

# Diferencias entre los sexos en la recuperación de las lesiones del plexo braquial. Bases anatómicas y fisiológicas, y estudio clínico

Lucas F. Loza,\* Franco Balbuena,\* Ricardo Mishima,\*\* Pablo E. Valle,\* Alejandro Fazio,\* Fernando J. Cervigni\*

\*Servicio de Ortopedia y Traumatología, Hospital Privado Universitario de Córdoba, Córdoba, Argentina

\*\*Servicio de Ortopedia y Traumatología, Sanatorio Allende, Córdoba, Argentina

## RESUMEN

**Introducción:** Las lesiones del plexo braquial son graves, incapacitantes y generan un alto costo socioeconómico. Restaurar la flexión del codo resulta primordial para la recuperación. Las características anatomofisiológicas de los nervios de los varones y los efectos periféricos de la testosterona podrían jugar un papel en la mejor recuperación de los hombres sobre las mujeres.

**Materiales y Métodos:** Estudio observacional, retrospectivo, tipo serie de casos. Se incluyó a 39 pacientes con lesiones del plexo braquial sometidos a neurotizaciones del nervio musculocutáneo. **Resultados:** En el sexo masculino, el puntaje promedio de la escala BMRC fue 4; la tasa de reinervación funcional (BMRC  $\geq 3$ ), del 89% y la tasa de falla quirúrgica (BMRC  $< 3$ ), del 11%. En el sexo femenino, el puntaje promedio de la escala del BMRC fue 3,5; se logró la reinervación funcional en el 67%, con una tasa de falla quirúrgica del 33%, hubo una mayor tendencia a la falla conforme aumentaba la edad de la paciente. Las diferencias de fuerza lograda por subgrupo según la escala del BMRC fueron estadísticamente significativas ( $p = 0,05$ ). **Conclusiones:** Los hombres tienen una capacidad de recuperación motora mayor que las mujeres luego de las neurotizaciones del nervio musculocutáneo. Además, existe una mayor tendencia a la falla quirúrgica en el sexo femenino conforme aumenta la edad. Esto podría explicarse por las diferencias anatomofisiológicas del nervio periférico entre los sexos y por mecanismos ligados a la testosterona tanto sobre el sistema nervioso como en los músculos.

**Palabras clave:** Lesiones del plexo braquial; neurotizaciones; transferencias nerviosas; testosterona.

**Nivel de Evidencia:** IV

## Sex Differences in Recovery of Brachial Plexus Injuries: Anatomical and Physiological Basis and Clinical Study

### ABSTRACT

**Introduction:** Brachial plexus injuries (BPIs) are severe, disabling, and impose a high socioeconomic burden. Restoring elbow flexion is paramount to functional recovery. Anatomical and physiological characteristics of peripheral nerves in males and the peripheral effects of testosterone may contribute to better recovery in men than in women. **Materials and Methods:** Observational, retrospective case series. Thirty-nine patients with BPI who underwent musculocutaneous nerve neurotization were included.

**Results:** In males, the mean BMRC score was 4; the functional reinnervation rate (BMRC  $\geq 3$ ) was 89%, and the surgical failure rate (BMRC  $< 3$ ) was 11%. In females, the mean BMRC score was 3.5; functional reinnervation was achieved in 67%, with a surgical failure rate of 33%, and there was a greater tendency to failure with increasing patient age. Differences in strength achieved by subgroup according to the BMRC scale were statistically significant ( $p = 0.05$ ). **Conclusions:** Men show a greater capacity for motor recovery than women after musculocutaneous nerve neurotization. Additionally, the risk of surgical failure increases with age in females. These findings may be explained by sex-related differences in peripheral nerve anatomy and physiology and by testosterone-related mechanisms acting on the nervous system and muscle.

**Keywords:** Brachial plexus injuries; neurotization; nerve transfers; testosterone.

**Level of Evidence:** IV

Recibido el 10-9-2024. Aceptado luego de la evaluación el 3-3-2025 • Dr. LUCAS F. LOZA • lucasfloza@gmail.com  <https://orcid.org/0009-0005-4940-6073>

**Cómo citar este artículo:** Loza LF, Balbuena F, Mishima R, Valle PE, Fazio A, Cervigni FJ. Diferencias entre los sexos en la recuperación de las lesiones del plexo braquial. Bases anatómicas y fisiológicas, y estudio clínico. *Rev Asoc Argent Ortop Traumatol* 2025;90(4):326-334. <https://doi.org/10.15417/issn.1852-7434.2025.90.4.2023>

