

Injertos nerviosos. Por qué, cuándo y cómo

Julio C Lozano R *

RESUMEN

A lo largo de los últimos 20 años, los conceptos y las técnicas de la reparación nerviosa han cambiado dramáticamente. La reconstrucción a través de los injertos nerviosos, más que «pasar de moda» sigue siendo el estándar de oro en muchos de los casos, e incluso, en condiciones ideales con resultados muy similares a aquellos obtenidos con la reparación primaria. Los resultados iniciales con los injertos nerviosos no fueron alentadores pero hoy pueden ser incluso considerados como el estándar de oro con el cual se comparan las técnicas de reconstrucción nerviosa más novedosas. El cirujano debe tomar en cuenta diversos parámetros que afectan a la recuperación de la reparación nerviosa, con el fin de lograr una reparación nerviosa libre de tensión, oportunamente y con la aplicación de los principios básicos y avanzados que puedan tener un efecto positivo sobre el resultado final.

Palabras clave: injerto nervioso autólogo, neurotización, neurotización neuromatosa, reparación nerviosa, transferencias nerviosas.

SUMMARY

Over the past 20 years, the concepts and techniques of nerve repair have changed dramatically. Reconstruction through nerve grafts, rather than «go out of style» remains the gold standard in many cases, and under ideal conditions provide very similar results to those obtained with primary repair. Initial results with nerve grafts were disappointing but today may be even regarded as the gold standard with which newest nerve reconstruction techniques are being compared. The surgeon must take into account various parameters affecting the recovery of nerve repair, in order to achieve a tension-free nerve repair, and timely implementation of basic and advanced principles that may have a positive effect on the outcome.

Key words: Nerve autograft, neurotization, neuromatous neurotization, nerve repair, nerve transfers.

* Ortopedista Traumatólogo con Subespecialidad en Cirugía de Mano y Microcirugía y Cirugía Reconstructiva de Mano y Extremidad Superior. Director del Reconstructive Orthopaedic Center de México, S.A. de C.V. Hermosillo, Sonora, México.

Dirección para correspondencia:

Dr. Julio C Lozano R

Reconstructive Orthopaedic Center de México S.A. de C.V.

Reforma 273 Sur y Avenida Río San Miguel

Centro Médico del Río, 3er Nivel, Interior 62/63

Proyecto Vado del Río 83280

Hermosillo, Sonora.

Correo electrónico: drjclozano@hotmail.com

Este artículo puede ser consultado en versión completa en <http://www.medigraphic.com/orthotips>

INTRODUCCIÓN

La lesión nerviosa a cualquier nivel puede resultar devastadora y ser producto de diversas etiologías en diferentes sitios. Sección, tracción, contusión, herida por proyectil de arma de fuego, isquemia y compresión (incluyendo Síndrome Compartamental), lesiones eléctricas, térmicas, por inyección, irradiación y lesiones iatrogénicas se encuentran entre las más comúnmente descritas.¹

A lo largo de los últimos 20 años, los conceptos y las técnicas de la reparación nerviosa han cambiado dramáticamente.^{2,3} El mejor entendimiento de la fisiopatología de la lesión nerviosa y de las técnicas de reparación en combinación con el mejoramiento tecnológico continuo en instrumentos ópticos, instrumental y materiales de sutura han modificado nuestra manera de abordar y tratar estas lesiones.

Esta explosión de técnicas novedosas para la reconstrucción nerviosa, incluyendo a los conductos nerviosos, las transferencias nerviosas y la neurotización muscular hacen de ésta una era excitante que pareciera ser parte de una época renacentista en la que convergen los eventos bioquímicos propios de la regeneración nerviosa con los procedimientos innovadores de tratamiento.

A pesar de que muchos de estos avances, como las transferencias nerviosas y las neurotizaciones, se utilizaron inicialmente en la reconstrucción de Plexo Braquial y posteriormente tuvieron aplicación en el brazo y en la restitución de la función intrínseca y extrínseca de la mano, las técnicas más convencionales de reparación nerviosa están lejos aún de perder su solidez como herramientas poderosas en la reconstrucción nerviosa.⁴

Una de estas herramientas, la reconstrucción a través de los injertos nerviosos (*Figura 1*), utilizada por sí sola o en combinación con otros procedimientos, más que «pasar de moda» sigue siendo el estándar de oro en muchos de los casos, e incluso, en condiciones ideales con resultados muy similares a aquellos obtenidos con la reparación primaria.^{2,5}

