguridad y salud en el trabajo podría fomentar estrategias que reconozcan y prevengan el problema multifactorial en estos trabajadores. Esto podría incluir una formación multidisciplinaria e integral en la agricultura para resaltar: evitar permanecer en cuclillas durante períodos prolongados de más de 2 horas; realizar extensión de la rodilla, y reforzar la musculatura alrededor de la rodilla para prevenir la neuropatías. ⁽¹⁷⁾

La minería a cielo abierto supone mayor exposición a condiciones como el clima frío además de los inherentes de la actividad minera. Los síntomas se consideran a menudo como indicios de una lesión de los nervios periféricos, para la que no existen tratamientos médicos o quirúrgicos definitivos, y esto enfatiza la necesidad de una acción preventiva temprana. Por lo tanto, las personas sintomáticas deben evitar la exposición a tóxicos y manipulación de

herramientas y cargas sin el equipo de protección adecuados. Asimismo, en muchos entornos el desarrollo o complicación del cuadro neurológico periférico se agrava por las intensas condiciones ambientales. Para ayudar a los empleadores y los servicios de salud ocupacional en este desafío, se ha desarrollado una norma internacional (ISO 15743:2008) para guiar la gestión de riesgos para el trabajo en frío. Esto se podría lograr exponiendo por períodos más cortos de trabajo al aire libre, un mayor número de descansos en un entorno calentado, y protegiendo los lugares de trabajo al aire libre de las corrientes de aire y las precipitaciones. Esto aplicaría también para conductores de camiones con patología neuromuscular ocupacional expuestos a frío, cubriendo y calentando los compartimentos del conductor de todos los vehículos. ⁽²¹⁾

Con relación a agentes tóxicos, deben aplicarse medidas para reducir la exposición y uso de equipos de protección personal que incluyan guantes de protección química y respiradores adecuados. La recuperación neuromuscular clínica y biológica es gradual tras la finalización de la exposición.⁽²⁵⁾⁽⁴⁸⁾⁽⁵⁰⁾ El Centro para el Control y Prevención de Enfermedades, indica “ausencia” de un umbral de seguridad para las concentraciones de plomo sanguíneo y sugiere que el trabajador sea removido de la exposición al plomo, cuando la plumbemia es $\geq 50 \mu\text{g/dl}$ y se permite a los empleados retornar a sus puestos de trabajo cuando los niveles de plomo sérico son menores a $40 \mu\text{g/dl}$. ⁽²⁴⁾ La acrilamida debe ser usada con precaución para prevenir neuropatía periférica a predominio sensitivo. Estudios encontraron que las concentraciones pueden superar 1 mg/m^3 en algunos lugares de trabajo. El límite de exposición permisible actual de la OSHA

de EEUU para acrilamida es de 0,30 mg/m³ y el límite recomendado de NIOSH es de 0,03 mg/m³. El deterioro de percepción de vibraciones y la velocidad de conducción nerviosa impresionan ser irreversible y continúa acumulándose linealmente en el tiempo. Por ello la importancia del uso de protección adecuada que incluya lentes de seguridad o caretas protectoras, y guantes de nitrilo o de caucho de butilo durante toda la manipulación. ⁽²⁹⁾

Por otro lado, los trabajadores de construcción expuestos a sílice pueden presentar alteraciones musculares además de respiratorias. Algunos pacientes pueden desarrollar una respuesta fibrótica en el pulmón y la sílice acumulada estimular apoptosis de células inmunes para intentar eliminar el cuerpo extraño conduciendo a liberación de antígenos propios y promoviendo el desarrollo de autoanticuerpos. Debido a que la sílice no es destruida se perpetúa un ciclo de activación inmune e inflamación que puede afectar a otros tejidos. La sílice se ha asociado a los fenotipos de miopatía inflamatoria idiopática como dermatomiositis y miositis sobrepuesta a enfermedad reumática sistémica. En ese sentido, la prevención de exposición a esta sustancia es crucial ya que repercute en diversos sistemas. La exposición de los trabajadores al polvo de sílice no debe superar 0.025mg/m³ en un turno de ocho horas acorde a la RM733-2024. Algunas medidas que ayudan a prevenir la exposición son el registro de datos de supervisión del aire de relevamientos industriales o de donde se realizan tareas similares. Asimismo, se debe considerar realizar limpieza con barrido húmedo y aspiradoras con filtros HEPA, para evitar que el polvo de sílice se disperse por el aire. Finalmente, el trabajador debe contar con su equipo de

protección personal adecuado que incluye respirador con filtro contra partículas (eficacia P3) y adaptador facial; o bien una mascarilla filtrante contra partículas (eficacia FFP3). ⁽⁶⁾ En Egipto y en países en desarrollo la exposición a riesgos laborales no excluye grupos etarios. Niños laboran y son expuestos a pesticidas por tiempos prolongados y alto nivel de exposición, inclusive con bajo porcentaje de uso de equipo de protección personal: solo el 8% de los niños en un estudio informaron haber usado equipo de protección personal. Existe una relación dosis-respuesta entre la presencia de signos neuromusculares, y la duración de la fumigación y el uso de equipo de protección personal. Las leyes sobre trabajo infantil están diseñadas para reducir la exposición de los adolescentes. El estado debe exhortar a cumplir la ley sobre trabajo infantil en ocupaciones con exposición a sustancias tóxicas que exige equipo de protección personal pero que en muchos casos no se cumple. ⁽⁹⁾