## INTRODUCCIÓN

Las lesiones del plexo braquial (LPB) son graves y altamente incapacitantes, y generan un gran costo socioeconómico para el sistema de salud. Su incidencia (aunque difícil de calcular objetivamente) se ha incrementado en los últimos años, debido al aumento de la supervivencia tras los accidentes automovilísticos graves.<sup>1</sup> La edad promedio de los pacientes es de 26.4 años en el momento de sufrir la lesión, y el 90,5% de los pacientes con estas lesiones son del sexo masculino.<sup>2</sup>

La restauración de la flexión del codo en dichos pacientes es un primordial primer paso hacia la funcionalidad final y la recuperación del miembro afectado. La neurotización del nervio musculocutáneo o sus ramas empleando diferentes técnicas se ha establecido como el procedimiento de referencia para lograr dicho objetivo.

En este estudio, se utilizaron dos tipos de neurotizaciones según la LPB por reconstruir: la cirugía de Oberlin tipo I, que consiste en neurotizar la rama del bíceps con la rama del *flexor carpi ulnaris* del nervio cubital (Oberlin tipo I) en las LPB altas (C5-C6) y la transferencia del nervio espinal accesorio (XI) al nervio musculocutáneo (TNEMC) con injerto sural autólogo en las LPB totales.

La hipótesis principal fue que los hombres tendrían una mayor capacidad de recuperación funcional ante lesiones de nervios periféricos (entre ellas, LPB) y, sumado a esto, obtendrían mejores resultados luego de transferencias nerviosas para el tratamiento de las LPB, sobre la base de las siguientes consideraciones:

- Los axones de los hombres tienen un área transversal hasta un 80% mayor y hasta un 55% más de microtúbulos, lo cual los hace mucho más resistentes a los traumatismos por estiramiento.<sup>3</sup>
- Luego del trauma, aumenta rápidamente el calcio intracelular en los axones de las mujeres, esto disminuye su potencial excitabilidad. Esta respuesta es menor en los hombres.<sup>3</sup>
- La testosterona tendría un papel fundamental en dos efectores:<sup>3-6</sup>
  - En las neuronas: estimula el crecimiento y la reparación axonal luego de una lesión nerviosa periférica.<sup>4</sup> Además, protege a las neuronas correspondientes a la vía lesionada de la atrofia dendrítica que ocurre habitualmente después de la lesión, gracias a la interacción con receptores androgénicos en el sistema nervioso central.<sup>4,5</sup>
  - En los músculos: retrasa la degeneración muscular luego de la desnervación y disminuye el cambio de fibras de tipo I a tipo II.<sup>6</sup> Esto sería de vital importancia en las neurotizaciones, porque prolongaría el tiempo en el que el músculo por reinervar se encuentra en condiciones para hacerlo.

En las diversas series de pacientes con neurotizaciones para tratar LPB que hemos consultado,<sup>1,2,7,8</sup> no encontramos un reporte claro de las diferencias de recuperación entre los sexos. Es por esto que, al incluir un tamaño de muestra relevante, un seguimiento extendido y, principalmente, un porcentaje de mujeres considerable (comparado con las series consultadas), decidimos realizar este estudio con el objetivo de intentar establecer si efectivamente existen diferencias en la potencialidad de recuperación entre los sexos. Nuestra investigación aportaría información útil sobre el tema y permitiría establecer objetivos y pronósticos claros en la recuperación de los pacientes intervenidos.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El objetivo principal del estudio fue determinar si hay diferencias significativas en la recuperación de la fuerza bicipital entre los hombres y las mujeres operados por LPB. El objetivo secundario fue determinar si, además del sexo, existen otros factores relacionados en la recuperación de la fuerza bicipital después de una cirugía de LPB.

### Diseño del estudio

Se llevó a cabo un estudio observacional, retrospectivo, de tipo serie de casos con pacientes operados entre enero de 2009 y julio de 2022, en una institución pública y una privada de Córdoba.

Las técnicas quirúrgicas utilizadas fueron la de Oberlin y la TNEMC con injerto de nervio sural. Todos fueron operados por el autor sénior de este estudio (FJC).

## Selección de pacientes

Se incluyó a pacientes consecutivos con una LPB traumática y pérdida de la flexión del codo, operados durante el período antes mencionado. Los criterios de exclusión fueron: seguimiento <6 meses, otros cuadros que demoraron o imposibilitaron la correcta técnica quirúrgica (>1 año desde la lesión) o la rehabilitación, y LPB completa irreparable.

