

# Técnicas de reconstrucción nerviosa en cirugía del plexo braquial traumatizado

## Parte 1: Transferencias nerviosas extraplexuales

J. Robla-Costales; M. Socolovsky\*; G. Di Masi\*; L. Domitrovic\*; A. Campero\*; J. Fernández-Fernández; J. Ibáñez-Plágaro y J. García-Cosamalón

Servicio de Neurocirugía. Hospital de León. León. España. Hospital de Clínicas\*. Universidad de Buenos Aires. Buenos Aires, Argentina.

### Resumen

Tras el gran entusiasmo generado en las décadas de los años '70 y '80 del siglo pasado, como consecuencia entre otras de la incorporación de las técnicas de microcirugía, la cirugía del plexo braquial se ha visto sacudida en las últimas dos décadas por la aparición de las técnicas de transferencia nerviosa o neurotizaciones. Se denomina así a la sección de un nervio que llamaremos dador, sacrificando su función original, para unirlo con el cabo distal de un nervio receptor, cuya función se ha perdido durante el trauma y se busca restablecer. Las neurotizaciones se indican cuando un nervio lesionado no posee un cabo proximal que pueda ser unido, mediante injerto o sin él, con el extremo distal. La ausencia de cabo proximal se produce en el plexo braquial cuando una raíz cervical se avulsiona de su origen a nivel de la médula espinal. Sin embargo, en los últimos años, y dados los resultados francamente positivos de algunas de ellas, las técnicas de transferencia nerviosa se han estado empleando inclusive en algunos casos en los que las raíces del plexo estaban preservadas.

En las lesiones completas del plexo braquial, se recurre al diagnóstico inicial de la existencia o no de raíces disponibles (C5 a D1) para utilizarlas como dadores de axones. De acuerdo a la cantidad viable de las mismas, se recurre a las transferencias de nervios que no forman parte del plexo (extraplexuales) como pueden ser el espinal accesorio, el frénico, los intercostales, etc, para incrementar la cantidad de axones transferidos al plexo lesionado. En los casos de avulsiones de todas las raíces, las neurotizaciones extraplexuales son el único método de reinervación disponible para limitar los efectos a largo plazo de una lesión tan devastadora.

Dada la avalancha de trabajos que se han publicado en los últimos años sobre las lesiones traumáticas del plexo braquial, se ha escrito el presente trabajo de revisión con el objetivo de clarificar al interesado las indi-

caciones, resultados y técnicas quirúrgicas disponibles en el arsenal terapéutico quirúrgico de esta patología. Dado que la elección de una u otra se toma generalmente durante el transcurso del mismo procedimiento, todos estos conocimientos deben ser perfectamente incorporados por el equipo quirúrgico antes de realizar el procedimiento. En esta primera parte se analizan las transferencias nerviosas extraplexuales, para luego hacer lo propio con las intraplexuales, en una segunda entrega.

**PALABRAS CLAVE.** Plexo braquial. Avulsión radicular. Transferencia nerviosa. Neurotizaciones extraplexuales. Injerto nervioso.

**Nerve reconstruction techniques in traumatic brachial plexus surgery. Part 1: Extraplexal nerve transfers**

### Summary

After the great enthusiasm generated in the '70s and '80s in brachial plexus surgery as a result of the incorporation of microsurgical techniques and other advances, brachial plexus surgery has been shaken in the last two decades by the emergence of nerve transfer techniques or neurotizations. This technique consists in sectioning a donor nerve, sacrificing its original function, to connect it with the distal stump of a receptor nerve, whose function was lost during the trauma. Neurotizations are indicated when direct repair is not possible, i.e. when a cervical root is avulsed at its origin in the spinal cord. In recent years, due to the positive results of some of these nerve transfer techniques, they have been widely used even in some cases where the roots of the plexus were preserved.

In complete brachial plexus injuries, it is mandatory to determine the exact number of roots available (not avulsed) to perform a direct reconstruction. In case of absence of available roots, extraplexal nerve transfers are employed, such as the spinal accessory nerve, the phrenic nerve, the intercostal nerves, etc., to increase

**the amount of axons transferred to the injured plexus. In cases of avulsion of all the roots, extraplexal neurotizations are the only reinnervation option available to limit the long-term devastating effects of this injury.**

**Given the large amount of reports that has been published in recent years regarding brachial plexus traumatic injuries, the present article has been written in order to clarify the concerned readers the indications, results and techniques available in the surgical armamentarium for this condition. Since the choice of either surgical technique is usually taken during the course of the procedure, all this knowledge should be perfectly embodied by the surgical team before the procedure. In this first part extraplexal nerve transfers are analyzed, while intraplexal nerve transfers will be analyzed in the second part of this presentation.**

KEY WORDS: Brachial plexus. Root avulsion injury. Nerve transfer. Extraplexal neurotizations. Nerve graft.

## Introducción

Los pioneros como Aligmatas Narakas, Hanno Millesi y Jean-Yves Alnot, generaron en los años 70 y 80 un gran entusiasmo por la cirugía de reconstrucción de las lesiones del plexo braquial, como consecuencia de la aparición de innovadoras técnicas desarrolladas por ellos y otros autores. En los años subsiguientes, el interés decayó como producto de un estancamiento en la evolución de los resultados obtenidos. Sin embargo, en las últimas dos décadas, numerosos trabajos originales han visto la luz, en especial los que analizan los beneficios de la neurotización de las ramas terminales del plexo braquial mediante diferentes nervios dadores, en los que se pone énfasis en el análisis estadístico de los resultados obtenidos mediante dichos procedimientos. Definimos como neurotización o transferencia nerviosa a aquella técnica que involucra la anastomosis entre un nervio motor funcionante (donante) y un nervio lesionado (receptor). La pérdida de la función del nervio donante es inevitable. Por lo tanto, en la decisión de realizar una neurotización se debe valorar el riesgo-beneficio de la misma, derivado de la pérdida de función del nervio donante y de la reinervación del nervio receptor, teniendo en cuenta también la probabilidad de éxito de la técnica, la cual nunca se puede asegurar. La neurotización es el procedimiento de elección cuando no es posible reconstruir los nervios de manera directa, por ejemplo cuando se presenta una avulsión de una o varias raíces cervicales y constituye prácticamente la única posibilidad que posee la neurocirugía de crear función neurológica donde no la había, ya que no existe un procedimiento equiparable a la neurotización a nivel del sistema nervioso central. En la cirugía del plexo braquial, las transferencias nerviosas

pueden utilizar como donantes nervios extraplexuales y/o intraplexuales. La transferencia nerviosa intraplexual es el procedimiento de elección cuando la lesión del plexo es parcial y por ende están disponibles axones que forman parte del mismo plexo, ya que cualquiera de los nervios donantes ofrece un número de axones mayor que la suma de los axones de todos los nervios disponibles para realizar una transferencia nerviosa extraplexual juntos. En las lesiones completas del plexo braquial, especialmente en los casos de avulsión completa de todas las raíces, las neurotizaciónes extraplexuales son la única forma disponible para disminuir el gravísimo déficit que presentan estos infortunados pacientes<sup>3,30,32,37,50,54</sup>.

Para realizar una neurotización extraplexual se pueden usar como nervios donantes el nervio espinal accesorio, los nervios intercostales, el nervio frénico, la raíz C7 contralateral y el nervio hipogloso, entre otros.

Hay una serie de reglas básicas que, si son respetadas, mejoran en gran medida la tasa de éxito de estas técnicas:

- Los fascículos nerviosos del nervio donante deben coincidir con los del nervio receptor no solo en términos de número y tamaño, sino también en función: así pues, los nervios puramente motores son preferibles sobre los nervios mixtos sensitivo-motores en los casos en los que el objetivo es la reinervación motora.
- El nervio a neurotizar debería estar preferiblemente localizado cerca del nervio donante. Esto evita el uso de injertos nerviosos interpuestos, y disminuye el tiempo de denervación y la atrofia de las fibras musculares denervadas.
- La función del nervio donante no ha de ser antagonista a la del receptor. Si sacrificamos la rama larga del tríceps para reinervar el bíceps, probablemente los resultados no sean los deseados debido a la contracción simultánea de los músculos antagonistas.

El objetivo de este artículo y su segunda parte (Transferencias nerviosas intraplexuales) es el de efectuar un análisis de los últimos resultados publicados obtenidos con estas técnicas, a través de una revisión de la literatura en lengua inglesa entre los años 1990 y 2010, para intentar jerarquizar las mismas en función de su utilidad y factibilidad técnica, de manera que pueda orientar y actualizar al lector sobre los avances recientes en este fascinante campo de la Neurocirugía.

