

## Ventajas y limitaciones del uso del torniquete en ortopedia y traumatología

### Advantages and Limitations of the Use of Tourniquet in Orthopedics and Traumatology

Yaima Rizo Fiallo<sup>1\*</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5564-5530>

Antonio Ismael Aparicio Morales<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-6899-342X>

Ragnar Calzado Calderón<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-5484-1089>

Osana Vilma Rondón García<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0002-1496-0657>

<sup>1</sup>Complejo Científico Ortopédico Internacional Frank País. La Habana. Cuba.

\*Autor para la correspondencia: [yaimarizo81@gmail.com](mailto:yaimarizo81@gmail.com)

#### RESUMEN

**Introducción:** El torniquete es ampliamente usado en la cirugía ortopédica y traumatológica con el objetivo de disminuir las pérdidas sanguíneas intraoperatorias y mejorar la visibilidad de las estructuras anatómicas, aunque su empleo es controversial.

**Objetivo:** Describir las aplicaciones prácticas y las limitaciones del torniquete en la cirugía ortopédica y traumatológica.

**Método:** Se realizó una revisión no sistemática de la literatura en bases de datos científicas como Cochrane Database of Systematic Reviews, Pubmed/Medline, EMBASE, Scopus, Web of Science, EBSCOhost, ScienceDirect, OVID y el buscador académico Google Scholar, en el mes de septiembre de 2020.

**Conclusiones:** Aunque el torniquete es ampliamente utilizado durante la cirugía ortopédica y traumatológica, debido a que contribuye a reducir las pérdidas hemáticas intraoperatorias, se ha demostrado su efecto en el aumento de las pérdidas sanguíneas totales, así como su asociación con dolor perioperatorio, pérdida de la fuerza muscular del miembro, lesiones de nervios periféricos, trombosis venosa profunda y daño a órganos a distancia por el fenómeno de isquemia-reperusión.

**Palabras claves:** torniquete; cirugía ortopédica; traumatología; lesión por isquemia-reperusión.

## ABSTRACT

**Introduction:** Although controversial, tourniquets are widely used in orthopedic and trauma surgery with the aim of reducing intraoperative blood losses and improving the visibility of anatomical structures.

**Objective:** To describe the practical applications and limitations of tourniquets in orthopedic and trauma surgery.

**Method:** A non-systematic review of the literature was carried out, in scientific databases such as Cochrane Database of Systematic Reviews, Pubmed / Medline, EMBASE, Scopus, Web of Science, EBSCOhost, ScienceDirect, OVID and the academic search engine Google Scholar, in the month of September 2020.

**Conclusions:** Although tourniquets are widely used during orthopedic and trauma surgery, since they contribute to reducing intraoperative blood loss, the effect on increasing total blood loss has been demonstrated, as well as the association with perioperative pain, blood loss, limb muscle strength, peripheral nerve injuries, deep vein thrombosis and damage to distant organs due to the ischemia-reperfusion phenomenon.

**Keywords:** tourniquet; orthopedic surgery; trauma; ischemia-reperfusion injury.

Recibido: 11/11/2020

Aprobado: 7/1/2021

## Introducción

La estrategia sobre el correcto manejo de la reserva hemática del paciente en procedimientos de ortopedia y traumatología ha cambiado en las últimas décadas. A principios de los años 80, la donación y recuperación perioperatoria de sangre autóloga se convirtieron en la práctica clínica habitual, fundamentalmente, a causa de los temores relacionados con los patógenos virales transmitidos por los hemoderivados, y como maniobra para evitar la transfusión alogénica cuya tasa en cirugía ortopédica programada era superior al 30 %.<sup>(1)</sup>

A partir del año 2010, el concepto sobre el ahorro de sangre y de la transfusión alogénica se ampliaba con otras medidas que incluían la optimización de la hemoglobina preoperatoria, la minimización de la hemorragia intraoperatoria y la mejora de la tolerancia a la anemia del paciente. Todo este conjunto de

medidas utilizadas dejó de centrarse en la técnica y pasó a centrarse en el paciente. En la literatura científica se acepta con la denominación anglosajona *Patient Blood Management*, que tenía como principal objetivo mejorar el desenlace clínico, evitando o minimizando las transfusiones innecesarias.<sup>(1,2)</sup>

Durante e inmediatamente después de la cirugía ortopédica mayor se observa una fase hiperfibrinolítica que conduce a un aumento del sangrado. Los estímulos como la hipoxia vascular, circulación de citoquinas y liberación endotelial del activador del plasminógeno como respuesta inflamatoria básica ante la agresión quirúrgica, catalizan la conversión de plasminógeno a plasmina. Además de esto, el uso de isquemia en este tipo de cirugía con el objetivo de mejorar la visibilidad en el campo quirúrgico añade una activación de la fibrinólisis al liberar los mediadores fibrinolíticos después de liberar el torniquete favoreciendo, por tanto, el sangrado posquirúrgico.<sup>(2)</sup>

El término torniquete describe un instrumento o dispositivo empleado para reducir o detener el flujo arterial y venoso hacia una extremidad. Su origen se remonta hasta la Edad Media cuando el cirujano militar francés Etienne Morel lo usara por primera vez en la batalla de Flanders en 1674,<sup>(3)</sup> pero el término actual fue acuñado a inicios del siglo XVIII por Jean Louis Petit con el francofonismo *turner*, que significa “dar la vuelta”. En las primeras cirugías se comenzó a emplear con previa elevación pasiva del miembro procurando su exanguinación, hasta que Esmarch creara posteriormente unas bandas planas de caucho que actualmente llevan su nombre.<sup>(4)</sup> A inicios del pasado siglo, Cushing diseñó el torniquete neumático, el cual fue desarrollado en los años 80 por McEwen, quien ingenia un torniquete controlado por computador que monitorea no solo la presión, sino también las fugas y el tiempo de insuflación, entre otros parámetros. Este equipo puede, además, estimar la presión de oclusión del miembro por lo que protege de la despresurización y la sobrepresurización.<sup>(5)</sup> Actualmente, el torniquete es ampliamente utilizado en el manejo prehospitalario del paciente lesionado<sup>(6)</sup> y durante la cirugía.<sup>(7)</sup>

Aunque es muy empleado en ortopedia y traumatológica por disminuir las pérdidas hemáticas transoperatorias y mejorar la visibilidad de las estructuras anatómicas, su uso sigue siendo controversial<sup>(8,9,10,11,12,13)</sup> por estar asociado a numerosas

complicaciones que incluyen: el dolor posoperatorio, daño endotelial por isquemia-reperfusión, inflamación de los miembros, retraso en la rehabilitación, trombosis venosa y lesiones de nervios periféricos.<sup>(9,10,11)</sup>