El primer injerto nervioso fue realizado por Albert en 1876.⁶ Pos-



Figura 1. Injerto nervioso. Tres cables de nervio sural para reconstrucción de nervio radial a nivel de las ramas terminales en paciente de cuatro años de edad.

teriormente Bunnel reportó procedimientos exitosos de injertos nerviosos en 1927, 1928 y 1939.⁷⁻⁹ Strange y Shelden en 1947 introdujeron la técnica del injerto nervioso pediculado^{10,11} y Seddon reportó su técnica de injerto nervioso en base a cables.¹²⁻¹⁵

Los resultados iniciales con los injertos nerviosos no fueron alentadores e incluso se consideraban como «técnicas inferiores» por algunos autores.¹² Esto se debía en parte a que los injertos, bajo la idea de que «entre más largos, el resultado es más malo», se mantenían de longitud más corta posible y en muchas ocasiones en un afán de acortar la distancia entre los extremos del nervio dañado por otros medios, tales como la flexión articular y la movilización del nervio, se lograba una coaptación bajo tensión, situación que resultaba aún más adversa para la regeneración nerviosa.¹⁶ Por otro lado, en comparación a la reparación primaria en la que el axón sólo debe cruzar una coaptación, en los injertos el sólo hecho de implicar doble cruce era suficiente para que fuera considerado como «inferior» por definición.

Asimismo, el concepto actual de «Neurotización por las células de Schwann» no era reconocido en aquel entonces, de tal manera que lo que ellos utilizaban eran los injertos liofilizados, congelados, irradiados y químicamente preservados de donadores cadavéricos, hoy en día significarían sólo «tejidos muertos» que tendrían que ser invadidos por células vivientes del receptor. En la actualidad, los injertos nerviosos «vivos» provistos de células de Schwann hacen que la longitud del injerto sea, dentro de ciertos límites, de insignificancia clínica en la calidad del resultado.¹²

No sorprende el cambio tan radical de aquello publicado hace poco más de tres o cuatro décadas, cuando la situación hacía evidente los pobres resultados de la técnica en los estudios reportados por autores como Sakellarides,¹⁷ Strange¹¹ y George Omer,¹⁸ entre otros, y los resultados que saltan a la vista hoy, en la era de la bio-ingeniería tisular, en la que el injerto de nervio autólogo puede ser incluso considerado como el conducto bio-compatible por excelencia, reabsorbible, con lámina basal, con canales de «guía preformada», con una reserva de células de Schwann viables y factores de crecimiento, capaz de desarrollar circulación intrínseca, de proveer la regeneración axonal como medio de transporte y al mismo tiempo protegerlo del medio que lo rodea, libre de reacción a cuerpo extraño.⁴

En otras palabras, la ciencia, la razón y la experiencia nos permiten aseverar que los resultados de la reconstrucción nerviosa con injerto autólogo son aún el estándar de oro con el cual se comparan las nuevas técnicas quirúrgicas.⁴

OBJETIVO Y GENERALIDADES

Aunque para muchos el estudio y el conocimiento de la ultra-estructura neuronal, los cambios bio-químicos y la expresión genética tras la lesión nerviosa produce un estado de éxtasis, no es el fin de ésta colaboración describir desde la conducción saltatoria de los nódulos de Ranvier hasta la activación molecular de caspasas a nivel mitocondrial. Sin restar importancia a los conceptos antes

descritos, el enfoque principal es proveer al lector las herramientas necesarias y de aplicación práctica al evaluar y llevar a cabo las diferentes alternativas de tratamiento en las lesiones de nervio periférico con especial interés en los injertos nerviosos autólogos.

¿POR QUÉ?

El cirujano, al enfrentarse a una lesión nerviosa, debe primero tomar en cuenta los parámetros que afectan a la recuperación de la reparación nerviosa antes de elegir la técnica de reparación, tales parámetros son: el nervio involucrado, la edad del paciente, el tiempo de denervación (tiempo entre la lesión y la reparación), el nivel de la lesión (distancia entre la lesión y el órgano receptor, lesión proximal vs distal), la longitud del defecto a reparar, la vascularidad del lecho, la vascularidad del nervio, la tensión de la reparación y las lesiones asociadas.¹⁹

De estos parámetros, sólo la tensión de la reparación, la vascularidad, y potencialmente, el tiempo entre la lesión y la reparación pueden ser modificadas por el cirujano (Figura 2).¹² Aquí la importancia del análisis autocrítico para definir si el caso es algo que podemos resolver nosotros o es algo que tendrá que resolver alguien más en tiempo y forma. En otras palabras, la inercia generalizada de solicitar

estudios de electromiografía, aunque útiles en ciertos casos, y mantener una conducta expectante mientras enviamos al paciente a Terapia Física definitivamente no harán que el nervio se regenere. Incluso, la mayoría de las veces, sólo habrá significado haber perdido la ventana de oportunidad de la regeneración nerviosa.



