Técnicas de reconstrucción nerviosa en cirugía del plexo braquial traumatizado

Parte 2: Transferencias nerviosas intraplexuales

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

Servicios de Neurocirugía y Cirugía plástica**. 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 '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 una primera entrega se analizaron las transferencias nerviosas extraplexuales; este trabajo viene a complementar al anterior revisando las transferencias intraplexuales, y así completando el análisis de las transferencias nerviosas disponibles en la cirugía del plexo braquial.

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

Nerve Reconstruction Techniques in Traumatic Brachial Plexus Surgery. Part 2: Intraplexal 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, extraplexual 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, extraplexual 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 a previous paper extraplexual nerve transfers were analyzed; this literature review complements the preceding paper analyzing intraplexual nerve transfers, and thus completing the analysis of the nerve transfers available in brachial plexus surgery.

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

Introducción

Los pioneros como Algimatas 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 innovaciones 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 cer-

vicales 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. En las lesiones completas del plexo braquial, especialmente en los casos de avulsión completa de todas las raíces, las neurotizaciones extraplexuales son la única forma disponible para disminuir el gravísimo déficit que presentan estos infortunados pacientes. 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. Las transferencias intraplexuales más empleadas en la actualidad son la del fascículo extrínseco del nervio cubital (llamada técnica de Oberlin I), los fascículos cubital y mediano asociados (llamada técnica de Oberlin II), el ramo motor a la cabeza larga del tríceps, ramo a su vez del nervio radial, la raíz C7 ipsilateral, el nervio pectoral medial, y el fascículo motor extrínseco del nervio mediano. En este trabajo de revisión se describen estas técnicas además de otras menos frecuentemente utilizadas, así como sus indicaciones y resultados, fruto de un análisis exhaustivo de los trabajos publicados en la literatura en lengua inglesa durante las dos últimas décadas^{1,5,10,13,14,17,19,22,30,32, 33,36,38}.

Transferencias nerviosas intraplexuales disponibles en la cirugía de plexo braquial

Neurotización con el nervio cubital

Desde el trabajo original de Oberlin *et al.*²⁹, que reporta 4 casos de reinervación exitosa del bíceps utilizando algunos fascículos del cubital (fascículos para el músculo flexor *carpi ulnaris*), se generó un gran interés por el tratamiento de las lesiones de las raíces superiores (C5, C6 y C7) mediante esta técnica, denominada técnica de Oberlin I.

Esencialmente, si el paciente presenta la mencionada afectación, que se expresa como falta de fuerza en hombro y bíceps, con conservación de la función de antebrazo y mano (síndrome de Duchenne-Erb), este procedimiento se basa en la preservación funcional completa del nervio cubital, que actúa como dador de axones. La preservación funcional del nervio cubital está demostrada por múltiples estudios que describen una morbilidad mínima cuando se secciona aproximadamente un 20% del nervio, correspondiente con los fascículos para el músculo flexor *carpi ulnaris*^{2,20,25,30,38}. Cuando la sección del nervio cubital se

Figura 1. Técnica de Oberlin I: Transferencia nerviosa de fascículos del nervio cubital al ramo motor del nervio musculocutáneo para el músculo bíceps.

realiza adyacente a la rama del musculocutáneo que inerva al bíceps es fácil realizar la neurotización sin necesidad de injerto interpuesto.

Leechavengvongs *et al.*, en 1998, estudiaron 32 pacientes en los que se efectuó dicho procedimiento, asociado a neurotización simultánea del nervio espinal (XI par) con el nervio supraescapular. El objetivo final fue la reinervación de los músculos bíceps y supraespinoso, logrando movilización activa de hombro y codo. Los resultados conseguidos por este grupo fueron muy esperanzadores, obteniendo buenos resultados en 30 de los 32 casos operados, un 93%. Los autores encontraron que la sección de uno o dos fascículos del nervio cubital no se acompaña de alteraciones importantes en la movilidad de la mano, siendo los trastornos leves y transitorios¹⁶.

La serie más grande publicada hasta la fecha es la de Sungpet *et al.* en el año 2000, utilizando un único fascículo

del nervio cubital a la rama motora para el bíceps. Sus resultados fueron satisfactorios en 34 de los 36 pacientes con una fuerza $\geq$ M3 (M4 en 30 pacientes) en la escala del Medical Research Council (MRC). Sungpet *et al.*, también destacan el inicio precoz de la reinervación del bíceps, a los 3,3 meses de la cirugía y la ausencia de deterioro de la función del nervio cubital y de la mano en el seguimiento a largo tiempo. De los 36 pacientes, en 25 su lesión consistía en una avulsión de las raíces C5 y C6 mientras que los 11 restantes presentaban una avulsión de C5, C6 y C7. Tras analizar estos dos grupos de forma independiente observaron que los resultados eran mejores en el primer grupo a pesar de utilizar la misma técnica en todos los pacientes, y los dos pacientes en los que la reinervación falló eran pacientes con lesión de C5 a C7. Sungpet *et al.*, afirman que transfiriendo un solo fascículo sus resultados son similares a los de las series que transfieren uno o dos fascículos³⁵.

Tung *et al.*, en el año 2003, publicaron una serie de 8 pacientes en los que se realizó el procedimiento descrito por Oberlin, asociado a la transferencia de otro nervio a la rama del musculocutáneo que se dirige al músculo braquial anterior. En 5 de los 8 pacientes, la neurotización del músculo braquial anterior se realizó mediante el nervio pectoral medial y el uso de injerto interpuesto; en los 3 casos restantes se utilizó como donante el nervio toracodorsal, una rama del nervio radial para el tríceps y los nervios intercostales, respectivamente. Con ello se buscó la reinervación simultánea de dos músculos sinergistas de la flexión del codo. Se reporta un resultado positivo en el 100% de los casos, sin morbilidad asociada al nervio cubital parcialmente seccionado. El mínimo de fuerza conseguida en la evaluación final, más de dos años después de haber realizado la cirugía, era al menos de grado 4 en la escala MRC, y en los estudios electromiográficos se comprobó actividad presente en ambos músculos³⁸. Otras series de casos similares, las cuales se analizarán más adelante, respaldan estos resultados obtenidos con la técnica denominada de Oberlin II^{20,25}.