## Métodos

Se realizó una revisión no sistemática de la literatura en bases de datos científicas como Cochrane Database of Systematic Reviews, Pubmed/Medline, EMBASE, Scopus, Web of Science, EBSCOhost, ScienceDirect, OVID y el buscador académico Google Scholar, en el mes de septiembre de 2020. Se utilizaron como descriptores los consignados en las palabras clave del artículo, en los idiomas inglés y español, combinados con los operadores lógicos. La búsqueda y selección de artículos se realizó de forma independiente, restringida a revisiones sistemáticas y metanálisis, ensayos clínicos, editoriales, estudios aleatorizados y revisiones no sistemáticas, cuyo período de publicación fuera, en lo posible, menor de 5 años. Se estructuró el contenido por acápites en el cual fue plasmada, además, la experiencia de los autores.

## Fisiopatología de la lesión por isquemia-reperfusión

El torniquete se aplica a nivel de la extremidad inferior o superior para una mejor visualización quirúrgica y reducción de las pérdidas hemáticas transoperatorias. A pesar de su fácil y simple aplicación, su uso puede estar asociado a potenciales complicaciones.<sup>(14,15)</sup>

La interrupción prolongada pero reversible del suplemento de sangre y oxígeno a los tejidos es causa de daño orgánico, este se denomina lesión por isquemia-reperfusión (I/R). Inicialmente, aparece un agotamiento de las reservas de energía celular. La depleción del trifosfato de adenosina (ATP) y la creatinina-fosfocinasa (CPK) en el músculo esquelético y el cerebro altera la función de los canales iónicos, lo cual acrecienta la disminución de las reservas de energía, aumentando el calcio citosólico y los requerimientos energéticos para la función neuromuscular.<sup>(16,17)</sup>

En otros tejidos la respuesta adaptativa celular y el consumo de energía son activados, así como la apoptosis. Cuando retorna el flujo a los tejidos se genera una intensa producción de radicales libres de oxígeno. Ambos eventos, la privación de oxígeno y el aumento de los radicales libres, llevan al desbalance del metabolismo celular, daño a nivel de la membrana con alteración de su permeabilidad y disfunción orgánica debido a muerte celular.<sup>(17,18,19,20)</sup>

La lesión por I/R es un fenómeno bien conocido en muchos entornos clínicos con una brusca interrupción del flujo sanguíneo y la consiguiente afectación de la oxigenación tisular como ocurre en el infarto agudo de miocardio, eventos embólicos en las extremidades, riñones, cerebro o segmentos de intestino; o en la donación y trasplante de órganos. La hipotensión severa y una marcada inflamación regional o sistémica también pueden provocar el desarrollo de la lesión por I/R.<sup>(21)</sup>

## Indicaciones y modo de empleo del torniquete

El torniquete se coloca comúnmente en la porción superior del brazo o del muslo, por lo que su práctica está relacionada con un espectro bien amplio de cirugías, tanto electivas como de urgencias, de los miembros superiores o inferiores. De igual forma, puede ser utilizado en la anestesia regional intravenosa o bloqueo de Bier y en la infiltración aislada de agentes tóxicos como terapéutica de lesiones malignas localizadas. Actualmente se emplean dispositivos neumáticos controlados electrónicamente con un preciso control de la presión y con alarma de sobrepresión incorporada para mejorar su seguridad. La elaboración de dispositivos elásticos más simples permite, además, su utilización individual en los dedos.<sup>(7)</sup>

El diámetro del brazalete es escogido por el personal médico según las dimensiones del paciente. Generalmente debe ser mayor que la mitad del diámetro del miembro. Se coloca en la porción proximal de la extremidad a operar, en su parte más gruesa o musculosa y a una distancia razonable del campo quirúrgico, determinada por el cirujano (5 cm como mínimo proximal al sitio a operar).<sup>(14,22)</sup> Es recomendable la colocación de algún tipo de acolchonado por

debajo del torniquete, sin exceder en dos capas, pues puede atenuar la presión transmitida, lo que reduciría su eficacia. Este acolchonado debe ser suave y sin pliegues para evitar las lesiones locales de la piel. Se debe garantizar que no se encuentre embebido en el yodo o alcohol utilizado para la desinfección de la piel antes de la incisión para evitar las quemaduras químicas del área. El sistema de torniquete debe someterse a chequeos regulares.<sup>(14)</sup>

Previo al uso del torniquete se requiere la exanguinación del miembro, la cual se realiza con la simple elevación pasiva, aplicando un ascenso de 90° para la extremidad superior y 45° para la inferior; o con el uso de las bandas de Esmarch, las cuales se aplican de distal a proximal en forma de espiral a través del miembro. Aunque las bandas brindan una óptima exanguinación, no son recomendables en caso de tumores, infección o embolismo por riesgo de diseminación.<sup>(7)</sup>

Una incorrecta aplicación e insuflación del torniquete origina una completa oclusión venosa pero incompleta oclusión arterial, lo que provoca una congestión venosa secundaria de la extremidad, lo que es causa de dolor.<sup>(7)</sup>

Existe controversia en cuanto al valor ideal de presión mínima que disminuya las complicaciones secundarias al uso del torniquete y mantenga su efectividad.<sup>(7,22,23,24)</sup> De forma general, se describen tres métodos para este fin.<sup>(22)</sup> El más aplicado es el uso de rangos de presiones preestablecidos que no evalúan a cada persona de forma individual.<sup>(24,25)</sup> Otra de las opciones tiene en cuenta los valores basales de presión sistólica (PSB) del paciente elevando la del torniquete por encima, aunque no existe un consenso general de cuál sería el nivel idóneo. La tercera y más reciente forma es mediante el uso de la presión de oclusión del miembro (POM) que no es más que la presión mínima necesaria para frenar el flujo de sangre a través de este.<sup>(23)</sup> Constituye la más efectiva de todas las variantes ya que su valor es específico para cada paciente y tiene en cuenta además de la presión arterial individual, la circunferencia del miembro y su forma, las características tisulares, el torniquete empleado y su correcta aplicación.<sup>(7,26)</sup> Pero este método presenta la limitación de que requiere de mediciones mediante un ultrasonido Doppler y además es poco fiable en personas con enfermedades vasculares, con poca perfusión periférica, o en climas fríos.

