



# Lesiones del plexo braquial en adultos: Una revisión narrativa de la literatura

## *Brachial Plexus Injuries in Adults: A Narrative Review of the Literature*

Joaquín Ananías<sup>1</sup> Paula A. Pino<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Traumatología y Ortopedia, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile

<sup>2</sup>Equipo Extremidad Superior, Instituto Teletón, Santiago, Chile

Address for correspondence Paula Pino, MD, Departamento de Traumatología y Ortopedia, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile, Diagonal Paraguay n° 362, 3er piso, Santiago, Chile (e-mail: palpinop@gmail.com).

Rev Chil Ortop Traumatol 2022;63(1):e40–e50.

### Resumen

#### Palabras Clave

- ▶ extremidades superiores
- ▶ injertos nerviosos
- ▶ microcirugía
- ▶ plexo braquial
- ▶ transferencias nerviosas

La patología traumática del plexo braquial comprende un amplio espectro de lesiones potencialmente devastadoras para la funcionalidad de los pacientes. El objetivo del presente trabajo es realizar una revisión narrativa de la literatura enfocada en el diagnóstico y estudio de las lesiones del plexo braquial en adultos, además de entregar nociones básicas sobre el manejo de esta compleja patología.

**Nivel de evidencia:** Nivel V.

### Abstract

#### Keywords

- ▶ upper limbs
- ▶ nerve grafts
- ▶ microsurgery
- ▶ brachial plexus
- ▶ nerve transfers

Traumatic brachial plexus injuries comprise a wide spectrum of lesions that are potentially devastating to the functionality of the patients. The aim of the present review is to perform a narrative review of the literature focused on the diagnosis and study of brachial plexus injuries in adults, in addition to providing basic guidelines on the management of this complex pathology.

**Level of evidence:** Level V.

## Introducción

Las lesiones traumáticas de plexo braquial son graves, y pueden causar un importante deterioro funcional y de la

calidad de vida de quienes las sufren. Se producen por tracción de las raíces cervicales de C5 a T1, que forman el plexo braquial, y acarrearán déficit motor de los grupos musculares de la extremidad superior.

El mecanismo más común son lesiones cerradas por tracción en accidentes automovilísticos y deportes extremos, y afectan principalmente a hombres entre 23 y 34 años.<sup>1</sup> Otros

*El material de este manuscrito no ha sido enviado o publicado en otros sitios científicos. Los autores confirman haber leído y aprobado el manuscrito, asumiendo completa responsabilidad sobre su contenido.*

#### recibido

23 de junio de 2020

#### aceptado

10 de diciembre de 2021

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0042-1743546>.

ISSN 0716-4548.

© 2022. Sociedad Chilena de Ortopedia y Traumatología. All rights reserved.

This is an open access article published by Thieme under the terms of the Creative Commons Attribution-NonDerivative-NonCommercial-License, permitting copying and reproduction so long as the original work is given appropriate credit. Contents may not be used for commercial purposes, or adapted, remixed, transformed or built upon. (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)

Thieme Revinter Publicações Ltda., Rua do Matoso 170, Rio de Janeiro, RJ, CEP 20270-135, Brazil

mecanismos en los que hay que tener un alto índice de sospecha son luxaciones de hombro y lesiones abiertas, como heridas por bala y por arma blanca en el trayecto del plexo.

El tratamiento de estas lesiones ha evolucionado significativamente en los últimos años, siendo posible restaurar la función de la extremidad en un número importante de pacientes. Estrategias como la reconstrucción de nervios con injertos y transferencias nerviosas restauran la inervación y la función de la extremidad. Estas cirugías tienen una estrecha ventana terapéutica, por lo que es crucial el diagnóstico oportuno y la derivación precoz a un centro especializado para mejorar el pronóstico de estos pacientes.

El objetivo de este artículo es realizar una revisión de la literatura y un resumen de los conceptos más importantes en relación con diagnóstico, estudio y tratamiento que debe manejar un traumatólogo general al momento de enfrentar lesiones traumáticas del plexo braquial en adultos.

## Epidemiología

La incidencia de lesiones cerradas del plexo braquial en Estados Unidos (EEUU) se estima entre 0,64 y 3,9/100 mil personas al año, y ocurren en 1,2% de los pacientes politraumatizados.<sup>1</sup> Históricamente, se estimaba que un 70% de las lesiones del plexo braquial en adultos eran por accidente automovilístico, siendo 70% de ellas en motocicleta.<sup>2</sup> Estudios recientes han estimado que 93% de los pacientes sufrieron lesiones cerradas, y un 67% de ellas fueron por accidentes en motocicleta.<sup>1</sup> Lesiones abiertas son menos frecuentes, siendo responsables de sólo un 3%. Dentro de estas, las laceraciones ocurren en mayor porcentaje en el plexo infraclavicular, y pueden comprometer vasos sanguíneos o la vía aérea. Por último, lesiones por armas de fuego son infrecuentes, pero pueden llegar a ser muy graves, dependiendo de la velocidad del proyectil, pues implican lesiones extensas de partes blandas, contaminación y conminución ósea que puede lesionar aún más el plexo braquial.

## Anatomía

Conocer la anatomía del plexo braquial es la base fundamental en el adecuado tratamiento y diagnóstico de estos pacientes. El plexo braquial está formado por los nervios espinales o raíces cervicales desde C5 a T1. Cada raíz se forma por la convergencia de las raíces ventrales (motoras) y dorsales (sensitivas) que emergen desde la médula. Es importante recordar, por motivos diagnósticos, que el soma de las neuronas motoras se encuentra dentro de la médula (asta anterior), mientras que el de las neuronas sensitivas se encuentra en el ganglio de la raíz dorsal, fuera de la médula.

El plexo braquial se divide en cinco zonas:

- o Raíces nerviosas espinales;
- o Troncos;
- o Divisiones;
- o Cordones; y
- o Ramas terminales.

Las raíces nerviosas, una vez que emergen de los forámenes, forman tres troncos: el tronco superior (C5 y C6), el tronco medio

(C7), y el tronco inferior (C8 y T1). Cada uno de estos troncos se divide en anterior y posterior. Las divisiones anteriores de los troncos superior y medio forman el cordón lateral, siendo ramas terminales de éste, los nervios musculocutáneo y la contribución lateral del nervio mediano. Todas las divisiones posteriores forman el cordón posterior, que termina en los nervios axilar y radial. La división anterior del tronco inferior forma el cordón medial, siendo ramas terminales de éste, el nervio ulnar y la contribución medial del nervio mediano.