Por tanto, la transferencia de esos fascículos para reinervar simultáneamente al bíceps y al braquial anterior produce una flexión del codo altamente efectiva, muy superior a la obtenida mediante la reinervación aislada del bíceps, siendo hasta el momento la técnica de mayor tasa de éxito publicada en la literatura. Sin embargo, algunos autores abogan por realizar primariamente la técnica de Oberlin I en lesiones altas del plexo, sin complementarla con la neurotización de la rama para el braquial anterior. Estos autores argumentan que en estos casos de lesiones altas del plexo en los que se les realiza una reconstrucción temprana (menos de 6 meses) obtienen tasas de éxito muy altas para la recuperación de la flexión del codo, y prefieren reservar la neurotización del braquial anterior para fortalecer la flexión del codo en los casos de larga evolución de la lesión en el momento de la cirugía o en los casos en que el nervio cubital estuviera inicialmente lesionado tras el trauma, en cuyo caso pudiera fracasar o ser parcialmente eficaz la transferencia al músculo bíceps^{18,24}.

La utilización de fascículos del nervio cubital para transferirlos al musculocutáneo ha demostrado ser una técnica eficaz y es la más extendida en la actualidad para la reinervación del bíceps. Un inconveniente de esta técnica es que existe el riesgo potencial de que la sección de los fascículos destinados al flexor *carpi ulnaris* produzca una debilidad tal en este músculo que no permita, en un segundo tiempo, realizar una transposición muscular del grupo pronador/flexor para aumentar la fuerza para la flexión del codo o una transferencia tendinosa del flexor *carpi ulnaris* para recuperar la extensión de la muñeca y los dedos^{2,18,29,30,32,35,38}. De hecho, Bertelli y Ghizoni, preservan siempre el fascículo para el flexor *carpi ulnaris* para evitar

el riesgo de denervar al músculo en vistas a futuras transposiciones complementarias. Estos autores han utilizado fascículos del nervio cubital que inervan la musculatura intrínseca de la mano y flexores de los dedos sin objetivar pérdida de fuerza en la mano³.

Técnica quirúrgica

Para realizar la llamada técnica de Oberlin I, el paciente se posiciona en decúbito supino, con el brazo afecto extendido y rotado externamente. Se realiza una incisión longitudinal en la región anteromedial del brazo, entre los músculos bíceps y tríceps, comenzando 10 cm distal al pliegue axilar anterior y extendiéndose caudalmente 10 cm.

Tras la apertura de la fascia, se disecciona el músculo bíceps del coracobraquial y se identifica la rama motora para el bíceps. Habitualmente se encuentra una única rama que inerva conjuntamente a la cabeza corta y larga del bíceps, pero está descrita la presencia de 2 ramas independientes. Cuando esto sucede se realiza una disección intraneural del nervio musculocutáneo para seccionar los fascículos destinados al bíceps proximalmente a la división del tronco común hacia el bíceps en las dos ramas. En la mayoría de los casos en los que hay una sola rama, se acompaña proximalmente a ésta hasta su entrada en el nervio musculocutáneo y se secciona.

Posteriormente se aborda el nervio cubital a nivel de la salida de la rama para el bíceps a partir del tronco del nervio musculocutáneo. Con la ayuda del microscopio quirúrgico se realiza una epineurotomía en la región anterolateral del nervio cubital, y mediante estimulación directa del nervio se localizan e individualizan el/los fascículo/s que predominantemente dan inervación a los flexores de la muñeca o a los flexores extrínsecos de los dedos. Una vez identificados, dependiendo del tamaño de la rama motora para el bíceps se seccionan uno o dos fascículos para que los cabos proximal y distal de la anastomosis sean aproximadamente de una sección transversa similar. Previamente, los fascículos seleccionados han de disecarse unos 2 cm distalmente y seccionarlos en ese punto, para poder transferirlos lateralmente y suturarlos a la rama motora para el bíceps. Esta sutura generalmente no tiene tensión y no precisa injerto interpuesto.

Neurotización con la raíz C7 ipsilateral

Debido al gran número de axones dadores disponibles, la raíz C7 (tronco medio), parcialmente o en su totalidad, puede ser considerada para realizar múltiples reinervaciones intraplexuales.

En la literatura en lengua inglesa está descrito que se pueden obtener muy buenos resultados para la reinervación

de varios nervios donantes, y, en teoría, con baja morbilidad asociada^{14,24,34}. Pero si esta raíz C7 no está lesionada su uso puede redundar en una pérdida significativa de la funcionalidad de la extremidad afecta. Es por eso que se prefiere su uso en los casos en que las raíces C5 y C6 están avulsionadas y el tronco medio está seccionado distalmente con una raíz C7 respetada. Cuando la raíz C7 y el tronco medio no están lesionados es probablemente más adecuado el uso de ramas nerviosas del tronco posterior como el nervio toracodorsal o de neurotizaciones extraplexuales (nervio espinal accesorio o nervios intercostales) como donantes para el nervio musculocutáneo^{10,24,43}.

Gu *et al.*, en el año 2003, aplicaron la transferencia de la raíz C7 ipsilateral en 4 pacientes con lesión del plexo braquial consistente en una avulsión de las raíces C5 y C6. En todos los pacientes se neurotizaron la división anterior y posterior del tronco superior con las respectivas divisiones anterior y posterior del tronco medio (raíz C7). A dos de estos pacientes además se les realizó complementariamente una transferencia del nervio espinal accesorio al nervio supraescapular. Tras un seguimiento de 2 años, todos los pacientes presentaron una fuerza grado 4 de la escala MRC para la flexión del codo. Los dos pacientes a los que además se les reinervó el nervio supraescapular consiguieron una abducción del hombro $\geq 90^\circ$, mientras que los otros dos solo alcanzaron una abducción entre 15-45°. Aunque todos los pacientes presentaron una pérdida de fuerza de los músculos más significativos dependientes de la raíz C7 (dorsal ancho, tríceps, extensor común de los dedos) de un grado en la escala MRC a las 2 semanas de la intervención, estos músculos recuperaron su fuerza normal a los 4-6 meses^{10,34}.

Neurotización con el nervio pectoral medial

Los nervios pectorales son nervios motores puros con un abundante número de axones disponibles. El nervio pectoral medial es utilizado por lo general para reinervar al nervio musculocutáneo, aunque también se ha utilizado para reinervar otros nervios como el torácico largo, nervio axilar, supraescapular o al nervio espinal accesorio^{5,8,24,26,31,38}.