En los quirófanos también existen riesgos ocupacionales prevenibles que incluyen una iluminación inadecuada, posturas incómodas, movimientos repetitivos y áreas de presión de los instrumentos. La posición estática prolongada durante la cirugía abierta puede provocar estrés y tensión muscular. ⁽³⁰⁾ La cirugía laparoscópica estándar suele tener mayor tiempo quirúrgico que la laparoscopia mano asistida, lo que expone al cuello a mayor tensión. Además, los monitores del cirujano no siempre están colocados correctamente, en la línea de visión directa. En consecuencia, los cirujanos extienden el cuello o girado durante períodos prolongados de tiempo. Por ejemplo, los estudios han demostrado una ergonomía mejorada del quirófano con monitores montados

frente al cirujano y ubicados a la altura de los ojos del cirujano o 15 grados por debajo de esta, a una distancia de 60 centímetros. La posición y la altura del monitor afectan la fatiga muscular, particularmente en los músculos del cuello, y se ha informado que colocar el monitor más cerca del campo operatorio mejora el rendimiento. En general, estas posiciones inusuales de las manos y los dedos pueden provocar espasmos y dolor que requieran descanso y recuperación antes de continuar con la cirugía. ⁽³²⁾

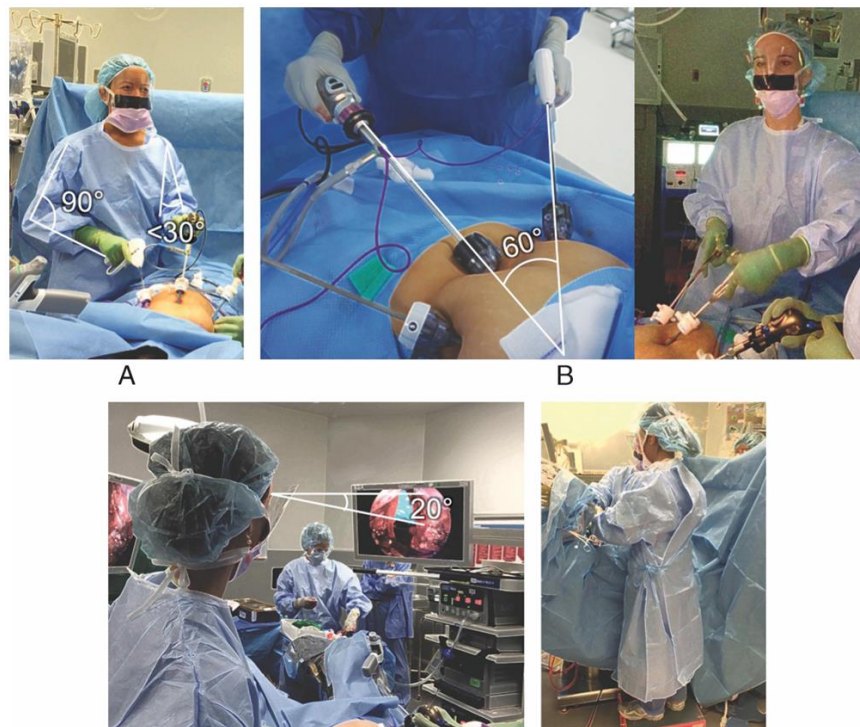
Durante los últimos años, se ha mejorado el diseño de los instrumentos y disposición de los quirófanos, pero también se ha incrementado la variedad y complejidad de procedimientos por lo que las mejoras aún son insuficientes para no sufrir lesiones musculares. La planificación inicial de los quirófanos debe tener en cuenta la ergonomía y la implementación de nuevas tecnologías. La fatiga muscular focal puede aumentar y los cirujanos pueden encontrar posiciones alternativas de las extremidades para compensar el agotamiento muscular. De esta manera, la compensación de la fatiga en un músculo se ha reducido al desplazar el trabajo a otras áreas de la extremidad y el torso, y esto en última instancia puede conducir a lesiones en sitios alejados de los músculos principales que se utilizan. El diseño y ajuste adecuados de los instrumentos laparoscópicos y ubicación de puertos pueden minimizar la tensión neuromuscular. La colocación de los puertos con el espaciamiento adecuado y el posicionamiento en línea con el cirujano puede reducir el estrés muscular. Investigadores han estudiado los efectos de los ángulos de trabajo sobre la carga de trabajo de las extremidades superiores del cirujano. Descubrieron que la alineación del instrumento en la posición horizontal aumenta el trabajo de los

músculos del antebrazo, y en la posición vertical, aumenta del hombro. Sin embargo, ninguna de las posiciones afecta significativamente a los músculos tenares. Diversos autores evaluaron la altura óptima de la mesa para laparoscopia y encontraron mayor incomodidad y menos lesiones en brazo y hombro cuando los mangos de los instrumentos laparoscópicos estaban al nivel del codo del cirujano o 10 cm por debajo de él, que es mucho menor que la altura de trabajo típica en cirugía abierta. La construcción de plataformas con escalones podría ser una solución inmediata, pero esto provoca su propia restricción del movimiento, incomodidad e inseguridad en el cirujano. El ajuste de la altura de la mesa como se describió anteriormente para lograr una posición ideal del codo de flexión de 90° a 120° puede reducir la tasa de lesiones en el codo.