Por estas razones, se continúa trabajando en el desarrollado de otras tecnologías alternativas que permitan medir la POM a través del uso de sensores incorporados al torniquete.<sup>(7)</sup>

Límites de presión predeterminados:

- De 100-250 mmHg<sup>(25,27,28)</sup>
- De 250-300 mmHg<sup>(4,7,15,24,29,30,31,32)</sup>

Límites de presión por encima de los valores de PSB:

- Menos de 100 mmHg<sup>(28,33)</sup>
- De 100-150 mmHg<sup>(7,28,34,34,35,36)</sup>

Límites de POM:

- Se establecen como límites seguros, en pacientes con una POM menor de 130 mmHg, no elevar la presión aplicada en más de 40 mmHg de la POM individual; no más de 60 mmHg en una POM de 131-190 mmHg; y no más de 80 mmHg cuando la POM supere los 190 mmHg.<sup>(26)</sup> En los pacientes pediátricos solo se puede elevar en 50 mmHg.<sup>(14,26)</sup>

En cuanto al límite de tiempo considerado como seguro para el empleo del torniquete no existe un consenso unánime.<sup>(24,25,30)</sup> Varios autores plantean que la incidencia de complicaciones perioperatorias se relaciona directamente con el tiempo de isquemia y no precisamente con la presión empleada.<sup>(28,35,36,37,38)</sup>

A la pregunta de si es la presión o el tiempo lo que contribuye al incremento temprano de la presión intracraneal posterior a la deflación del torniquete, *Besir* y otros<sup>(36)</sup> llegaron a la conclusión, en su estudio realizado a pacientes operados de forma electiva de morbilidades ortopédicas del miembro inferior (n= 60) en los cuales se utilizó isquemia, que el incremento de la presión intracraneana en un período precoz a la deflación del torniquete no estaba en relación con la presión del torniquete sino con el tiempo de su empleo, sobre todo cuando superaba los 68 minutos.

Cao y otros<sup>(39)</sup> realizaron un estudio prospectivo de pacientes con osteoartritis de rodilla (n = 102) a los que se les realizó una artroplastia total de la articulación, con el objetivo de evaluar el impacto del torniquete en un circuito de recuperación intensificada posoperatoria (*Enhanced Recovery After Surgery*, ERAS). Dividieron el estudio en dos grupos: en uno de ellos aplicaron el torniquete durante toda la intervención, y en el otro lo hicieron solo en la segunda mitad del tiempo quirúrgico, con igual presión del brazalete en ambos. Como resultado obtuvieron una menor presencia de complicaciones y, por tanto, mejor recuperación posquirúrgica en los pacientes sometidos a isquemia solo en la segunda mitad.

Cuando cesa el flujo sanguíneo al músculo después la insuflación del brazalete, la tensión de oxígeno y la saturación de la mioglobina caen, lo que provoca una hipoxia tisular regional dependiente del metabolismo local y los ajustes celulares. En el músculo esquelético humano, los niveles de oxígeno disminuyen en un 50 % del valor basal después de 5 min de isquemia y continúan decreciendo a los 15 y 30 min, alcanzando niveles de 28 % y 19 % respectivamente.<sup>(40)</sup> Este decrecimiento de los niveles de oxígeno trae como consecuencia una alteración de los niveles de ATP,<sup>(41)</sup> que aunque *Miller* y otros plantearon que puede permanecer estable hasta las 2,5 horas de isquemia,<sup>(40)</sup> otros autores en un estudio posterior apreciaron una disminución de las concentraciones de esta enzima una vez instaurada la isquemia, lo que deviene en muerte celular.<sup>(42)</sup>

Otro de los aspectos que se debe tener en cuenta es el decrecimiento significativo de los niveles de glucosa después de los 15 min de isquemia, el cual llega hasta un 50 % de las cifras basales a los 30 min, y disminuye aún más a los 45 min, registrándose solo el 35 % de su valor fisiológico. Por otro lado, aparece un incremento inverso y recíproco de las concentraciones de lactato, mayor de 150 % de las cifras basales a los 15 min incrementándose hasta un 250 % una hora después, lo que indica un rápido incremento de la glucólisis anaerobia.<sup>(43)</sup> Este incremento del lactato conlleva a una inhibición de la producción de ATP, exacerbando la acidosis y empeorando la capacidad de las bombas iónicas para regular los gradientes iónicos a través de la membrana celular, lo que trae como consecuencia la lisis celular.<sup>(44)</sup>

Por todo lo anterior, aunque es considerado por varios autores como tiempo de seguridad por debajo de las 2 horas de isquemia.<sup>(7,14,26,27,30,32,34,45)</sup> Otros recomiendan el uso del torniquete durante el menor tiempo posible para reducir sus efectos perniciosos.<sup>(10,24,36,46)</sup>

## Contraindicaciones

Absolutas<sup>(4,5,14)</sup>

- Miembro con fístula arteriovenosa o cirugía vascular previa.
- Lesiones malignas del miembro.
- Enfermedad vascular periférica.
- Sicklemia.

Relativas<sup>(14)</sup>

- Historia de trombosis venosa profunda o embolismo pulmonar.
- Obesidad.
- Artritis reumatoidea.
- Hipertensión severa.
- Injerto de piel.

## Pérdidas de sangre perioperatorias

La principal indicación del torniquete es disminuir las pérdidas hemáticas durante el acto quirúrgico lo que permite, además, una mejor visualización de las estructuras anatómicas.<sup>(9,47,48,49)</sup> Pero esto no siempre se corresponde con el valor de las pérdidas sanguíneas totales (PST),<sup>(9,39,50,51,52)</sup> debido a que la desinsuflación del torniquete provoca una alteración del balance normal de la coagulación.<sup>(52)</sup>

Se describen, en general, tres formas de pérdidas de sangre relacionadas con la cirugía:

- Intraoperatoria: se calcula estimando la sangre absorbida por las compresas y la que se aspira durante el acto quirúrgico.
- Posoperatoria: se tasa midiendo la sangre presente en el drenaje o, en su ausencia, la observada en el vendaje.
- Oculta: constituida por la sangre extravasada en los tejidos, la sangre residual intrarticular, y la que se pierde producto de la hemólisis.