## Transferencias nerviosas extraplexuales disponibles en la cirugía de plexo braquial

### 1. Nervio espinal accesorio

El uso de la porción distal del undécimo nervio craneal (un nervio puramente motor) es una de las neurotizaciónes

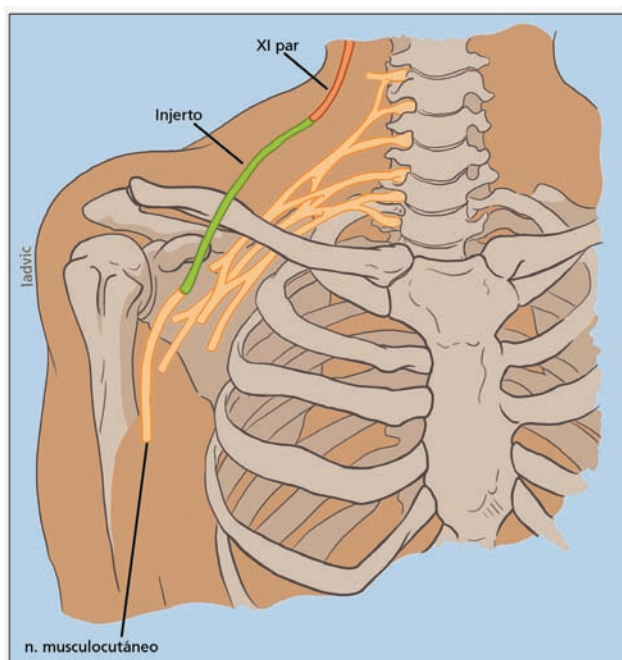


Figura 1. Transferencia nerviosa del nervio espinal accesorio (XI) al nervio musculocutáneo con injerto nervioso interpuesto de nervio sural.

nes más populares entre los cirujanos de plexo braquial, además de ser la primera neurotización descrita en la literatura, en 1913<sup>64</sup>. En la actualidad, la transferencia del nervio espinal accesorio se utiliza para la neurotización del nervio musculocutáneo y del nervio supraescapular/axilar para restablecer la flexión del codo y la abducción de la extremidad superior-estabilización del hombro, respectivamente (Figura 1).

Allieu y Cenac<sup>2</sup> popularizaron la transferencia del nervio espinal accesorio para la neurotización del nervio musculocutáneo con un injerto de nervio interpuesto (Figuras 1 y 2). Empleando esta técnica en 44 casos, Samii *et al.*<sup>51</sup>, demostraron lo importante que es la cirugía precoz y el uso de injertos de nervio lo más cortos posibles para obtener buenos resultados. La cirugía en los primeros seis meses y los injertos de nervio inferiores a 12 cm de longitud se asociaron con un 86% de buenos resultados, mientras que para la cirugía diferida más de seis meses y los injertos mayores los resultados fueron favorables en el 65% de los casos.

Malessy *et al.*<sup>32</sup>, realizaron una neurotización directa, sin injerto interpuesto, del nervio supraescapular con la transferencia del nervio espinal accesorio en una serie de 53 pacientes. Solo en 9 de los casos (17%) la fuerza del músculo supraespinoso fue de 3 o 4 de la escala de la British Medical Research Council (BMRC) y solo se obtuvo una abducción del hombro de 45° en 8 pacientes. Los resultados de Malessy *et al.* son respaldados por Oberlin *et al.*<sup>46</sup>, quienes consideran que el sacrificio del nervio espinal accesorio



Figura 2. Varón de 29 años de edad, que presentó una parálisis completa braquial derecha tras un accidente de tráfico. Cuatro meses después de la lesión, se realizó una transferencia nerviosa del nervio espinal accesorio a nervio musculocutáneo con la interposición de un injerto de 13 cm de nervio sural. Dos años después de la cirugía, el paciente presentaba un grado M4 para la flexión del codo.

con el fin de transferirlo al nervio supraescapular no es una buena opción, porque se denerva un músculo importante de la cintura escapular para obtener una función nueva no tan útil<sup>46</sup>.

Estos resultados contrastan con los publicados por Terzis<sup>61,62</sup>, que neurotizó el nervio supraescapular en 118 pacientes con resultados buenos o excelentes en 93 de ellos, a 80 de los cuales se les realizó una transferencia del nervio espinal accesorio. Por otra parte, Songchaoren<sup>58</sup> con una experiencia de 577 casos, tuvo éxito en la reinervación (BMRC grado III o más) del nervio supraescapular en el 80%, del nervio musculocutáneo en el 74% y del nervio axilar en el 60%. Otros autores recuperaron la flexión del codo con la transferencia del nervio espinal accesorio, mostrando buenos resultados entre el 65 y el 83% de los casos<sup>43,51,59,68</sup> (Figuras 3A, 3B y 4).

En un ensayo prospectivo aleatorizado, Waikakul *et al.*<sup>68</sup>, evaluaron los resultados funcionales después de la neurotización del nervio musculocutáneo utilizando como transferencia nerviosa ya sea los nervios intercostales (75 pacientes) o el nervio espinal accesorio (130 pacientes). Los resultados clínicos fueron buenos o muy buenos en el 83% de los casos tratados usando el nervio espinal acceso-



Figura 3. A: Varón de 34 años con una parálisis completa del plexo braquial izquierdo, operado dos meses después de la lesión. Se realiza una transferencia nerviosa del nervio espinal accesorio al nervio supraescapular. Excelente abducción del brazo con más de 90° de abducción y grado M4 de la escala de la British Medical Research Council. B: Vista posterior del mismo paciente.

rio y en el 64% de los casos tratados con los nervios intercostales. Por otra parte, la transferencia del nervio espinal accesorio fue superior a la transferencia de los nervios intercostales también en lo que se refiere al tiempo operatorio, la existencia o no de complicaciones postoperatorias y la necesidad de transfusiones de sangre. Los resultados experimentales muestran que los nervios intercostales y el nervio espinal accesorio difieren enormemente en cuanto a contra-resistencia y fuerza<sup>24</sup>. Por otra parte, la función sensitiva en el área inervada por el nervio musculocutáneo nunca presenta una mejoría mayor en los casos tratados con la transferencia de los nervios intercostales, que al ser mixtos, sensitivos y motores, podrían teóricamente ser mejores en este aspecto que el espinal accesorio.



Figura 4. Otro paciente, de 27 años de edad, con una parálisis completa de plexo braquial izquierdo. El nervio espinal accesorio fue transferido al nervio supraescapular dos meses y medio después del accidente, con una recuperación muy buena de la abducción del brazo 25 meses después de la cirugía.

En un meta-análisis de la literatura en inglés acerca de las transferencias nerviosas en el plexo braquial llevado a cabo por Merrel *et al.*<sup>39</sup>, se determinó que la abducción activa del hombro fue evaluada en 123 casos, y el 73% de ellos consiguieron resultados iguales o superiores a M3. La neurotización del nervio supraescapular-músculo supraespinoso tuvo éxito en el 92% de los casos mientras que la neurotización del nervio axilar- músculo deltoides tuvo éxito en el 69% de los casos.

La principal ventaja de emplear el nervio espinal accesorio para reinervación del nervio supraescapular es la falta de necesidad de un injerto interpuesto en más del 75% de los casos<sup>29, 40,44,45</sup>. Si la estrategia quirúrgica consiste en utilizar el nervio espinal accesorio para reinervar el nervio musculocutáneo, será necesario un injerto interpuesto en el 100% de los casos, asumiendo además una cierta disparidad de estos nervios en términos de tamaño y función (el nervio musculocutáneo es un nervio mixto). Algunos autores, al contrario que el concepto anteriormente citado de evitar los injertos sugerido por Samii, neurotizan directamente la rama del bíceps con un injerto largo y evitan de esa manera esta asimetría<sup>7</sup> (Figura 5).

#### Técnica quirúrgica

El nervio espinal accesorio es abordado clásicamente en el triángulo posterior del cuello. Uno de los métodos más comunes para hacerlo es iniciar la búsqueda de la parte proximal del nervio en la unión entre los tercios superior y medio del músculo esternocleidomastoideo y su parte distal a nivel de la unión entre el tercio medio e inferior del



Figura 5. A: Hombre de 27 años, que sufrió una parálisis completa del plexo braquial derecho tras un accidente de motocicleta. Tres meses después, se realizó una transferencia nerviosa del nervio espinal accesorio a la rama del bíceps del nervio musculocutáneo, con un injerto largo de nervio sural de 19 cm. Unos 20 meses después de la cirugía, mostró una buena flexión del codo. B: El mismo paciente con una fuerza para la flexión del codo de M4 de la escala del British Medical Research Council (BMRC).

músculo trapecio, donde el nervio llega al borde del margen anterior de este músculo. El uso de la estimulación eléctrica intraoperatoria es de suma utilidad en los casos en que la disección sea dificultosa.