En 1920, Vulpius y Stoffel publican por primera vez la neurotización de los nervios musculocutáneo y axilar utilizando los nervios pectoral medial y lateral para este fin. Foerster, durante la primera Guerra mundial, describe la reinervación del nervio musculocutáneo con el nervio pectoral medial, así como con otros nervios como el nervio toracodorsal y el nervio torácico largo^{31,43}. Durante muchos años quedó apartado el uso esta transferencia nerviosa del nervio pectoral medial para restaurar la flexión del codo y fue considerada una técnica de escasa aplicabilidad por grandes cirujanos como Gilbert y Narakas²⁴. Es en las últi-

mas dos décadas cuando esta transferencia se ha vuelto a popularizar^{5,8,31}.

Samardzic *et al.* en el año 2002 publican una serie de 25 casos de transferencia del nervio pectoral medial, 14 al nervio musculocutáneo y 11 para reinervar al nervio axilar. De los 14 pacientes a los que se realizó la transferencia para recuperar la flexión del codo, en 10 de ellos se utilizó únicamente el nervio pectoral medial y en los 4 restantes se complementó esta transferencia con la de otro nervio (nervio espinal accesorio o nervios intercostales). El análisis concluyó que el resultado fue bueno (grado M ≥ 4 de la escala MRC) en 6 de los 10 pacientes en el primer grupo y en 3 de los 4 pacientes en el segundo grupo³¹. También se obtuvo un resultado satisfactorio para la recuperación funcional del deltoides en 9 de los 11 pacientes a los que se les reinervó el nervio axilar^{8,31}. Estos resultados son respaldados por los resultados publicados por Brandt y Mackinnon, los cuales realizan esta transferencia modificada, añadiendo la transposición proximal del nervio antebraquial cutáneo lateral (rama sensitiva del nervio musculocutáneo) y anastomosándolo cerca de la salida de la rama para el bíceps evitando de esta manera la pérdida de axones motores en la distribución sensitiva cutánea^{5,12}.

De forma global, se estima que con esta transferencia se obtiene una recuperación funcional de la flexión del codo y del deltoides en aproximadamente el 80-85% de los casos, y varios autores afirman que esta técnica reporta resultados significativamente mejores para la flexión del codo que la transferencia de los nervios intercostales y espinal accesorio^{12,24,31}.

A partir del creciente interés por el uso de este nervio voluntario como donante, la anatomía de los nervios pectorales ha sido estudiada y definida con mayor claridad. El concepto tradicional de dos nervios independientes, medial y lateral, ha sido sustituido por los estudios anatómicos rigurosos llevados a cabo. Estos dos nervios tienen una gran variabilidad anatómica, y con frecuencia presentan múltiples ramificaciones y entrecruzamientos. No pocas veces se forma a partir de la fusión de ramas de estos nervios destinadas al músculo pectoral mayor un plexo del cual emergen los nervios definitivos^{12,24}.

Los pacientes con una lesión relevante de la raíces C7 y C8 tendrán un músculo pectoral mayor bastante débil; se debe realizar una exploración física meticulosa porque este hallazgo contraindica la transferencia del nervio pectoral medial. Los pacientes con lesión del plexo braquial en los cuales las raíces C8 y T1, y por tanto el tronco inferior, están respetados, tienen un nervio pectoral medial preservado. El nervio pectoral medial inerva al músculo pectoral menor y a la cabeza esternal del músculo pectoral mayor. Su uso como nervio donante produce una mínima pérdida funcional ya que para realizar la neurotización solo se suelen precisar una (se puede utilizar la técnica de sutura “en boca

Figura 2. Neurotización del nervio musculocutáneo mediante el nervio pectoral medial.

de pez” para igualar el calibre del cabo proximal al distal) o dos ramas y que se seccionan distalmente respetándose así alguna rama proximal, por lo que en la práctica habitual siempre persiste inervación de los músculos pectorales en mayor o menor medida. Salvo que se planea en el tratamiento global del paciente una transferencia tendinosa de pectoral mayor y menor para mejorar la flexión del codo, esta transferencia no produce déficits significativos de la función del nervio donante. A parte, el músculo dorsal ancho es un músculo sinergista de los músculos pectorales y puede compensar algún tipo de déficit para la aducción del hombro y la rotación interna del brazo^{5,8,12,24,31,43}.

Técnica quirúrgica

Desde el punto de vista quirúrgico, aunque exige una disección laboriosa, este nervio es relativamente fácil de aislar comparado con la transferencia de los nervios

intercostales para la neurotización del nervio musculocutáneo. Aunque está compuesto de ramas cortas y pequeñas, su localización suele permitir realizar una coaptación directa de las ramas del nervio pectoral con los fascículos del nervio musculocutáneo en la axila^{12,14,24,31,32,37,43}. Si se utiliza para neurotizar específicamente la rama motora del nervio musculocutáneo para el músculo braquial anterior entonces sí será preciso el uso de un injerto interpuesto^{31,38}.

Neurotización mediante las ramas motoras del nervio radial

Merrell *et al.*, en el año 2001, realizan un meta-análisis de 1.088 transferencias nerviosas. Los resultados de este trabajo concluyen que la recuperación de la función del hombro es claramente superior cuando se reinervan conjuntamente el nervio supraescapular y el nervio axilar

Figura 3. Neurotización del nervio axilar mediante una rama motora del nervio radial para el músculo tríceps.

que la reinervación de un único nervio²³. Bertelli y Ghizoni sugieren además que la transferencia de una rama del nervio radial al nervio axilar no solo mejora la función del hombro para la abducción, sino que también incrementa el grado de recuperación de la rotación externa del brazo³.

Las ramas motoras del nervio radial, ya sea la rama motora para el vientre largo del tríceps o la rama motora para el vientre lateral del tríceps, por su localización anatómica, pueden ser coaptadas sin necesidad de injerto nervioso con el nervio axilar. Esta técnica ha sido utilizada con éxito por numerosos autores^{2,4,17,23-25,41,43}. Recientemente se está utilizando también la rama para la cabeza medial del tríceps para reinervar el nervio axilar³⁷.