Las PST están definidas por la suma de las pérdidas intraoperatorias, posoperatorias y ocultas.<sup>(15)</sup>

Un estudio prospectivo de *Zhou* y otros<sup>(12)</sup> evalúa, entre otros aspectos, la relación entre la pérdida de sangre y el uso o no del torniquete en pacientes sometidos a artroplastia total de rodilla. El grupo en el cual se empleó el torniquete presentó menores pérdidas intraoperatorias ( $215,7 \pm 113,7$  mL vs.  $138,6 \pm 93,9$  mL,  $p < 0,001$ ); sin embargo, las posoperatorias fueron menores en los pacientes operados sin torniquete ( $180,2 \pm 117,0$  mL vs.  $253,7 \pm 144,2$  mL,  $p = 0.001$ ). En ambos grupos se observaron PST y tasa de transfusiones similares.

*Tie* y otros<sup>(53)</sup> realizaron una revisión sistemática y metanálisis de estudios sobre la liberación temprana del torniquete (después de cementada la prótesis) o tardía (después del cierre de la herida quirúrgica y colocación del vendaje) en operaciones de artroplastia total de rodilla publicados entre 1966 y 2016 ( $n = 16$ ), con un total de 1073 pacientes y 1093 rodillas. En este estudio no determinaron diferencias significativas en cuanto a las pérdidas perioperatorias de sangre relacionadas con el momento de liberación del torniquete, pero sí hallaron una menor incidencia de complicaciones en las intervenciones donde fue retirado el torniquete de forma temprana.

Otra revisión sistemática y metanálisis de diferentes artículos publicados hasta 2018 ( $n = 16$ ), realizada por *Wang* y otros,<sup>(54)</sup> evalúa los efectos del torniquete en la cirugía artroscópica de rodilla. Estos autores compararon un grupo de pacientes en los cuales se empleó el torniquete, con un segundo grupo en los cuales no se usó isquemia durante toda la intervención, ellos apreciaron una menor pérdida de sangre posoperatoria en los pacientes sin torniquete y un menor consumo de

analgésicos, además de no advertir diferencias significativas entre ambos grupos en cuanto a la visualización artroscópica, la fuerza muscular del cuádriceps y el tiempo quirúrgico, por lo que sugieren no usar el torniquete de forma rutinaria durante la artroscopia de rodilla.

## Efecto en el tiempo quirúrgico

Otro potencial beneficio del uso del torniquete es la disminución del tiempo quirúrgico. *Zhou* y otros<sup>(12)</sup> encontraron una disminución de este con el empleo del torniquete; al igual que *Cao* y otros<sup>(39)</sup> cuando aplican isquemia durante toda la cirugía en comparación con su uso solo en la segunda mitad del tiempo operatorio. Sin embargo, otros autores no obtuvieron una diferencia sustancial en cuanto a la duración quirúrgica con el uso del torniquete.<sup>(50,51,54,55)</sup>

## Complicaciones

A pesar de facilitar la actividad quirúrgica,<sup>(9)</sup> el uso del torniquete sigue generando polémica por su asociación con disímiles complicaciones.<sup>(8,10)</sup>

### Complicaciones locales

El empleo del torniquete se asocia con un incremento en la incidencia posoperatoria de infección de la herida quirúrgica,<sup>(38)</sup> dolor perioperatorio,<sup>(56)</sup> necrosis con pérdida de la fuerza muscular del miembro,<sup>(13,44)</sup> y lesiones de nervios periféricos.<sup>(28)</sup>

El torniquete es usado con frecuencia para detener la hemorragia en los heridos de guerra o en accidentes de tránsito, seguido de la administración profiláctica de antibióticos endovenosos para evitar la infección de las partes blandas.<sup>(57)</sup> Pero *Mangum* y otros<sup>(38)</sup> determinaron mediante un estudio en ratas que el intervalo de 2 a 4 horas de isquemia disminuye progresivamente la concentración de antibiótico en el músculo esquelético hasta 72 horas después de la liberación del torniquete, por lo que incrementa potencialmente el riesgo de infección. Sin

embargo, en un estudio de cohorte retrospectivo realizado por *Benedick* y otros<sup>(31)</sup> a pacientes con fractura de tobillo (n = 903), no encontraron diferencias significativas en cuanto a la presencia de infecciones de la piel, superficiales o profundas, concernientes al uso del torniquete, sino con la coexistencia de morbilidades crónicas, principalmente la diabetes mellitus (OR 4,01, p < 0,05) o cuando la fractura era abierta (OR 3.73, p < 0,05). *Patel* y otros<sup>(29)</sup> tampoco encontraron relación directa entre la aplicación del torniquete y la presencia de infección posquirúrgica.

*Reda* y otros<sup>(55)</sup> reportan que con el torniquete en las cirugías del miembro inferior, los síntomas dolorosos en el músculo aparecen durante el posoperatorio inmediato pero la alteración en la fuerza muscular puede ser transitoria. Refieren que los pacientes con torniquete presentan un decrecimiento del diámetro circunferencial del muslo y la pierna a las dos semanas de operados, causado probablemente por atrofia posoperatoria del miembro inferior. En otras investigaciones se observó una menor incidencia de dolor posoperatorio sin el uso torniquete, con óptimos rangos de movilidad articular y una mejor rehabilitación.<sup>(9,12,50)</sup> *Alexandersson* y otros<sup>(58)</sup> evaluaron el efecto sobre la movilidad con el uso o no del torniquete hasta los 3 meses posteriores a la cirugía del miembro inferior, y obtuvieron una mejor recuperación en los casos donde no se aplicó isquemia.

Con el propósito de caracterizar los posibles cambios en el tejido muscular después del uso del torniquete, *Muyskens* y otros<sup>(13)</sup> practicaron un análisis histológico de muestras de biopsia de tejido muscular tomadas antes de la aplicación del torniquete y 2 horas después de la desinsuflación, a un grupo de pacientes operados de artroplastia total de rodilla. Encontraron un aumento del área de isquemia en los tres tipos de fibras musculares (Tipo 1, Tipo 2a y Tipo 2x) a las dos horas de la insuflación del torniquete, fenómeno precursor de la atrofia muscular.

La lesión nerviosa es atribuible a dos hechos, la isquemia y la compresión directa sobre el nervio, causantes de congestión microvascular, inadecuada perfusión y degeneración axonal.<sup>(7)</sup> *Pyati* y otros<sup>(28)</sup> determinaron los efectos del torniquete en el desarrollo del dolor posquirúrgico secundario a la isquemia neural, mediante

oxineurografía y test de conducción nerviosa sensorial (*sensory nerve conduction testing*). Observaron una caída significativa en la oxineurografía a los 5 min de la insuflación del torniquete tanto en el miembro superior como en el inferior, y un incremento marcado en el test de conducción nerviosa sensorial en la extremidad superior.

