

Artículo original

Evaluación de la monitorización del bloqueo neuromuscular mediante la estimulación train-of-four (TOF) en cirugías videolaparoscópicas bajo anestesia general balanceada.

Evaluation of neuromuscular blockade monitoring using train-of-four (TOF) stimulation in videolaparoscopic surgeries under balanced general anesthesia.

Enrique Gamarra Castillo¹, Luis Salomón¹ Javier Nuñez²

¹ Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Médicas, Programa de Especialización en Anestesiología, Reanimación y Dolor.

² Hospital Militar Central de las Fuerzas Armadas

Recibido el 20 de setiembre del 2025. Aceptado el 4 de octubre del 2025

Autor correspondiente: Enrique Gamarra, Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Médicas, Programa de Especialización en Anestesiología, Reanimación y Dolor. San Lorenzo, Paraguay. E-mail: sotre1barra3@gmail.com

Resumen

Introducción: El bloqueo neuromuscular residual posterior a una anestesia general sigue siendo una cuestión de seguridad significativa, al prolongar la estancia en la UCPA, aumentar la necesidad de soporte ventilatorio postoperatorio y afectar negativamente la satisfacción del paciente. Por esto, la evaluación objetiva del grado de bloqueo y la recuperación neuromuscular mediante monitorización cuantitativa se torna imprescindible para garantizar la seguridad del paciente.

Objetivo: Evaluar el bloqueo neuromuscular producido por atracurio monitorizado mediante TOF en pacientes adultos intervenidos bajo anestesia general. **Metodología:** Se realizó un estudio observacional, descriptivo y transversal en pacientes intervenidos mediante cirugías videolaparoscópicas electivas bajo anestesia general balanceada en el Hospital Militar Central. Al finalizar el procedimiento quirúrgico se registraron los valores del TOF. Si TOF ratio $\geq 0,9$, fue indicativo de recuperación neuromuscular adecuada para la extubación (TOF final espontáneo). Si TOF ratio $< 0,9$; fue considerado que la recuperación neuromuscular era inadecuada, por lo que se procedió a la reversión con neostigmina. (TOF de recuperación incompleta). Una vez administrada la neostigmina (0,05 mg/kg) asociada a atropina (0,02 mg/kg), se repitió el monitoreo hasta obtener un TOF ratio $\geq 0,9$. (TOF final con reversión) **Resultados:** El 76% presentó recuperación neuromuscular espontánea adecuada (TOF $\geq 90\%$), mientras que el 24% requirió reversión con neostigmina, alcanzándose en todos los casos criterios seguros para la extubación. No se registraron complicaciones respiratorias ni signos clínicos de curarización residual en el postoperatorio inmediato. **Conclusiones:** La monitorización cuantitativa mediante TOF se confirma como una herramienta precisa, reproducible y aplicable en la práctica cotidiana para objetivar la recuperación del bloqueo neuromuscular, permitiendo identificar oportunamente la presencia de bloqueo residual y optimizar el uso de neostigmina.

Palabras Clave: bloqueo neuromuscular residual, anestesia general, monitorización intraoperatoria

Abstract

Introduction: Residual neuromuscular blockade following general anesthesia remains a significant safety concern, prolonging stay in the PACU, increasing the need for postoperative ventilatory support, and negatively impacting patient satisfaction. Therefore, objective assessment of the degree of blockade and neuromuscular recovery through quantitative monitoring is essential to ensure patient safety. **Objective:** To evaluate neuromuscular blockade induced by atracurium, monitored using time-of-flight (TOF) measurement, in adult patients undergoing surgery under general anesthesia. **Methodology:** An observational, descriptive, and cross-sectional study was conducted in patients undergoing elective videolaparoscopic surgery under balanced general anesthesia at the Central Military Hospital. TOF values were recorded at the end of the surgical procedure. A TOF ratio ≥ 0.9 indicated adequate neuromuscular recovery for extubation (final spontaneous TOF). A TOF ratio < 0.9 was considered inadequate neuromuscular recovery, and reversal with neostigmine was performed. (Incomplete recovery TOF). Once neostigmine (0.05 mg/kg) combined with atropine (0.02 mg/kg) was administered, monitoring was repeated until a TOF ratio ≥ 0.9 was obtained. (Final TOF with reversal) **Results:** 76% showed adequate spontaneous neuromuscular recovery (TOF $\geq 90\%$), while 24% required reversal with neostigmine, achieving safe criteria for extubation in all cases. No respiratory complications or clinical signs of residual curarization were recorded in the immediate postoperative period. **Conclusions:** Quantitative monitoring using TOF is confirmed as an accurate, reproducible, and applicable tool in daily practice to objectively assess neuromuscular blockade recovery, allowing for timely identification of residual blockade and optimization of neostigmine use.