## Selección de la técnica quirúrgica

La elección de una técnica de neurotización por sobre la otra depende del tipo de LPB que se deba reconstruir. En las LPB altas (C5-C6 o C5-C7), el nervio cubital estará disponible como fuente de neurotización intraplexual; por lo tanto, se optará por la cirugía de Oberlin. En pacientes con LPB totales (C5-T1), al no disponer de donantes intraplexuales, se debe recurrir al nervio espinal accesorio como fuente de neurotización extraplexual.

## Recolección de datos

Se extrajeron los siguientes datos demográficos y clínicos de los registros médicos electrónicos de los pacientes: edad, sexo, fecha de nacimiento, causa de la lesión, tipo de lesión, miembro afectado, inicio de la atención desde la lesión, tipo de cirugía, tiempo desde la lesión hasta la cirugía, recuperación motora después de la cirugía, tiempo de seguimiento, fuerza del bíceps luego de la operación, según la escala del *British Medical Research Council* (BMRC).<sup>9</sup>

## Medición de resultados

La medición primaria de resultados fue la mejoría de la fuerza del bíceps, utilizando la escala del BMRC.<sup>10</sup> En algunas publicaciones, se informa una excelente correlación entre la fuerza de torque con dinamómetro y la medición de la actividad muscular mediante un electromiograma cuando se las compara con el estado funcional en la escala BMRC.<sup>11</sup> Un puntaje de la escala BMRC <3 se consideró falla quirúrgica.

## Análisis estadístico

Se utilizaron pruebas no paramétricas, porque la distribución de las variables no fue normal.

Para comparar entre variables numéricas, se emplearon la prueba de suma de rangos de Wilcoxon, la prueba exacta de Fisher y la prueba exacta de Wilcoxon. Se consideró significativo un valor  $p < 0,05$ . El análisis estadístico se realizó con el programa R-Studio Version 1.4.1106.

## RESULTADOS

Se incluyó a 39 pacientes: 33 (84,6%) eran hombres y 6 (15,4%), mujeres. Las características demográficas de los pacientes se detallan en la [Tabla 1](#).

Seis de los 33 hombres no cumplían con los criterios de inclusión, ninguna mujer fue excluida. En el análisis estadístico, se incluyó a 27 hombres (81,8% de todos los pacientes incluidos) y 6 mujeres (18,2% de todos los pacientes incluidos) ([Figura 1](#)).

El análisis de ambos grupos mostró homogeneidad en cuanto a la edad, el tiempo de evolución desde la LPB hasta la cirugía y el tiempo de seguimiento ([Tabla 2](#)).