Hattori *et al.*<sup>25</sup>, propuso iniciar la búsqueda del nervio directamente en la parte inferior del triángulo posterior

del cuello. La parte superior del músculo trapecio, que se inserta en la clavícula y la articulación acromioclavicular, se divide a lo largo de un trayecto corto. El nervio espinal accesorio se puede encontrar en la superficie anterior del músculo trapecio. Los vasos cervicales transversos se pueden utilizar como puntos de referencia, ya que están ubicados cerca del nervio espinal accesorio.

Una variante de esta técnica es evitar la sección del músculo trapecio, iniciando la disección a lo largo de la parte inferior del borde anterior del músculo hacia la clavícula sin separarlo de su inserción ósea. Es conveniente preparar el nervio disecándolo distal y proximalmente en el tejido adiposo para ganar mayor longitud para su conexión con el nervio receptor.

Recientemente, Guan *et al.*<sup>22</sup>, han descrito una técnica de transferencia nerviosa usando una rama distal del nervio espinal accesorio para reinervar el nervio supraescapular a través de un abordaje dorsal escapular. Esta técnica tiene la ventaja de reducir la distancia hasta el músculo diana, y al seccionarse el nervio espinal accesorio más distalmente, se preservan sus ramas proximales al trapecio y se reduce notablemente la denervación de este músculo. Otra ventaja de esta técnica es que la neurografía se realiza distalmente a la escotadura escapular. En los raros casos en que el nervio supraescapular se pudiera encontrar afectado en dos sitios (plexo braquial y escotadura), se asegura el resultado favorable efectuando un “by-pass” sobre esta segunda lesión. Dicha segunda lesión pasa inadvertida cuando se utiliza el abordaje clásico supraclavicular anterior y ha sido postulada como una de las causas de falta de éxito al reparar el nervio supraescapular mediante neurotización. Utilizando esta técnica de transferencia del nervio espinal accesorio en 11 pacientes, los autores refieren haber logrado un buen resultado en todos los casos.

Por último, haremos notar que Bertelli y Ghizoni<sup>5</sup> describieron una técnica sencilla y fiable para la recolección del nervio espinal accesorio en el cuello que no requiere de estimulación intraoperatoria.

## 2. Nervio frénico

Como rama terminal del plexo cervical que es, y también como nervio motor puro, el uso del nervio frénico es una cuestión controvertida, variando enormemente en la literatura las opiniones entre los que abogan por el uso habitual del nervio frénico y los fuertes detractores de esta técnica. En un análisis reciente de la literatura en inglés, Siqueira y Martins demuestran estadísticamente y de forma convincente la utilidad de esta técnica<sup>56</sup> (Figura 6).

En general, los resultados descritos en la literatura son estadísticamente muy buenos, en relación con la reanimación motora, especialmente para la abducción/estabilización del hombro y la flexión del codo: varias series fueron

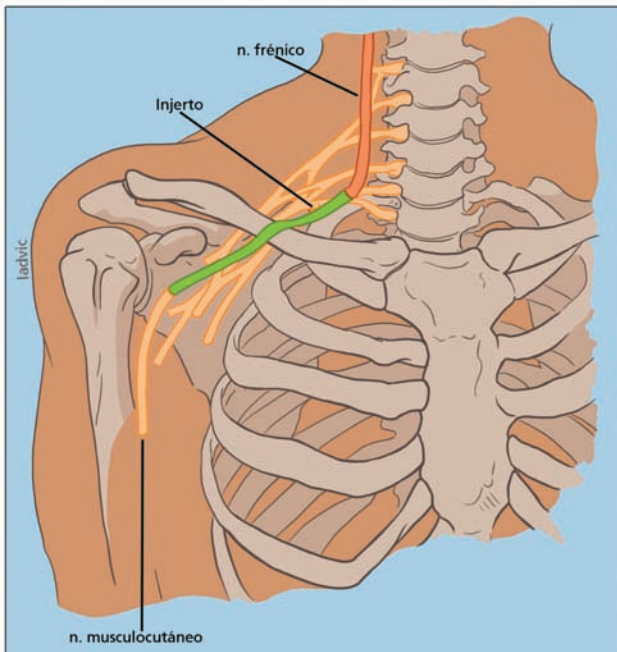


Figura 6. Neurotización de nervio frénico a nervio musculocutáneo con injerto interpuesto de nervio sural.

publicadas por Chuang *et al*<sup>12</sup>, Viterbo *et al*.<sup>65</sup>, Gutowski y Orenstein<sup>23</sup>, Monreal<sup>42</sup> y Hou y Xu<sup>26</sup> (Figuras 7 y 8). Songchaoren publicó una recuperación motora útil de BMRC 3 o más en el 80% de las transferencias de nervio frénico a nervio supraescapular, en el 74% a nervio musculocutáneo y en el 60% a nervio axilar<sup>58</sup>.

La mayor experiencia en cuanto a la transferencia del nervio frénico a diferentes receptores proviene de China<sup>19,20</sup>, con más de 180 casos operados entre 1970 y 1990 en dicho país por Gu *et al*. Sesenta y cinco casos tuvieron un seguimiento durante dos años y en 49 de éstos, el nervio frénico se utilizó para neurotizarse el nervio musculocutáneo. Se realizó una sutura término-terminal en 40 de los casos y en los otros 9 casos se utilizó un injerto de nervio sural. En treinta y dos de los 40 pacientes con una neurotización directa se logró una fuerza de 3-5 en la escala de la BMRC para la contracción del bíceps, mientras que los 8 casos restantes no tuvieron éxito. Los resultados obtenidos con injertos nerviosos fueron similares. El tiempo transcurrido hasta la reparación del nervio fue importante respecto al pronóstico. Cuando el promedio de tiempo fue de 290 días, la fuerza del bíceps alcanzó 4-5 de la escala de la BMRC, mientras que 656 días fue el promedio de tiempo transcurrido en los casos en que la fuerza solo alcanzó 1-2 BMRC. Dong *et al*, en una serie publicada recientemente, realizando una neurotización directa del nervio frénico a la división anterior del tronco superior en 40 pacientes, mostró buenos resultados con un 82,5% de casos con una fuerza M3 o más después de 2 años de seguimiento. La



Figura 7. Paciente de sexo masculino, con parálisis completa del brazo derecho. Transferencia del nervio frénico a nervio musculocutáneo con un injerto de 15 cm de longitud 3 meses después del accidente. Buena recuperación M3+ de la flexión del codo.



Figura 8. El mismo paciente mostrado en la figura 4, con una recuperación de la flexión del codo grado M4 después de una transferencia directa del nervio frénico a las ramas para el bíceps del nervio musculocutáneo con un injerto largo de nervio sural de 18 cm. 22 meses después de la cirugía.

función pulmonar solo se vio afectada en un paciente. Este caso fue un niño de 5 años de edad, en el que se sacrificaron de forma simultánea para realizar transferencias el nervio frénico y el 5º, 6º y 7º nervios intercostales. Esto dio lugar a una insuficiencia respiratoria que requirió su ingreso en la unidad de cuidados intensivos durante varias semanas. Sin embargo, un año después de la cirugía solo en 32 de los 65 pacientes la contracción diafragmática era buena presentando 19 de los pacientes una reducción subclínica de la capacidad pulmonar global que mejoró después de dos años.

En otra serie de menor tamaño, Luedeman *et al.*<sup>31</sup>, analizaron 23 casos de transferencias del nervio frénico para neurotizarse el nervio musculocutáneo. La función pulmonar pre y postoperatoria fue evaluada en 12 de los casos. La neurotización mediante injerto de nervio interpuesto se utilizó en 18 casos. La contracción del bíceps alcanzó una puntuación de 4-5 en el 58% de los pacientes. Ningún paciente presentó problemas pulmonares postoperatorios, aunque se constató una reducción de la capacidad vital de alrededor del 10% de promedio. El sacrificio del nervio frénico derecho produce un mayor porcentaje de insuficiencia ventilatoria en los tests funcionales que la que produce el nervio frénico izquierdo. Este hallazgo podría deberse a la mayor superficie y mayor importancia funcional del diafragma derecho en la ventilación pulmonar.

La leve reducción de la capacidad vital después de la transferencia del nervio frénico fue confirmada por Chalidapong *et al.*<sup>9</sup>. En el primer año postoperatorio después de la transferencia del nervio frénico, observó que la capacidad pulmonar se reducía. También observó que la capacidad pulmonar se recuperaba y era normal tres meses después de las transferencias de los nervios intercostales. Sin embargo, Songchaoren<sup>58</sup> confirmó que la capacidad vital volvía a los niveles normales gradualmente entre 6 y 24 meses después de la cirugía en todos sus más de 150 casos.