Leechavengvongs *et al.*, y Witoonchart *et al.*, describen por primera vez la transferencia de la rama motora para la cabeza larga del nervio radial al ramo anterior del nervio axilar mediante un abordaje posterior en el año 2003, publicando un estudio anatómico y posteriormente una

serie de 7 casos presentando sus resultados^{17,41}. Las tasas de éxito de reinervación del músculo deltoides descritas previamente a la aparición de estos 2 artículos eran bajas. Un factor importante en el fallo de la neurotización del nervio axilar era el tipo de abordaje utilizado; el abordaje anterior obligaba a la neurotización del nervio axilar en su parte proximal, con la consecuente reducción y pérdida de axones para reinervar al deltoides^{17,18,41,44}. De los 7 pacientes a los que se les reinervó simultáneamente el nervio supraescapular y el nervio axilar, todos alcanzaron al menos una fuerza grado M4 de la escala MRC para la función del músculo deltoides, con un rango de abducción entre 70° y 160°. Además, también en todos los pacientes, se resolvió la subluxación glenohumeral y no se advirtieron déficits significativos del tríceps¹⁷.

Bertelli y Ghizoni presentan en el año 2004 una serie de 10 casos en los que realizan una transferencia de la rama para la cabeza larga o lateral del tríceps al nervio axilar,

también a través de un abordaje posterior, reinervando al nervio supraescapular. Bertelli y Ghizoni realizan una modificación a la técnica original de Leechavengvongs *et al.*; realizan la transferencia de una rama del tríceps al nervio axilar proximalmente a la salida de la rama para el músculo redondo menor, en vez de a la división anterior del nervio axilar. El estudio reporta una abducción del hombro grado 4 en 3 pacientes y en el resto de los pacientes un grado 3 de la escala de Narakas. El rango de abducción del brazo que se logró fue entre 65° y 120°. El autor no encontró diferencias significativas en la abducción del hombro entre el uso de la rama para la cabeza larga y de la cabeza lateral².

La mejor indicación para esta transferencia nerviosa es en los pacientes con lesiones de plexo limitadas a las raíces C5 y C6 o, lo que es lo mismo, del tronco superior. Si C7 o el tronco medio está también lesionado, es importante confirmar mediante estimulación intraoperatoria la funcionalidad de la rama para el tríceps seleccionada antes de seccionarla para neurotizarse al nervio radial². Una ventaja que presenta esta transferencia intraplexual respecto a otras intraplexuales utilizadas para reinervar el nervio axilar es que la actividad motora de las ramas del tríceps es sinérgica a la abducción y rotación externa del hombro, a diferencia del resto de los nervios utilizados, facilitando la rehabilitación postoperatoria^{2,3,4}. Esta neurotización también se utiliza y está indicada en los casos de lesión monorradicular del nervio axilar tras la luxación traumática del hombro y lesiones iatrogénicas en la cirugía de hombro.

En la mayoría de los casos, el ramo motor del nervio radial para la cabeza larga del tríceps suele ser el preferido antes que el ramo a la cabeza lateral para transferirlo al nervio axilar ya que está más cerca de este nervio y es más sencillo afrontarlo a nivel de su salida del espacio cuadrilátero¹⁷. Además, habitualmente, la cabeza larga del tríceps tiene menos potencia extensora del codo que la cabeza lateral, por lo que la sección del ramo motor para la cabeza larga del tríceps produce una pérdida de fuerza menor para la extensión del codo^{17,41,43}.

Obviamente, el principal inconveniente de esta neurotización es un cierto grado de pérdida de fuerza del tríceps, que puede ser significativa en la funcionalidad global de la extremidad superior afecta.

Técnica quirúrgica

Con el paciente en decúbito supino, en una posición estándar para la cirugía de plexo braquial, y con el hombro y el brazo rotados anteriormente, se realiza una incisión en la cara posterior del brazo siguiendo el borde posterior del músculo deltoides.

Ya que el músculo deltoides suele estar atrofico, su borde posterior puede rotarse anteriormente sin necesidad

de desinsertarlo. Se continúa el abordaje a través del plano de clivaje entre las cabezas larga y lateral del tríceps, para exponer los espacios triangular y cuadrilátero. Se ha de identificar el nervio radial en el espacio triangular y el nervio axilar en el espacio cuadrilátero. Cuando el nervio axilar pasa a través del espacio cuadrilátero da una rama para el músculo redondo menor, y posteriormente se divide en 2 grupos de ramas: de 1 a 3 anteriores y una posterior. La/s rama/s anteriores han de ser identificadas y seccionadas lo más proximalmente posible. Posteriormente se debe identificar la rama del nervio radial para la cabeza larga del tríceps, que es su primera rama motora, y que generalmente se identifica 1 cm proximal al borde inferior del músculo redondo mayor. Se debe intentar seccionarla lo más distalmente posible antes de entrar en la cabeza larga del bíceps. Finalmente se coaptan los cabos según la técnica habitualmente utilizada¹⁷.

Neurotización con el nervio mediano

La neurotización del nervio musculocutáneo mediante una transferencia nerviosa del nervio mediano nace de un enfoque conceptual similar a la técnica llamada Oberlin I. Varios autores abogan por esta técnica en vez del uso del nervio cubital según la descripción original de Oberlin *et al.*^{9,25,35,36}.

Se denomina técnica de Oberlin II a la transferencia del fascículo del nervio cubital al ramo motor del musculocutáneo al bíceps, asociado con el uso del fascículo motor extrínseco del mediano para neurotizarse el ramo para el músculo braquial anterior, sinergista del bíceps y también ramo del musculocutáneo.

El nervio mediano recibe parte de sus axones de las raíces cervicales superiores, es por tanto que en los casos de lesión de las raíces C5, C6, y C7, en los que se indican las técnicas de Oberlin I y II, el nervio mediano es, al menos, parcialmente disfuncionante. Es por ello que el riesgo de producir un déficit inaceptable de la función del nervio mediano al seccionarlo parcialmente es superior a los riesgos derivados de la técnica alternativa utilizando un fascículo del nervio cubital^{9,35}.

Sungpet *et al.*, en el año 2003 describen el uso de un único fascículo del nervio mediano, el cual principalmente inerva al músculo flexor *carpi radialis* o al *palmaris longus*, transfiriéndolo a la rama motora del musculocutáneo para el bíceps. Con esta técnica, los autores obtienen buenos resultados, con una fuerza M4 o superior en la escala MRC para la flexión del codo en 4 de los 5 pacientes^{13,24,35,36}. Nath y Mackinnon también han abogado por el uso de parte del nervio mediano para transferirlo a la rama motora del musculocutáneo para el bíceps o para el braquial, conjuntamente con la transferencia del fascículo para el flexor *carpi ulnaris* del nervio cubital al bíceps o al braquial. En el año

Figura 4. Se denomina técnica de Oberlin II a la transferencia del fascículo del nervio cubital al ramo motor del nervio musculocutáneo al bíceps, asociado con el uso del fascículo motor extrínseco del mediano para neurotizarse el ramo para el músculo braquial anterior, sinergista del bíceps y también ramo del nervio musculocutáneo.