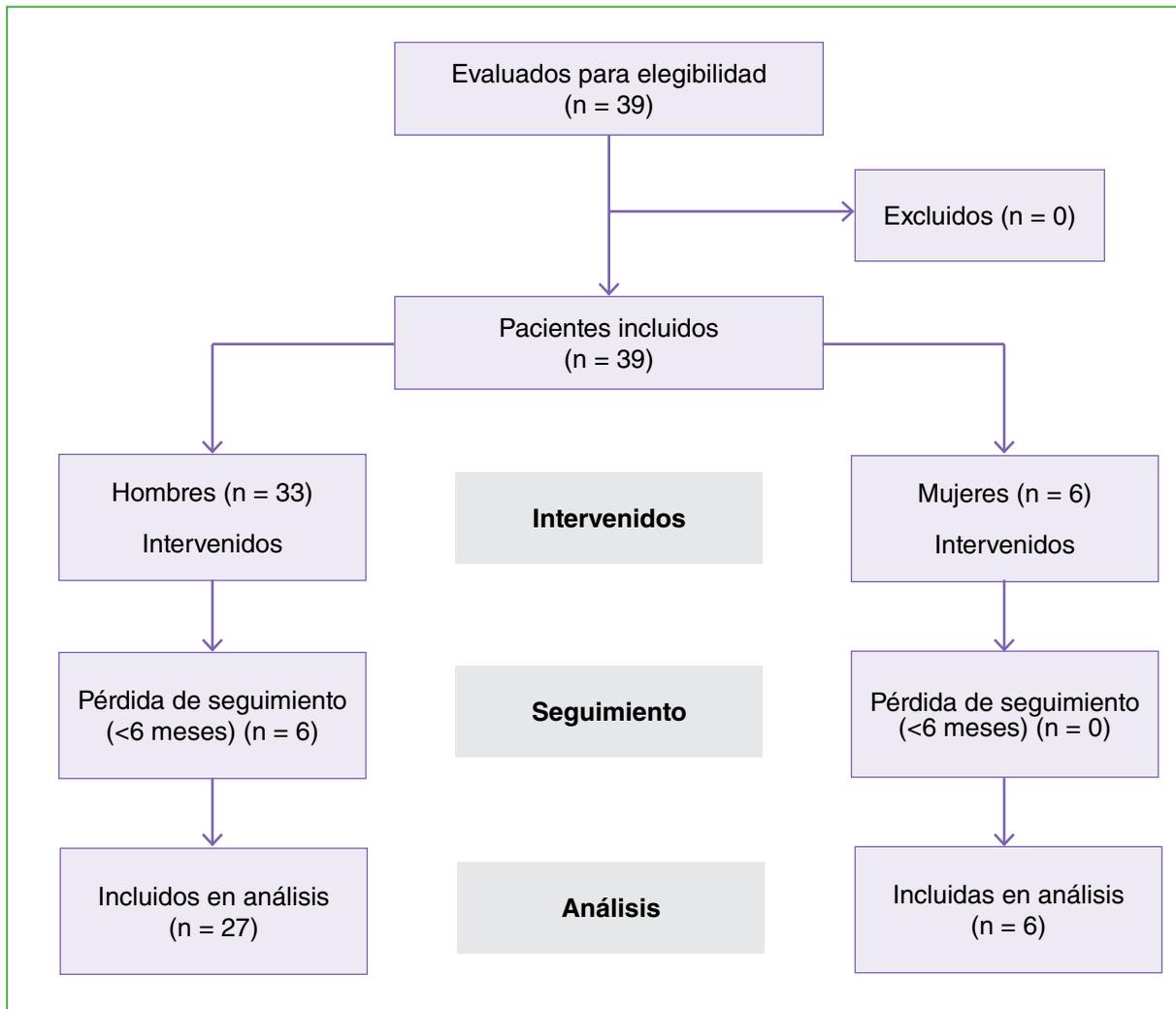
La edad promedio global fue de 25 años; el promedio de días entre la lesión y la cirugía, de 211 y el seguimiento promedio, de 1043 días. A 14 pacientes (42%) se les realizó una TNEMC y a 19 (58%), la cirugía de Oberlin. El puntaje promedio de la escala del BMRC fue 4, hubo 5 pacientes con falla quirúrgica (15% del total).

Al comparar los resultados de ambas técnicas entre sí, independientemente del sexo del paciente, el puntaje promedio de la escala del BMRC fue 3,1 y la tasa de falla, del 21% en pacientes con una TNEMC. En los casos sometidos a la técnica de Oberlin, el puntaje de la escala del BMRC promedio fue mejor (3,5), con una tasa de falla inferior (11%) ([Tabla 3](#)).

**Tabla 1.** Características demográficas de los pacientes del estudio

Paciente	Tipo de cirugía	Edad (años)	Sexo	Tiempo hasta la cirugía (días)	Seguimiento (días)	Escala del BMRC
1	TNEMC	30	M	300	3476	3
2	TNEMC	22	F	280	1572	4
3	TNEMC	19	M	145	2621	4
4	TNEMC	44	M	215	1700	3
5	TNEMC	21	M	317	1880	5
6	TNEMC	31	M	241	1981	3
7	TNEMC	27	F	280	361	2
8	TNEMC	38	M	143	850	4
9	TNEMC	19	M	241	220	0
10	TNEMC	43	M	158	740	4
11	TNEMC	28	M	148	373	3
12	TNEMC	23	M	311	1687	0
13	TNEMC	19	M	167	616	4
14	TNEMC	17	M	211	1435	4
15	Oberlin	23	M	538	1314	3
16	Oberlin	28	M	623	4296	3
17	Oberlin	23	M	338	1735	4
18	Oberlin	18	M	180	1043	5
19	Oberlin	49	M	305	169	3
20	Oberlin	25	F	101	435	4
21	Oberlin	33	M	204	988	4
22	Oberlin	50	F	260	1145	2
23	Oberlin	22	M	240	337	4
24	Oberlin	25	M	185	1411	3
25	Oberlin	24	F	234	945	5
26	Oberlin	33	M	287	1376	4
27	Oberlin	29	M	149	387	4
28	Oberlin	20	M	130	1686	4
29	Oberlin	28	M	195	848	4
30	Oberlin	25	F	200	322	3
31	Oberlin	38	M	130	1433	0
32	Oberlin	17	M	136	989	4
33	Oberlin	30	M	122	424	3
34	TNEMC	25	M	321	0	-
35	TNEMC	28	M	162	0	-
36	Oberlin	53	M	631	0	-
37	Oberlin	39	M	185	0	-
38	Oberlin	21	M	163	0	-
39	Oberlin	28	M	s/d	0	-

TNEMC = transferencia del nervio espinal al musculocutáneo; F = femenino; M = masculino; BMRC = *British Medical Research Council*.