## Complicaciones sistémicas

Entre las complicaciones sistémicas más temidas asociadas al uso del torniquete está la trombosis venosa profunda (TVP). Una revisión sistemática y metanálisis realizada por *Jiang* y otros<sup>(59)</sup> muestra una incidencia de TVP de 25,3 % después de la artroplastia de rodilla en los pacientes en que se usó torniquete, en comparación con solo 17,7 % en los casos sin isquemia. Otra revisión sistemática y metanálisis efectuada por *Tie* y otros<sup>(53)</sup> no muestra diferencia en la ocurrencia de TVP relacionada con la liberación temprana o tardía del torniquete.

El fenómeno de daño por reperfusión puede provocar lesión en diferentes órganos a distancia como pulmón, cerebro y corazón.<sup>(7,19)</sup> Seguido a la insuflación del torniquete ocurre un aumento de la resistencia vascular periférica con una elevación de la presión venosa central, que se disipa alrededor de los 5 min; pero pasados los 30 min de isquemia ocurre una elevación de la presión arterial y el ritmo cardíaco debido al torniquete. Una vez liberado este, sobreviene la liberación de mediadores vasoactivos y factores de depresión miocárdica que pueden llevar a un vasoespasmo coronario. A nivel pulmonar, la elevación del lactato y la acidosis metabólica presente después de la retirada del torniquete ocasionan un aumento de la fracción telespiratoria de CO<sub>2</sub> entre 0,1 y 2,4 kPal.<sup>(14)</sup>

Un modelo preclínico en ratas Wistar publicado por *Huwa* y otros<sup>(37)</sup> evaluó el daño a nivel pulmonar que aparece con el torniquete. Dividieron la muestra en dos grupos, y realizaron el examen histopatológico del tejido pulmonar inmediatamente después de retirar el torniquete a un grupo, y a los 14 días al otro. La severidad del daño pulmonar se midió tomando en cuenta el índice de lesión pulmonar (*Lung Injury Score*, LIS); el daño oxidativo fue evaluado a partir de la determinación de los valores de malondialdehído, por el método TBARS

(*thiobarbituric acid reactive substance assay*). Se evidenció la relación directa entre el tiempo de isquemia con el aumento del LIS y los valores de TBARS.

Zarrouki y otros<sup>(60)</sup> reportaron un caso de parada cardíaca acaecida posterior a la desinsuflación del segundo torniquete, en un paciente operado de fractura de ambos miembros superiores, en el que descartaron otras posibles causas desencadenantes como el infarto agudo de miocardio o el tromboembolismo pulmonar.

Stimpson y otros<sup>(24)</sup> señalaron la relación entre la aplicación del torniquete y la elevación de la presión arterial media y sistólica cuando se utilizaba por más de una hora. Besir y Tugcugil<sup>(36)</sup> apreciaron un incremento de la presión intracraneana después de la desinsuflación del torniquete, principalmente cuando se habían superado los 68 min de isquemia.

Otra de las complicaciones sistémicas asociadas al torniquete es la rabdomiólisis, entidad rara causada por la oclusión vascular e isquemia del músculo esquelético. Se ha reportado en casos con tiempos muy prolongados de isquemia (mayor de 4 horas) o presiones del torniquete muy elevadas (mayor de 500 mmHg).<sup>(14)</sup>

## Medidas perioperatorias

Con el objetivo de mitigar los efectos nocivos del uso del torniquete, se emplean varias medidas que persiguen disminuir los daños causados por el fenómeno de isquemia-reperfusión.

El preacondicionamiento isquémico remoto es un método mediante el cual provoca una isquemia del miembro durante algunos minutos seguida de la reperfusión, con el objetivo de generar una respuesta adaptativa a nivel de órganos vitales como corazón y riñón, ante la isquemia prolongada de la extremidad.<sup>(61)</sup>

Se suele provocar intervalos de reperfusión cuando el tiempo quirúrgico es mayor de dos horas. Básicamente, se procede a la liberación del torniquete durante un breve período de entre 5-20 min. Posteriormente se vuelve a colocar y se repite el proceder cada una hora.<sup>(37)</sup>

También se recomienda por algunos autores no emplear el torniquete durante todo el tiempo quirúrgico.<sup>(39)</sup> *Zhang* y otros<sup>(32)</sup> evaluaron su uso en tres grupos de estudio operados de artroplastia total de rodilla (n = 150), aplicándolo en un grupo durante toda la operación, en el otro desde el inicio de la cirugía hasta realizado el reemplazo, y en un tercer grupo donde se utiliza solo desde el comienzo de la osteotomía hasta la terminación de la artroplastia. Como resultado, se observó menor número de complicaciones y mejor recuperación funcional en el tercer grupo. Otros autores aplican isquemia solo durante la fase de cementación de la prótesis.<sup>(9)</sup>

Actualmente se preconiza el empleo del ácido tranexámico durante la cirugía para disminuir las pérdidas hemáticas perioperatorias. *Zhao* y otros,<sup>(9)</sup> en un estudio realizado a pacientes operados de artroplastia total de rodilla (n= 180) concluyeron que los pacientes operados sin torniquete y con múltiples dosis de ácido tranexámico (20 mg/kg después de la incisión seguido de 10 mg/kg cada tres horas durante la cirugía) presentaron valor menor de las PST, menor presencia de complicaciones y mejor recuperación funcional de la rodilla, que los pacientes con igual protocolo de ácido tranexámico pero operados con isquemia. *Huang* y otros,<sup>(62)</sup> en un estudio con nivel de evidencia I, efectuado a 150 pacientes operados de rodilla dividieron la muestra en tres grupos, aplicaron isquemia y ácido tranexámico endovenoso y tópico en un grupo, solo isquemia en el segundo y solo el ácido tranexámico endovenoso y tópico en el tercero; ellos obtuvieron igualmente superiores resultados y pronta recuperación en los pacientes del tercer grupo.

*Arthur* y *Spanghel*,<sup>(15)</sup> del Departamento de Cirugía Ortopédica de la Clínica Mayo de Arizona, prefieren para la realización de la artroplastia total de rodilla, mantener insuflado el torniquete hasta la cementación de la prótesis. Administran un 1 g de ácido tranexámico previa insuflación y una segunda dosis igual a la anterior cuando retiran el torniquete. Cuando el proceder quirúrgico es extenso (mayor de 2 horas), desinflan el torniquete entre los 60 y los 90 min por alrededor de 20 min como mínimo, para volver a insuflarlo antes de la cementación.