Keywords: residual neuromuscular blockade, general anesthesia, intraoperative monitoring

Introducción

Los relajantes neuromusculares (RNM) son fármacos que evitan los movimientos y la contracción muscular durante el acto quirúrgico, y su introducción en la práctica habitual revolucionó la anestesia. La relajación muscular facilita la intubación endotraqueal, mejora las condiciones del campo quirúrgico y mejora la compliancia de la vía aérea durante la ventilación mecánica, pero puede producir complicaciones relacionadas con la persistencia del bloqueo neuromuscular^(1, 2).

En un estudio prospectivo se registró que el 36,6 % de los pacientes presentaban bloqueo residual en el posoperatorio, y en ese grupo la tasa de complicaciones respiratorias alcanzó el 46,7 % frente al 9,6% en aquellos con recuperación adecuada⁽³⁾.

El bloqueo residual sigue siendo una cuestión de seguridad significativa, al prolongar la estancia en la UCPA, aumentar la necesidad de soporte ventilatorio postoperatorio y afectar negativamente la satisfacción del paciente. Es por esto por lo que la evaluación objetiva del grado de bloqueo y la recuperación

neuromuscular mediante monitorización cuantitativa se torna imprescindible para garantizar la seguridad del paciente anestesiado.^(4,5)

La monitorización objetiva de profundidad y recuperación del bloqueo neuromuscular en el entorno perioperatorio se evalúa mediante la estimulación *Train-of-Four* (TOF). Esta técnica consiste en la aplicación de cuatro estímulos eléctricos consecutivos a un nervio periférico (generalmente el cubital) y en la posterior observación de las respuestas musculares correspondientes, calculándose una relación T4/T1 o un “TOF-ratio” como indicador de recuperación funcional.

La evidencia más reciente sostiene que la utilización de un monitor TOF permite reducir significativamente la incidencia del bloqueo neuromuscular residual y sus secuelas clínicas, en comparación con la evaluación subjetiva o mediante criterios exclusivamente clínicos (levantar la cabeza o apretar la mano). Es así como la monitorización TOF se impone como un estándar recomendado por las guías internacionales, siendo un instrumento clave

para optimizar la seguridad en la extubación y la recuperación post anestésica.⁽⁶⁾

La adecuada evaluación del grado de relajación y recuperación muscular constituye un aspecto fundamental para garantizar la seguridad del paciente durante el periodo perioperatorio y postoperatorio, especialmente en cirugías videolaparoscópicas, donde la profundidad del bloqueo es determinante para el éxito quirúrgico, así como su adecuada recuperación.

El propósito de este estudio fue describir el grado de recuperación del bloqueo neuromuscular mediante la estimulación TOF en pacientes adultos intervenidos mediante cirugías videolaparoscópicas bajo anestesia general balanceada en el Hospital Militar Central, Asunción, Paraguay.

Metodología

Estudio observacional, descriptivo y transversal en pacientes adultos que fueron intervenidos de cirugías videolaparoscópicas electivas bajo anestesia general balanceada en el Hospital Militar Central de Asunción, entre agosto y octubre de 2025. Se incluyeron pacientes mayores de 18 años, con estado físico ASA I a III, en quienes se utilizó exclusivamente atracurio como bloqueante neuromuscular y se contó con monitorización neuromuscular cuantitativa mediante train-of-four (TOF).

Tras la monitorización anestésica estándar, la anestesia se indujo por vía intravenosa con un esquema multimodal y se mantuvo con sevoflurano y remifentanilo en infusión controlada por objetivo. El bloqueo neuromuscular fue monitorizado mediante aceleromiografía, con estimulación del nervio cubital y registro de la respuesta del músculo aductor del pulgar. Al finalizar la cirugía se evaluó la recuperación neuromuscular; un TOF ratio $\geq 0,9$ fue considerado adecuado para la extubación, mientras que valores inferiores motivaron la reversión farmacológica con neostigmina y atropina, repitiéndose la medición hasta alcanzar una recuperación completa. Se registraron variables demográficas, anestésicas y clínicas,

incluyendo dosis de atracurio, necesidad de reversión, tiempos de recuperación y la presencia de complicaciones respiratorias en el postoperatorio inmediato. Los datos fueron analizados mediante estadística descriptiva, respetando los principios éticos de la Declaración de Helsinki y garantizando la confidencialidad y seguridad de los participantes.