Lo que sí está claro es que el nervio frénico no debe ser utilizado como donante para la reconstrucción del plexo braquial en niños menores de un año de edad y cuando los nervios intercostales son utilizados simultáneamente para el mismo propósito.

La técnica de recolección del nervio frénico descrita por Xu *et al.*<sup>70</sup>, debe ser mencionada. Esta técnica de cirugía torácica video-asistida permite obtener un nervio frénico más largo (12,3 cm  $\pm$  4,5 cm) para evitar el uso de injerto nervioso para la neurotización del nervio musculocutáneo. Los resultados obtenidos fueron de una fuerza para el bíceps M3 o superior en 8 de 11 casos. Sin embargo, queda aún pendiente de hacer un estudio comparativo entre la transferencia del nervio frénico al nervio musculocutáneo mediante sutura directa o con interposición de un injerto de nervio.

#### Técnica quirúrgica

La localización del nervio frénico es constante en la cara anterior del músculo escaleno anterior, con una trayectoria de lateral hacia medial exclusiva de este nervio, lo que hace muy fácil su acceso, empleando el mismo abordaje supraclavicular que para la disección del resto del plexo proximal. Por otra parte, algunos autores sugieren localizar inicialmente el nervio frénico y luego diseccionarlo proximalmente hasta la aparición de la raíz C5; este último abordaje puede resultar difícil en el contexto de una avul-

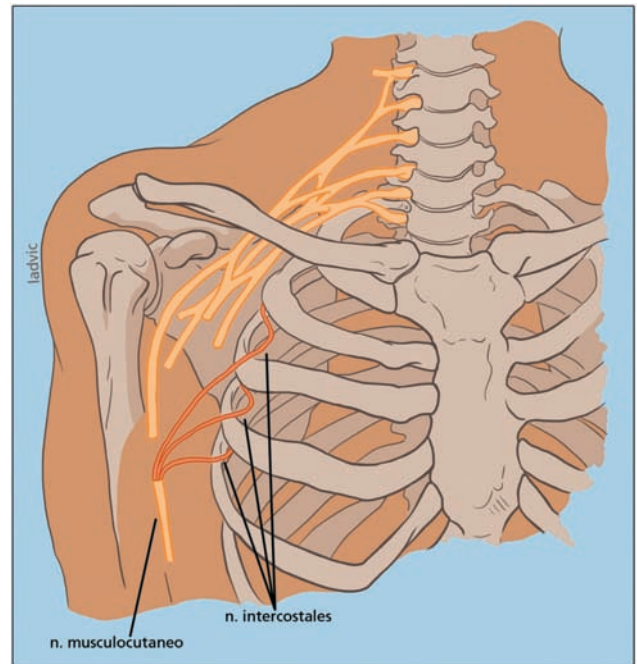


Figura 9. Neurotización del nervio musculocutáneo con nervios intercostales sin injertos nerviosos interpuestos.

sión severa de raíces cervicales con fibrosis<sup>55</sup>.

### 3. Nervios intercostales

En 1968, Tsuyama y Hara<sup>63</sup> sugirieron la transferencia de dos o más nervios intercostales (3<sup>o</sup>, 4<sup>o</sup> y 5<sup>o</sup> opcionalmente), tras diseccionarlos a lo largo de su recorrido por debajo de su costilla suprayacente, evitando el uso de injertos interpuestos para neurotizarse el nervio musculocutáneo en los casos de avulsiones radiculares (Figura 9).

Inicialmente, muchas series fueron publicadas a lo largo de los años 70 y 80<sup>16,17,28,40,41,45</sup>. Todas ellas mostraron resultados favorables, con aproximadamente un 50% de reinervación del bíceps, y una fuerza M3 o más en la escala BMRC. Más recientemente, otras series han sido publicadas confirmando que esta técnica también es útil en niños con parálisis obstétrica del plexo braquial<sup>13,27,35,49,58,68</sup>.

Los axones de cada nervio intercostal se reducen en número en un 10% cada 10 cm de longitud, a medida que van inervando en su recorrido la musculatura inspiratoria accesoria<sup>49</sup>. Por lo tanto, si la disección se lleva a cabo muy distalmente, hasta las cercanías del esternón, el nervio obtenido será bien largo, pero menos sustancioso en cuanto a contenido axonal. Por el contrario, si el nervio intercostal se secciona proximalmente, justo donde el nervio tiene más axones, un injerto de nervio será necesario para realizar la transferencia nerviosa. La transferencia de nervios intercostales debe ser efectuada sin injerto interpuesto para obtener un mejor resultado<sup>46</sup> (Figura 10), por lo cual

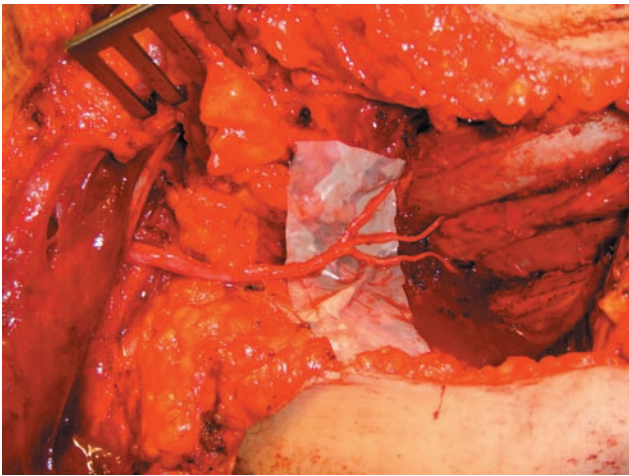


Figura 10. Obsérvese tres nervios intercostales ya disecados (con sus costillas desperiostizadas) transferidos sin injerto al nervio musculocutáneo.

la disección debe ser realizada tan distalmente como sea necesario como para acceder al cabo receptor. La disección proximal de los intercostales a nivel de la cara posterior del tórax también ayuda al permitir girar los mencionados nervios hacia su blanco. Una cuestión que aún no ha sido determinada es el número de los nervios intercostales necesarios para maximizar los resultados. Kawai *et al.*<sup>28</sup>, demostró que se logra unos resultados superiores cuando se utilizan dos nervios en lugar de uno, sin embargo, no lograron establecer el beneficio derivado del uso de más de dos nervios.

Más recientemente, Okinaga y Nagano<sup>47</sup> informaron sobre una pequeña serie de 5 casos tratados con transferencia de nervio intercostal realizando la disección del nervio con su pedículo vascular intercostal correspondiente. Los resultados fueron esencialmente similares a los publicados con el uso de nervios intercostales sin pedículos vasculares. Por lo tanto, los autores sugieren evitar esta técnica, ya que requiere una disección más compleja y un tiempo operatorio más largo.

Los nervios intercostales parecen ser peores que el nervio espinal accesorio para la recuperación de la flexión del codo: Merrel *et al.*<sup>39</sup>, analizaron el resultado de 1.088 neurotizaciones en el marco de su meta-análisis. De 965 casos de neurotización del nervio musculocutáneo, el 71% de los casos logró una fuerza muscular del bíceps grado M3. El 54% de los nervios musculocutáneos fueron neurotizados usando nervios intercostales y en el 72% de estos casos, los resultados clínicos fueron buenos, aunque se determinó claramente que no se deben emplear injertos interpuestos para transferir los nervios intercostales. El 36% de los nervios musculocutáneos fueron neurotizados con el nervio espinal accesorio y los resultados clínicos fueron favorables en el 77% de ellos. A diferencia de los

nervios espinal accesorio y frénico, los nervios intercostales son pequeños y mixtos motores y sensitivos, un hecho que podría explicar estos resultados peores cuando se comparan los tres donantes conjuntamente.

Oberlin *et al.*<sup>46</sup>, utilizaron una transferencia de nervio intercostal para neurotizar ramas del tríceps, mientras que el nervio espinal accesorio lo utilizó para reinervar el músculo bíceps. Según este autor, los músculos antagonistas del brazo (bíceps y tríceps) se vuelven así funcionales, con diferentes fuentes axonales, lo que produce un resultado superior.

Durante los dos primeros años después de la transferencia nerviosa de nervios intercostales al músculo bíceps, este músculo se contrae con los movimientos respiratorios (lo que se llama "brazo que respira"). Uno o dos años más tarde, se alcanza el control voluntario gradualmente, aunque el músculo todavía se contrae involuntariamente al toser o al estornudar<sup>58</sup>. Malessy *et al.*<sup>32</sup>, usando imágenes de RM funcionales cerebrales en pacientes en los que se realizó una transferencia exitosa del nervio intercostal para la reinervación del bíceps, observó que la contracción voluntaria del bíceps inducía actividad en la corteza motora primaria.