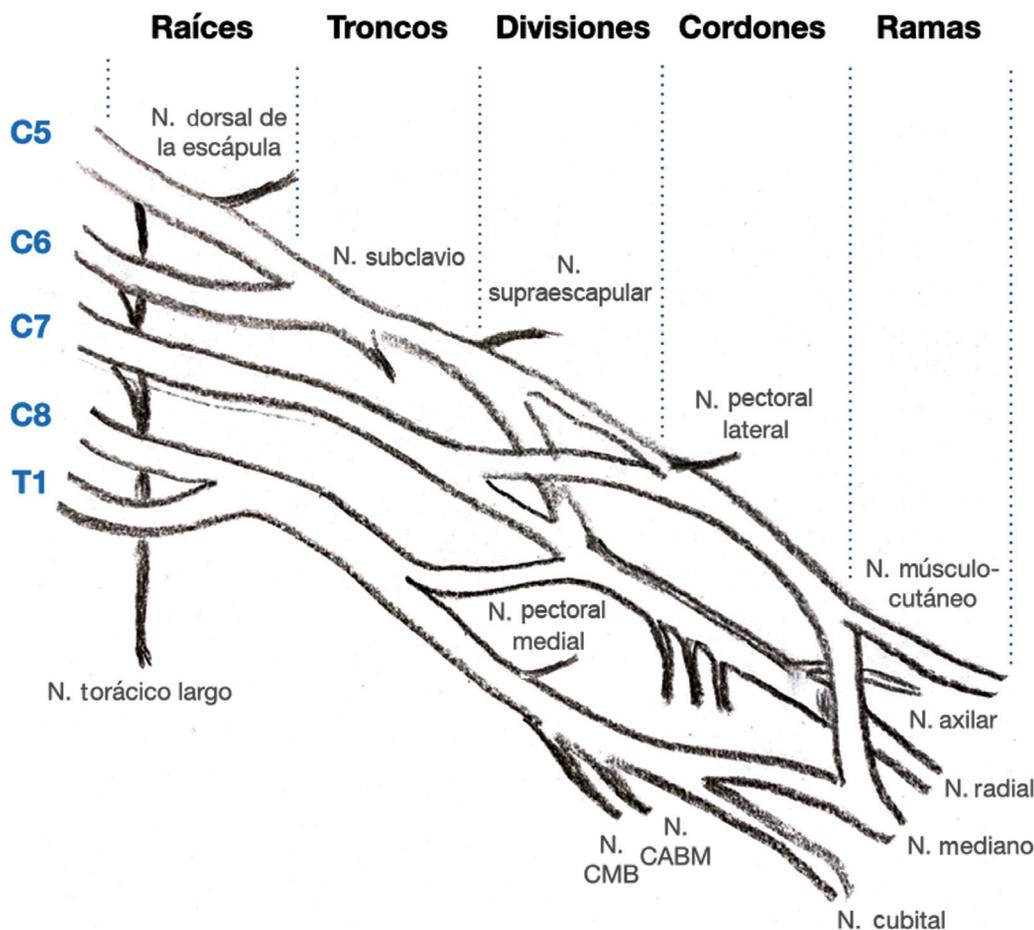
Existen además nervios terminales que emergen desde las diferentes zonas del plexo braquial, los cuales pueden verse en más detalle en la ► **Figura 1**. La ► **Tabla 1** corresponde a un resumen de la representación sensitiva y motora (músculos clave) de cada uno de los troncos.

## Fisiopatología

Las lesiones del plexo braquial pueden clasificarse de diferentes maneras, dependiendo de la severidad de la lesión, de las raíces nerviosas comprometidas, del nivel de la lesión, por ejemplo. Uno de los elementos más importantes al evaluar a un paciente con lesión del plexo braquial es distinguir si presenta una lesión preganglionar o postganglionar (► **Figura 2**). Esta localización se define si la lesión es proximal o distal al ganglio de la raíz dorsal, el que se encuentra a nivel de la salida de las raíces en la columna cervical. Las lesiones preganglionares ocurren proximales al ganglio de la raíz dorsal. En estas lesiones, la raíz sufre una avulsión desde la médula espinal y, al no existir un cabo proximal de la raíz en conexión con la médula, no es posible repararlas. Por el contrario, las lesiones postganglionares ocurren distales al ganglio de la raíz dorsal. En este tipo de lesiones, el tejido nervioso puede sufrir daño en diferentes grados de severidad.

En las lesiones del nervio periférico, el daño axonal a nivel de la lesión desencadena un proceso de degeneración axonal hacia distal llamado degeneración walleriana. Este proceso ocurre entre las 24 y 36 horas de la lesión, y tiene como fin remover el tejido dañado. El proceso regenerativo comienza entre las 2 y 3 semanas de la lesión, con la formación del cono de crecimiento axonal a nivel del cabo proximal. Si la estructura interna del nervio está conservada, el cono de crecimiento es capaz de avanzar hacia distal a una tasa de 1 mm a 2 mm/día. Esta velocidad depende de la edad del paciente, y disminuye con el envejecimiento. Es posible seguir el avance del cono de crecimiento a través del signo de Hoffmann-Tinel, que traduce irritabilidad neural y se describe como la sensación "eléctrica", dolor o hormigueo en el trayecto del nervio afectado al percudir sobre la zona. A nivel distal, al interrumpirse el estímulo nervioso, ya sea por avulsión de la raíz cervical o por una lesión postganglionar con daño axonal, se produce degeneración walleriana de los axones. Mientras no se restablezca la conducción nerviosa, la placa motora queda desnervada y el músculo comienza a sufrir atrofia. Si esta placa motora no recibe estímulos antes de 18 a 24 meses, se atrofia y el músculo sufre fibrosis permanente, no siendo posible restaurar su función a pesar de que sea reinervado.<sup>3</sup>

Seddon<sup>4</sup> clasificó en tres grupos los diferentes grados de lesión de los nervios periféricos: neuropraxia, axonotmesis, y



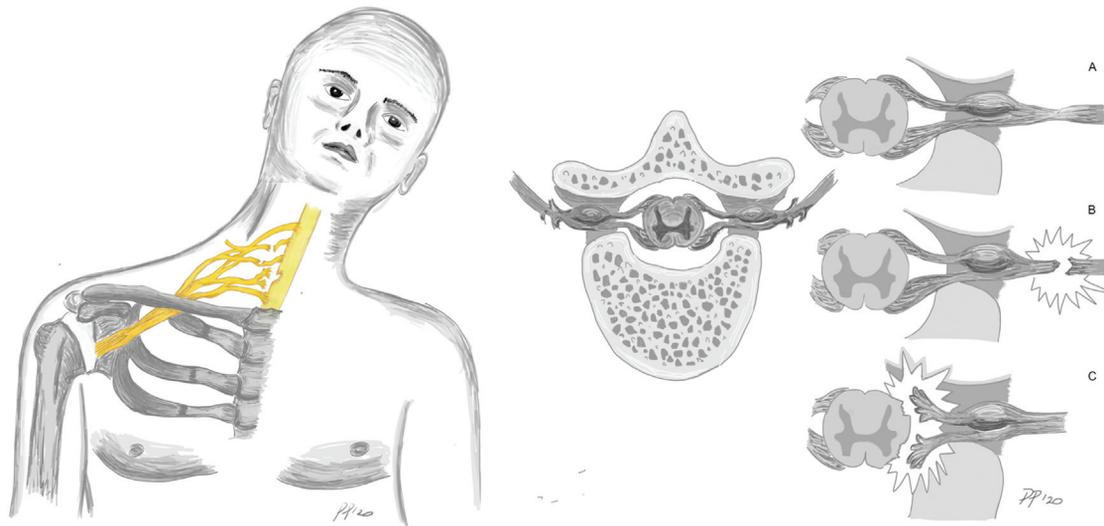
**Fig. 1** Esquema del plexo braquial. Abreviaturas: N., nervio; N. CABM, nervio cutáneo antebraquial medial; N. CBM, nervio cutáneo braquial medial.