Figura 2. Reparación a tensión del nervio mediano a nivel de la muñeca. Nótese la retracción elástica inmediata al seccionar el nervio.

¿CUÁNDO?

Básicamente puedo decir que el objetivo principal de toda anastomosis nerviosa es lograr una reparación libre de tensión, oportunamente. Cuando existe una sección nerviosa nítida y la distancia entre los segmentos proximal/distal está dada sólo por la retracción elástica, la reparación primaria está indicada (Figura 3). Cuando se ha retardado la reparación nerviosa, además de la retracción elástica existe fibrosis de los segmentos, complicando aún más la aproximación, indicándose



Figura 3. Reparación primaria aguda de troncos digitales previa estabilización de las fracturas, reparación tendinosa y revascularización de los cuatro dedos.

el injerto nervioso aunque no exista pérdida de tejido nervioso «como tal». Una indicación más exacta para la utilización de los injertos nerviosos, más que la brecha crítica de 4 cm. o más descrita en la literatura, es cuando se requiere elongar al nervio más de 10% para la aproximación de sus extremos.^{20,21}

La decisión de elegir la reconstrucción nerviosa con injertos depende, en mayor magnitud en la experiencia personal del cirujano, pero en la decisión de cuando hacerlo deben aplicarse las mismas reglas válidas en la cirugía de nervio periférico en general.

Las mejores posibilidades de recuperación motora existen cuando el intervalo entre la lesión y la reparación es breve.^{19,22} Sabemos que si el intervalo es mayor a los 6 meses, las posibilidades son menores, pero en algunos casos puede haber cierta recuperación incluso después de los 12 a 18 meses. Aquí es donde aplica

también el concepto de las lesiones altas (proximales) contra las bajas (distales), pues si consideramos que la regeneración nerviosa sucede a intervalos de 1 mm/día desde el sitio proximal de la reparación al sitio del músculo blanco, sería ilógico considerar como primera opción a los injertos nerviosos en pacientes con lesiones muy altas en combinación con intervalos lesión-reparación prolongados. En estos casos lo que se requiere es dirigir rápidamente una gran cantidad de axones motores a un músculo denervado y lo más indicado sería las transferencia nerviosa.^{1,23}

Por otro lado, la recuperación sensitiva protectora es menos dependiente del intervalo del tiempo y es posible aún años después de la lesión original.

El cirujano que optó inicialmente por una reparación primaria debe considerar una re-exploración nerviosa y reconstrucción secundaria en aquellos casos en los que no hay ningún dato de reinervación más allá de los 6 meses. En muchos casos la reparación primaria fallida encuentra su solución en el injerto nervioso³ (Figuras 4A, 4B y 4C).

¿CÓMO? ASPECTOS BÁSICOS

Realizar una reconstrucción nerviosa con injerto parecería ser relativamente fácil en comparación con otras técnicas microquirúrgicas.²⁴ Esta idea es total-

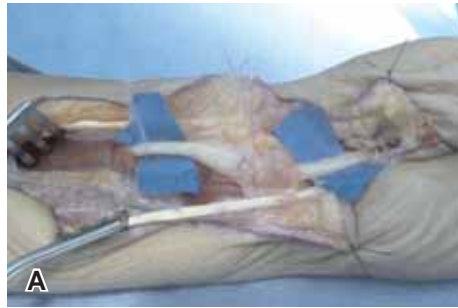


Figura 4A. Cirugía de revisión y reparación secundaria en paciente con antecedente de reparación primaria previa sin datos de reinerivación a los seis meses. **4B.** Resección de una inadecuada reparación nerviosa con placa fibrótica, múltiples suturas de grueso calibre (nylon 5-0) y tensión en el sitio de reparación. **4C.** Reconstrucción con tres cables de injerto autólogo de nervio sural. Nótese la colocación «relajada» del injerto.

son atractivos pero no son materia de discusión en este artículo.