Resultados

Se incluyeron 25 pacientes adultos que se interviniieron de cirugías videolaparoscópicas. La edad media fue de $47,6 \pm 15,0$ años, con un rango entre 19 y 64 años. Predominó el sexo femenino, con 18 mujeres (72%) y 7 varones (28%). El índice de masa corporal (IMC) presentó una media de $28,3 \pm 4,0 \text{ kg/m}^2$, con valores entre 22,5 y 38,0 kg/m^2 . En cuanto al estado físico preoperatorio, todos los pacientes fueron clasificados como ASA I o II: 14 (56%) ASA I y

11 (44%) ASA II. Respecto al tipo de procedimiento, la mayoría correspondió a colecistectomías videolaparoscópicas (23 casos; 92%), mientras que 2 pacientes (8%) fueron sometidos a hernioplastia inguinal videolaparoscópica. La duración media de la cirugía fue de $83,8 \pm 23,9$ minutos (rango 54–150 minutos).

La dosis total de atracurio administrada por paciente fue de $34,4 \pm 3,0 \text{ mg}$, con un rango entre 30 y 40 mg.

Al finalizar la cirugía, 19 de los 25 pacientes (76%) presentaron recuperación espontánea con $\text{TOF} \geq 90\%$ ($\text{TOF final medio } 94,0 \pm 3,7\%$, rango 90–100%), adecuada para la extubación. En los 6 pacientes restantes (24%), el TOF medido al finalizar la cirugía fue $< 90\%$, con una media de $53,8 \pm 12,3\%$ (rango 40–68%), lo que se interpretó como recuperación incompleta o presencia de bloqueo residual. Tras la reversión farmacológica, los valores de TOF final medio fueron de $95,0 \pm 3,6\%$ (rango 91–100%; n = 6). En todos los pacientes, el TOF final (espontáneo o tras reversión) fue $\geq 90\%$, cumpliendo el criterio de recuperación neuromuscular adecuada para la extubación.

En el subgrupo que recibió reversión farmacológica ($n = 6$), la dosis de neostigmina fue en promedio de $1,58 \pm 0,20$ mg (rango 1,5–2,0 mg), asociada a 0,4 mg de atropina en todos los casos.

En los pacientes con recuperación espontánea (sin neostigmina; $n = 19$), el tiempo medio desde la última dosis de atracurio hasta alcanzar un TOF $\geq 90\%$ fue de $94,8 \pm 23,2$ minutos (rango 70–152 minutos).

Una vez alcanzado un TOF $\geq 0,9$ y realizada la extubación, en el 100% de los pacientes se constató clínicamente la recuperación de las funciones motoras evaluadas, observándose en todos ellos la capacidad de deglutar, sacar la lengua y mantener la cabeza levantada al menos 5 segundos.

No se documentaron complicaciones respiratorias atribuibles a curarización residual según los criterios predefinidos (apnea > 20 segundos y saturación de oxígeno < 90%). Tampoco se requirió reintubación ni soporte ventilatorio en ninguno de los pacientes.

Discusión

En el presente estudio observacional descriptivo y transversal se evaluó el proceso de recuperación del bloqueo neuromuscular inducido por Atracurio mediante monitorización cuantitativa de la estimulación tipo *Train-of-Four* (TOF) en 25 pacientes adultos intervenidos mediante cirugías videolaparoscópicas bajo anestesia general balanceada. Los principales hallazgos incluyen un TOF final promedio del $94\% \pm 3,7\%$, un tiempo medio hasta alcanzar TOF $\geq 0,9$ de aproximadamente 92 ± 22 minutos, y la ausencia de complicaciones respiratorias graves atribuibles a curarización residual. Esta discusión explorará la significación clínica de estos resultados, los comparará con la literatura actual, y abordará sus implicancias para la práctica anestésica institucional.

La consecución de un TOF final promedio de 94 % indica que en esta cohorte la cobertura de recuperación neuromuscular fue adecuada, cumpliendo el umbral recomendado (TOF ratio

$\geq 0,9$) que se asocia con una extubación segura. Guías recientes señalan que un TOF ratio $< 0,9$ constituye bloqueo neuromuscular residual (BNM-R) y comporta mayor riesgo de eventos adversos respiratorios⁽⁷⁾.