La mejor prevención para evitar lesiones musculares es preservar la ergonomía de la mano y la muñeca según su posición anatómica básica. En la posición básica, la muñeca está ligeramente extendida, las articulaciones metacarpofalángicas e interfalángicas proximales están flexionadas aproximadamente a 30° a 50°, las articulaciones interfalángicas distales están casi extendidas y el pulgar se opone al dedo índice. En esta posición, la mano opera con una biomecánica óptima. Muchos instrumentos laparoscópicos fuerzan a la muñeca a alejarse de la posición básica hacia una flexión excesiva, supinación, desviaciones cubital y radial. Los instrumentos con un diseño ergonómico deficiente disminuyen la transmisión de fuerza a través de la muñeca hasta el mango del instrumento, brindan menos control sobre los movimientos musculares finos de las manos, limitan la retroalimentación de

fuerza proporcionada por el instrumento y predisponen al usuario a lesiones. El diseño de instrumentos mejorados basados en principios ergonómicos y que brinden un rango de libertad no restrictivo, completamente giratorio y de múltiples grados es un gran desafío para la industria. ⁽³³⁾

Figura 6. *A 90° entre antebrazo y brazo, abducción del hombro menor a 30°. B 60 grados entre pinza. C Monitor máximo a 20° de visión del cirujano. D mesa a la altura del cirujano y taburete a los demás*



Nota. Catanzarite T, et al. Ergonomics in surgery: female pelvic medicine and reconstructive surgery.2018

Asimismo, es importante realizar un registro de lesiones producidas en el trabajador, sin embargo, aunque los cirujanos reconocen estos riesgos y desarrollan molestias, rara vez informan las lesiones a sus instituciones. El lamentable resultado es una cultura de sufrimiento silencioso, donde las pautas ergonómicas no son conocidas. En ese sentido, resultaría provechoso la implementación de programas de ergonomía formalizados para el personal de salud. ⁽³⁰⁾ Un estudio realizado por Davis et al., en 2014 mostró que el 40% de los cirujanos sufrieron al menos una lesión neuromuscular en el lugar de trabajo, y solo la mitad de ellos (20% en total) recibió tratamiento médico. Su estudio también reveló que solo el 20% de estos casos fueron reportados a su institución y, más sorprendentemente, el 30% no sabían cómo reportar lesiones relacionadas con el trabajo. Por otro lado, los factores que pueden ser protectores para los cirujanos incluyen el conocimiento de la ergonomía del quirófano, el ejercicio, y un mayor número de años de práctica. ⁽³³⁾

En caso de cirugías prolongadas, se ha encontrado beneficio de realizar micropausas formales (pausas de 20 segundos cada 20 minutos) ya que reducen significativamente la incomodidad y los errores del cirujano. Por lo tanto, las pausas breves durante la cirugía para que el cirujano se estire pueden ser un objetivo útil para las intervenciones ergonómicas. ⁽³⁰⁾

Por otro lado, en caso de disponer de logística para cirugía robótica, esta se ha asociado a menor incidencia de lesiones musculares. Cabe resaltar que la cirugía robótica podría ayudar a mitigar el dolor neuromuscular de los cirujanos y, en consecuencia, ser más beneficiosa físicamente para los cirujanos que las otras

modalidades quirúrgicas. Ello radica en que tiene una posición de operación cómoda, una vista tridimensional, una plataforma de cámara estable y hasta 7 grados de libertad durante la manipulación del instrumento dentro del cuerpo. La posición sentada con el monitor colocado por debajo del nivel de los ojos y cerca de las manos puede reducir la tensión ocular y del cuello, al tiempo que maximiza la precisión técnica. La posición sentada adecuada elimina la carga desigual de peso de las extremidades inferiores que suele observarse con la laparoscopia convencional ⁽³⁰⁾

En ese sentido, es menester que el personal y autoridades promuevan la difusión de información adecuada sobre los canales para atender tempranamente estas molestias y prevenir complicaciones. ⁽³³⁾ En última instancia, maximizar estos esfuerzos dará como resultado menos dolor y fatiga para el cirujano, mayor y más prolongada productividad y mayor seguridad para el paciente. ⁽³²⁾

El personal de salud a cargo de pacientes con afectación de su capacidad funcional tiene gran demanda de carga física asociada a levantamientos incorrectos con cargas excesivas y a adoptar posturas por fuera de ángulos de adecuados, que pueden desencadenar trastornos neuromusculares. La movilización manual de pacientes inadecuada genera estos trastornos sobre todo cuando se realizan desplazamientos de pacientes de manera repetida. Esta tarea exige una gran demanda física en el sistema neuromuscular del trabajador. Para el sector sanitario, la ISO/TR 12296 es una herramienta específica para la gestión del riesgo en la manipulación de pacientes, que ofrece varios métodos de evaluación: 1) método Dortmund Approach, 2) método Til Thermometer, 3)

método Patient Transfer Assessment Instrument, 4) método Movilización Asistencial de Pacientes Hospitalizados (MAPO) y, 5) Cuestionario Estandarizado Nórdico de Kuorinka. ⁽⁵⁾

La aplicación e implementación de la metodología MAPO (Movilización asistencial de pacientes hospitalizados) permite identificar un nivel de riesgo alto relacionado con la movilización manual de pacientes, siendo este método contemplado en la norma ISO/NP TR 12296 “Ergonomics. Manual handling of people in the health care sector”. Ello permite realizar un screening y prevenir complicaciones en el personal de salud.