**Tabla 1** Asociación de los distintos grupos musculares clave y áreas sensitivas con su tronco correspondiente

Tronco (raíces)	Motor			Área sensitiva
	Acción	Nervio	Músculo	
Superior (C5 y C6)	Hombro: - rotación externa y abducción	Supraescapular	Supraespinoso + infraespinoso	Cara lateral del brazo (C5); cara lateral del antebrazo (C6); territorio mediano del pulgar e índice (C6)
	Codo: - flexión	Axilar	Deltoides	
Medio (C7)	Codo: - extensión	Musculocutáneo	Bíceps braquial; braquial	Territorio mediano del dedo medio
	Mano: - extensión de los dedos	Radial	Tríceps	
Inferior (C8 y T1)	Mano: - flexión de los dedos; - musculatura intrínseca	Mediano; ulnar	Extensor común de los dedos Flexor profundo de los dedos; flexor superficial de los dedos; flexor largo del pulgar; interóseos	Territorio ulnar (anular y meñique)

neurotmesis. En las lesiones tipo neuropraxia, el daño sólo produce desmielinización focal de los axones. Estas lesiones presentan bloqueo en la conducción que se recupera de forma espontánea dentro de tres meses, una vez ocurrida la remielinización, y no presentan degeneración walleriana ni signo de Hoffmann-Tinel. En las lesiones tipo axonotmesis, se

dañan los axones, y el epineuro se mantiene intacto. Si la estructura interna del nervio se encuentra indemne, el cono de crecimiento axonal avanzará hacia distal, y se regenerará espontáneamente el nervio dañado. Si la estructura interna del nervio sufrió daño y se produjo fibrosis, existirá un bloqueo al paso del cono de crecimiento, lo que desarrollará un tejido



**Fig. 2** Esquema que representa, a la izquierda, los diferentes tipos de lesiones del plexo, y, a la derecha, se observa la anatomía normal de dos raíces en su salida desde la médula. (A) Lesión postganglionar tipo neuropraxia o axonotmesis, en la que sólo hay una elongación de la raíz. (B) Lesión postganglionar tipo neurotmesis, en la que hay interrupción completa de los axones. (C) Lesión preganglionar, en la que se observa desconexión completa desde la médula.

desorganizado en el interior del nervio, llamado neuroma en continuidad. Finalmente, en la neurotmesis hay una sección completa del nervio.<sup>5</sup> En estas lesiones, existe una distancia física entre los dos cabos del nervio, lo que no permite la regeneración axonal. En el cabo proximal, el cono de crecimiento formará estructuras desorganizadas de axones, llamadas neuromas, que, al igual que los neuromas en continuidad, son muy sensibles a la palpación y percusión, y generan dolor y la aparición del signo de Hoffman-Tinel.<sup>6</sup> Inicialmente, no es posible distinguir clínica ni electrofisiológicamente las lesiones tipo axonotmesis y neurotmesis. Además, en las lesiones postganglionares, pueden coexistir los diferentes tipos de lesiones nerviosas, lo que dificulta aún más su diagnóstico e indicación de tratamiento.

### Evaluación y examen físico

La evaluación de un paciente con sospecha de lesión del plexo braquial busca localizar el nivel de la lesión, detectar los nervios (raíces, troncos, cordones) comprometidos, analizar la severidad de la lesión para definir la necesidad de realizar un tratamiento quirúrgico y, finalmente, buscar nervios/músculos indemnes que puedan ser utilizados en caso de requerir transferencias nerviosas o musculares. Esta evaluación debe ser realizada lo antes posible por un equipo con la capacidad técnica de tratar este tipo de lesiones. La importancia de realizar un diagnóstico temprano de la severidad de la lesión, y, especialmente, diagnosticar si la lesión es preganglionar o postganglionar, se basa en que las lesiones preganglionares, al no recuperarse espontáneamente, deberán ser intervenidas precozmente para evitar la atrofia de la placa motora, mientras que, en las lesiones postganglionares, existe el potencial de recuperación espontánea, por lo que es posible observarlas inicialmente.

Los pacientes con lesión del plexo braquial deben ser evaluados cuidadosamente. Un importante porcentaje de

estos pacientes tiene lesiones asociadas o son pacientes politraumatizados, por lo que es frecuente que el diagnóstico se realice una vez estabilizado el cuadro agudo y las lesiones que suponen riesgo vital, y cuando el paciente se encuentre vigil. La evaluación de lesiones del plexo braquial requiere de una anamnesis detallada del mecanismo de lesión, del grado de energía, de las lesiones asociadas, de la edad, de las comorbilidades, de la dominancia, y de la ocupación del paciente. El mecanismo tiene relevancia en el patrón de lesión que produce, y puede ser relevante a la hora de definir el manejo. Las lesiones abiertas, por ejemplo, tienen una alta probabilidad de producir lesiones tipo neurotmesis, como heridas por arma blanca en el trayecto de un nervio. Estas lesiones tienen indicación de exploración precoz. Por otro lado, las heridas por bala de baja velocidad tienen una alta probabilidad de recuperación espontánea, dado que las lesiones generalmente son producidas por la onda expansiva que genera la bala, y sólo se produce una neuropraxia transitoria. En cambio, heridas por bala de alta velocidad generalmente producen daño extenso de partes blandas, y deben ser exploradas precozmente.

En cuanto a las lesiones cerradas, el grado de energía del traumatismo es muy relevante.<sup>1,7</sup> Las lesiones de alta energía, en especial las por accidentes de tránsito, tienen peor pronóstico que las lesiones de baja energía, como las caídas a nivel con luxación de hombro. Las primeras producen lesiones de múltiples raíces, muchas veces lesiones preganglionares, mientras que las lesiones secundarias a luxación de hombro pueden ser sólo neuropraxia, y tienen indicación de observación. Los traumatismos que fuerzan el hombro en dirección caudal y la columna cervical hacia el lado contralateral afectan principalmente las raíces superiores del plexo. En cambio, el trauma en abducción de hombro en general lesiona elementos inferiores del plexo.

En el caso de evaluar al paciente en el servicio de urgencia, el examen físico debe iniciar con una evaluación inicial del trauma (vías aéreas [*airways*], respiración [*breathing*], circulación, déficit, exposición, ABCDE) y, luego, descartar las lesiones asociadas. Hay que considerar que 55% de los pacientes con lesión del plexo braquial tienen además fracturas de las extremidades superiores, 43%, de columna, y 30%, lesión de parénquimas.<sup>1</sup> Un 13% de estos pacientes presentan lesión vascular asociada, lo que debe ser sospechado, especialmente en pacientes con disociación escapulotorácica.<sup>8</sup>

Una vez descartadas las lesiones asociadas, se realiza el examen neurológico de la extremidad, que debe ser sistemático y registrado cuidadosamente para ser luego comparado al momento del seguimiento. Como se mencionó previamente, los objetivos de este examen son:<sup>9,10</sup>

1. Identificar los nervios o grupos musculares comprometidos;
2. Localizar el nivel de la lesión: raíces, troncos, divisiones, cordones o nervios terminales; y
3. Definir si es una lesión preganglionar o postganglionar.

Evaluaciones posteriores además ayudarán a definir la severidad de la lesión. Aquellos pacientes que hayan sufrido una neuropaxia presentarán recuperación espontánea antes de tres meses. En lesiones tipo axonotmesis, se podrá observar avance del signo de Hoffmann-Tinel hacia distal y recuperación espontánea, dependiendo de la distancia de la lesión hasta el músculo efector. Finalmente, en lesiones con avulsión de raíces o tipo neurotmesis, no existirá la capacidad de recuperación sin un tratamiento quirúrgico.

El examen físico se inicia con la inspección del paciente desvestido desde la cintura hacia arriba. Se debe observar el aspecto general de la extremidad: atrofia muscular (puede no ser evidente en etapas precoces), cambios tróficos de la piel, heridas, cicatrices. Luego, se inspecciona la posición del paciente, evaluando la altura de los hombros (parálisis de trapecio se traducirá en el hombro caído), la subluxación glenohumeral (denervación del deltoides y del manguito rotador), y la postura de la mano. En este momento es importante evaluar la presencia de síndrome de Horner: ptosis, miosis, anhidrosis y enoftalmos del lado de la cara afectado.

Posteriormente, se evalúa el rango de movimiento pasivo de las articulaciones comprometidas, para luego realizar el examen motor. La evaluación motora se realiza a través de la documentación de fuerza de grupos musculares clave, y se

registra a través de la escala del British Medical Research Council (BMRC), que otorga una puntuación de 0 a 5 (► **Tabla 2**).