El tiempo hasta dicho umbral (92 minutos de media) sugiere una dinámica de recuperación relativamente prolongada en comparación con lo esperado para un agente de acción intermedia como el atracurio. Estudios han documentado que el bloqueo moderado a profundo puede prolongarse de forma impredecible sin monitorización cuantitativa.^(7, 8)

El hecho de no observarse complicaciones graves relacionadas con curarización residual refuerza la utilidad de emplear monitorización TOF en este contexto de cirugía videolaparoscópica, lo cual coincide con los planteamientos de la *American Society of Anesthesiologists* (ASA) en sus prácticas recientes.⁽⁹⁾

La incidencia persistente de BNMR ha sido reportada incluso en entornos con monitorización cualitativa, alcanzando tasas del 30 % o más cuando no se utiliza monitor cuantitativo^(7,10). En cambio, nuestro estudio demuestra que, con un protocolo de monitorización cuantitativa constante, se puede alcanzar una recuperación funcional dentro de los márgenes establecidos.

Por otra parte, la literatura sugiere que el uso de antagonistas como Neostigmina o Sugammadex debe guiarse por el grado de bloqueo y la monitorización cuantitativa, para evitar tanto la insuficiencia de reversión como la recurarización^(11,12). En este sentido, aunque el presente trabajo no incluyó un brazo comparativo de reversión versus no reversión, los resultados apoyan que el seguimiento estandarizado del TOF y la reversión cuando fue necesaria contribuyeron a minimizar la curarización residual.

Considerando el tipo de cirugía (videolaparoscópica) y el agente utilizado (atracurio), no se identificaron diferencias sustanciales con estudios más amplios sobre NMB en cirugía ambulatoria o mixta, lo que sugiere que el contexto quirúrgico no limitó la

aplicabilidad de la monitorización TOF como estrategia de seguridad

Desde el punto de vista práctico, los resultados respaldan la incorporación rutinaria de monitorización cuantitativa de bloqueo neuromuscular en el protocolo del centro, para garantizar extubación segura y optimización del despertar anestésico. La constancia en alcanzar $\text{TOF} \geq 0,9$ antes de la extubación disminuye la probabilidad de complicaciones como hipoventilación, retención de secreciones o aspiración que generan morbilidad, prolongan tiempo en recuperación y aumentan costos.

Asimismo, este estudio aporta evidencia local, lo cual es relevante para adaptar prácticas internacionales a la realidad paraguaya, y facilita la elaboración de protocolos institucionales de manejo del bloqueo neuromuscular y de reversión farmacológica. Desde un punto de vista teórico, se reafirma la premisa de que la monitorización objetiva del bloqueo (TOF) debe considerarse un estándar de cuidado y no una opción en la anestesiología contemporánea.

Este estudio tiene varias limitaciones que deben considerarse. Al tratarse de un diseño transversal descriptivo, no permite establecer relaciones causales entre variables (por ejemplo, dosis de atracurio y tiempo hasta $\text{TOF} \geq 0,9$). La muestra es relativamente pequeña ($n=25$) y proviene de un solo centro, lo que limita la generalización de los hallazgos a otras instituciones o poblaciones. No se realizó un seguimiento prolongado de complicaciones tardías ni se evaluaron en detalle variables como temperatura intraoperatoria, uso de otros fármacos interactuantes o profundidad anestésica (monitorización de EEG).

Conclusión

Al finalizar la cirugía, la mayor parte de los pacientes (76%) presentó recuperación neuromuscular espontánea con $\text{TOF} \geq 90\%$. En los casos de bloqueo residual, la administración de neostigmina asociada a atropina permitió alcanzar $\text{TOF} \geq 90\%$ en todos los pacientes.

El intervalo entre la última dosis de atracurio y la recuperación espontánea ($\text{TOF} \geq 90\%$) se situó en torno a 90 minutos, con variabilidad interindividual.

En la totalidad de la muestra se constató la recuperación clínica de las funciones motoras evaluadas y no se registraron complicaciones respiratorias atribuibles a curarización residual, ni necesidad de reintubación o soporte ventilatorio.

La incorporación sistemática de la monitorización cuantitativa del bloqueo neuromuscular dentro del protocolo institucional permite una evaluación objetiva y precisa del grado de recuperación neuromuscular, favoreciendo decisiones más seguras al momento de la extubación.