Figura 7. Índice MAPO

Índice MAPO	Nivel de Riesgo
0 - 1,5	ACEPTABLE
1,51 - 5	Exposición MEDIA. Necesidad de intervenir a medio/largo plazo • Dotación de equipos auxiliares • Vigilancia sanitaria • Formación
> 5	Exposición ELEVADA Necesidad de intervenir a corto plazo • Dotación de equipos auxiliares • Vigilancia sanitaria • Formación

Nota. INSST

Estudios en países latinoamericanos utilizaron el método MAPO en enfermeras y técnicas de sala de operaciones para hallar riesgos relativos por movilización manual de pacientes. Se encontró un nivel de riesgo medio de 3,32, en que las licenciadas de enfermería veían afectado su desempeño laboral por la

manipulación incorrecta de los pacientes al moverse, implicando intervenciones a mediano y largo plazo en implementación de equipos de ayuda, vigilancia sanitaria y educación de los trabajadores. Se ha encontrado asimismo mayor demanda de carga física al realizar el desplazamiento de los pacientes hacia la cabecera de la cama, reflejo de las inadecuadas posturas adoptadas y a la fuerza aplicada al efectuar las rotaciones en la cama o cambio postural (33.8-64%). Asimismo, en investigaciones previas se encontró que el nivel de exposición a riesgo disergonómico de movilización manual de pacientes fue alto, representado por un índice MAPO de 10.62, debido a las características del entorno físico y equipos de ayuda auxiliares relacionadas con el riesgo disergonómico de movilización manual de pacientes de las instalaciones de sala de varones, donde no se cumplen las especificaciones ergonómicas necesarias para la estancia y la movilización de pacientes. Estas evidencias implican replantear las intervenciones, con un abordaje integral, considerando la ergonomía física (asistencia mecánica), y la ergonomía participativa con enfoque psicosocial contemplando los factores de riesgo organizacionales (incluir más personal para reducir la cantidad de pacientes que atienden). Los factores de riesgo por la manipulación manual de pacientes deben identificarse en cada caso y evaluar si son tolerables (bajos), medios, o no tolerables (altos). Para ello existen metodologías ergonómicas para estimar el nivel de riesgo al cual están expuestos los trabajadores y prevenir complicaciones.⁽³⁶⁾

En el caso de los quiroprácticos, utilizan diferentes técnicas manuales y ejercicios que normalmente los exponen a riesgos de desarrollar dolor y lesiones en los hombros, las muñecas y los pulgares. En un estudio, la falta de medidas

de prevención repercutió en que el 75% cambio su posición de trabajo, alrededor del 66% modifico su técnica y alrededor del 33% disminuyo sus horas de trabajo. La implicación práctica de este conocimiento es que los quiroprácticos probablemente podrían prevenir enfermedades relacionadas con el trabajo al enfocarse en la biomecánica de sus posturas de trabajo, en particular cuando realizan manipulación de postura lateral, para minimizar la torsión y la flexión. Además, los quiroprácticos deberían limitar el uso del tratamiento manual de los tejidos blandos para minimizar la tensión en los pulgares y los dedos. Los programas educativos deberían centrarse en las posiciones de trabajo y la mecánica corporal, y los supervisores clínicos y profesores experimentados deberían centrarse en brindar retroalimentación sobre las posiciones de trabajo.

(51)

Otra molestia muy frecuente en trabajadores ocurre en la rodilla, cuya esencia está estrechamente relacionada con las características intrínsecas de los ligamentos y con la respuesta de los músculos asociados a las cargas externas. Para prevenir lesiones a este nivel debe vigilarse el ángulo de la rodilla en el cual se ejerce tensión. En un ángulo de rodilla de 35°, se induce una tensión máxima en el ligamento cruzado anterior, con un aumento adicional de la tensión a medida que se contrae el cuádriceps, y se producen espasmos en electromiografía principalmente en los isquiotibiales. La literatura indica que esta condición (ángulo de rodilla a 35°) aumenta el riesgo de lesión ya que las posiciones extremadamente flexionadas y extendidas favorecen una mayor laxitud de la articulación de la rodilla. Las investigaciones donde se expone a la rodilla a cargas cíclicas leves durante apenas 10 minutos dan como resultado

cambios mecánicos y neuromusculares como laxitud del ligamento cruzado anterior, espasmos en la electromiografía, y disminución de la fuerza de extensión. Por otro lado, se ha demostrado que la coactivación de los cuádriceps y los isquiotibiales protege la rodilla de la lesión del ligamento cruzado anterior. Respecto a las mujeres, muestran una mayor laxitud de los ligamentos debido a factores hormonales, anatómicos y biomecánicos. A medida que aumenta la laxitud del ligamento cruzado anterior, los mecanorreceptores internos no funcionarán con el mismo umbral de longitud/fuerza. Dicha laxitud reducirá la descarga de los mecanorreceptores en la médula espinal y, en consecuencia, sus respuestas propioceptivas y reflejas. Está claro que una degradación adicional de la estabilidad de la rodilla estará asociada con una propiocepción y una actividad refleja deficientes, lo que aumenta el riesgo de lesión. Por ello es importante vigilar las condiciones laborales y riesgos ergonómicos de los trabajadores que están expuestos a manipulación de cargas. ⁽³¹⁾

Finalmente, los empleadores deben disponer de procesos de prevención de riesgos sencillos de entender; reinducciones sobre el puesto y sus riesgos para trabajadores afectados; y operar de forma articulada a fin de que los empleados puedan reincorporarse según su recuperación se desarrolle y siempre bajo vigilancia médica.