El objetivo principal es reconocer qué grupos musculares se encuentran afectados, lo que nos guiará a localizar el sitio de lesión. Por ejemplo, si es una lesión del tronco superior, el paciente tendrá déficit de fuerza en la abducción y rotación externa del hombro, así como en la flexión del codo. Una lesión de C5-C6-C7 además se presentará con déficit de extensión activa de codo. En pacientes con lesión del tronco inferior, el mayor compromiso se encontrará en la mano, con incapacidad para flexar los dedos y activar la musculatura intrínseca (► **Tabla 1**). Existen muchas tablas de grupos musculares que deben examinarse para intentar llegar al diagnóstico y localización de una lesión del plexo braquial. A continuación, se muestra una de ellas, que busca sistematizar el examen en la evaluación inicial y en los seguimientos posteriores (► **Tabla 3**).

La sensibilidad se registra a través de la evaluación de dermatomas y de la discriminación de dos puntos en los dedos de la mano. Se busca la presencia del signo de Hoffmann-Tinel a nivel cervical (parestias a la percusión con los dedos o con martillo de reflejos). Este signo está ausente en las lesiones preganglionares y en las postganglionares de tipo neuropraxia. Como se mencionó previamente, también es posible usar el signo de Hoffmann-Tinel para evaluar la reinervación en las lesiones tipo axonotmesis o en las reparadas quirúrgicamente.

### Signos sugerentes de avulsión

Existen signos clínicos que sugieren la avulsión de las raíces nerviosas desde la columna cervical (► **Tabla 4**). Estos signos se basan en evaluar ramas que se originan proximales en el plexo braquial, a nivel de las raíces nerviosas directamente, y también el síndrome de Horner.

- 1) Escápula alada: los músculos paraescapulares romboides y elevador de la escápula son responsables de mantener una adecuada coordinación entre los movimientos glenohumerales y escapulotorácicos. Están inervados por nervios que se originan proximalmente a nivel de la raíz C5, en el caso del nervio dorsal de la escápula (músculos romboides), y a nivel de las raíces C5-C6-C7, en el caso del nervio torácico largo (serrato anterior). La lesión de alguno de ellos puede verse clínicamente como una escápula alada, e implica una lesión del plexo

**Tabla 2** Escala de fuerza muscular del British Medical Research Council

Grado	Fuerza	Descripción
0	Sin contracción	Nada
1	Se contrae, no genera movimiento	Trazas
2	Movimiento parcial con gravedad eliminada	Gravedad eliminada
3	Movimiento en rango completo contra gravedad	Contra gravedad
4	Movimiento en rango completo contra gravedad + resistencia	Cercano a normal
5	Fuerza normal	Normal

**Tabla 3** Grupos musculares a evaluar para establecer el diagnóstico, localizar las lesiones del plexo braquial, y realizar el seguimiento

Movimiento	Nervio periférico – músculo	Raíces nerviosas
Abducción del hombro	Nervio axilar – deltoides	C5, C6
	Nervio supraescapular – supraespinoso	C5, C6
Rotación externa del hombro	Nervio supraescapular – infraespinoso	C5, C6
	Nervio axilar – redondo menor	C5, C6
Rotación interna del hombro	Nervio subescapular – subescapular	C5, C6, C7
Flexión del codo	Nervio musculocutáneo – bíceps, braquial	C6
	Nervio radial – braquiorradial	C6
Extensión del codo	Nervio radial – tríceps	C7
Supinación del antebrazo	Nervio musculocutáneo – bíceps	C6
	Nervio radial – Supinador	C6
Pronación del antebrazo	Nervio mediano – Pronador redondo	C7
	Nervio mediano (nervio interóseo anterior) – pronador cuadrado	C8, T1
Extensión de la muñeca	Nervio radial – extensor radial largo del carpo	C6
	Nervio radial – extensor radial corto del carpo	C7
Flexión de la muñeca	Nervio mediano – flexor radial del carpo	C7
	Nervio ulnar – flexor ulnar del carpo	C8
Flexión de los dedos largos	Nervios mediano y ulnar – flexor profundo de los dedos	C8, T1
Flexión del pulgar	Nervio mediano – flexor largo del pulgar	C8, T1
Extensión de la articulación metacarpofalángica de los dedos	Nervio radial – extensor común de los dedos	C7
Extensión de la articulación interfalángica de los dedos	Nervio ulnar – interóseos dorsales y palmares	C8, T1
Abducción y aducción de los dedos	Nervio ulnar – interóseos dorsales y palmares (respectivamente)	C8, T1
Abducción y aducción del pulgar	Nervio mediano – abductor del pulgar	C8, T1
	Nervio ulnar – aductor del pulgar	C8, T1

**Tabla 4** Signos sugerentes de lesión preganglionar

Atrofia de romboides (nervio dorsal de la escápula)
Escápula alada medial (nervio torácico largo)
Síndrome de Horner (daño al ganglio estrellado)
Signo de Hoffman-Tinel negativo
Elevación del hemidiafragma (daño al nervio frénico)
Pseudomeningocelos en tomografía axial computarizada con mielografía o resonancia magnética de la columna cervical
Pérdida sensitiva con potencial de acción del nervio sensitivo y velocidad de conducción intactos

proximal en las raíces (antes de la salida de estos nervios), siendo altamente sugerente la avulsión de ellas. Para examinarlos, se pide al paciente que empuje con su mano la muralla mientras se observa si existe elevación del ángulo inferomedial de la escápula (escápula alada medial).

2) Parálisis diafragmática: el nervio frénico se origina por contribución de las raíces C3 a C5 antes de formar los troncos. La parálisis diafragmática también es signo de una lesión proximal de las raíces altas.

3) Síndrome de Horner: conjunto de signos clínicos observado como ptosis, miosis, anhidrosis y enoftalmos, que se observa en la hemicara ipsilateral a la lesión y se produce por la interrupción de la cadena simpática a nivel de T1. Esto generalmente indica una avulsión de la raíz T1.

### Estudios adicionales

Los estudios de imágenes y electrodiagnósticos son complementarios al examen físico, y en ningún caso lo

reemplazan. Según la evidencia actual, los métodos de imágenes y electrodiagnósticos todavía carecen de precisión para diagnosticar el estado de las raíces nerviosas.<sup>11-14</sup> Hasta el momento, el estándar de oro para el diagnóstico de las lesiones del plexo braquial es la exploración quirúrgica.<sup>12,13</sup>

**Radiografías:** luego de descartar lesiones asociadas, se debe solicitar una radiografía de tórax para evaluar el ascenso del hemidiafragma por una posible lesión del nervio frénico. Además, mostrará la presencia de fracturas costales, que pueden influir en la elección de los nervios que usar al momento de planificar una transferencia nerviosa. La radiografía de columna cervical, además de descartar una lesión de columna asociada, podrá mostrar fractura de apófisis transversa, que sugiere también avulsión de esas raíces.

**Tomografía axial computarizada (TAC) de columna cervical con mielografía:** es una técnica invasiva, en la que se infiltra contraste en el espacio intratecal y se realiza una tomografía computarizada de la columna cervical. Logra visualizar pseudomeningoceles que son sugerentes de una avulsión de raíz, y que se desarrollan después de 3 a 4 semanas. La sensibilidad de este estudio para detectar pseudomeningoceles está reportada entre 79% y 86%, con una especificidad de 50% a 97%.<sup>15,16</sup> Según Bordalo-Rodrigues et al.,<sup>17</sup> existe una mayor correlación interobservador al evaluar las raíces en TAC con mielografía que en resonancia magnética (RM). Sin embargo, la mayor limitante es lo invasivo de la técnica y la potencial toxicidad del medio de contraste, además de que se han reportado<sup>13,18</sup> pacientes con pseudomeningoceles en ausencia de avulsiones de raíz, así como raíces avulsionadas sin formación de pseudomeningoceles.