**Figura 1.** Diagrama de flujo con la distribución de la muestra general de pacientes.

En el grupo de las mujeres, la edad promedio fue de 25 años (rango 22-50); el tiempo de evolución, de 247 días; y el de seguimiento, de 690. El 67% había sido sometida a la técnica de Oberlin. El puntaje promedio de la escala del BMRC ascendió a 3,5 y se registraron 2 fallas (33%).

La edad promedio de los hombres fue de 28 años (rango 17-53). El tiempo de evolución medio hasta la cirugía fue de 204 días y el seguimiento se extendió 1314 días. El 56% había sido sometido a la técnica de Oberlin. El puntaje promedio de la escala del BMRC fue 4, con 3 fallas (11%).

Cuando se analizó la recuperación motora dentro de cada subgrupo de fuerza según la escala del BMRC, 24 de 27 de los hombres (89%) y 4 de las 6 mujeres (66%) habían logrado una fuerza muscular de M3 o mayor. Se registró una falla quirúrgica total (BMRC  $\leq 2$ ) en 5 de 33 pacientes (15%), 2 mujeres (33% de ellas) y 3 hombres (11% de los varones) (Tabla 2; Figura 2). Estas diferencias por subgrupo según la escala del BMRC fueron estadísticamente significativas ( $p = 0,05$ ) (Tabla 2).

Al realizar el análisis multivariado y correlacionar la edad y el sexo de los pacientes con sus resultados funcionales, la edad no estuvo relacionada con la tasa de falla quirúrgica en el grupo de los hombres; sin embargo, en las mujeres, se observó una tendencia mayor a la falla conforme aumentaba su edad (Figura 3). De hecho, las dos fallas registradas en este grupo ocurrieron en las dos mujeres de mayor edad de la serie.

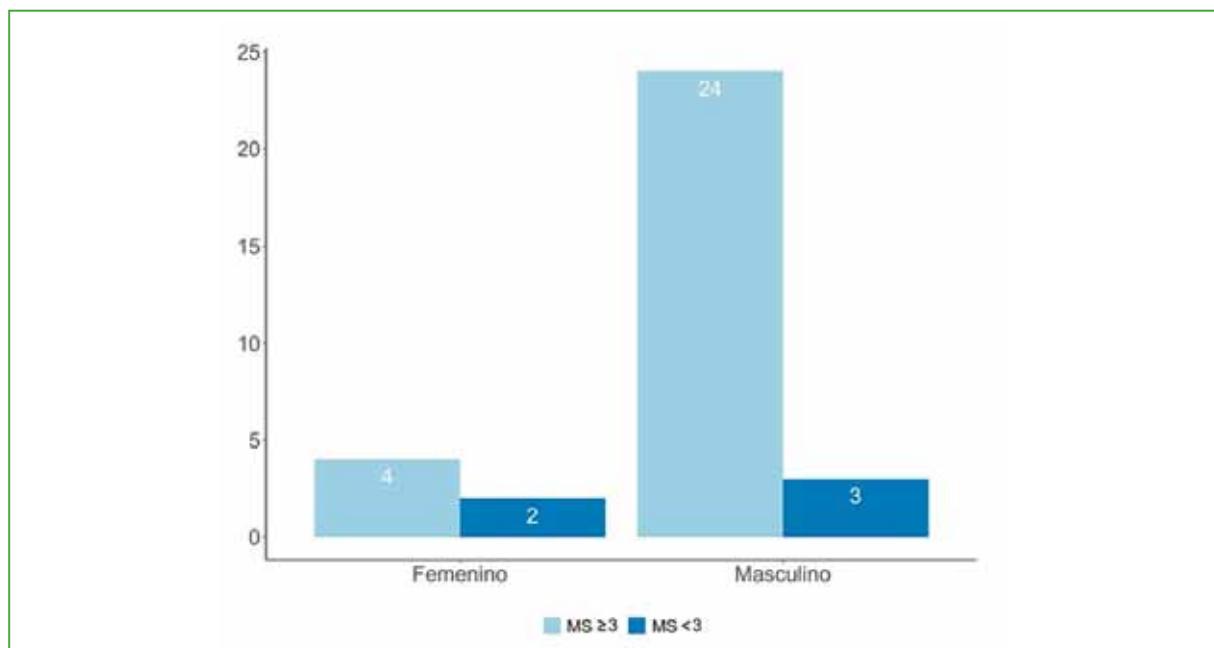
**Tabla 2.** Resultados globales de la muestra