A modo de corolario, para prevenir las lesiones neuromusculares, se recomienda evitar siete actividades específicas: (1) repeticiones, definidas como ciclos de

menos de 30 segundos o 1 elemento de actividad básica presente durante más del 50% del tiempo total del ciclo; (2) esfuerzo prolongado o repetitivo de más del 30% de la fuerza del operador; (3) segmentos del cuerpo mantenidos en una posición extrema; (4) postura estática prolongada; (5) actividades con herramientas vibratorias; (6) exposición al frío; y (7) combinaciones de las condiciones anteriores.⁽³⁰⁾

CONCLUSIONES

1. Existen diversas medidas para mejorar ergonomía en el trabajo, que permitirían disminuir las lesiones neuromusculares en el personal de salud, en particular en salas de operaciones y en personal de enfermería y técnico.
2. Enfermedades neuromusculares como el síndrome del túnel del carpo son especialmente importantes por su frecuencia, costos, tratamiento definitivo quirúrgico y afectación del desempeño laboral.
3. Fomentar y recalcar la relevancia de los descansos y educar sobre cómo utilizar las pausas cortas entre labores para relajar los músculos y cómo controlar la tensión en los músculos durante la jornada laboral. Aplica para la mayoría de los ámbitos desde el descanso en extensión de la rodilla en agricultores, o pausas activas en oficina, hasta pausas breves quirúrgicas durante una cirugía compleja.
4. Es necesario fomentar el uso de un completo y adecuado EPP en caso de exposición a agentes químicos como solventes, metales y a vibración acorde a la RM 375 2008 y RM 733 2024.
5. No existe conocimiento completo ni adecuado sobre exposición de riesgos laborales, incluyendo neuromusculares, por parte de trabajadores de todos los gremios desde agricultura hasta médicos.
6. Enfermedades graves con causas genéticas conocidas, pueden ser atribuidas actualmente a factores de riesgo ocupacional como las miopatías inflamatorias idiopáticas y la esclerosis lateral amiotrófica (OR 1.3 para formaldehído).

7. Puede disminuirse la exposición a tóxicos con uso de aspiradoras o supresión de polvo, ducharse y ropa limpia luego de labores, barrido húmedo, y dispositivos para separar al personal del lugar de producción de polvo mediante controles remotos.
8. El nervio periférico puede afectarse por exposiciones a acrilamida, arsénico, n-hexano, organofosforados y tricloroetileno, provocando polineuropatías o neuropatías aisladas como del trigémino; y pese al retiro de la exposición la recuperación es gradual y no siempre total.
9. Las fuentes de contaminación por plomo en el trabajo son extensas e incluyen todas las industrias donde se manejan plomo o sus compuestos; destacando las siguientes áreas: fundición, baterías de automóviles, soldaduras, municiones, y tuberías antiguas.
10. Hoy en día, la tecnología brinda a las personas mayor flexibilidad en cuándo y dónde laboran, lo que impacta en diferentes formas de trabajo y en nuevos riesgos de exposición laboral, incluyendo empleos a distancia donde el individuo no es propenso a ser evaluado.

RECOMENDACIONES

- ✓ Basándonos en lo evaluado, resulta imprescindible desarrollar un plan de capacitación y educación para prevenir las enfermedades neuromusculares ocupacionales, centrado en la realización de tareas seguras. Por ejemplo, en el manejo manual de pacientes, herramientas mecánicas como elevadores, rodillos y sábanas de deslizamiento, que simplifican el traslado de los pacientes y ayudan a reducir el factor de riesgo biomecánico.
- ✓ Además, serían muy útiles estrategias como programas de revisión y conservación de registros de datos laborales del personal sanitario, junto con directrices para el manejo de pacientes no colaboradores o de difícil manejo (pacientes dependientes).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1. Sabastizagal-Vela Iselle, Astete-Cornejo Jonh, Benavides Fernando G. Condiciones de trabajo, seguridad y salud en la población económicamente activa y ocupada en áreas urbanas del Perú. Rev. perú. med. exp. salud publica. 2020. Consultado 07 de enero 2025. 37(1): 32-41. Disponible en:** http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342020000100032&lng=es
- 2. Asociación Gallega contra las Enfermedades Neuromusculares. ASEM Galicia. Consultado 7 de enero 2025. Disponible en:** <https://asemgalicia.com/enfermedades-neuromusculares/>
- 3. Ladou J. Current Diagnosis and treatment: International Occupational and environmental health. Consultado el 07 de enero 2025. Disponible en:** <https://accessmedicine-mhmedical-com.upch.lookproxy.com/content.aspx?sectionid=255657749&bookid=3065&Resultclick=2>
- 4. Castiglioni C, Jofre J, Suarez B. Enfermedades neuromusculares. Epidemiologia y políticas de salud en Chile. RMCLC. 2018. 29(6)594-598. Disponible en:** <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medica-clinica-las-condes-202-articulo-enfermedades-neuromusculares-epidemiologia-politicas-salud-S0716864018301184>
- 5. Gualan C, Reinoso M. Trastornos musculoesqueléticos en el personal de enfermería de un hospital de Cuenca, Ecuador. RELIGACIÓN.Revista de Ciencias Sociales y Humanidades 2023;8(37). Disponible en:**