Durante décadas, se han utilizado a los nervios sensitivos (*Figuras 5A y 5B*) como fuente donadora de injertos nerviosos ya que han demostrado ser lo suficientemente delgados como para sobrevivir a las condiciones de un injerto libre, sin causar mayor problema que la pérdida menor de la sensibilidad en un



Figura 5A. Toma de injerto de nervio sural. Para evitar la tracción del injerto me abstengo de tomar el mismo a través de varias mini-incisiones. **5B.** Injerto de rama de antebraquial cutáneo lateral. Generalmente los utilizo para injertar nervios digitales de menor calibre.

mente errónea ya que la atención a los pequeños detalles tiene una influencia muy significativa en los resultados finales.

Los injertos autólogos, por obtenerse del mismo paciente, no implican riesgo inmunológico pero no están exentos de complicaciones, secundarias a la utilización de nuevas incisiones para la obtención del injerto y la formación de neuomas, entre otras. La aplicación de injertos nerviosos de otras fuentes (aloinjerto, xenoinjerto)

segmento corporal determinado, el cual a través del tiempo, puede recuperar sensibilidad rudimentaria a través de segmentos sensitivos funcionales adyacentes mediante la ramificación colateral. Para aumentar las posibilidades de que esto suceda, puede elegirse una transferencia término-lateral local.

La sección del nervio donador preferiblemente no debe ser en territorio subcutáneo, se desea realizar la misma, de ser posible, proximal entre los músculos en el espacio subfacial. Por esta razón generalmente el nervio sural se toma en un trayecto más largo que el requerido.

Debido a que los injertos nerviosos tienen ramificaciones, algunos autores han sugerido que una vez tomados se coloquen en posición retrógrada como una estrategia para evitar la pérdida axonal a través de las ramas. Otros autores sugieren la colocación anterógrada para respetar el patrón fascicular que cambia de proximal a distal, de un patrón monofascicular a uno polifascicular.²⁴ Independientemente de la técnica que se utilice para colocar el mismo en el defecto, es de mayor importancia evitar la tracción excesiva durante la toma del mismo. Técnicas actuales permiten la toma de injertos a través del endoscopio, con las ventajas de la mínima incisión mientras que se limita la tracción indeseada.

Otros sitios donadores: el nervio antebraquial cutáneo medial y lateral, el nervio cutáneo femoral lateral, el nervio antebraquial cutáneo dorsal, la rama superficial del nervio radial (evito utilizarlo debido a la alta incidencia de formación de neuromas dolorosos), rama cutánea sensitiva del nervio cubital, las ramas terminales de los nervios interóseo anterior y posterior, el nervio peroneo superficial, los nervios intercostales y el nervio safeno, entre otros.

Afinidad entre injertos. Mientras que los injertos nerviosos sensitivos han demostrado ser una excelente opción, el cirujano necesita considerar las diferencias anatómicas y fisiológicas entre las fibras sensitivas y motoras y considerar a los injertos motores como una opción. La utilización de injertos afines al nervio receptor (motor-motor, sensitivo-sensitivo) puede intensificar la regeneración nerviosa tal y como se ha demostrado en estudios experimentales en animales.^{25,26} Personalmente considero como buena opción al nervio toracodorsal en la reconstrucción de nervios motores ya que su obtención no es de complejidad máxima y me ha sido posible obtener longitudes de aproximadamente 10 a 15 cm.

Biomecánica y tensión. Otro punto a considerar es el hecho de que el nervio en condiciones normales tiene excursión longitudinal, siendo sometido a cierto grado de estrés y tensión *in situ*. La elasticidad propia del nervio, por ser éste visco-elástico, le permite cierto grado de elongación sin afectar sus velocidades de conducción nerviosa. El injerto nervioso se adhiere al lecho receptor mediante la revascularización para sobrevivir, y como consecuencia pierde en su totalidad su capacidad para la excursión longitudinal. Bajo estas condiciones, es de suma importancia: 1) tomar un segmento de injerto al menos 10% mayor al defecto en el sitio de la lesión 2) inmovilizar al paciente por lo menos durante 8 días posteriores a la cirugía en la posición en la que se reparó el nervio (debe de repararse en la posición de máxima longitud del defecto de acuerdo

a la posición de las articulaciones adyacentes) para evitar tensión y daño de la anastomosis una vez que el paciente inicia los movimientos.