Característica	Población (n = 33)*	Sexo femenino (n = 6)*	Sexo masculino (n = 27)*	p**
Edad	25 (17-53) (RIC 22-31)	25 (22-50) (RIC 24-27)	28 (17-53) (RIC 21-32)	0,9
Tiempo de evolución (días)	211 (149-280)	247 (209-275)	204 (149-294)	0,8
Tiempo de evolución (meses)	7.03 (4.97-9.33)	8.23 (6.95-9.17)	6.8 (4.95-9.78)	0,8
Cirugía				
TNEMC	14 (42%)	2 (33%)	12 (44%)	
Oberlin	19 (58%)	4 (67%)	15 (56%)	
Seguimiento (días)	1043 (435-1686)	690 (380-1095)	1314 (678-1694)	0,2
Seguimiento (meses)	35 (15-56)	23 (13-37)	44 (23-56)	0,2
Escala del BMRC (categórica)				0,05
0	3 (9,1%)	0 (0%)	3 (11%)	
2	2 (6,1%)	2 (33%)	0 (0%)	
3	10 (30%)	1 (17%)	9 (33%)	
4	15 (45%)	2 (33%)	13 (48%)	
5	3 (9,1%)	1 (17%)	2 (7,4%)	
Escala del BMRC promedio (numérica)	4 (3-4)	3.5 (2.25-4)	4 (3-4)	0,8
Falla quirúrgica	5 (15%)	2 (33%)	3 (11%)	0,2

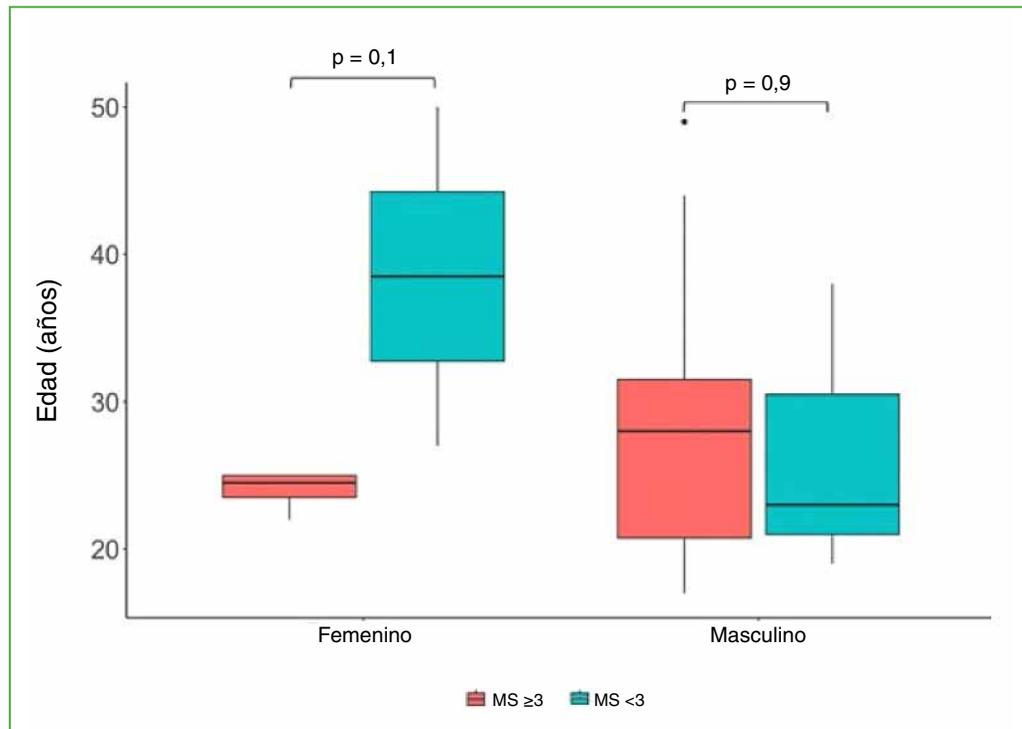
\*Promedio (rango); RIC = rango intercuartílico; n (%)

\*\*Prueba de suma de rangos de Wilcoxon, prueba exacta de Fisher y prueba exacta de Wilcoxon.