En 2000 estos autores publicaron los resultados de una serie de 22 pacientes a los que se les realizó una neurotización de la rama para el bíceps del nervio musculocutáneo mediante transferencia de fascículos del nervio mediano. De los 22 pacientes, 20 presentaban una fuerza $\geq$ M4 en la escala MRC a los 18 meses tras la cirugía, sin déficits asociados a la sección del nervio donante.

Nath y Mackinnon han defendido el uso del nervio mediano en vez del cubital argumentando que la transferencia del nervio cubital es técnicamente más compleja, ya que se precisa transponer este nervio una distancia mayor que el nervio mediano para alcanzar a la rama motora para el bíceps. Sungpet, por su parte, destaca la importancia de tener una mano funcionalmente íntegra en las lesiones altas del plexo braquial, y afirma que el riesgo de un déficit motor en la mano es mayor tras la sección de un fascículo

del nervio cubital que si se utiliza el nervio mediano para el mismo fin. Una situación en la que también se aboga por el uso del nervio mediano para realizar esta transferencia nerviosa mencionada es cuando un paciente con lesión del plexo braquial inicialmente presentaba un déficit atribuible al nervio cubital lesionado; en este caso está descrito cómo estos pacientes suelen tener una organización interna del nervio desestructurada, por lo que es difícil individualizar los fascículos y evaluar su función^{25,35}.

Técnica quirúrgica

Para la neurotización de la rama motora del nervio musculocutáneo mediante una transferencia parcial del nervio mediano la técnica quirúrgica es similar a la técnica llamada Oberlin I.

Con el brazo extendido y en rotación externa, se prepara un campo quirúrgico adecuado para exponer la cara medial del brazo. Se realiza una incisión longitudinal a lo largo del hiato entre los músculos bíceps y tríceps en el tercio medio del brazo. Mediante retractores se separan estos músculos exponiendo las estructuras neurovasculares del brazo.

La identificación del nervio mediano es sencilla, es el nervio de mayor tamaño superficial en el brazo. Posteriormente se identifica el nervio musculocutáneo, que se encuentra inmediatamente en profundidad al nervio mediano, generalmente embebido por las fibras del músculo bíceps y adyacente a una banda tendinosa. La rama motora para el bíceps del nervio musculocutáneo se debe identificar en el lugar donde se desprende de dicho nervio. Su salida se produce aproximadamente a la mitad de la longitud del músculo bíceps, y se ramifica lateralmente desde el tronco del nervio musculocutáneo. El/Los fascículo/s donantes del nervio mediano son seleccionados por medio de neulolisis interna y estimulación directa de los fascículos. Generalmente se eligen para transferir los fascículos que proveen inervación para la flexión de la muñeca. Los fascículos elegidos se transponen hacia la rama motora del musculocutáneo para el bíceps, la cual se secciona proximalmente. En la literatura está descrito que se debe transferir aproximadamente un 15% de la sección transversa del nervio mediano, aunque generalmente, la sección transversa de un fascículo del nervio mediano suele ser similar a la de la rama que inerva a las cabezas del bíceps.

Neurotización con el nervio toracodorsal

La transferencia del nervio toracodorsal para reinervar al musculocutáneo, y así restaurar la flexión del codo, ha sido usada con éxito por varios autores^{28,31,37,39}. Esta transferencia no se suele recomendar como primera opción y se reserva para los casos en que tanto el nervio cubital como el mediano no están disponibles, pero cuando se utiliza sus resultados son confiables.

Samardzic *et al.*, en el año 1999, publicaron una serie de 27 transferencias del nervio toracodorsal, 12 de ellas al nervio musculocutáneo. En 8 de estos 12 pacientes, el nervio toracodorsal fue utilizado aisladamente para la restauración de la flexión del codo, y 7 de ellos obtuvieron un resultado excelente, con una fuerza al menos grado 4 en la escala MRC³². Como conclusión los autores afirman que la recuperación de la flexión del codo obtenida con la transferencia tanto del nervio toracodorsal como del nervio pectoral medial es claramente superior a la obtenida con el uso de los nervios intercostales para este fin.

Novak *et al.*, publican una serie de 6 pacientes en el 2002 en la cual utilizaron el nervio toracodorsal para reinervar conjuntamente a los músculos bíceps y braquial

anterior. De los 6 pacientes, uno de ellos alcanzó un grado 5 en la escala MRC para la flexión del codo, 4 de ellos un grado 4 y otro paciente un grado 2²⁸.

Este nervio también ha sido usado para reinervar al nervio axilar y al nervio torácico largo, entre otros^{23,26,31,32}. El uso de este nervio resulta atractivo por ser fácilmente identificable y por tener una longitud tal que permite movilizarlo a dianas distantes para reinervarlas. Leechaven-gvongs *et al.*, en el año 2009, publican una serie de 5 casos con lesión de las raíces C5 y C6, presentando una pérdida de la abducción del hombro y una escápula alada. En estos pacientes se reinervó el músculo serrato mayor mediante la transferencia de una rama del nervio toracodorsal al nervio torácico largo, y simultáneamente también los nervios supraescapular y axilar. Todos los pacientes recuperaron la función del músculo serrato mayor, 4 de los 5 pacientes con un resultado bueno o excelente. En 2 de los pacientes se corrigió la escápula alada mientras que los 3 restantes presentaban una alteración leve de la estática de la escápula con los movimientos del hombro. Estos autores recomiendan esta transferencia en los casos de escápula alada para estabilizarla y así obtener una óptima función del hombro³⁹. Novak y Mackinnon, en el 2002, publican un caso de parálisis idiopática del nervio torácico largo que trataron con la transferencia de la rama medial del nervio toracodorsal al nervio torácico largo. En la evaluación del paciente a los 7 años, presentaba una movilidad del hombro normal y una corrección completa de la escápula alada²⁶.