<https://www.proquest.com/docview/2861045715/C6962304BCDF47BDPQ/15?accountid=42404&sourcetype=Scholarly%20Journals>

6. Parks, C.G., Wilkerson, J., Rose, K.M., Faiq, A., Farhadi, P.N., Bayat, N., Schiffenbauer, A., Brunner, H.I., Goldberg, B., Sandler, D.P., Miller, F.W. and Rider, L.G. (2025), Occupational and Hobby Exposures Associated With Myositis Phenotypes in a National Myositis Patient Registry. *Arthritis Care Res*, 77: 104-115. Consultado el 7 de enero 2025. Disponible en: <https://acrjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/acr.25461>

7. Zachary Clemens, Kai Wang, Fabrisia Ambrosio, Aaron Barchowsky, Arsenic disrupts extracellular vesicle-mediated signaling in regenerating myofibers, *Toxicological Sciences*, Volume 195, Issue 2, October 2023, Pages 231–245. Consultado 7 de enero 2025. Disponible en: <https://academic.oup.com/toxsci/article/195/2/231/7234631>

8. Jerosch-Herold C, Houghton J, Blake J, et al, Association of psychological distress, quality of life and costs with carpal tunnel syndrome severity: a cross-sectional analysis of the PALMS cohort *BMJ Open* 2017;7:e017732. Consultado 8 de enero 2025. Disponible en: <https://bmjopen.bmj.com/content/7/11/e017732.citation-tools>

9. Ismail AA, Rohlman DS, Abdel Rasoul GM, Abou Salem ME, Hendy OM. Clinical and biochemical parameters of children and adolescents applying pesticides. *Int J Occup Environ Med*. 2010 Jul;1(3):132-43. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23022799/>

10. Colbeth HL, Zeig-Owens R, Webber MP, et al. Post-9/11 Peripheral Neuropathy Symptoms among World Trade Center-Exposed Firefighters

and Emergency Medical Service Workers. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(10):1727. Consultado el 8 de enero 2025.

11. Pardo ID, Rao DB, Butt MT, et al. Toxicologic Pathology of the Peripheral Nervous System (PNS): Overview, Challenges, and Current Practices. *Toxicologic Pathology*. 2018;46(8):1028-1036. Consultado 8 de enero de 2025. Disponible en: <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.1177/0192623318800707>

12. Mohammadian Y, Nasirzadeh N. Toxicity risks of occupational exposure in 3D printing and bioprinting industries: A systematic review. *Toxicology and Industrial Health*. 2021;37(9):573-584. doi:10.1177/07482337211031691

13. Bastos AF, Orsini M, Machado D, Mello MP, Nader S, Silva JG, da Silva Catharino AM, de Freitas MR, Pereira A, Pessoa LL, Sztajn bok FR, Leite MA, Nascimento OJ, Bastos VH. Amyotrophic lateral sclerosis: one or multiple causes? *Neurol Int*. 2011 Jun;3(1):e4. Consultado 8 de enero 2025. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3141115/>

14. Seals RM, Kioumourtoglou MA, Hansen J, Gredal O, Weisskopf MG. Amyotrophic Lateral Sclerosis and the Military: A Population-based Study in the Danish Registries. *Epidemiology*. 2016 Mar;27(2):188-93. Consultado 8 de enero 2025. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5119482/>

15. Seals, R.M., Kioumourtoglou, MA., Gredal, O. et al. Occupational formaldehyde and amyotrophic lateral sclerosis. *Eur J Epidemiol* 32, 893–

899 (2017). Consultado 8 de enero 2025. Disponible en:
<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5681368/>

16. Zimmerman, M., Hall, E., Carlsson, K.S. *et al.* Socioeconomic factors predicting outcome in surgically treated carpal tunnel syndrome: a national registry-based study. *Sci Rep* 11, 2581 (2021). Disponible en:
<https://www.nature.com/articles/s41598-021-82012-x#citeas>

17. Tuna, M., & Satis, S. (2021). Bilateral peroneal nerve paralysis in agricultural workers: three case reports. *Occupational medicine (Oxford, England)*, 71(8), 381–384. Disponible en:
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34671806/>

18. Ahmad, S., House, R., Holness, D. L., Nisenbaum, R., & Thompson, A. M. S. (2023). Evaluation of neurological testing for hand-arm vibration syndrome. *Occupational medicine (Oxford, England)*, 73(1), 36–41. Disponible en:
<https://academic.oup.com/occmed/article/73/1/36/6901994?login=false>

19. Schulze, D. G., Nilsen, K. B., Clemm, T., Grotle, M., Zwart, J. A., Ulvestad, B., & Nordby, K. C. (2023). Influence of ergonomic factors on peripheral neuropathy under HAV exposure. *Occupational medicine (Oxford, England)*, 73(1), 13–18. Disponible en:
<https://academic.oup.com/occmed/article/73/1/13/6884032?login=false>

20. Sakakibara, H., Hirata, M., & Toibana, N. (2005). Impaired manual dexterity and neuromuscular dysfunction in patients with hand-arm vibration syndrome. *Industrial health*, 43(3), 542–547. Disponible en:
https://www.jstage.jst.go.jp/article/indhealth/43/3/43_3_542/article