Injertos vascularizados. Taylor y Ham²⁷ reportaron en 1976 la técnica del injerto vascularizado, teniendo la ventaja obvia de una vascularidad independiente al lecho receptor y por consiguiente, adhesividad en menor grado que se traduce en menor sensibilidad a las fuerzas de tensión. Aunque en su mayoría utilizados inicialmente en las lesiones de Plexo Braquial, en mi opinión fue más la expectativa causada tras su introducción, que las ventajas significativas sobre otras técnicas de reconstrucción.¹² El auge que pudo haber tenido en la reconstrucción de segmentos largos, o en lechos pobremente vascularizados, lentamente se oscurece con el advenimiento de las más atractivas y efectivas transferencias nerviosas.

¿CÓMO? ASPECTOS NO TAN BÁSICOS

1. El sitio de la incisión cutánea debe estar a distancia del nervio a reparar y no sobre el mismo.
2. Realizar la resección transversa con bisturí de ambos segmentos/extremos hasta fascículos sanos bajo magnificación.
3. Resechar el epineuro para aislar a los fascículos.
4. Resechar el exceso de epineuro en nervios con patrón polifascicular.
5. Seccionar fascículos en diferentes longitudes.
6. Determinar la longitud del injerto de acuerdo a conceptos descritos anteriormente.
7. Si la disección inicial se realizó bajo el uso de torniquete, éste debe liberarse para dar paso a una hemostasia cuidadosa.
8. Importante conocer y definir, de ser posible, la topografía intra-neural del nervio receptor para una coaptación que permita que las fibras encuentren el camino correcto distalmente.
9. Se obtiene el injerto con longitud mayor a la longitud máxima del defecto y debe quedar éste en una situación relajada bajo las condiciones máximas de tensión articular adyacente.
10. Utilizar preferiblemente sutura no-absorbible 10-0 para la aproximación entre el injerto y el fascículo individual o el grupo fascicular. Generalmente es suficiente uno o dos puntos de sutura por injerto. Puede utilizarse fibrina como adyuvante en la coaptación sobre las suturas.
11. El epineuro del injerto debe quedar en coaptación al epineuro interfascicular de los extremos del nervio receptor.
12. El cierre de la herida debe realizarse con la extremidad en la posición en la que fue reparado el nervio.
13. Inmovilizar la extremidad en la posición en la que fue reparado el nervio por lo menos durante 8 días.

Complicaciones. Prácticamente cualquier complicación puede suceder como en cualquier otra cirugía. La formación de hematoma puede implicar la destrucción

del injerto y puede estar indicada la evacuación del mismo y la revisión del injerto, y en su defecto, repetir el procedimiento de reparación. Otra complicación es la formación de fibrosis en el sitio de la coaptación proximal o distal del injerto, o la sobrevivencia parcial del injerto debido a una neurotización neuromatosa, situación en la que los axones no fueron capaces de alcanzar el extremo distal del nervio. El signo de Tinel puede utilizarse como herramienta para inferir cual de las tres situaciones está presente y así tomar la decisión de repetir el procedimiento o considerar otras técnicas de reparación nerviosa.



CASO 1



Caso 1

- A.** Reconstrucción de nervio peroneo con injerto de nervio safeno en la pierna.
Lesión por proyectil de arma de fuego.
- B.** Tres cables de nervio safeno de 8 cm de longitud.
- C.** El paciente inicia con dorsiflexión del pie dos meses después, probablemente también por la neurólisis de otras ramas proximales.