TNEMC = transferencia del nervio espinal al musculocutáneo; BMRC = *British Medical Research Council*.



**Figura 2.** Distribución de los resultados de la cirugía según el sexo.



**Figura 3.** Relación entre el resultado funcional, según el sexo y la edad.

**Tabla 3.** Resultados funcionales y de falla según la técnica utilizada

	TNEMC (n = 14)	Oberlin (n = 19)	p
BMRC, promedio $\pm$ DE	3,1 $\pm$ 1	3,5 $\pm$ 1	0,4
Falla, n (%)	3 (21)	2(11)	0,4

TNEMC = transferencia del nervio espinal al musculocutáneo; BMRC = *British Medical Research Council*; DE = desviación estándar.

## DISCUSIÓN

En nuestra búsqueda bibliográfica, no encontramos informes relevantes sobre las diferencias de fuerza del bíceps después de la neurotización según el sexo del paciente. Inclusive en los diversos metanálisis publicados, tampoco se hace mención a dicha diferencia.<sup>8-10</sup> Probablemente esto se deba a la alta prevalencia de las LPB en el sexo masculino, lo que lleva a que la mayoría de las series de casos no tengan una cantidad suficiente de mujeres para poder comparar sus resultados con los de los hombres.

Globalmente, los resultados de fuerza fueron mejores con la técnica de Oberlin que con la TNEMC, la tasa de fallas fue menor con la primera. Estos resultados pueden explicarse por las características de cada procedimiento. Partiendo de la base de que, en la recuperación nerviosa, el estímulo nervioso avanza 1 mm por día y demora 30 días en pasar por cada neurografía,<sup>12</sup> en la cirugía de Oberlin tipo I, el estímulo nervioso debe atravesar una sola neurografía y transitar una distancia menor que en la TNEMC hasta el órgano blanco. En la TNEMC, no solo la distancia es mayor, sino que también atraviesa dos neurografías. Esto es un factor determinante de los resultados, ya que, entre los 6 y 12 meses posteriores a la lesión, comienza una degeneración y desfuncionalización progresiva de la placa neural muscular.<sup>12</sup> Hasta la fecha, no hemos hallado estudios que comparen, de manera directa, los resultados en la recuperación entre ambas técnicas. Los resultados de nuestra serie se adaptan a lo esperable por las razones antes mencionadas.

En nuestra investigación, hubo una diferencia significativa en cuanto a los distintos grados de fuerza de bíceps logrados en los hombres con respecto al de las mujeres luego de las neurotizaciones del nervio musculocutáneo ( $p = 0,05$ ).

El puntaje promedio en la escala del BMRC también fue superior en los hombres que en las mujeres (4 vs. 3,5) ( $p = 0,8$ ) y se logró la reinervación funcional (BMRC  $\geq 3$ ) en el 89% de los hombres contra el 67% de las mujeres ( $p = 0,2$ ).

Estas diferencias podrían atribuirse tanto a las distintas características anatomofisiológicas de los nervios periféricos en ambos sexos, como a los ya mencionados efectos protectores y regenerativos de la testosterona luego de las lesiones nerviosas. Además, cabe recordar su efecto ralentizador sobre la degeneración muscular después de la cirugía. La profundización en la investigación de estos mecanismos, sin duda, ayudaría a esclarecer aún más estos resultados.

Asimismo, destacamos la mayor tendencia a la falla quirúrgica observada en el sexo femenino conforme aumentaba la edad, dato importante por tener en cuenta a la hora de establecer objetivos claros sobre el pronóstico y la recuperación luego de la cirugía. Esto podría estar relacionado con la depleción tanto de estrógenos como de andrógenos endógenos que ocurre, de manera progresiva, con el paso de los años, como con la pérdida de masa muscular fisiológica que se produce con los cambios posmenopáusicos. Dicha tendencia no se observó en los hombres.

Una fortaleza de este estudio es contar con un porcentaje de mujeres cercano al 20%, superior al 10% promedio de la mayoría de las series publicadas. Creemos que las debilidades del estudio radican en que el tiempo promedio desde la lesión hasta la cirugía fue  $>6$  meses, esto se debe a que muchos de los pacientes fueron operados en una institución pública y el tiempo de demora hasta la primera atención con el especialista fue considerable. Además, se utilizaron dos técnicas quirúrgicas distintas según el tipo de LPB, ambas con características técnicas y tiempos de reinervación diferentes.