21. Stjernbrandt, A., Johnsen, M., Liljelind, I., Aminoff, A., Wahlström, J., Höper, A. C., Pettersson, H., & Nilsson, T. (2023). Neurosensory and vascular symptoms and clinical findings in the hands of Arctic open-pit miners in Sweden and Norway - a descriptive study. *International journal of circumpolar health*, 82(1), 2254916. Disponible en: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22423982.2023.2254916?rfr_dat=cr_pub++0pubmed&url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori%3Arid%3Acrossref.org
22. Jensen, A., Kaerlev, L., Tüchsen, F., Hannerz, H., Dahl, S., Nielsen, P. S., & Olsen, J. (2008). Locomotor diseases among male long-haul truck drivers and other professional drivers. *International archives of occupational and environmental health*, 81(7), 821–827. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00420-007-0270-4>
23. Lee, H. S., Park, H. Y., Yoon, J. O., Kim, J. S., Chun, J. M., Aminata, I. W., Cho, W. J., & Jeon, I. H. (2013). Musicians' medicine: musculoskeletal problems in string players. *Clinics in orthopedic surgery*, 5(3), 155–160. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24009899/>
24. Fonseca, A. (2021). Enfermedades por exposición ocupacional a plomo: revisión sistemática exploratoria de la evidencia cualitativa y cuantitativa.. *Revista San Gregorio*, 1(47), 195-216. Disponible en: http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2528-79072021000400195
25. León-Ruiz, M., Jiménez-Jiménez, F. J., & Benito-León, J. (2022). Polineuropatía por cadmio: una causa infrecuente, pero no menos

importante, de neuropatía periférica [Cadmium polyneuropathy: a rare, but not less important, cause of peripheral neuropathy]. *Revista de neurologia*, 74(12), 403–407. Disponible en:

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11502201/>

26. Mathew, P., Jose, A., Alex, R. G., & Mohan, V. R. (2015). Chronic pesticide exposure: Health effects among pesticide sprayers in Southern India. *Indian journal of occupational and environmental medicine*, 19(2), 95–101. Disponible en:

[https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4596078/#:~:text=The%20pesticide%20sprayers%20had%20higher,and%20recurrent%20abdominal%20pain%20\(OR%3A](https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4596078/#:~:text=The%20pesticide%20sprayers%20had%20higher,and%20recurrent%20abdominal%20pain%20(OR%3A)

27. Grillo, Á, Achú, E, Muñoz-Quezada María Teresa, Lucero Mondaca Boris. Exposición a plaguicidas organofosforados y polineuropatía periférica en trabajadores de la región del Maule, Chile. *Rev. Esp. Salud Publica*. 2018. Disponible en:

http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-57272018000100203&lng=es. Epub 22-Mar-2018.

28. Vegosen, L., Breysse, P. N., Agnew, J., Gray, G. C., Nachamkin, I., Sheikh, K., Kamel, F., & Silbergeld, E. (2015). Occupational Exposure to Swine, Poultry, and Cattle and Antibody Biomarkers of *Campylobacter jejuni* Exposure and Autoimmune Peripheral Neuropathy. *PLoS one*, 10(12), e0143587. Disponible en:

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26636679/>

29. Park R. M. (2021). Preliminary Risk assessment for Acrylamide and Peripheral Neuropathy. *Neurotoxicology*, 85, 10–17. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0161813X21000383?via%3Dihub>
30. Catanzarite, T., Tan-Kim, J., Whitcomb, E. L., & Menefee, S. (2018). Ergonomics in Surgery: A Review. *Female pelvic medicine & reconstructive surgery*, 24(1), 1–12. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28914699/>
31. Sbriccoli, P., Solomonow, M., Zhou, B. H., Lu, Y., & Sellards, R. (2005). Neuromuscular response to cyclic loading of the anterior cruciate ligament. *The American journal of sports medicine*, 33(4), 543–551. Disponible en: https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/0363546504268408?url_ver=Z39.88-2003&rfr_id=ori:rid:crossref.org&rfr_dat=cr_pub%20%20pubmed
32. Johnston, W. K., 3rd, Hollenbeck, B. K., & Wolf, J. S., Jr (2005). Comparison of neuromuscular injuries to the surgeon during hand-assisted and standard laparoscopic urologic surgery. *Journal of endourology*, 19(3), 377–381. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15865531/>
33. Gofrit, O. N., Mikahail, A. A., Zorn, K. C., Zagaja, G. P., Steinberg, G. D., & Shalhav, A. L. (2008). Surgeons' perceptions and injuries during and after urologic laparoscopic surgery. *Urology*, 71(3), 404–407. Disponible en: [https://www.goldjournal.net/article/S0090-4295\(07\)02404-1/abstract](https://www.goldjournal.net/article/S0090-4295(07)02404-1/abstract)