Sin embargo, en pacientes con afectación de la raíz C7, del tronco medio, o del tronco posterior, este nervio puede estar dañado de forma significativa y por tanto ofrecer un menor número de axones motores. Así pues, en el caso de seleccionarlo como nervio donante ha de confirmarse intraoperatoriamente mediante estimulación directa del nervio que la fuerza del dorsal ancho está conservada. Se debe tener en cuenta cuando se valora usar el nervio toracodorsal para reinervar el nervio musculocutáneo que su uso impedirá, en un segundo tiempo, realizar una transferencia tendinosa del dorsal ancho para ganar rotación externa del brazo o flexión/extensión del codo^{28,43}.

Técnica quirúrgica

Desde el punto de vista quirúrgico, para reinervar al nervio musculocutáneo, el nervio toracodorsal se ha de identificar mediante un abordaje infraclavicular al plexo braquial. Mediante una incisión cutánea en el borde inferolateral del músculo dorsal ancho se identifica y disea el nervio en su localización intramuscular, para conseguir la mayor longitud de nervio posible.

Posteriormente se transfiere el nervio al brazo para anastomosarlo con el nervio musculocutáneo distalmente a la salida de la rama motora para el músculo coracobraquial.

Se puede transferir independientemente la división anterior y la posterior del nervio toracodorsal a la rama motora del musculocutáneo para el bíceps y para el braquial anterior, respectivamente. Otra variante técnica que se puede realizar es hacer una neulisis interna del nervio musculocutáneo, rechazando el componente sensitivo de nervio para realizar la anastomosis del nervio toracodorsal únicamente con el componente motor del nervio musculocutáneo.

Para reinervar al nervio torácico largo, se realiza una incisión longitudinalmente de aproximadamente 12 cm a lo largo del borde anterior del músculo dorsal ancho. La retracción de este músculo permite la exposición del nervio toracodorsal y torácico largo.

Tras identificar el nervio torácico largo, se estimula confirmando la ausencia de contracción del serrato mayor. Posteriormente, se sigue el trayecto del nervio toracodorsal distalmente hasta su división en sus ramas lateral y medial. Para realizar la transferencia se elige la rama que mediante la estimulación intraoperatoria produzca mayor contracción del músculo dorsal ancho. El nervio torácico largo se expone y se secciona lo más proximalmente posible para poder anastomosarlo sin necesidad de injerto interpuesto y además asegurar la innervación de la mayor parte del músculo serrato mayor.

Transferencias nerviosas distales a nivel de antebrazo y mano

El concepto de transferencia nerviosa intraplexual se extiende más allá de su aplicación a las lesiones del plexo braquial a nivel de las raíces cervicales, troncos primarios y sus divisiones. Se incluyen en este concepto también las transferencias distales realizadas para la reparación de las lesiones de los nervios periféricos de la extremidad superior. Su aplicación se establece en los casos en que estos nervios no se pueden reparar de forma directa o mediante injertos nerviosos, y también en los casos en que aunque se puedan reparar con el uso de injerto nervioso o transferencias tendinosas los resultados no sean satisfactorios. También, la imposibilidad para identificar en ciertas lesiones el cabo proximal es una indicación para estas técnicas^{6,37,43}. Numerosas y variadas transferencias están descritas en la literatura para reparación de las lesiones de un único nervio de la extremidad superior.

De todas estas transferencias nerviosas distales, la neurotización distal de la rama motora profunda del nervio cubital o de la rama tenar del nervio mediano mediante la porción terminal del nervio interóseo anterior es la más usada y la mejor conocida⁴². Esto se debe a que la reparación del nervio cubital dañado por encima del codo, directa o mediante injerto, tiene un pronóstico infausto para una recuperación de la función motora de la musculatura intrínseca de la mano útil^{11,25,27}. Esta transferencia, descrita en

Figura 5. Ejemplo de transferencia nerviosa distal a nivel del antebrazo. Movilización de la porción terminal del nervio interóseo anterior a nivel del músculo pronador cuadrado para neurotizarse la división motora profunda del nervio cubital.

el año 1991 por Brown *et al.*, es la única disponible para reinervar la musculatura intrínseca de la mano dependiente del nervio cubital^{7,11,27,37}.

La movilización de la porción terminal del nervio interóseo anterior a nivel del músculo pronador cuadrado resulta de una longitud suficiente para su coaptación sin necesidad de injerto interpuesto con la división motora profunda del nervio cubital o con la rama motora tenar del nervio mediano, ayudado por la aproximación de estas ramas tras realizar una disección intraneural de los nervios que les dan origen^{7,11,25,27,37,42,43}.

Novak y Mackinnon publicaron en el año 2002 los resultados de la transferencia de la porción terminal del nervio interóseo anterior a la rama motora a la rama motora profunda del nervio cubital en 8 pacientes. Todos los

pacientes presentaron reinervación de los músculos intrínsecos de la mano con mejoría de la fuerza para la prensión, medida con métodos objetivos. En ninguno de los pacientes se objetivó déficit funcional para realizar tareas que precisasen movimientos de pronación^{27,37}.

Ante lesiones del nervio cubital altas, por encima del codo, la recomendación actual es la reparación del nervio mediante injerto en el sitio de la lesión para recuperar sensibilidad protectora en los dedos, y realizar la transferencia previamente mencionada para recuperar la función motora de la musculatura intrínseca de la mano^{7,11}.

Otras transferencias nerviosas distales disponibles están diseñadas para restaurar la función del nervio radial. La parálisis del nervio radial de forma aislada puede tener múltiples etiologías, siendo la traumática la más frecuente, secundaria a una fractura del húmero y en el contexto de su reparación quirúrgica. Las lesiones proximales del nervio radial, las extensas y las lesiones de larga evolución presentan tasas pobres de recuperación funcional con la reparación del nervio mediante injerto interpuesto^{6,7}. Estas transferencias también están indicadas en los casos de parálisis radial en las que existe una rigidez articular importante o en las que se haya desarrollado una distrofia simpático refleja, en las cuales están contraindicadas las transferencias musculares y tendinosas.