CASO 2



Caso 2

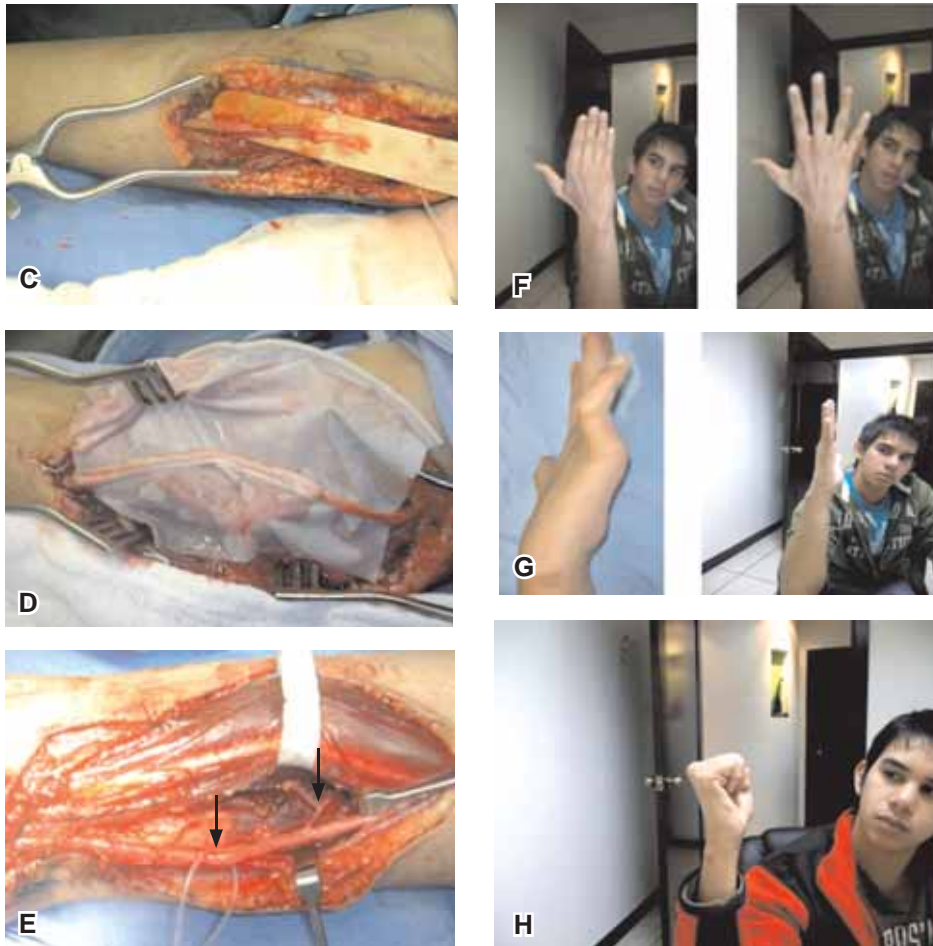
A. Lesión de nervio radial por proyectil de arma de fuego. B. Fijación con placa/pseudoartrosis de húmero tras el retiro del fijador externo. C. Aplicación de fascia vascularizada sobre la placa para un adecuado lecho y tres cables de nervio sural. D. A los siete meses inicia extensión de la muñeca. E. Extensión del pulgar 11 meses después de la cirugía.

CASO 3



Caso 3

A. Reducción abierta y fijación interna de codo en paciente pediátrico. B. Hiperextensión de la MF por lesión de nervio cubital a la colocación de tornillos.



Caso 3

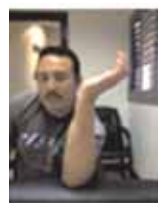
- C. Lesión por arrancamiento del nervio cubital en el codo. Seguramente con la broca del perforador.*
- D. Injerto autólogo de nervio sural, tres cables en el codo.*
- E. Se combinó con una transferencia nerviosa término-lateral en la muñeca (rama distal del IOA a motora de cubital).*
- F y G. Excelente recuperación de la musculatura intrínseca de la mano.*
- H. Excelente recuperación de la fuerza prensil de la mano.*

CASO 4



Caso 4

- A. Amputación parcial a nivel del tercio medio del antebrazo izquierdo con motosierra. Se observan puntos de afrontamiento en la piel.*
- B. Fractura conminuta del cúbito y daño extenso a tejido tendinoso flexor, pérdida significativa de arteria y nervio cubital.*
- C. Fijación interna del cúbito.*
- D. Injertos de nervio sural/2 cables para nervio cubital. Injerto venoso reverso para arteria cubital e injertos tendinosos múltiples de flexores.*
- E. Nótese el regreso de la función intrínseca de la mano a los siete meses.*
- F. Excelente función de la mano y la muñeca.*



CONCLUSIONES

En casi cien años, la reparación nerviosa mediante los injertos ha pasado de ser insostenible e ineficaz al estándar de oro en muchas situaciones. Esto ha sido indudablemente influenciado por el tipo de injerto que se utiliza, como se utiliza en base al conocimiento cada vez más vasto de la respuesta fisiopatológica a la lesión nerviosa y al mejor entendimiento de la topografía interna en armonía con los avances tecnológicos. La expectativa se genera ahora, mientras que sigue siendo una herramienta muy valiosa, comparte el escenario al mismo tiempo con el quizás nuevo protagonista en la reconstrucción nerviosa: las transferencias nerviosas.