34. Norasi, H., Kim, J., Hallbeck, M. S., Cerri, P. E., Elli, E. F., Tollefson, M. K., Harold, K. L., Pathak, R. A., & Pak, R. (2024). Surgeons' dominant surgical modality: Impacts on wellbeing, burnout, and interventions for neuromusculoskeletal disorders. *American journal of surgery*, 237, 115769. Disponible en: [https://www.americanjournalofsurgery.com/article/S0002-9610\(24\)00277-0/fulltext](https://www.americanjournalofsurgery.com/article/S0002-9610(24)00277-0/fulltext)
35. Occhionero, V., Korpinen, L., & Gobba, F. (2014). Upper limb musculoskeletal disorders in healthcare personnel. *Ergonomics*, 57(8), 1166–1191. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24840049/>
36. Perdomo Hernández, M. M., & Murcia Soriano, L. . F. (2024). Evaluación del riesgo asociado a la movilización manual de pacientes en personal de enfermería de una red hospitalaria en Colombia. *Revista Facultad Nacional De Salud Pública*, 42, e351538. Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/fnsp/article/view/355138>
37. Lilleker, J. B., Vencovsky, J., Wang, G., Wedderburn, L. R., Diederichsen, L. P., Schmidt, J., Oakley, P., Benveniste, O., Danieli, M. G., Danko, K., Thuy, N. T. P., Vazquez-Del Mercado, M., Andersson, H., De Paepe, B., deBleecker, J. L., Maurer, B., McCann, L. J., Pipitone, N., McHugh, N., Betteridge, Z. E., ... all EuroMyositis contributors (2018). The EuroMyositis registry: an international collaborative tool to facilitate myositis research. *Annals of the rheumatic diseases*, 77(1), 30–39. Disponible en: <https://ard.bmj.com/content/77/1/30.long>

38. Enciclopedia de la OIT. Volumen I, Capítulo 7: Sistema Nervioso.

Disponible en URL:

<https://www.insst.es/documents/94886/161958/Cap%C3%ADtulo%2B7.%2BSistema%2Bnervioso>

39. Encyclopaedia of Occupational Health and Safety. Síndromes clínicos asociados con neurotoxicidad. 2011. Disponible en URL:

<https://www.iloencyclopaedia.org/es/part-i-47946/nervous-system/item/291-clinical-syndromes-associated-with-neurotoxicity>

40. Toledano M. Toxic-induced neuropathies. Neuro Clin 38. 2020

41. Aminoff M, Boller F, Swaab D. Handbook of Clinical Neurology. 3rd series-Vol 131. Amsterdam: ELSEVIER B.V.; 2015. Chapter 11, Neurotoxicity of metals: 169-189.

42. Aminoff M, Boller F, Swaab D. Handbook of Clinical Neurology. 3rd series-Vol 131. Amsterdam: ELSEVIER B.V.; 2015. Chapter 7, Neurotoxicity of solvents: 93-110.

43. Aminoff M, Boller F, Swaab D. Handbook of Clinical Neurology. 3rd series-Vol 131. Amsterdam: ELSEVIER B.V.; 2015. Chapter 10, Organophosphorus and carbamate insecticide poisoning: 149-168.

44. Lotti M, Bleecker ML. Principles and practice of occupational neurology: an overview. Handb Clin Neurol. 2015;131:3-8.

45. Oh, S. S., Kim, E. A., Lee, S. W., Kim, M. K., & Kang, S. K. A case of amyotrophic lateral sclerosis in electronic parts manufacturing worker exposed to lead. *Neurotoxicology*, 28(2), 324–327.

<https://doi.org/10.1016/j.neuro.2006.12.004>

- 46. Lopez-Monsalve A., Rodriguez A, Ortiz F. Confiabilidad de los estudios de neuroconducción en el síndrome de túnel carpiano. 2017. Rev. Salud Pública. 19 (4): 506-510. Disponible en: <https://www.scielosp.org/pdf/rsap/2017.v19n4/506-510>**
- 47. Verhagen A, Karels C et al. Exercise proves effective in a systematic review of work-related complaints of the arm, neck, or shoulder. Journal of Clinical Epidemiology. 2007. 110-117. Disponible en URL: [https://www.jclinepi.com/article/S0895-4356\(06\)00204-6/abstract](https://www.jclinepi.com/article/S0895-4356(06)00204-6/abstract)**
- 48. Bates M, Pope K, Yuen S et al. Hexane exposure and persistent peripheral neuropathy in automotive technicians. Neurotoxicology. 2019. 24-29. Disponible en URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6842119/pdf/nihms-1539079.pdf>**
- 49. Aminian F, DaryoushP, Fatemeh M et al. Kinesio taping as an alternative treatment for manual laborers with carpal tunnel syndrome: A double-blind randomized clinical trial. Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation. 2022. 439-447**
- 50. Guimarães-Costa R, Schoindre Y, et al. N-hexane exposure: a cause of small fiber neuropathy. Journal of the Peripheral Nervous System 00:1–4 (2018).**
- 51. Hansen M, Aagard T, Christensen H, et al. Work-related acute physical injuries, chronic overuse complaints, and the psychosocial work environment in Danish primary care chiropractic practice— a cross-sectional study. Hansen et al. Chiropractic & Manual Therapies. 2018. 26:4**

52. European Agency for Safety and Health at Work. Review of research, policy and practice on prevention of work-related musculoskeletal disorders. 2020. ISSN: 1831-9343. Disponible en URL: https://osha.europa.eu/sites/default/files/Work_related_musculoskeletal_disorders_why_so_prevalent_report.pdf

53. Canadian Centre for Occupational Health and Safety. Work-related Musculoskeletal Disorders. 2024. Disponible en URL: <https://www.ccohs.ca/oshanswers/diseases/rmirsi.html>