En otro estudio se aplicó un doble torniquete en un grupo de intervención, uno en el muslo y otro en la pierna, alternando la insuflación de cada uno cada 60

min, comparándolo con un grupo control sobre el cual aplican un solo torniquete durante 90 min. Se observó una menor elevación de las cifras de tensión arterial en el grupo de intervención por la menor presencia de dolor asociado al torniquete.<sup>(24)</sup>

En cuanto al tipo de anestesia, *Que* y *Xue*<sup>(63)</sup> en su artículo demuestran que el uso del propofol activa diferentes mediadores que atenúan el daño a los tejidos por la lesión de isquemia-reperfusión, y *Maldonado* y otros<sup>(34)</sup> evidencian el efecto protector del propofol en comparación con el uso del sevoflurano en los pacientes operados del miembro inferior en los que se aplicó torniquete.

## Conclusiones

Aunque el torniquete es ampliamente utilizado durante la cirugía ortopédica y traumatológica, fundamentado en la reducción de las pérdidas hemáticas intraoperatorias, se ha demostrado su efecto en el aumento de las pérdidas sanguíneas totales así como su asociación con dolor perioperatorio, pérdida de la fuerza muscular del miembro, lesiones de nervios periféricos, trombosis venosa profunda y daño a órganos a distancia por el fenómeno de isquemia-reperfusión.

## Referencias bibliográficas

1. Canillas F, Gómez S, García JA, Pavía J, Muñoz M. “Patient blood management” en cirugía ortopédica. Rev Esp Cir Ortop [Internet]. 2015;59:137-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.recot.2014.11.005>
2. Moráis S, Ortega M, Rodríguez EC, Padilla NG, Pérez H, Figueredo R. Blood transfusion after primary total knee arthroplasty can be significantly minimised through a multimodal blood-loss prevention approach. Int Orthop [Internet]. 2014;38:347-54. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00264-013-2188-7>
3. Welling D, McKay P, Rasmussen T, Rich N. A brief history of the tourniquet. J Vasc Surg [Internet]. 2012;55:286-90. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jvs.2011.10.085>
4. Noordin S, McEwen J, Kragh JF. Surgical tourniquets in orthopaedics J Bone Joint Surg Am [Internet]. 2009;91(12):2958-67. DOI: <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.00634>

5. Oragui E, Parsons A, White T. Tourniquet use in upper limb surgery. Hand [Internet]. 2011;6(2):165-73. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11552-010-9312-6>
6. Lakstein D, Blumenfeld A, Sokolov T. Tourniquets for hemorrhage control on the battlefield: a 4-year accumulated experience. J Trauma [Internet]. 2003;54(5):221-5. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.TA.0000047227.33395.49>
7. McMillan TE, Gardner T, Johnstone AJ. Current concepts in tourniquet uses. Surgery [Internet]. 2020 March 01;38(3):139-42. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mpsur.2020.01.005>
8. Touzopoulos P, Ververidis A, Mpogiatzis C, Chatzigiannakis A, Drosos GI. The use of tourniquet may influence the cement mantle thickness under the tibial implant during total knee arthroplasty. Eur J Orthop Surg Traumatol [Internet]. 2019;29(4):869-75. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00590-019-02369-8>
9. Zhao HY, Yeersheng R, Kang XW, Xia YY, Kang PD, Wang WJ, *et al.* The effect of tourniquet uses on total blood loss, early function, and pain after primary total knee arthroplasty. Bone Joint Res [Internet]. 2020;9(6):322-32. DOI: <https://doi.org/10.1302/2046-3758.96.BJR-2019-0180.R3>
10. Dennis DA, Kittelson AJ, Yang C. Does Tourniquet Use in TKA Affect Recovery of Lower Extremity Strength and Function? A Randomized Trial. Clin Orthop Relat Res [Internet]. 2016;474(1):69-77. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11999-015-4393-8>
11. Tsubosaka M, Ishida K, Sasaki H. Effects of Suture and Tourniquet on Intraoperative Kinematics in Navigated Total Knee Arthroplasty. J Arthroplasty [Internet]. 2017;32(6):1824-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394309-5.00006-7>
12. Zhou K, Ling T, Wang H, Zhou Z, Shen B, Yang J, *et al.* Influence of tourniquet use in primary total knee arthroplasty with drainage: a prospective randomised controlled trial. Journal of Orthopaedic Surgery and Research [Internet]. 2017;12:172. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13018-017-0683-z>
13. Muyskens JB, Hocker AD, Turnbull DW, Shah SN, Lantz BA, Jewett BA, *et al.* Transcriptional profiling and muscle cross-section analysis reveal signs of ischemia reperfusion injury following total knee arthroplasty with tourniquet. Physiol Rep [Internet]. 2016;4(1):e12671. DOI: <https://doi.org/10.14814/phy2.12671>
14. Wong S, Irwin MG. Procedures under tourniquet. Anaesthesia and intensive care medicine [Internet]. 2018 April 01;19(4):155-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mpaic.2018.01.007>
15. Arthur JR, Spangehl MJ. Tourniquet Use in Total Knee Arthroplasty. J Knee Surg [Internet]. 2019;32:719-29. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0039-1681035>