A nivel proximal en el antebrazo se pueden transferir las ramas del nervio mediano para el músculo flexor *digitorum superficialis* y para el flexor *carpi radialis* para reinervar al extensor *carpi radialis brevis* y al nervio interóseo posterior, respectivamente. El nervio mediano da una serie de ramas motoras redundantes que pueden ser utilizadas para transferirlas a otros nervios sin apenas consecuencias funcionales derivadas de su sección. Las técnicas antes mencionadas, descritas por primera vez por Lowe *et al.*, en el año 2002, han demostrado obtener buenos resultados. Se ha constatado la reinervación de los músculos diana a los 12 meses de la cirugía, y una recuperación de la fuerza grado 4/5 en la escala de la MRC para la extensión de la muñeca y los dedos. El nervio radial es el nervio que tiene mayor probabilidad de reparación con éxito mediante transferencias nerviosas distales, por encima del nervio mediano y cubital^{6,7,19,37,40}.

De forma inversa, también se pueden utilizar las ramas del nervio radial para el extensor *carpi radialis brevis* y para el supinador corto transfiriéndolas a las ramas para el pronador y al nervio interóseo anterior en el caso de lesión del nervio mediano. Tung y Mackinnon avalan la transferencia de la rama del nervio radial para el extensor *carpi radialis brevis* como la transferencia de elección para restaurar un déficit exclusivo para la pronación del antebrazo, e incluso antepone esta técnica como primera opción frente a las transposiciones tendinosas disponibles³⁷.

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. 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 tanto 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. Estas técnicas de transferencias intraplexuales son especialmente útiles en los casos de lesión de las raíces superiores (C5-C6). Para realizar una neurotización intraplexual se pueden usar como nervios donantes múltiples nervios, disponibles o no dependiendo de la gravedad de la lesión.

Los procedimientos de transferencia intraplexual se han multiplicado durante los últimos años, y se han ganado una gran aceptación debido a sus resultados alentadores para la recuperación funcional motora y sensitiva de las lesiones del plexo braquial. Igualmente, sus indicaciones son cada vez más amplias y variadas.

El nervio cubital, los fascículos cubital y mediano asociados, y el ramo motor del nervio radial para la cabeza larga del tríceps ofrecen los mejores resultados entre las técnicas intraplexuales, según las series publicadas en la literatura.

La utilización de fascículos del nervio cubital para transferirlos al musculocutáneo ha demostrado ser una técnica eficaz y es la más extendida en la actualidad para la reinervación del bíceps. La reinervación simultánea del bíceps y del braquial anterior produce una flexión del codo altamente efectiva, muy superior a la obtenida mediante la reinervación aislada del bíceps, siendo hasta el momento la técnica de mayor tasa de éxito para la flexión del codo publicada en la literatura.

La recuperación de la función del hombro es claramente superior cuando se reinervan conjuntamente el nervio supraescapular y el nervio axilar que la reinervación de un único nervio.

Otros nervios, como el nervio pectoral medial, el nervio toracodorsal o la raíz C7 ipsilateral, parecen tener buenos resultados para reinervar diferentes dianas aunque no se suele recomendar como primera opción y solo son utilizadas por ciertos autores.

Las transferencias nerviosas distales a nivel del antebrazo y la mano también se han multiplicado durante los últimos años y también están ganando una gran aceptación debido a los buenos resultados publicados. Igualmente, sus indicaciones son cada vez más amplias. De estas transfe-

rencias, la neurotización distal de la rama motora profunda del nervio cubital mediante la porción terminal del nervio interóseo anterior es la más usada y la mejor conocida.

La decisión respecto al uso de cada técnica depende 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. Alnot, JY.: Traumatic brachial plexus lesions in the adult: indications and results. *Microsurgery* 1995; 16: 22-29.
2. Bertelli, JA., Ghizoni, MF.: Reconstruction of C5 and C6 brachial plexus avulsion injury by multiple nerve transfers: spinal accessory for suprascapular, ulnar fascicles to biceps branch, and triceps long or lateral head branch to axillary nerve. *J Hand Surg* 2004; 29: 13-139.
3. Bertelli, JA., Ghizoni, MF.: Nerve root grafting and distal nerve transfers for C5-C6 brachial plexus injuries. *J Hand Surg Am* 2010; 35: 769-775.
4. Bertelli, JA., Kechele, PR., Santos, MA., Duarte, H., Ghizoni, MF.: Axillary nerve repair by triceps motor branch transfer through an axillary access: anatomical basis and clinical results. *J Neurosurg* 2007; 107: 370-377.
5. Brandt, KE., Mackinnon, SE.: A technique for maximizing biceps recovery in brachial plexus reconstruction. *J Hand Surg* 1993; 18: 726-733.
6. Brown, JM., Tung, TH., Mackinnon, SE.: Median to radial nerve transfer to restore wrist and finger extension: technical nuances. *Neurosurgery* 2010; 66 (3 Suppl Operative): 75-83; Review.
7. Brown, JM., Yee, A., Mackinnon, SE.: Distal median to ulnar nerve transfers to restore ulnar motor and sensory function within the hand: technical nuances. *Neurosurgery* 2009; 65: 966-977.
8. David, S., Balaguer, T., Baque, P., Lebreton, E.: Transfer of pectoral nerves to suprascapular and axillary nerves: an anatomic feasibility study. *J Hand Surg Am* 2010; 35: 92-96.
9. Ferraresi, S., Garozzo, D., Buffatti, P.: Reinnervation of the biceps in C5-7 brachial plexus avulsion injuries: results after distal bypass surgery. *Neurosurg Focus* 2004; 16: 1-4.
10. Gu, YD., Cai, PQ., Xu, F., Peng, F., Chen, L.: Clinical application of ipsilateral C7 nerve root transfer for treatment of C5 and C6 avulsion of brachial plexus. *Microsurgery* 2003; 23: 105-108.
11. Haase, SC., Chung, KC.: Anterior interosseous nerve transfer to the motor branch of the ulnar nerve for high ulnar nerve injuries. *Ann Plast Surg* 2002; 49: 285-290.
12. Hansasuta, A., Tubbs, RS., Grabb, PA.: Surgical relationship of the medial pectoral nerve to the musculocutaneous nerve: a cadaveric study. *Neurosurgery* 2001; 48: 203-206.
13. Hou, Z., Z., Xu.: 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.
14. Kim, DH., Cho, YJ., Tiel, RL., Kline, DG.: Outcomes of surgery in 1019 brachial plexus lesions treated at Louisiana State University Health Sciences Center. *J Neurosurg* 2003; 98: 1005-1016.
15. Kline, DG., Tiel, RL.: Direct plexus repair by grafts supplemented by nerve transfers. *Hand Clin* 2005; 21: 55-69.
16. Leechavengvongs, S., Witoonchart, K., Uerpaiojkit, Ch., Thuvasethakul, PH., Ketmalasri, W.: Nerve transfer to biceps muscle using a part of the ulnar nerve in brachial plexus injury (upper arm type): a report of 32 cases. *J Hand Surg* 1998; 23: 711-716.
17. Leechavengvongs, S., Witoonchart, K., Uerpaiojkit, C., Thuvasethakul, P.: Nerve transfer to deltoid muscle using the nerve to the long head of the triceps, part II: a report of 7 cases. *J Hand Surg Am* 2003; 28: 633-638. Review.
18. Leechavengvongs, S., Witoonchart, K., Uerpaiojkit, C., Thuvasethakul, P., Malungpaishrope, K.: Combined nerve transfers for C5 and C6 brachial plexus avulsion injury. *J Hand Surg Am* 2006; 31: 183-189.
19. Lowe, J.B., 3rd., Sen, S.K., Mackinnon, S.E.: Current approach to radial nerve paralysis. *Plast Reconstr Surg* 2002; 110: 1099-1113.
20. Mackinnon, SE., Novak, CB., Myckatyn, TM., Tung, TH.: Results of reinnervation of the biceps and brachialis muscles with a double fascicular transfer for elbow flexion. *J Hand Surg* 2005; 30: 978-985.
21. 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.
22. McGillicuddy, J.E.: Clinical decision making in brachial plexus injuries. *Neurosurg Clin N Am* 1991; 2: 137-150.
23. Merrell, GA., Barrie, KA., Katz, DL., Wolfe, SW.: 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; 26: 303-314.
24. Midha, R.: Nerve transfers for severe brachial plexus injuries: a review. *Neurosurg Focus* 2004; 16: 1-10.
25. Nath, RK., Mackinnon S.E.: Nerve transfers in the upper extremity. *Hand Clin* 2000; 16: 131-139.
26. Novak, C.B., Mackinnon, S.E.: Surgical treatment of a long thoracic nerve palsy. *Ann Thorac Surg* 2002; 73: 1643-1645.
27. Novak, C.B., Mackinnon, S.E.: Distal anterior interosseous nerve transfer to the deep motor branch of the ulnar nerve for reconstruction of high ulnar nerve injuries. *J Reconstr Microsurg* 2002; 18: 459-464.
28. Novak, C.B., Mackinnon, S.E., Tung, T.H.: Patient