**RM de columna cervical:** la RM de columna cervical tiene la ventaja de ser un método no invasivo de visualizar las raíces, siendo posible observar pseudomeningoceles, partes blandas adyacentes, como también el plexo postganglionar. La sensibilidad de este estudio para diagnosticar avulsión de raíz es de 90% a 96%, y su especificidad, de 75% a 95%.<sup>12,13,19</sup> La evaluación de lesiones postganglionares ha mostrado resultados heterogéneos en los diferentes estudios. Acharya et al.<sup>12</sup> reportan una sensibilidad de 87% y especificidad de 26%, mientras que Leigheb et al.<sup>11</sup> reportan sensibilidad y especificidad de 90%. La mayor limitación de esta técnica es que depende de la calidad de los equipos y protocolos usados para obtener imágenes con adecuada nitidez. Los estudios que reportan<sup>20</sup> mejor sensibilidad y especificidad han sido realizados en resonadores de 1.5 Tesla hacia arriba.

Hoy en día, el estudio de elección para estas lesiones es la RM de columna cervical.<sup>11,19</sup> Sus principales ventajas por sobre la TAC con mielografía son que es un estudio no invasivo, que permite la visualización de estructuras blandas adyacentes y lesiones postganglionares, además que ha demostrado mejor sensibilidad y especificidad en estudios recientes.<sup>20</sup>

**Estudios electrodiagnósticos:** los estudios con electromiografía y velocidad de conducción ayudan a orientar en el diagnóstico de lesiones preganglionares. También son capaces de detectar recuperación subclínica,

o identificar reinervación o denervación persistente. Es importante conocer en detalle los componentes de este estudio para interpretarlo correctamente, así como sus limitaciones. El estudio electrodiagnóstico debe realizarse idealmente a las 4 a 6 semanas de la lesión, no antes de 2 a 3 semanas, con el fin de dar tiempo a que termine la degeneración walleriana en los pacientes con axonotmesis o neurotmesis.<sup>14</sup> Este estudio puede ser repetido de manera seriada luego de un par de meses para evaluar si existe reinervación.

**Electromiografía (EMG):** analiza la actividad eléctrica del músculo en actividad y reposo. La EMG puede ayudar a distinguir lesiones pre y postganglionares al explorar músculos inervados por ramas motoras al nivel de la lesión que son difíciles de examinar (como el serrato anterior y los romboides). Cuando un músculo está denervado, genera fibrilaciones y ondas picudas (*positive sharp waves*, PSWs, en inglés) en reposo. En actividad, existe una disminución o ausencia de los potenciales de unidad motora (*motor unit potentials*, MUPs, en inglés). En los casos en que sólo existe desmielinización (neuropraxia), se produce un bloqueo de la conducción sin signos de denervación. Los signos de reinervación incluyen MUPs polifásicos, que traducen la actividad desorganizada del músculo durante su etapa inicial de recuperación.

**Velocidad de conducción:** estudio que permite evaluar tanto la velocidad con que conducen las fibras motoras y sensitivas, como también la amplitud de la señal eléctrica. La velocidad de conducción sensitiva registra directamente el nervio sensitivo en términos de potencial de acción (*sensory nerve action potential*, SNAP, en inglés). Este componente del estudio es el más importante al momento de diagnosticar lesiones preganglionares. En este tipo de lesiones, el ganglio de la raíz dorsal está en continuidad con el resto del nervio, evitando su degeneración walleriana y manteniendo presentes los SNAPs, a pesar de no existir una correlación clínica (sensibilidad ausente en el territorio de la raíz avulsionada).

## Diagnóstico

Las lesiones de plexo se pueden clasificar de distintas formas. Según la ubicación, se dividen en supraclaviculares (raíces y troncos), retroclaviculares (divisiones), e infraclaviculares (fascículos y ramas terminales). Un 90% de los pacientes sufren de lesiones supraclaviculares o de una combinación de supra e infraclaviculares, mientras que sólo el 10%, de lesiones infraclaviculares.<sup>1</sup>

Dentro de las lesiones de raíz o troncos en la región supraclavicular, las más comunes son las lesiones globales del plexo (C5-T1), en un 53% de los pacientes, seguidas por las lesiones del tronco superior (C5-C6), en 39%, y, por último, las lesiones del tronco inferior, que son infrecuentes, en 6%.<sup>1</sup>

Además, luego del examen físico y del apoyo con exámenes complementarios, se pueden clasificar las lesiones de acuerdo con si son preganglionares o postganglionares. Las raíces C8 y T1 son las más propensas a sufrir lesiones preganglionares, dada la disposición ósea y

de partes blandas en la zona, mientras que las raíces altas generalmente sufren lesiones postganglionares.

## Tratamiento

El diagnóstico oportuno y la derivación precoz a un equipo multidisciplinario especializado en lesiones del plexo braquial son fundamentales en el pronóstico de los pacientes. Reconocer lesiones preganglionares y postganglionares con indicación quirúrgica de forma temprana permitirá ofrecer a los pacientes todo el abanico de cirugías disponibles.<sup>9,21</sup> Por otro lado, en el tratamiento conservador, es de gran importancia mantener un adecuado esquema de rehabilitación, con controles cercanos que incluyan un examen físico estandarizado, para detectar si el paciente se beneficiará de una cirugía.

La decisión de operar una lesión del plexo braquial, así como la temporalidad de la cirugía, es un proceso difícil y que debe apoyarse en los siguientes elementos: historia, examen físico, estudio de imágenes, electrodiagnóstico, así como en la evolución del paciente. Se indica cirugía en lesiones abiertas del plexo braquial, especialmente las causadas por objetos cortantes, las con alta sospecha de avulsión de raíces, y en pacientes con lesiones postganglionares en los que no se observa recuperación clínica y por estudios electrodiagnósticos antes de seis meses.<sup>10,21,22</sup>

### Tratamiento conservador

El porcentaje de pacientes que presentan recuperación espontánea de las lesiones traumáticas del plexo braquial no está bien reportado.<sup>21</sup> Se indica observar y realizar controles seriados en pacientes con lesiones parciales, en las que existen actividades motora y sensitiva presentes, aunque disminuidas, y también en lesiones cerradas de baja energía y en pacientes que presentan mejoría en los controles seriados.

Lim et al.<sup>21</sup> evaluaron los factores asociados al tratamiento conservador de lesiones del plexo braquial. En su estudio, un 40% de las lesiones incompletas y un 20% de las completas se recuperaron sin cirugía, mientras que 60% de las lesiones infraclaviculares y solo 29% de las supraclaviculares lo hicieron. A pesar de que no encontraron asociación entre el potencial de recuperación espontánea y la severidad de la lesión inicial, sugieren los siguientes como factores de buen pronóstico: lesiones incompletas, cerradas, y lesiones infraclaviculares.

El tratamiento conservador de los pacientes con lesiones del plexo braquial implica un seguimiento cercano con examen físicos seriados, estudios electrodiagnósticos dependiendo de la velocidad de reinervación, y rehabilitación hasta recuperar su función completa. La rehabilitación tiene un rol fundamental en mantener la movilidad pasiva de las articulaciones y, posteriormente, fortalecer la musculatura reinervada.