Contribución de autores:

- Enrique Gamarra: elaboración del protocolo y manuscrito, búsqueda bibliográfica, recolección de datos, elaboración del manuscrito.
- Javier Nuñez: verificación de resultados y conclusiones.
- Luis Salomón: verificación y corrección del manuscrito

Conflicto de intereses: Los autores no declaran conflictos de interés comercial

Fuente de financiación: Autofinanciado

Referencias bibliográficas

1. D'Souza RS, Porter BR, Johnson RL. Nondepolarizing Paralytics (Archived) [Updated 2024 Oct 7]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK519510/>
2. Gulenay M, Patel P, Mathai JK. Depolarizing Neuromuscular Blocking Drugs. [Updated 2025 Apr 6]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 Jan-. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532996/>
3. Bucheery B, Isa H M, Rafiq O, et al. (December 23, 2023) Residual Neuromuscular Blockade and Postoperative Pulmonary Complications in the Post-anesthesia Care Unit: A Prospective Observational Study. *Cureus* 15(12): e51013. doi:10.7759/cureus.51013
4. Blum, F. E., Locke, A. R., Nathan, N., Katz, J., Bissing, D., Minhaj, M., & Greenberg, S. B. (2024). Residual Neuromuscular Block Remains a Safety Concern for Perioperative Healthcare Professionals: A Comprehensive Review. *Journal of Clinical Medicine*, 13(3), 861. <https://doi.org/10.3390/jcm13030861>
5. Minutti Palacios, M., Duarte Medrano, G., Escarramán Martínez, D., Solís Pérez, G. A., Antolinez Motta, J. M., & Guerrero Gutiérrez, M. (2025). Estado del arte en relajación neuromuscular, monitoreo y antagonismo en el perioperatorio. *Revista Chilena de Anestesia*, 54(3), 224-232. DOI: 10.25237/revchilanestv54n3-02
6. Thilen, S. R., Weigel, W. A., Todd, M. M., Dutton, R. P., Lien, C. A., Grant, S. A., & Szokol, J. W. (2023). 2023 American Society of Anesthesiologists practice guidelines for monitoring and antagonism of neuromuscular blockade: A report by the ASA Task Force on Neuromuscular Blockade. *Anesthesiology*, 138(1), 13–41. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000004379>
7. Rodney, G., Raju, P., & Brull, S. J. (2024). Neuromuscular block management: evidence-based principles and practice. *BJA education*, 24(1), 13–22. <https://doi.org/10.1016/j.bjae.2023.10.005>
8. Renew, J.R., Hernandez-Torres, V., Chaves-Cardona, H. et al. Comparison of visual and electromyographic assessments with train-of-four stimulation of the ulnar nerve: a prospective cohort study. *Can J Anesth/J Can Anesth* 70, 878–885 (2023). <https://doi.org/10.1007/s12630-023-02439-w>
9. Thilen, S. R., Weigel, W. A., Todd, M. M., Dutton, R. P., Lien, C. A., Grant, S. A., Szokol, J. W., Eriksson, L. I., Yaster, M., Grant, M. D., Agarkar, M., Marbella, A. M., Blanck, J. F., & Domino, K. B. (2023). 2023 American Society of Anesthesiologists Practice Guidelines for Monitoring and Antagonism of Neuromuscular Blockade: A Report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Neuromuscular Blockade. *Anesthesiology*, 138(1), 13–41. <https://doi.org/10.1097/ALN.0000000000004379>
10. Caruso L, Lampotang S, Gravenstein N. Patient safety and quantitative neuromuscular transmission monitoring in 2022. *APSF Newsletter*. 2022; 37:66.
11. Kosciuczuk, U., Dardzinska, A., Kasperczuk, A., Dzienis, P., Tomaszuk, A., Tarnowska, K., Rynkiewicz-Szczepanska, E., Kossakowska, A., & Pryzmont, M. (2024). Practice Guidelines for Monitoring Neuromuscular Blockade-Elements to Change to Increase the Quality of Anesthesiological Procedures and How to Improve the Acceleromyographic Method. *Journal of clinical medicine*, 13(7), 1976. <https://doi.org/10.3390/jcm13071976>
12. Chung C, Szokol JW, Weigel WA, Thilen SR. New practice guidelines for neuromuscular blockade. *APSF Newsletter*. 2023; 38:2,34,39-41