outcome following a thoracodorsal to musculocutaneous nerve transfer for reconstruction of elbow flexion. *Br J Plast Surg* 2002; 55: 416-419.

29. Oberlin, C., Bèal, D., Leechavengvongs, S., Salon, A., Dauge, M.C., Sarcy, J.J.: Nerve transfer to the biceps muscle using a part of the ulnar nerve for C5-C6 avulsion of the brachial plexus: anatomical study and report of four cases. *J Hand Surg* 1994; 19: 232-237.

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

31. Samardzic, M., Grujicic, D., Rasulic, L., Bacetic, D.: Transfer of the medial pectoral nerve: myth or reality? *Neurosurgery* 2002; 50: 1277-1282.

32. Samardzic, M., Rasulic, L., Grujicic, D., Milicic, B.: Results of nerve transfers to the musculocutaneous and axillary nerves. *Neurosurgery* 2000; 46: 93-103.

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

34. Song, J., Chen, L., Gu, YD.: Functional compensative mechanism of upper limb with root avulsion of C5-C6 of brachial plexus after ipsilateral C7 transfer. *Chin J Traumatol* 2008; 11: 232-238.

35. Sungpet, A., Suphachitwong, C., Kawinwonggowit, V.: Transfer of a single fascicle from the ulnar nerve to the biceps muscle after avulsions of upper roots of the brachial plexus. *J Hand Surg Br* 2000; 25: 325-328.

36. Sungpet, A., Suphachitwong, C., Kawinwonggowit, V.: One-fascicle median nerve transfer to biceps muscle in C5 and C6 root avulsions of brachial plexus injury. *Microsurgery* 2003; 23: 10-13.

37. Tung, T.H., Mackinnon, S.E.: Nerve transfers: indications, techniques, and outcomes. *J Hand Surg Am* 2010; 35: 332-341. Review.

38. Tung, T.H., Novak, C.B., Mackinnon, S.E.: Nerve transfers to the biceps and brachialis branches to improve elbow flexion strength after brachial plexus injuries. *J Neuro-*

surg 2003; 98: 313-318.

39. Uerpaiojkit, C., Leechavengvongs, S., Witoonchart, K., Malungpaishorpe, K., Raksakulkiat, R.: Nerve transfer to serratus anterior muscle using the thoracodorsal nerve for winged scapula in C5 and C6 brachial plexus root avulsions. *J Hand Surg Am* 2009; 34: 74-78.

40. Ukrit, A., Leechavengvongs, S., Malungpaishorpe, K., Uerpaiojkit, C., Chongthammakun, S., Witoonchart, K.: Nerve transfer for wrist extension using nerve to flexor digitorum superficialis in cervical 5, 6, and 7 root avulsions: anatomic study and report of two cases. *J Hand Surg Am* 2009; 34: 1659-1666.

41. Witoonchart, K., Leechavengvongs, S., Uerpaiojkit, 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: 628-632.

42. Wood, M.B.: Hand intrinsic muscle reanimation by transfer of the distal portion of the anterior interosseous nerve. *J Am Soc Surg Hand* 2004; 20: 227-230.

43. Wood, M.B., Murray, P.M.: Heterotopic nerve transfers: recent trends with expanding indication. *J Hand Surg Am* 2007; 32: 397-408. Review.

44. Zhao, X., Hung, LK., Zang, GM., Lao, J.: Applied anatomy of the axillary nerve for selective neurotization of the deltoid muscle. *Clin Orthop* 2001; 390: 244-251.

Robla-Costales, J.; Socolovsky, M.; Di Masi, G.; Robla-Costales, D.; Domitrovic, L.; Campero, A.; Fernández-Fernández, J.; Ibáñez-Plágaro, J.; García-Cosamalón, J.: Técnicas de reconstrucción nerviosa en cirugía del plexo braquial traumatizado. Parte 2: Transferencias nerviosas intraplexuales. *Neurocirugía* 2011. 22; 521-534

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