### Tratamiento quirúrgico

La indicación de realizar una cirugía precoz es clara en lesiones abiertas y cuando existe una alta sospecha de lesiones preganglionares. Se indica una intervención inmediata o precoz (entre dos y seis semanas) en lesiones

abiertas (como las heridas por objetos cortantes y las lesiones por arma de fuego de alta energía) y cuando existe una alta sospecha de lesión preganglionar.<sup>9,23</sup>

En lesiones cerradas por mecanismos de tracción, el momento de la cirugía es controvertido. Inicialmente, se espera la recuperación espontánea de la lesión, balanceando el tiempo que tomará en reinervarse el músculo si se realiza una intervención con el que demorará la placa motora en sufrir atrofia, para no perder la ventana terapéutica. También se tiene especial consideración en pacientes con lesiones globales, dado el mal pronóstico de éstas y el prolongado tiempo de reinervación hasta los últimos efectores en la mano, que se encuentran a una distancia muy larga. Generalmente, ante la ausencia de recuperación espontánea antes de los seis meses, se decide realizar la exploración quirúrgica.<sup>24,25</sup> Las cirugías tardías (> 9 o 12 meses) han demostrado tener peores resultados.<sup>1,9,26</sup>

El tratamiento de una lesión del plexo braquial es técnicamente demandante, y los resultados de las reconstrucciones nerviosas serán evidentes luego de aproximadamente un a dos años desde la cirugía. Es muy importante la educación del paciente sobre los resultados esperables del tratamiento y los tiempos de recuperación, para no crear falsas expectativas. Dependiendo de la edad, preferencia y ocupación del paciente, también es posible considerar una reconstrucción secundaria con transferencias tendinosas, osteotomías y artrodesis, que tendrán resultados inferiores pero predecibles en un corto plazo.

A continuación, se exponen los diferentes tipos de tratamiento disponibles hoy en día, para tener una visión general de las alternativas que existen para estos pacientes.

### Prioridades de tratamiento

En la planificación de la reconstrucción de una lesión del plexo braquial, se definen funciones específicas que deben ser reanimadas para optimizar la función de la extremidad. La primera prioridad de reconstrucción es la flexión de codo.<sup>9</sup> Luego, la estabilidad del hombro, para potenciar la función de la extremidad y evitar el dolor secundario a una subluxación del hombro. Junto a esto, se prioriza la reanimación de la abducción y rotación externa del hombro. El restablecimiento de la movilidad de la muñeca y la mano es más difícil de lograr, dada la gran distancia desde la lesión hasta la placa motora de los efectores. Las funciones de la muñeca y de la mano son la tercera prioridad, pues es necesaria una extremidad estable y con capacidad de flexión de codo para utilizar adecuadamente la función de la mano. Finalmente, se busca restaurar la sensibilidad protectora de la mano.

### Tipos de cirugía

El tipo de cirugía que se llevará a cabo en el tratamiento de estas lesiones se puede dividir en dos grupos. El primer grupo es el de la reconstrucción primaria de plexo braquial, que incluye reconstrucciones con injerto y transferencias nerviosas. Estas reconstrucciones dependen del tiempo de la lesión, pues su objetivo es restaurar la función de los músculos denervados, reinervando la placa motora. Estas cirugías logran mantener la anatomía y la biomecánica

muscular. La cirugía secundaria incluye transferencias tendinosas, transferencias de músculo libre, artrodesis y osteotomías para reestablecer la función de la extremidad. Estas cirugías no dependen del tiempo de la lesión. La elección del tipo de cirugía a realizar dependerá del tipo de lesión, del tiempo, de los nervios o músculos disponibles para realizar transferencias, y de la preferencia del paciente.

Hoy en día, dependiendo del tipo de lesión, es posible realizar tratamientos que combinan estas técnicas en la reconstrucción. En pacientes con diagnóstico temprano ( $\leq 6$  meses), existe consenso, y se priorizan las reconstrucciones nerviosas por sobre la cirugía secundaria, mientras que, para las lesiones de diagnóstico tardío (luego de 12 meses), no existe un consenso claro sobre su manejo, y se pueden realizar reconstrucciones nerviosas y cirugías secundarias, como transferencias musculares libres.<sup>27</sup>

### Reconstrucción primaria

1. **Reconstrucción con injerto:** esta técnica quirúrgica se basa en reconstituir la continuidad de los nervios afectados mediante el uso de un injerto nervioso. Sólo las lesiones postganglionares pueden ser reparadas a través de esta técnica, porque existe una raíz nerviosa que está en continuidad con la médula. Esta cirugía consiste en realizar una neurlisis del sitio de lesión, identificando los cabos proximales y distales de los nervios, troncos o cordones lesionados. Se debe reseca el tejido cicatricial o neuroma hasta llegar a tejido nervioso viable (sangrado y fascículos visibles) para que la reconstrucción sea exitosa. En la mayoría de los pacientes, queda un defecto de tamaño variable, que debe ser puenteado con injerto nervioso. Esta técnica es la que había sido tradicionalmente usada para reconstruir lesiones del plexo braquial. Tiene la ventaja de poder recuperar tanto la función motora como sensitiva. Su principal desventaja es que los resultados empeoran al aumentar la distancia de reinervación y el tamaño del injerto usado, y muestran resultados inferiores que los de algunas transferencias nerviosas.<sup>24,28-30</sup> Sin embargo, todavía algunos autores<sup>9</sup> recomiendan injertar raíces viables y asociar esta cirugía con transferencias nerviosas distales.
2. **Transferencias nerviosas:** su objetivo es usar un nervio sano, con una función redundante, o “no crítico” para reinervar un músculo con una función crítica que ha sido afectada por la lesión original. La ventaja de las transferencias nerviosas es que se realiza neurorrafia distal a la lesión y más cerca del músculo efector, reduciendo el tiempo necesario para la reinervación. Los resultados de estas cirugías han demostrado superioridad en comparación con los de la reconstrucción con injerto para reanimar la flexión del codo.<sup>24,28-30</sup> También cumplen un rol muy importante en lesiones preganglionares, en las que no existe una raíz que injertar, lesiones de tronco inferior, y en cirugías tardías. Pueden usarse nervios intraplexales o extraplexales. De los más utilizados están:

a) **Intraplexales:** nervios ulnar (fascículo del músculo flexor ulnar del carpo), mediano (fascículo del

músculo flexor radial del carpo), radial (fascículo del músculo tríceps, rama del supinador, y rama del extensor radial corto del carpo), y pectorales.

b) **Extraplexales:** nervio accesorio, nervios intercostales, nervio C7 contralateral.

Las transferencias nerviosas más utilizadas incluyen la de Oberlin, en la que un fascículo del nervio ulnar al músculo flexor ulnar del carpo se usa para reinervar el músculo bíceps braquial, transfiriéndolo a la rama del bíceps que proviene del nervio musculocutáneo.<sup>31</sup> Otra transferencia frecuentemente utilizada en lesiones del tronco superior es la de Leechavengvongs, en la que se usan ramas del nervio radial a una de las cabezas del músculo tríceps para reinervar el deltoides.<sup>32</sup> Se utilizan distintas combinaciones de transferencias nerviosas para restablecer la funcionalidad según el grado de la lesión. A medida que aumenta la severidad de la lesión del plexo braquial, se reduce el número de nervios dadores para realizar transferencias nerviosas, y disminuye la capacidad de reconstruir la funcionalidad de esa extremidad. Una de las mayores ventajas de las transferencias nerviosas es que no requieren de mayor fisioterapia, al contrario de algunas transferencias tendinosas, que requieren intensa rehabilitación para reeducar y prevenir adherencias.