BIBLIOGRAFÍA

1. Novack CB. Rehabilitation following motor nerve transfers. *Hand Clin* 2008; 24(4): 417-423.
2. Slutsky D, Hentz V, editors. *Peripheral nerve surgery. Practical applications in the upper extremity*. Philadelphia: Churchill Livingstone/Elsevier; 2006.
3. Naff NJ, Ecklund JM. History of peripheral nerve surgery techniques. *Neurosurg Clin N Am* 2001; 12: 197-209.
4. Slutsky D. *Upper extremity nerve repair-tips and techniques. A master skills publication*. Rosemont, IL: American Society for Surgery of the Hand; 2008.
5. Millesi H. The current state of peripheral nerve surgery in the upper limb. *Ann Chir Main* 1984; 3: 18-34.
6. Albert E. Einige operationen an nerven. *Wien Med Presse* 1885; 26: 1221-1224.
7. Bunnell S. Surgery of the nerves of the hand. *Surg Gynecol Obstet* 1927; 44: 145-152.
8. Bunnell S. Repair of nerves and tendons of the hand. *J Bone Joint Surg Am* 1928; 10: 1-16.
9. Bunnell S, Boyes JH. Nerve grafts. *Am J Surg* 1939; 44: 64-75.
10. Shelden CH, Pudenz C, McCarty. Two-stage autograft for repair of extensive median and ulnar nerve defects. *J Neurosurg* 1947; 4: 492-496.
11. Strange FG. An operation for nerve pedicle grafting. Preliminary communication. *Br J Surg* 1947; 34: 423-425.
12. Trumble T, Allan C, guest editors. *Nerve repair and reconstruction*. Philadelphia: W.B. Saunders Company; 2000. [serie; *Hand clinics*, v. 16, no. 1]
13. Seddon HJ. Nerve grafting. *J Bone Joint Surg Br* 1963; 45: 447-461.
14. Seddon HJ. Repair of large gaps in nerves. In: Seddon HJ. *Surgical disorders of the peripheral nerves*. Edinburgh and London: Churchill Livingstone; 1972: 285-298.
15. Seddon HJ. The use of autogenous grafts for the repair of large gaps in peripheral nerves. *Br J Surg* 1947; 35: 151-173.
16. Seddon HJ. *Surgical disorders of the peripheral nerves*. 2nd ed. New York: Churchill Livingstone 1975: 297.
17. Sakellariades H. A follow-up study of 173 peripheral nerve injuries in the upper extremity in civilians. *J Bone Joint Surg Am* 1962; 44: 140-148.
18. Omer GE. Injuries to nerves of the upper extremity. *J Bone Joint Surg Am* 1974; 56: 1615-1624.
19. Brenner MJ, Moradzadeh A, Mykатыn TM, Tung TH, Mendez AB, Hunter DA, Mackinnon SE. Role of timing in assessment of nerve regeneration. *Microsurgery* 2008; 28(4): 265-272.
20. Tubiana R, Gilbert A. *Nerve, tendon and other disorders. (Surgery of disorders of the hand and upper extremity)*. London: Taylor and Francis; 2004.
21. Kim D, Midha R. Kline y Hudson: Lesiones nerviosas. Segunda Edición. Philadelphia: Elsevier Saunders; 2010.
22. Justin M. Brown. Washington University Center for Nerve Injury and Paralysis Seminar, "New Techniques in Peripheral Nerve Reconstruction". St. Louis, MO. November, 2009.
23. Mackinnon S, Novak C. Nerve transfers. New options for reconstruction following nerve injury. *Hand Clin* 1999; 15: 643-666.
24. Millesi HA. Techniques for nerve grafting. *Hand Clin* 2000; 16(1): 73-91.
25. Nichols CM, Brenner MJ, Fox IK, Tung TH, Hunter DA, Rickman SR, Mackinnon SE. Effects of motor versus sensory nerve grafts on peripheral nerve regeneration. *Exp Neurol* 2004; 190(2): 347-355.
26. Brenner MJ, Hess JR, Mykатыn TM, Hayashi A, Hunter DA, Mackinnon SE. Repair of motor nerve gaps with sensory nerve inhibits regeneration in rats. *Laryngoscope* 2006; 116(9): 1685-1692.
27. Taylor GI, Ham FJ. The free vascularized nerve graft. *Plast Reconst Surg* 1976; 7: 413-426.