16. Kalogeris T, Baines CP, Krenz M, Korthuis RJ. Cell biology of ischemia/reperfusion injury. *Int Rev Cell Mol Biol* [Internet]. 2012;298:229-317. DOI: <https://doi.org/10.1002/cphy.c160006>
17. Kalogeris T, Baines CP, Krenz M, Korthuis RJ. Ischemia/reperfusion. *Compr Physiol* [Internet]. 2016;7:113-70. DOI: <https://doi.org/10.3390/jcm8020267>
18. Leurcharusmee P, Sawaddiruk P, Punjasawadwong Y, Chattipakorn N, Chattipakorn SC. The Possible Pathophysiological Outcomes and Mechanisms of Tourniquet-Induced Ischemia-Reperfusion Injury during Total Knee Arthroplasty. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity* [Internet]. 2018 Nov 5; ID: 8087598. DOI: <https://doi.org/10.1155/2018/8087598>
19. Chen L, Zhao H, Alam A. Postoperative remote lung injury and its impact on surgical outcome. *BMC Anesthesiology* [Internet]. 2019;19(1):1-10. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12871-019-0698-6>
20. Abassi Z, Armaly Z, Heymanx SN. Glycocalyx Degradation in Ischemia-Reperfusion Injury. *The American Journal of Pathology* [Internet]. 2020;190(4):752-67. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2019.08.019>
21. Abassi Z, Rosen S, Lamothe S, Heyman SN. Why have detection, understanding and management of kidney hypoxic injury lagged behind those for the heart? *J Clin Med* [Internet]. 2019;8:267. DOI: <https://dx.doi.org/10.1055%2Fs-0036-1571281>
22. Bogdan Y, Helfet DL. Use of Tourniquets in Limb Trauma Surgery. *Orthop Clin N Am* [Internet]. 2018;49(2):157-65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2017.11.004>
23. Jalón MS, López MAB, Cobo CMS, Bartolomé ER, Fernández MS, Cobo GC, *et al.* Assessment of the Pneumatic Ischemia Technique Using the Limb Occlusion Pressure During Upper Limb Surgery. *Journal of Peri Anesthesia Nursing* [Internet]. 2018 Oct;33(5):699. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jopan.2016.08.017>
24. Stimpson J, Gill DF, Memarzadeh A, Dunne M, Perry L, Magan A, *et al.* Reducing the Hypertensive Effects of the Prolonged Surgical Tourniquet Using a Dual-Cuff Strategy: A Prospective Randomized Controlled Trial. *The Journal of Foot & Ankle Surgery* [Internet]. 2019;58:1177-86. DOI: <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2019.03.019>
25. Sarfani S, Cantwell S, Shin AY, Kakar S. Challenging the dogma of tourniquet pressure requirements for upper extremity surgery. *J Wrist Surg* [Internet]. 2016;5:120-3. DOI: <https://doi.org/10.1007%2Fs11552-014-9667-1>

26. AORN. Recommended practices for the use of the pneumatic tourniquet in the perioperative practice setting. *AORN J.* 2007 Oct;86(4):640-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aorn.2007.09.004>
27. Drolet BC, Okhah Z, Phillips BZ. Evidence for safe tourniquet use in 500 consecutive upper extremity procedures. *Hand [Internet].* 2014;9:494-8. DOI: <https://doi.org/10.5435/JAAOS-20-05-310>
28. Pyati S, Cobert J, Jabre JF, Kaye AD, Diaz JH, Raghunathan K. Effects of Tourniquets in the Development of Pain States: a Novel Clinical Pilot Study and Review of Utilization of Tissue Oximetry to Measure Neural Ischemia. *Current Pain and Headache Reports [Internet].* 2020;24:25. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11916-020-00855-x>
29. Patel NK, Johns W, Vedi V, Langstaff RJ, Golladay GJ. Tourniquet and tranexamic acid use in total knee arthroplasty. *Arthroplasty Today [Internet].* 2020;6(2):246-50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.artd.2020.02.007>
30. Fitzgibbons PG, Digiovanni C, Hares S. Safe tourniquet use: a review of the evidence. *J Am Acad Orthop Surg [Internet].* 2012;20(5):310-9. DOI: <https://doi.org/10.5435/JAAOS-20-05-310>
31. Benedick A, Rivera T, Vallier HA. Effect of Tourniquet Use During Ankle Fracture Fixation on Wound Healing and Infectious Complications. *Foot & Ankle International [Internet].* 2020 Jun;41(6):714-20. DOI: <https://doi.org/10.1177/107110072090737>
32. Zhang Y, Li D, Liu P, Wang X, Li M. Effects of different methods of using pneumatic tourniquet in patients undergoing total knee arthroplasty: a randomized control trial. *Ir J Med Sci [Internet].* 2017;186:953-9. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11845-017-1585-0>
33. Mori N, Kimura S, Onodera T, Iwasaki N, Nakagawa I, Masuda T. Use of a pneumatic tourniquet in total knee arthroplasty increases the risk of distal deep vein thrombosis: A prospective, randomized study. *Knee [Internet].* 2016;23:887-9. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0363-5023\(79\)80008-8](https://doi.org/10.1016/S0363-5023(79)80008-8)
34. Maldonado F, Morales D, Gutiérrez R, Barahona M, Cerda O, Cáceres M. Effect of sevoflurane and propofol on tourniquet-induced endothelial damage: a pilot randomized controlled trial for knee ligament surgery. *BMC Anesthesiology [Internet].* 2020;20:121. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12871-020-01030-w>
35. Kim TK, Bamne AB, Sim JA, Park JH, Na YG. Is lower tourniquet pressure during total knee arthroplasty effective? A prospective randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders [Internet].* 2019;20:275. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12891-019-2636-7>

36. Besir A, Tugcugil E. Does Tourniquet Time or Pressure Contribute to Intracranial Pressure Increase following Tourniquet Application? *Med Princ Pract* [Internet]. 2019;18:16-22. DOI: <https://doi.org/10.1159/000495110>
37. Huwae TECJ, Santoso ARB, Kesuma W, Sujuti H, Ratnawati R, Sukmajaya WP, *et al.* Reperfusion Interval as a Prevention of Lung Injury Due to Limb Ischemia-Reperfusion After Application of Tourniquet in Murine Experimental Study. *Indian Journal of Orthopaedics* [Internet]. 2020;54:704-10. DOI: <https://doi.org/10.1007/s43465-020-00100-y>
38. Mangum LC, Garcia GR, Akers KS, Wenke JC. Duration of extremity tourniquet application profoundly impacts soft-tissue antibiotic exposure in a rat model of ischemia-reperfusion injury. *Injury* [Internet]. 2019;50(12):2203-14 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.09.025>
39. Cao Q, He Z, Fan Y, Meng J, Yuan T, Zhao J, *et al.* Effects of tourniquet application on enhanced recovery after surgery (ERAS) and ischemia-reperfusion posttotal knee arthroplasty: Full- versus second half-course application. *Journal of Orthopaedic Surgery* [Internet]. 2020;28(1):1-8. DOI: <https://doi.org/10.1177/2309499019896026>
40. Miller SH, Price G, Buck D. Effects of tourniquet ischemia and postischemic edema on muscle metabolism. *J Hand Surg Am* [Internet]. 1979;4(6):547-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jss.2012.06.033>
41. Maldonado C, Pushpakumar SB, Abadia GP, Arumugam S, Lane AN. Administration of exogenous adenosine triphosphate to ischemic skeletal muscle induces an energy-sparing effect: role of adenosine receptors. *J Surg Res* [Internet]. 2013;181(1):[15-22]. DOI: <https://doi.org/10.1080/08941930390215015>
42. Kabaroudis A, Gerassimidis T, Karamanos D, Papaziogas B, Antonopoulos V, Sakanamis A. Metabolic alterations of skeletal muscle tissue after prolonged acute ischemia and reperfusion. *J Invest Surg* [Internet]. 2003;16(4):219-28. DOI: <https://doi.org/10.1097/00000542-200012000-00011>
43. Korth U, Merkel G, Fernandez FF. Tourniquet-induced changes of energy metabolism in human skeletal muscle monitored by microdialysis. *Anesthesiology* [Internet]. 2000;93(6):1407-12. DOI: <https://dx.doi.org/10.1097%2FMD.0000000000006786>
44. Dreyer HC. Tourniquet Use During Knee Replacement Surgery May Contribute to Muscle Atrophy in Older Adults. *Exerc Sport Sci Rev* [Internet]. 2016;44(2):61-70. DOI: <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000076>
45. Tai TW, Lin CJ, Jou IM, Chang CW, Lai KA, Yang CY. Tourniquet use in total knee arthroplasty: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*