### Reconstrucción secundaria

1. **Transferencias tendinosas:** tienen el mismo principio que las transferencias nerviosas, en las que se usa un músculo sano, redundante, o “no crítico”, para reemplazar la función de un músculo denervado con función crítica. Para realizar estas transferencias, se necesita un músculo con fuerza normal, que idealmente sea sinergista en su función con el músculo a reemplazar, y debe dirigirse en línea recta desde su origen hasta la nueva inserción y cruzar sólo una articulación. Una de las transferencias tendinosas más usadas es la del músculo pronador redondo al extensor radial corto del carpo (ERCC) para extender la muñeca. En este ejemplo, el músculo pronador redondo actúa en la misma fase que el ERCC al extender la muñeca para realizar un movimiento que requiera fuerza de puño. La desventaja de estas cirugías frente a las transferencias nerviosas es que se usa otro músculo, con inserción y vector de fuerza diferente al original, se debe cuidar que el músculo y tendón tengan adecuada excursión y sean fijados bajo una adecuada tensión. Además, requieren de una intensa rehabilitación para evitar las adherencias posoperatorias y para la reeducación de la función. Tienen la gran ventaja de que pueden realizarse en cualquier momento, pues no dependen de la vitalidad de la placa motora para su función. Por esta razón, son más usadas en pacientes con presentación tardía.
2. **Colgajo muscular libre funcional:** consiste en transferir un músculo sano desde otro segmento del cuerpo a la extremidad lesionada. El músculo libre se reinserta

proximal y distalmente, buscando reemplazar la función del músculo deficiente. Luego, se realizan las anastomosis arterial y venosa del músculo. Posteriormente, se transfiere un nervio donante al músculo transferido (nervios intercostales o el nervio accesorio espinal, por ejemplo). Son una buena opción en pacientes con lesiones crónicas que consultan fuera de la ventana de tratamiento para realizar una transferencia nerviosa. El nervio más utilizado es el de músculo grácil, el que ha demostrado excelentes resultados para restaurar la flexión del codo en lesiones tardías del tronco superior.<sup>27</sup>

**3. Artrodesis y osteotomías:** se utilizan para mejorar la postura de la extremidad en el espacio y potenciar su función. Ante un déficit de extensión de muñeca, sin musculatura disponible para realizar una transferencia tendinosa, por ejemplo, la artrodesis de muñeca posiciona la mano en una leve extensión, y mejora la fuerza generada por los flexores de los dedos.

Algunos ejemplos de procedimientos a realizar según el nivel y el tipo de lesión son:

- 1) *Lesiones de tronco superior (C5-C6) avulsivas:* pacientes que presentan hombro flácido, déficit de abducción, rotación externa, y pérdida de flexión de codo. En estas lesiones, se realizan transferencias nerviosas idealmente en los primeros 6 meses, para recuperar las funciones perdidas. Los resultados de las transferencias nerviosas han superado los del uso de reconstrucción con injerto en este grupo de pacientes.<sup>28,30</sup> Se realizan las siguientes transferencias nerviosas: transposición del nervio espinal accesorio al nervio supraescapular (que inerva los músculos supraespinoso e infraespinoso), transposición de la rama a la cabeza larga del tríceps (nervio radial) al nervio axilar (músculo deltoides), y la transposición de Oberlin (músculo bíceps braquial). Con esta combinación, se han conseguido tasas entre 93.1% y 96% de flexión del codo de grado  $\geq$  M3, y de 74% a 82,5% de abducción de hombro de grado  $\geq$  M3.<sup>24,28,30,33,34</sup>
- 2) *Lesiones de tronco inferior (C8-T1):* en comparación, los resultados funcionales para la mano tienen significativamente menos éxito que en hombro y codo, siendo un territorio más complejo de recuperar. El objetivo del tratamiento en estos pacientes es restaurar una pinza y puño funcionales. Esto puede hacerse con transferencias nerviosas o tendinosas. Estudios recientes<sup>35,36</sup> han demostrado buenos resultados de las transferencias nerviosas de ramas del braquial para los nervios interóseo anterior y pronador redondo, o del supinador para el nervio interóseo posterior en caso de ser necesario.
- 3) *Lesión global del plexo preganglionar:* son las lesiones traumáticas del plexo, de peor pronóstico. El mayor desafío que presenta el tratamiento de estos pacientes es la escasa disponibilidad de nervios o músculos dadores para restablecer la funcionalidad de la extremidad. En estos pacientes, cobran gran importancia las prioridades de tratamiento

mencionadas previamente. La primera prioridad es restablecer la flexión de codo. Luego se busca otorgar estabilidad de hombro y, si es posible, abducción y rotación externa. Finalmente, se reconstruye la mano (puño). En estos pacientes, sólo se cuenta con nervios extraplexales para realizar transferencias nerviosas, por lo que frecuentemente se deben asociar técnicas de reconstrucción secundaria como artrodesis y colgajo libre del grácil. Existen diferentes alternativas de tratamiento reportadas en la literatura. Las estrategias más usadas son la transferencia del nervio espinal accesorio al nervio supraescapular,<sup>36</sup> la transferencia de nervios intercostales al nervio musculocutáneo, y el colgajo libre del grácil para otorgar función de mano.<sup>22,38</sup>

## Rehabilitación

La rehabilitación en lesiones del plexo braquial tiene un rol muy importante en las diferentes fases del tratamiento. Inicialmente, tanto en pacientes con indicación quirúrgica como en los de manejo conservador, es esencial mantener los rangos de movimiento pasivos de las articulaciones afectadas para evitar rigidez hasta el momento que ocurra la reinervación. Por otro lado, dependiendo de la estrategia quirúrgica empleada, se deberá movilizar la extremidad y reeducar la función restablecida.<sup>22</sup>

A grandes rasgos, los objetivos de la rehabilitación en este grupo de pacientes son:

- Mantener la movilidad articular;
- Fortalecer la musculatura sinérgica;
- Reeducación motora de la musculatura reinervada por transferencias nerviosas;
- Terapia ocupacional, reentrenamiento para actividades de la vida cotidiana y, eventualmente, cambio de lateralidad de extremidad dominante; y
- Manejo del dolor por denervación.

La recuperación funcional de las reconstrucciones del plexo braquial puede tardar hasta tres años. La fisioterapia se prolonga entre seis meses y un año, dependiendo de la evolución y de los progresos conseguidos en fuerza y rango de movimiento.

## Conclusión

Las lesiones traumáticas de plexo braquial son una entidad compleja que puede comprometer significativamente la función y la calidad de vida de los pacientes. Hoy en día, existen diversas técnicas quirúrgicas que han demostrado restablecer exitosamente la función de la extremidad. Para esto, es esencial que los diferentes agentes en el cuidado de los pacientes conozcan estas alternativas de tratamiento, y que se realice un diagnóstico oportuno y una derivación temprana a equipos especializados en el tratamiento de lesiones del plexo braquial.

### Conflicto de Intereses

Los autores no tienen conflicto de intereses que declarar.