#### Técnica quirúrgica

La incisión se extiende a lo largo del borde inferior del músculo pectoral mayor desde el pliegue axilar anterior hacia el esternón. La piel, el tejido subcutáneo y la fascia que recubre el borde inferior del músculo pectoral mayor son incididos, y el músculo se disecciona con cuidado siendo rechazado hacia arriba. El músculo pectoral menor se encuentra inmediatamente por debajo, y su borde lateral sirve como punto de referencia importante y útil para la identificación de la tercera, cuarta, y quinta costillas, que a continuación son cuidadosamente desperiostizadas. Los desgarros pleurales son excepcionales, pero si se presentan, por lo general hay suficiente tejido en la cara posterior de la costilla como para realizar un cierre inmediato sin tensión con una sutura monofilamento fina. A nivel del músculo pectoral menor, los músculos intercostales son delgados, y el nervio es fácil de identificar. La estimulación ayuda a separar las ramas sensitivas de las motoras. La disección se lleva a cabo tan distalmente como sea necesario hasta la unión costocondral, a fin de obtener suficiente nervio donante para realizar una neurorrafia sin injerto<sup>64</sup>.

#### 4. Raíces cervicales

En 1991, Yamada *et al.*<sup>71</sup>, describieron esta transferencia para lesiones del plexo braquial con avulsión de raíces. Los ramos primarios anteriores de las raíces cervicales C3 y C4 (ambos o solo uno de ellos), inmediatamente distales a la



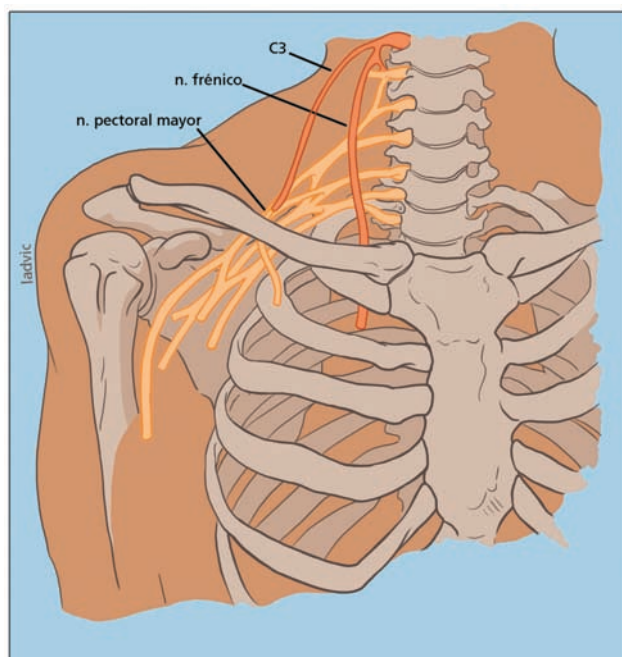


Figura 11. Técnica de Yamada. Transferencia nerviosa de la raíz C3 distal a la emergencia del nervio frénico.

emergencia del nervio frénico, son los utilizados (Figura 11).

De hecho, esta técnica es una variante del procedimiento descrito originalmente por Brunelli y Monini 15 años antes<sup>8</sup>. Este trabajo pionero se basó en un análisis de disecciones cadavéricas en el que se afirma que las cuatro ramas motoras del plexo cervical, aparte de los nervios frénicos, contienen más de 4.000 fibras en una distribución anatómica muy variable. No obstante este dato, la neurotización con ramos motores del plexo cervical no ha dado buenos resultados a ningún otro autor salvo el mencionado Yamada. Es por ello que esta técnica ha sido actualmente abandonada por la mayoría de los cirujanos de plexo y no se han publicado trabajos al respecto en la última década.

Usando una variante de esta técnica, Yamada *et al.*, publican una serie de 12 pacientes a los que se realizó una transferencia de raíces C3-C4 a otros nervios, para reinervar diferentes músculos<sup>71</sup>. Nueve pacientes presentaron una fuerza BMRC 3 o superior en algunos de los músculos explorados. Se destaca que la cirugía precoz, dentro de seis semanas después de la lesión, permite obtener mejores resultados que la cirugía diferida. Además, esta técnica podría ser especialmente indicada para parálisis del plexo braquial obstétrica, ya que la edad temprana puede ser crucial para lograr un buen resultado. En la crítica de este artículo, Kline<sup>30</sup> expresa inquietud acerca de los resultados de Yamada *et al.*, los cuales parecían ser demasiado favorables, incluso para ciertos músculos que habitualmente

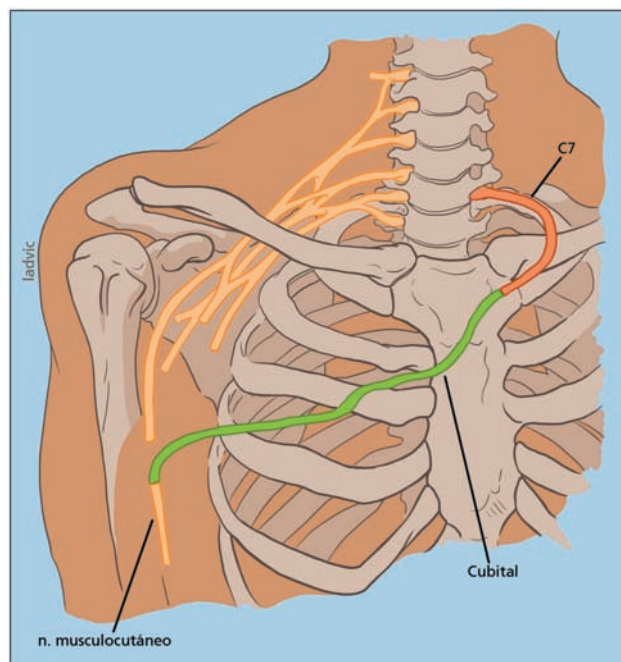


Figura 12. Transferencia nerviosa de la raíz C7 contralateral. La longitud del injerto requiere un injerto vascularizado, que se obtiene del nervio cubital no funcionante del brazo afectado.

no se reinervan en forma exitosa, como por ejemplo, los músculos intrínsecos de la mano. Además, Kline argumenta en contra de realizar la cirugía reconstructiva del plexo braquial en las seis semanas después de la lesión en las lesiones parciales, ya que algunos casos muestran una recuperación funcional espontánea después de ese tiempo. En el momento actual, ningún otro autor ha publicado resultados similares con ninguna de las ramas motoras del plexo cervical.

Songchaoren<sup>58</sup> plantea cautela a la hora de hacer un uso combinado de ramas motoras del plexo cervical y del nervio espinal accesorio en el mismo procedimiento: los músculos escapulotorácicos reciben inervación simultánea por estos nervios y pueden sufrir una denervación importante después de su sacrificio.

#### Técnica quirúrgica

La misma incisión en el borde posterior del músculo esternocleidomastoideo empleada para exponer el plexo supraclavicular, cuando se extiende superiormente, permite la disección de la raíz C3 y C4 a nivel foraminal. Según lo descrito por Brunelli y Monini, la variación extrema de la anatomía del plexo cervical es la única regla, y por lo tanto una disección cuidadosa con la ayuda de la estimulación eléctrica de proximal a distal es la única manera de localizar y obtener las ramas motoras cervicales.

### 5. Transferencia de la raíz C7 contralateral

La raíz C7 ha demostrado ser redundante especialmente en relación con su función motora, debido a que los músculos a los que inerva reciben también en forma simultánea aportes de C8 y D1. Es por ello que se ha sugerido, en forma teórica inicialmente y luego ya en forma empírica, seccionar dicha raíz del lado sano para utilizarla como dador de axones al plexo paralizado. El primero en realizar esta técnica fue Gu en China<sup>18,21</sup> (Figura 12).

El sacrificio de esta raíz implica una parálisis del tríceps muy leve, clínicamente no evidente, aunque se ha descrito, en casos muy esporádicos, un déficit de extensión de la muñeca<sup>11,62</sup>. El déficit sensitivo es más común, incluyendo un área variable de hipoestesia antebraquial y dolor neuropático<sup>1,67</sup>. El uso selectivo de la parte anterior de la raíz C7 evita los trastornos sensoriales<sup>60</sup>.

Los injertos largos, vascularizados o no, son necesarios para alcanzar las dianas en el brazo paralizado. La ruta pre-faríngea y el abordaje intradural disminuyen pero no eliminan este problema<sup>38</sup>. Las series más grandes empleando esta técnica han sido publicadas en Asia<sup>11,18,60,67</sup>. Los mejores resultados de forma global mostraron un 20% de éxito para reinervar la función motora del nervio mediano, mientras que los porcentajes publicados en cuanto a la recuperación sensitiva del mismo nervio fueron mejores, del 50%<sup>18</sup>.