[Internet]. 2011;19(7):1121-30. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s00167-010-1342-7>

46. Zhang P, Liang Y, He J, Fang Y, Chen P, Wang J. Timing of tourniquet release in total knee arthroplasty - a meta-analysis. *Medicine* [Internet]. 2017;96:17. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0039-1688565>

47. Bressi E, Longo UG, Mangiacapra F. Impact of Tourniquet Use on Systemic Inflammatory Parameters, Functional Physical Recovery, and Cardiovascular Outcomes of Patients Undergoing Knee Arthroplasty: A case-control study. *J Knee Surg* [Internet]. 2019;24: 2595-605. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3872-5>

48. Guler O, Mahirogullari M, Isyar M, Piskin A, Yalcin S, Mutlu S. Comparison of quadriceps muscle volume after unilateral total knee arthroplasty with and without tourniquet use. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2016;24(8):2595-605. DOI: <https://doi.org/10.2106/JBJS.16.00750>

49. Kumar K, Railton C, Tawfic Q. Tourniquet application during anesthesia: "What we need to know?". *Journal of Anaesthesiology Clinical Pharmacology* [Internet]. 2016;32(4):424-30. DOI: <https://doi.org/10.4103/0970-9185.168174>

50. Yin D, Delisle J, Banica A, Senay A, Ranger P, Laflamme GY, *et al.* Tourniquet and closed-suction drains in total knee arthroplasty. No beneficial effects on bleeding management and knee function at a higher cost. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* [Internet]. 2017;103:583-9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.otsr.2017.03.002>

51. Gunasagaran J, Sean ES, Shivdas S, Amir S, Ahmad TS. Perceived comfort during minor hand surgeries with wide awake local anaesthesia no tourniquet (WALANT) versus local anaesthesia (LA)/tourniquet. *Journal of Orthopaedic Surgery* [Internet]. 2017;25(3):1-4. DOI: <https://doi.org/10.1177/2309499017739499>

52. Schnettler T, Papillon N, Rees H. Use of a Tourniquet in Total Knee Arthroplasty Causes a Paradoxical Increase in Total Blood Loss. *J Bone Joint Surg Am* [Internet]. 2017;99-A(16):1331-6. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00167-015-3582-z>

53. Tie K, Hu D, Qi Y, Wang H, Chen L. Effects of Tourniquet Release on Total Knee Arthroplasty. *Orthopedics* [Internet]. 2016;39(4):e642-e50. DOI: <https://doi.org/10.3928/01477447-20160606-03>

54. Wang J, Xu W, Lv J. Is It Better to Routinely Use Tourniquet for Knee Arthroscopic Surgery: A Systematic Review and Meta-analysis. *J Knee Surg*. 2020;33(9):866-74. DOI: <https://doi.org/10.1055/s-0039-1688555>

55. Reda W, ElGuindy AMF, Zahry G, Faggal MS, Karim MA. Anterior cruciate ligament reconstruction; is a tourniquet necessary? A randomized controlled trial. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2016;24(9):2948-52. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00167-014-3341-6>
56. Pfitzner T, Roth Pv, Voerkelius N, Mayr H, Perka C, Hube R. Influence of the tourniquet on tibial cement mantle thickness in primary total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Internet]. 2016;24:96. DOI: <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000001826>
57. Kauvar DS, Dubick MA, Walters TJ, Kragh JF. Systematic review of prehospital tourniquet use in civilian limb trauma. *J Trauma Acute Care Surg* [Internet]. 2018;84:819-25. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00776-014-0664-6>
58. Alexandersson M, Wang EY, Eriksson S. A small difference in recovery between total knee arthroplasty with and without tourniquet use the first 3 months after surgery: a randomized controlled study. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* [Internet]. 2019;27:1035-42. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00167-018-5196-8>
59. Jiang FZ, Zhong HM, Hong YC, Zhao GF. Use of a tourniquet in total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Orthop Sci* [Internet]. 2015;20:110. DOI: [http://refhub.elsevier.com/S2352-3441\(20\)30020-0/sref18](http://refhub.elsevier.com/S2352-3441(20)30020-0/sref18)
60. Zarrouki Y, Abouelhassan T, Samkaoui MA. Cardiac arrest after tourniquet deflation in upper limb. *Trauma Case Reports* [Internet]. 2017;7:1-2. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.tcr.2017.01.001>
61. Meybohm P, Bein B, Brosteanu O, Cremer J, Gruenewald M, Stoppe C, *et al.* A Multicenter Trial of Remote Ischemic Preconditioning for Heart Surgery. *N Engl J Med* [Internet]. 2015;373(15):1397-407. DOI: <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1413579>
62. Huang ZY, Xie XW, Li L, Huang Q, Ma J, Shen B, *et al.* Intravenous and Topical Tranexamic Acid Alone Are Superior to Tourniquet Use for Primary Total Knee Arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* [Internet]. 2017;99-A(24):2053-61. DOI: <http://dx.doi.org/10.2106/JBJS.16.01525>
63. Que Y, Xue J. Propofol activates autophagic activity of vascular endothelial cells by inhibiting SENP1 expression and attenuates vascular endothelial injury induced by ischemia-reperfusion in orthopedic surgery. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* [Internet]. 2019;33(1):1572-81. DOI: <https://doi.org/10.1080/13102818.2019.1673208>

### Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### Contribución de los autores

*Yaima Rizo Fiallo.* Participó en la búsqueda bibliográfica y redacción del manuscrito.

*Antonio Ismael Aparicio Morales.* Participó en la búsqueda bibliográfica y redacción del manuscrito.

*Ragnar Calzado Calderón.* Participó en la búsqueda bibliográfica.

*Osana Vilma Rondón García.* Participó en la búsqueda bibliográfica.