## Referencias

- 1 Kaiser R, Waldauf P, Ullas G, Krajcovic A. Epidemiology, etiology, and types of severe adult brachial plexus injuries requiring surgical repair: systematic review and meta-analysis. *Neurosurg Rev* 2020;43(02):443-452
- 2 Narakas AO. The surgical treatment of traumatic brachial plexus lesions. *Int Surg* 1980;65(06):521-527
- 3 Chan JP, Clune J, Shah SB, et al. Examination of the human motor endplate after brachial plexus injury with two-photon microscopy. *Muscle Nerve* 2020;61(03):390-395
- 4 Seddon HJ. Three types of nerve injury. *Brain* 1943;66(04):237-288
- 5 Sulaiman W, Gordon T. Neurobiology of peripheral nerve injury, regeneration, and functional recovery: from bench top research to bedside application. *Ochsner J* 2013;13(01):100-108
- 6 Pondaag W, Malessy MJA, van Dijk JG, Thomeer RTWM. Natural history of obstetric brachial plexus palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol* 2004;46(02):138-144
- 7 Kaiser R, Mencl L, Haninec P. Injuries associated with serious brachial plexus involvement in polytrauma among patients requiring surgical repair. *Injury* 2014;45(01):223-226
- 8 Rhee PC, Pirola E, Hébert-Blouin MN, et al. Concomitant traumatic spinal cord and brachial plexus injuries in adult patients. *J Bone Joint Surg Am* 2011;93(24):2271-2277
- 9 Noland SS, Bishop AT, Spinner RJ, Shin AY. Adult Traumatic Brachial Plexus Injuries. *J Am Acad Orthop Surg* 2019;27(19):705-716
- 10 Giuffre JL, Kakar S, Bishop AT, Spinner RJ, Shin AY. Current concepts of the treatment of adult brachial plexus injuries. *J Hand Surg Am* 2010;35(04):678-688, quiz 688
- 11 Leigh M, Tricca S, Percivale I, et al. Diagnostic Accuracy of the Magnetic Resonance Imaging in Adult Post-Ganglionic Brachial Plexus Traumatic Injuries: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Brain Sci* 2021;11(02):1-11
- 12 Acharya AM, Cherian BS, Bhat AK. Diagnostic accuracy of MRI for traumatic adult brachial plexus injury: A comparison study with surgical findings. *J Orthop* 2019;17:53-58
- 13 Wade RG, Takwoingi Y, Wormald JCR, et al. MRI for detecting root avulsions in traumatic adult brachial plexus injuries: A systematic review and meta-analysis of diagnostic accuracy. *Radiology* 2019;293(01):125-133
- 14 O'Shea K, Feinberg JH, Wolfe SW. Imaging and electrodiagnostic work-up of acute adult brachial plexus injuries. *J Hand Surg Eur Vol* 2011;36(09):747-759
- 15 Tse R, Nixon JN, Iyer RS, Kuhlman-Wood KA, Ishak GE. The diagnostic value of CT myelography, MR myelography, and both in neonatal brachial plexus palsy. *AJNR Am J Neuroradiol* 2014;35(07):1425-1432
- 16 Suguitan A, Purnomo G, Sales C, Alagar D. The Role of CT and MR Myelography in Diagnosing Nerve Root Avulsion in Traumatic Brachial Plexus Injuries: A Meta-analysis. *Int Res J Med Sci* 2019;1(03):62-70
- 17 Bordalo-Rodrigues M, Siqueira MG, Kurimori CO, et al. Diagnostic accuracy of imaging studies for diagnosing root avulsions in post-traumatic upper brachial plexus traction injuries in adults. *Acta Neurochir (Wien)* 2020;162(12):3189-3196
- 18 Doi K, Otsuka K, Okamoto Y, Fujii H, Hattori Y, Baliarsing AS. Cervical nerve root avulsion in brachial plexus injuries: magnetic resonance imaging classification and comparison with myelography and computerized tomography myelography. *J Neurosurg* 2002;96(3, Suppl):277-284
- 19 Gad DM, Hussein MT, Omar NNM, Kotb MM, Abdel-Tawab M, Yousef HAZ. Role of MRI in the diagnosis of adult traumatic and obstetric brachial plexus injury compared to intraoperative findings. *Egypt J Radiol Nucl Med* 2020;51(01):1-7
- 20 Torres C, Mailley K, Del Carpio O'donovan R. MRI of the Brachial Plexus: Modified Imaging Technique Leading to a Better Characterization of Its Anatomy and Pathology. 2013
- 21 Lim SH, Lee JS, Kim YH, Kim TW, Kwon KM. Spontaneous recovery of non-operated traumatic brachial plexus injury. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2018;44(03):443-449
- 22 Hill JR, Lanier ST, Brogan DM, Dy CJ. Management of Adult Brachial Plexus Injuries. *J Hand Surg Am* 2021;46(09):778-788
- 23 Birch R. Timing of surgical reconstruction for closed traumatic injury to the supraclavicular brachial plexus. *J Hand Surg Eur Vol* 2015;40(06):562-567
- 24 Hardcastle N, Texakalidis P, Nagarajan P, Tora MS, Boulis NM. Recovery of shoulder abduction in traumatic brachial plexus palsy: a systematic review and meta-analysis of nerve transfer versus nerve graft. *Neurosurg Rev* 2020;43(03):951-956
- 25 Terzis JK, Vekris MD, Soucacos PN. Outcomes of brachial plexus reconstruction in 204 patients with devastating paralysis. *Plast Reconstr Surg* 1999;104(05):1221-1240
- 26 Gkiatas I, Papadopoulos D, Korompilias A, Vekris M, Beris A, Kostas-Agnantis I. Traumatic upper plexus palsy: Is the exploration of brachial plexus necessary? *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2019;29(02):255-262
- 27 Hoang D, Chen VW, Seruya M. Recovery of elbow flexion after nerve reconstruction versus free functional muscle transfer for late, traumatic brachial plexus palsy: A systematic review. *Plast Reconstr Surg* 2018;141(04):949-959
- 28 Garg R, Merrell GA, Hillstrom HJ, Wolfe SW. Comparison of nerve transfers and nerve grafting for traumatic upper plexus palsy: a systematic review and analysis. *J Bone Joint Surg Am* 2011;93(09):819-829
- 29 Texakalidis P, Hardcastle N, Tora MS, Boulis NM. Functional restoration of elbow flexion in nonobstetric brachial plexus injuries: A meta-analysis of nerve transfers versus grafts. *Microsurgery* 2020;40(02):261-267
- 30 Ayhan E, Soldado F, Fontecha CG, Bertelli JA, Leblebicioglu G. Elbow flexion reconstruction with nerve transfer or grafting in patients with brachial plexus injuries: A systematic review and comparison study. *Microsurgery* 2020;40(01):79-86
- 31 Teboul F, Kakkar R, Ameer N, Beaulieu JY, Oberlin C. Transfer of fascicles from the ulnar nerve to the nerve to the biceps in the treatment of upper brachial plexus palsy. *J Bone Joint Surg Am* 2004;86(07):1485-1490
- 32 Witoonchart K, Leechavengvongs S, Uerpairojkit C, Thuvasethakul P, Wongnopsuwan V. Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps, part I: an anatomic feasibility study. *J Hand Surg Am* 2003;28(04):628-632
- 33 Gillis JA, Khouri JS, Kircher MF, Spinner RJ, Bishop AT, Shin AY. Outcomes of elbow flexion reconstruction in patients older than 50 with traumatic brachial plexus injury. *Plast Reconstr Surg* 2019;143(01):151-158
- 34 Wells ME, Gonzalez GA, Childs BR, Williams MR, Nesti LJ, Dunn JC. Radial to Axillary Nerve Transfer Outcomes in Shoulder Abduction: A Systematic Review. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2020;8(09):e3096
- 35 Souza FHM, Bernardino SN, Junior ABC, et al. Nerves transfers for functional hand recovery in traumatic lower brachial plexopathy. *Surg Neurol Int* 2020;11:358
- 36 Xu B, Dong Z, Zhang CG, Gu YD. Multiple nerve and tendon transfers: a new strategy for restoring hand function in a patient with C7-T1 brachial plexus avulsions. *J Neurosurg* 2017;127(04):837-842
- 37 Rezzadeh K, Donnelly M, Vieira D, Daar D, Shah A, Hacquebord J. The extent of brachial plexus injury: an important factor in spinal accessory nerve to suprascapular nerve transfer outcomes. *Br J Neurosurg* 2020;34(05):591-594
- 38 Lanier ST, Hill JR, James AS, Rolf L, Brogan DM, Dy CJ. Approach to the Pan-brachial Plexus Injury: Variation in Surgical Strategies among Surgeons. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 2020;8(11):e3267