Al igual que el "brazo que respira" descrito para el nervio frénico, el movimiento sincrónico del lado sano es necesario típicamente al comienzo del proceso de reinervación para obtener una contracción muscular en el lado afectado. Más tarde, como regla general, se consigue un control mayor, aunque no totalmente independiente<sup>4</sup>.

Estos resultados limitados, junto con el bajo, aunque no inexistente riesgo de déficit sensitivo o motor (lo que no es un problema menor en el contexto de un paciente con una sola extremidad superior normal), el mencionado fenómeno de co-contracción del brazo sano, y la complejidad técnica de este procedimiento, se opuso a su uso generalizado y su indicación queda limitada a ciertos pacientes muy seleccionados con lesiones concomitantes de nervio frénico y espinal accesorio.

#### Técnica quirúrgica

Para usar esta transferencia, es necesario diseccionar: a) la raíz C7 sana contralateral con un abordaje cervical anterior, b) el nervio lesionado a ser neurotizado, por ejemplo, el nervio mediano a nivel braquial proximal, c) el nervio cubital con su pedículo vascular desde el nivel braquial proximal hasta la muñeca. Este nervio se utiliza como injerto, colocándolo en un túnel subcutáneo entre la raíz C7 contralateral y el nervio a ser neurotizado (Figura 12).

Una variación de esta técnica fue descrita en 2001 por Songcharoen *et al*<sup>60</sup>. Se preconiza usar solo la mitad de los

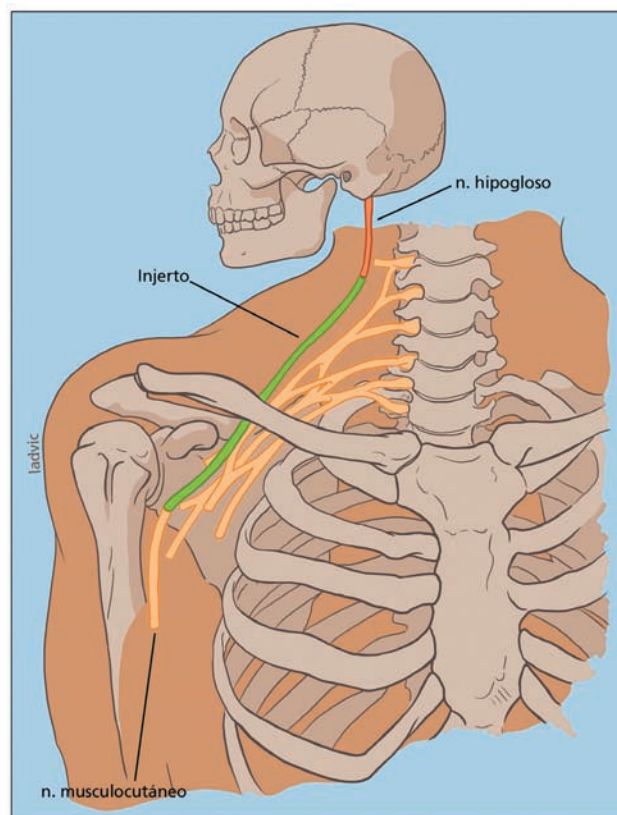


Figura 13. Transferencia del nervio hipogloso al plexo braquial: siempre se requiere injerto interpuesto.

4-6 fascículos que forman la raíz C7 con el fin de reducir la morbilidad asociada en la extremidad superior sana. La ruta pre-faríngea requiere de injertos interpuestos más cortos<sup>38,69</sup>, aunque esto no parece mejorar los resultados.

### 6. Nervio hipogloso

Existe un consenso en la literatura en relación con los pobres resultados en cuanto a la recuperación de la función del plexo braquial obtenidos con la transferencia del nervio hipogloso, lo que contrasta con el éxito de las anastomosis hipogloso-facial<sup>15,36,48,52,53</sup>.

Malessy *et al.*<sup>33</sup>, presentaron una serie de 14 pacientes los cuales se sometieron a la transferencia del nervio hipogloso a la raíz C5, el nervio axilar, el nervio supraescapular o el nervio musculocutáneo. Siempre se utilizó un injerto de nervio sural para la neurotización. La contracción muscular alcanzó hasta grado 3 BMRC en algunos casos, pero el control voluntario de los músculos reinervados no se consiguió en ningún caso.

Ferraresi *et al.*<sup>14</sup>, publican unos resultados similares en 7 casos en los cuales, en lugar de todo el nervio, se hicieron transferencias de la mitad del nervio hipogloso para reducir la morbilidad relacionada con la deglución y el habla.

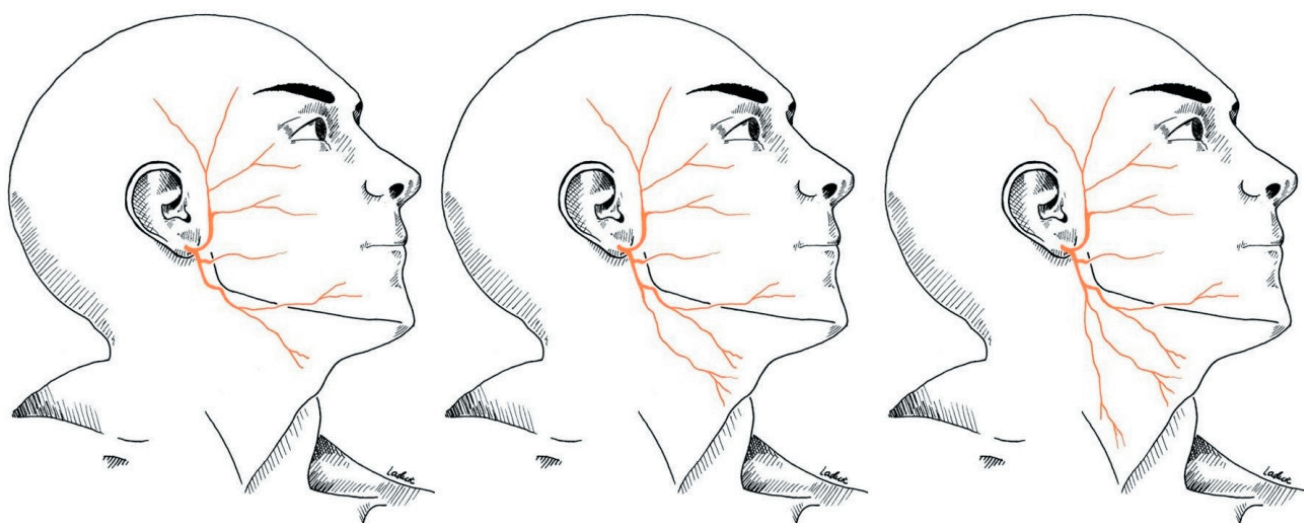


Figura 14. Variaciones en la ramificación del nervio facial. El nervio/s al músculo platysma puede ser transferido como donante motor al plexo braquial. (Modificado de: *Surgical Anatomy of the Platysma Motor Branch as a Donor for Transfer in Brachial Plexus Repair*. Socolovsky M, J Bertelli, Di Masi G, Campero A, Garategui L, H Conesa, M. *Surg Radiol Ghizoni Anat.* 2008 Nov; 30 (8) :669-74)

#### Técnica quirúrgica

El nervio hipogloso se expone mediante una incisión que comienza 2 cm posterior y 2 cm por debajo del gonion, y se extiende hacia distal en la región submaxilar. Después de seccionar el platysma, el vientre anterior del músculo digástrico se identifica fácilmente por detrás del músculo hioides. El músculo hipogloso se encuentra inferior a este músculo, y cerca de la arteria carótida y del tronco venoso tiro-lingual. El nervio en este nivel hace un giro hacia adelante en dirección a la lengua (Figura 13).

#### 7. Ramos del nervio facial

Recientemente, Bertelli describió una nueva técnica que emplea la rama del nervio facial al platysma para neurotizar un objetivo distal (nervio pectoral) usando un injerto interpuesto largo<sup>6</sup>. La sección de este nervio no supone un problema, aunque se debe tener cuidado de evitar lesiones a una rama importante al labio inferior, el nervio mandibular (Figura 14). Aunque a primera vista, este nervio pueda parecer demasiado delgado, podría ser suficiente para reinervar objetivos seleccionados como el nervio pectoral. Es necesario un injerto largo para alcanzar al nervio receptor. Los ensayos clínicos todavía deben realizarse, a fin de determinar la utilidad de este procedimiento.