## CONCLUSIONES

Los hombres tuvieron mejores resultados funcionales y una menor tasa de falla que las mujeres luego de las neurotizaciones del nervio musculocutáneo para el tratamiento de LPB. También existe una mayor tendencia a la falla quirúrgica en el sexo femenino conforme aumenta la edad. Esto podría explicarse por las diferencias anatomofisiológicas del nervio periférico entre los sexos y por diversos mecanismos ligados a la testosterona tanto sobre el sistema nervioso como en el músculo. Se deberían llevar a cabo estudios similares con series de pacientes más grandes e investigaciones más profundas sobre los diferentes mecanismos expuestos, para sustentar lo hallado en esta investigación.

Conflicto de intereses: Los autores no declaran conflictos de intereses.

ORCID de F. Balbuena: <https://orcid.org/0009-0007-3307-8161>

ORCID de R. Mishima: <https://orcid.org/0000-0001-5163-7130>

ORCID de P. E. Valle: <https://orcid.org/0000-0002-0561-3493>

ORCID de A. Fazio: <https://orcid.org/0000-0002-3807-0966>

ORCID de F. J. Cervigni: <https://orcid.org/0000-0001-8518-8716>

## BIBLIOGRAFÍA

1. Noland SS, Bishop AT, Spinner RJ, Shin AY. (2019). Adult traumatic brachial plexus injuries. *J Am Acad Orthop Surg* 2019;27(19):705-16. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-18-00433>
2. Hong TS, Tian A, Sachar R, Ray WZ, Brogan DM, Dy CJ. Indirect cost of traumatic brachial plexus injuries in the United States. *J Bone Joint Surg Am* 2019;101(16):e80. <https://doi.org/10.2106/jbjs.18.00658>
3. Dollé JP, Jaye A, Anderson SA, Ahmadzadeh H, Shenoy VB, Smith DH. Newfound sex differences in axonal structure underlie differential outcomes from in vitro traumatic axonal injury. *Exp Neurol* 2018;300:121-34. <https://doi.org/10.1016/j.expneurol.2017.11.001>

4. Foecking EM, Fargo KN, Brown TJ, Sengelaub DR, Jones KJ. Gonadal steroids in regeneration and repair of neuromuscular systems. *Neural Regeneration* 2015;129-50. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-801732-6.00008-2>
5. Chew C, Sengelaub DR. Exercise promotes recovery after motoneuron injury via hormonal mechanisms. *Neural Regen Res* 2020;15(8):1373-6. <https://doi.org/10.4103/1673-5374.274323>
6. Little CM, Coons KD, Sengelaub DR. Neuroprotective effects of testosterone on the morphology and function of somatic motoneurons following the death of neighboring motoneurons. *J Comp Neurol* 2009;512(3):359-72. <https://doi.org/10.1002/cne.21885>
7. Lee CYV, Cochrane E, Chew M, Bains RD, Bourke G, Wade RG. The effectiveness of different nerve transfers in the restoration of elbow flexion in adults following brachial plexus injury: A systematic review and meta-Analysis. *J Hand Surg Am* 2023;48(3):236-44. <https://doi.org/10.1016/j.jhssa.2022.11.013>
8. Texakalidis P, Hardcastle N, Tora MS, Boulis NM. Functional restoration of elbow flexion in nonobstetric brachial plexus injuries: A meta-analysis of nerve transfers versus grafts. *Microsurgery* 2019;40(2):261-7. <https://doi.org/10.1002/micr.30510>
9. Sneiders D, Bulstra LF, Hundepool CA, Treling WJ, Hovius SER, Shin AY. Outcomes of single versus double fascicular nerve transfers for restoration of elbow flexion in patients with brachial plexus injuries. *Plastic Reconstr Surg* 2019;144(1):155-66. <https://doi.org/10.1097/prs.00000000000005720>
10. James MA. Use of the Medical Research Council Muscle Strength Grading System in the upper extremity. *J Hand Surg Am* 2007;32(2):154-6. <https://doi.org/10.1016/j.jhssa.2006.11.0>
11. Kiper P, Rimini D, Falla D, Baba A, Rutkowski S, Maistrello L, et al. Does the score on the MRC Strength Scale reflect instrumented measures of maximal torque and muscle activity in post-stroke survivors? *Sensors (Basel)* 2021;21(24):8175. <https://doi.org/10.3390/s21248175>.
12. Huang X, Jiang J, Xu J. Denervation-related neuromuscular junction changes: From degeneration to regeneration. *Front Mol Neurosci* 2022;14:810919. <https://doi.org/10.3389/fnmol.2021.810919>