#### Técnica quirúrgica

La rama motora del platysma debe ser diseccionada una distancia igual a un través de dedo distal al gonion. A este

nivel, el nervio se encuentra inmediatamente por debajo del músculo platysma, proximal a su rama terminal y a su anastomosis con el plexo cervical, y a una distancia media de 1,8 cm del ángulo de la mandíbula<sup>57</sup>.

#### Conclusiones

Cuando se confirma la avulsión de una o más raíces en una lesión del plexo braquial, las transferencias nerviosas son un buen método de reinervación distal. Las transferencias nerviosas extraplexuales son de segunda elección, si no existen nervios donantes intraplexuales disponibles.

El nervio accesorio espinal, el nervio frénico y los nervios intercostales ofrecen los mejores resultados entre las técnicas extraplexuales, según las series publicadas desde 1965 hasta el presente.

La abducción y la estabilización del hombro se consiguen con mayor probabilidad mediante la transferencia del nervio espinal accesorio que con la transferencia del nervio axilar.

La flexión del codo se recupera con una transferencia nerviosa del nervio frénico, espinal accesorio o de nervios intercostales. El mejor nervio receptor distal aún no está claro, siendo la división anterior del tronco superior (lo que implica un injerto más corto o directamente ninguno, pero un mayor riesgo de una excesiva pérdida de axones por disgregación de los mismos en diferentes dianas) u objetivos más distales como las ramas del nervio musculocutáneo al bíceps (es decir, menos disgregación de axones, pero un injerto mucho más largo).

Otras técnicas disponibles son más controvertidas,

como la transferencia de C7 contralateral. El nervio hipogloso no debería ser transferido para la reinervación del plexo braquial, debido a la falta de buenos resultados. El nervio platysma todavía ha de ser testado mediante ensayos clínicos.

La decisión respecto al uso de una cierta técnica u otra, depende aún todavía fuertemente de las preferencias del equipo quirúrgico, basado generalmente en las experiencias personales y la literatura existente. Es deseable que la indicación exacta de cada tipo de intervención sea aclarada en los próximos años.

## Bibliografía

1. Ali, Z., Meyer, R.A., Belzberg, A.J.: Neuropathic pain after C7 spinal nerve transection in man. *Pain* 2002; 96: 41-47.
2. Allieu, Y., Cenac, P.: Neurotization via the spinal accessory nerve in complete paralysis due to multiple avulsion injuries of the brachial plexus. *Clin Orthop Rel Res* 1988; 237: 67-74.
3. Alnot, J.Y.: Traumatic brachial plexus lesions in the adult: indications and results. *Microsurgery* 1995; 16: 22-29.
4. Beaulieu, J.Y., Blustajn, J., Teboul, F., et al.: Cerebral plasticity in crossed C7 grafts of the brachial plexus: an fMRI study. *Microsurgery* 2006; 26: 303-310.
5. Bertelli, J.A., Ghizoni, M.F.: Transfer of the accessory nerve to the suprascapular nerve in brachial plexus reconstruction. *J Hand Surg Am.* 2007; Sep 32: 989-998.
6. Bertelli, J.A.: Platysma motor branch transfer in brachial plexus repair: report of the first case. *J Brachial Plex Peripher Nerve Inj* 2007; 2: 2-12.
7. Brandt, K.E., Mackinnon, S.E.: A technique for maximizing biceps recovery in brachial plexus reconstruction. *J Hand Surg Am* 1993; 18: 726-733.
8. Brunelli, G., Monini, L.: Neurotization of avulsed roots of brachial plexus by means of anterior nerves of cervical plexus. *Clin Plastic Surg* 1984; 11: 149-152.
9. Chalidapong, P., Sananpanich, K., Kraissarin, J., Bumrongkit, C.: Pulmonary and biceps function after intercostal and phrenic nerve transfer for brachial plexus injuries. *J Hand Surg Br.* 2004 Feb; 29: 8-1.
10. Chuang, D.C.: Neurotization procedures for brachial plexus injuries. *Hand Clin* 1995; 11: 633-645.
11. Chuang, D.C., Cheng, S.L., Wei, F.C.: Clinical evaluation of C7 spinal nerve transection: 21 patients with at least 2 years' follow-up. *Br J Plast Surg* 1998; 51: 285-290.
12. Chuang, D.C., Lee, G.W., Hashem, F.: Restoration of shoulder abduction by nerve transfer in avulsed brachial plexus injury: evaluation of 99 patients with various nerve transfers. *Plast Reconstr Surg* 1995; 96: 122-128.
13. El-Gammal, T.A., Fathi, N.A.: Outcomes of surgical treatment of brachial plexus injuries using nerve grafting and nerve transfers. *J Reconstr Microsurg* 2002; 18: 7-15.
14. Ferraresi, S., Garozzo, D., Migliorini, V., Buffatti, P.: End-to side intrapetrous hypoglossal-facial anastomosis for reanimation of the face. *J Neurosurg* 2006; 104: 457-460.
15. Ferraresi, S., Garozzo, D., Ravenni, R., Dainese, R., De Grandis, D., Buffatti, P.: Hemihypoglossal nerve transfer in brachial plexus repair: technique and results. *Neurosurgery* 2002; 50: 332-335.
16. Friedman, A.: Neurotization of elements of the brachial plexus. *Neurosurg Clin N Am* 1991; 2: 165-74.
17. Friedman, A., Nunley, J., Goldner, R., Oakes, J., Goldner, L., Urbaniak, J.: Nerve transposition for the restoration of elbow flexion following brachial plexus avulsion injuries. *J Neurosurg* 1990; 72: 59-64.
18. Gu, Y., Chen, D.S., Zhang, G.M., et al.: Long-term functional results of contralateral C7 transfer. *J Reconstr Microsurg* 1998; 14: 57-59.
19. Gu, Y., Ma, M.: Use of frenic nerve for brachial plexus reconstruction. *Clin Orth and Rel Res* 1996; 323: 119-121.
20. Gu, Y., Wu, M., Zhen, Y., et al.: Phrenic nerve transfer for brachial plexus motor neurotization. *Microsurgery* 1989; 10: 287-289.
21. Gu, Y., Zhang, G., Chen, D., Yan, J., Cheng, X., Chen, L.: Seventh cervical root transfer from the contralateral healthy side for treatment of brachial plexus root avulsions. *J Hand Surg* 1992; 17B: 518-521.
22. Guan, S.B., Hou, C.L., Chen, D.S., Gu, Y.D.: Restoration of shoulder abduction by transfer of the spinal accessory nerve to suprascapular nerve through dorsal approach: a clinical study. *Chin Med J (Engl).* 2006 May 5; 119: 707-712.
23. Gutowski, K.A., Orenstein, H.H.: Restoration of elbow flexion after brachial plexus injury: the role of nerve and muscle transfers. *Plast Reconstr Surg* 2000; 106: 1348-1359.
24. Hattori, Y., Doi, K., Fuchigami, Y.: Experimental study on donor nerves for brachial plexus injury: comparison between the spinal accessory nerve and the intercostal nerve. *Plast Reconstr Surg* 1997; 100: 900-906.
25. Hattori, Y., Doi, K., Toh, S., Baliarsing, A.S.: Approach to the Spinal Accessory Nerve. *J Hand Surg* 2001; 26A: 1073-1076.
26. Hou, Z., Xu, Z.: Nerve transfer for treatment of brachial plexus injury: comparison study between the transfer of partial median and ulnar nerves and that of phrenic and spinal accessory nerves. *Chin J Traumatol* 2002; 5: 263-266.
27. Kawabata, H., Shibata, T., Matsui, Y., et al.: Use of intercostals nerves for neurotization of the musculocutaneous nerve in infants with birth-related brachial plexus palsy. *J Neurosurg* 2001; 94: 386-391.
28. Kawai, H., Kawabata, H., Masada, K., Ono, K., Yamamoto, K., Tsuyuguchi, T.: Nerve repairs for traumatic brachial plexus palsy with root avulsion. *Clin Orthop* 1988; 237: 75-86.
29. Kline, D.: Perspectives concerning brachial plexus

injury and repair. *Neurosurg Clin N Am* 1991; 2: 151-64.

30. Kline, D.: Bypass coaptation for cervical root avulsion. *Neurosurgery* 1996; 38: 1145-52 (comment).

31. Luedemann, W., Hamm, M., Blömer, U., Samii, M., Tatabigib, M.: Brachial plexus neurotization with donor frenic nerves and its effect on pulmonary function. *J Neurosurg* 2002; 96: 523-526.

32. Malessy, M., Bakker, D., Dekker, J., Gert, van Dijk, J., Thomeer, R.: Functional magnetic resonance imaging and control over the biceps muscle after intercostal-musculocutaneous nerve transfer. *J Neurosurg* 2003; 98: 261-268.

33. Malessy, M., Hoffman, C., Thomeer, R.: Initial report on the limited value of hypoglossal nerve transfer to treat brachial plexus root avulsions. *J Neurosurg.* 1999; 91: 601-604.

34. Malessy, M.J., de Ruitter, G.C., de Boer, K.S., Thomeer, R.T.: Evaluation of suprascapular nerve neurotization after nerve graft or transfer in the treatment of brachial plexus traction lesions. *J Neurosurg.* 2004 Sep; 101: 377-389.

35. Malessy, M.J., Thomeer, R.T.: Evaluation of intercostal to musculocutaneous nerve transfer in reconstructive brachial plexus surgery. *J Neurosurg.* 1998; 88: 266-271.

36. Martins, R., Socolovsky, M., Siqueira, M., Campero, A.: Hemihypoglossal-facial neurotization after mastoid dissection of the facial nerve: results in 24 patients and comparison with the classic technique. *Neurosurgery.* 2008 Aug; 63: 310-316.

37. McGillicuddy, J.E.: Clinical decision making in brachial plexus injuries. *Neurosurg Clin N Am* 1991; 2: 137-150.

38. McGuiness, C.N., Kay, S.P.: The prespinal route in contralateral C7 nerve root transfer for brachial plexus avulsion injuries. *J Hand Surg Br* 2002; 27: 159-160.

39. Merrell, G.A., Barrie, K., Katz, D.L., Wolfe, S.W.: Results of nerve transfer techniques for restoration of shoulder and elbow function in the context of a meta-analysis of the English literature. *J Hand Surg* 2001; 26A: 303-314.

40. Millesi, H.: Brachial plexus injuries. *Clin Plastic Surg* 1984; 11: 115-120.

41. Minami, M., Ishii, S.: Satisfactory elbow flexion in complete (preganglionic) brachial plexus injuries: produced by suture of third and fourth intercostal nerves to musculocutaneous nerve. *J Hand Surg Am* 1987; 12: 1114-1118.

42. Monreal, R.: Restoration of Elbow Flexion by Transfer of the Phrenic Nerve to Musculocutaneous Nerve after Brachial Plexus Injuries. *Hand* 2007; 2: 206-211.

43. Nagano, A., Yamamoto, S., Mikami, Y.: Intercostal nerve transfer to restore upper extremity functions after brachial plexus injury. *Ann Acad Med Singapore* 1995; 24: 42-45.

44. Narakas, A.O.: Thoughts on neurotization or nerve transfers for irreparable nerve lesions. *Clin Plastic Surg* 1984; 11: 153-159.

45. Narakas, A.O., Hentz, V.R.: Neurotization in brachial nerve plexus injuries. Indications and results. *Clin Orthop Rel*

*Res* 1988; 237: 43-56.

46. Oberlin, C., Durand, S., Belheyer, Z., Shafi, M., David, E., Asfazadourian, H.: Nerve transfers in brachial plexus palsy. *Chir Main* 2009; 29: 1-9.

47. Okinaga, S., Nagano, A.: Can vascularization improve the surgical outcome of the intercostal nerve transfer for traumatic brachial plexus palsy? A clinical comparison of vascularized and non-vascularized methods. *Microsurgery* 1999; 19: 176-180.

48. Pitty, L.F., Tator, C.H.: Hypoglossal-facial nerve anastomosis for facial nerve palsy following surgery for cerebellopontine angle tumors. *J Neurosurg* 1992; 77: 724-731.

49. Ruch, D., Friedman, A., Nunley, J.: The restoration of elbow flexion with intercostals nerve transfers. *Clin Orth Rel Res* 1995; 314: 95-103.

50. Samardzic, M., Grujicic, D., Antunovic, V.: Nerve transfer in brachial plexus traction injuries. *J Neurosurg* 1992; 76: 191-197.

51. Samii, A., Carvalho, G., Samii, M.: Brachial plexus injury: factors affecting functional outcome in spinal accessory nerve transfer for the restoration of elbow flexion. *J Neurosurg* 2003; 98: 307-312.

52. Samii, M., Matthies, C.: Indication, technique and results of facial nerve reconstruction. *Acta Neurochir (Wien)* 1994; 130: 125-139.

53. Sawamura, Y., Abe, H.: Hypoglossal-facial nerve side-to-end anastomosis for preservation of hypoglossal function: results of delayed treatment with a new technique. *J Neurosurg* 1997; 86: 203-206.

54. Sedel, L.: Repair of traction lesions of the brachial plexus. *Clin Orthop Rel Res* 1988; 237: 62-66.

55. Siqueira, M., Martins, R.: *Anatomia cirurgica das vias de acesso aos nervos periféricos*. Rio de Janeiro; Di libros editora, 2006.

56. Siqueira, M., Martins, R.: Phrenic nerve transfer in the restoration of elbow flexion in brachial plexus avulsion injuries: how safe is it? *Neurosurgery* 2009; 65: A125-A131.

57. Socolovsky, M.P., Bertelli, J.A., Masi, G.D., et al.: Surgical anatomy of the platysma motor branch as a donor for transfer in brachial plexus repair. *Surg Radiol Anat.* 2008; 30: 669-674.

58. Songchaoren, P.: Management of brachial plexus injury in adults. *Scand J Surg* 2008; 97: 317-323.

59. Songchaoren, P., Mahaisavariya, B., Chotigavanich, C.H.: Spinal accessory neurotization for restoration of elbow flexion in avulsion injuries of the brachial plexus. *J Hand Surg* 1996; 21A: 387-390.

60. Songchaoren, P., Wongtragul, S., Mahaisavariya, B.: Hemi-cotrateral C7 transfer to median nerve in the treatment of root avulsion brachial plexus injury. *J Hand Surg* 2001; 26A: 1058-1064.

61. Terzis, J.K., Papakonstantinou, K.C.: The surgical treatment of brachial plexus injuries in adults. *Plast Reconstr*

Surg 2000; 106: 1097-1124.

62. Terzis, J., Vekris, M., Souracos, P.: Outcomes of brachial plexus reconstruction in 204 patients with devastating paralysis. *Plastic Rec Surg* 1999; 104: 1221-1240.

63. Tsuyama, N., Hara, T.: Reconstructive surgery for traumatic braquial plexus injuries. *Clin Orthop Surg* 1968; 3: 675-687.

64. Tuttle, H.K.: Exposure of the brachial plexus with nerve transplantation. *JAMA* 1913; 61: 1515-1517.

65. Viterbo, F., Franciosi, L.F., Palhares, A.: Nerve graftings and endto-side neurorrhaphies connecting the phrenic nerve to the brachial plexus. *Plast Reconstr Surg* 1995; 96: 494-495.

66. Wahegaonkar, A.L., Doi, K., Hattori, Y., Addosooki, A.I.: Techniques in Hand and Upper Extremity Surgery 2007; 11: 184-194.

67. Waikakul, S., Orapin, S., Vanadurongwan, V.: Clinical results of contralateral C7 root neurotization to the median nerve in brachial plexus injuries with total root avulsions. *J Hand Surg Br* 1999; 24: 556-560.

68. Waikanul, S., Wongtragul, S., Vanadurongwan, V.: Restoration of elbow flexion in brachial plexus avulsion injury: Comparing spinal accessory nerve with intercostals

nerve transfer. *J Hand Surg* 1999; 24A: 571-577.

69. Xu, L., Gu, Y., Xu, J., Lin, S., Chen, L., Lu, J.: Contralateral c7 transfer via the prespinal and retropharyngeal route to repair brachial plexus root avulsion: a preliminary report. *Neurosurgery* 2008; 63: 553-559.

70. Xu, W.D., Lu, J.Z., Qiu, Y.Q., et al.: Hand prehension recovery after brachial plexus avulsion injury by performing a full-length phrenic nerve transfer via endoscopic thoracic surgery. *J Neurosurg.* 2008 Jun; 108: 1215-1219.

71. Yamada, S., Lonser, R., Iacono, R.P., Morenski, J.D., Bailey, L.: Bypass coaptation procedures for cervical root avulsion. *Neurosurgery* 1996; 38: 1145-1152.

---

Robla-Costales, J.; Socolovsky, M.; Di Masi, G.; Domitrovic, L.; Campero, A.; Fernández-Fernández, J.; Ibáñez-Plágaro, J.; García-Cosamalón, J.: Técnicas de reconstrucción nerviosa en cirugía del plexo braquial traumatizado. Parte 1: Transferencias nerviosas extraplexuales. *Neurocirugía* 2011; 22: 507-520.

---

*Correspondencia:* Javier Robla Costales. Servicio de Neurocirugía. Hospital de León. C/ Altos de la Nava s/n. 24701 León. España.