



ORIGINAL

Artículo bilingüe español / inglés

Rev Esp Podol. 2024;xx(x):xx-xx

DOI: <http://dx.doi.org/10.20986/revesppod.2024.1676/2023>

Uso de Presión de Oclusión de Extremidad como método de cálculo de la presión intraoperatoria del torniquete en tobillo en cirugía del antepié: serie de casos prospectiva

Use of Limb Occlusion Pressure as a method for calculation of intraoperative ankle tourniquet pressure in forefoot surgery: a prospective case series

Javier Pascual Huerta¹, Leticia Palacio Fernández¹, Lucía Trincado Villa¹, Antonio González Fernández¹ y Eduardo Mongil Escudero²

¹Clínica del Pie Elcano. Barakaldo, Vizcaya, España. ²Servicio de Anestesia y Reanimación. Hospital Universitario de Galdakao, Vizcaya, España

Palabras clave:

Torniquete neumático, presión, presión de oclusión de extremidad, cirugía del pie, isquemia, tobillo.

Key words:

Pneumatic tourniquet, pressure, limb occlusion pressure, foot surgery, ischemia, ankle.

Resumen

Objetivos: El uso de torniquetes en cirugía del pie puede presentar complicaciones. Se valoró la calidad del campo quirúrgico exangüe y la aparición de complicaciones con el uso de torniquete localizado en el tobillo, determinando la presión mediante el método de Presión de Oclusión de Extremidad (POE).

Pacientes y métodos: Se incluyeron a pacientes intervenidos quirúrgicamente del pie con torniquete en el tobillo. La presión con método POE se determinó con manguito en el tobillo hasta que se perdía el pulso con onda doppler, y al que se añadió un margen de seguridad de 40, 60 u 80 mm Hg si el valor POE era menor de 130, entre 131-190 y mayor de 190 mm Hg, respectivamente. La calidad del campo quirúrgico fue catalogada como Excelente, Buena, Regular y Mala.

Resultados: Se incluyeron un total de 116 pacientes. La media de presión utilizada fue de 192.73 ± 31.73 mm Hg y el tiempo medio de isquemia 73.92 ± 33.09 minutos. La calidad del campo quirúrgico fue Excelente en 84 casos (72.4 %), Buena en 26 casos (22.4 %) y Regular en 6 casos (5.2 %) sin ningún caso de Mala calidad.

Conclusiones: El campo quirúrgico fue considerado como Excelente o Bueno en el 94.8 % de los casos con el uso de presiones sensiblemente inferiores a las clásicamente utilizadas en el tobillo para cirugía del pie. El cálculo de la presión del torniquete en el tobillo mediante el método POE es un método válido y fiable que permite un campo quirúrgico exangüe con mínimas complicaciones.

Abstract

Objetivos: The use of tourniquets in foot surgery can produce complications. It was assessed que quality of surgical field hemostasis and its complications with the use of an ankle tourniquet whose pressure was determined by using the Limb Occlusion Pressure (LOP) method.

Patients and methods: Patients surgically treated with an ankle tourniquet were included. Pressure of the tourniquet was calculated using LOP method with a cuff at the ankle until Doppler stethoscope sound was not detected. A security margin was added of 40, 60 or 80 mm Hg if LOP value was less than 130, between 131-190 or more than 190 respectively. Quality of surgical field was graded as Excellent, Good, Fair and Bad.

Results: A total of 116 patients were included. Mean pressure was 192.73 ± 31.73 mm Hg and mean time of ischemia was 73.92 ± 33.09 minutes. Quality of the surgical field was Excellent in 84 cases (72.4 %), Good in 26 cases (22.4 %) and Fair in 6 cases (5.2 %) with no Bad cases.

Conclusions: The surgical field was considered Excellent or Good in 94.8% of the cases with ankle pressures noticeably lower than those traditionally used in the ankle for foot surgery. The use of LOP method to calculate tourniquet pressures at the ankle is a valid and safe method that allow a bloodless surgical field with minimal complications.

Recibido: 09-10-2023

Aceptado: 04-12-2023



0210-1238 © Los autores. 2024.
Editorial: INSPIRA NETWORK GROUP S.L.
Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC Reconocimiento 4.0 Internacional
(www.creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Correspondencia:

Javier Pascual Huerta
javier.pascual@hotmail.com

Introducción

Los torniquetes quirúrgicos se usan de forma rutinaria en cirugía de las extremidades con el objetivo de mejorar la visualización del campo quirúrgico lo que permite trabajar con mayor precisión técnica en un ambiente seguro y más rápido^{1,2}, evitando lesiones o errores técnicos por falta de visibilidad y disminuyendo las pérdidas de sangre³. A pesar de todos estos beneficios y los avances tecnológicos producidos en el manejo de los torniquetes⁴, su uso no está exento de problemas o riesgos que están bien documentados en la bibliografía⁵⁻⁹.

La isquemia y la presión son los dos factores iatrogénicos principales implicados en el uso de torniquetes intraoperatorios. Los efectos metabólicos están relacionados con las secuelas producidas por la isquemia mantenida, mientras que las lesiones en el tejido nervioso y muscular tienen una relación directa con la compresión local producida por el propio torniquete y con el tiempo que se ha mantenido esa presión local^{10,11}. A fecha de hoy no existe una presión intraoperatoria segura que se pueda usar sin riesgo de lesionar estructuras, y la forma más adecuada de calcular esa presión sigue siendo desconocida.

No obstante, en los últimos años se ha desarrollado el concepto de Presión de Oclusión de la Extremidad (POE) (*Limb Occlusion Pressure* [LOP]), definida como la presión mínima del torniquete para detener el flujo arterial distal al mismo que sería la presión del torniquete que se requiere para mantener un campo quirúrgico exangüe¹². La *Association of periOperative Registered Nurses* (AORN) y la *Association of Surgical Technologists* (ATS) en Estados Unidos recomiendan calcular este valor y utilizarlo como sistema para calcular la presión intraoperatoria del torniquete a la que se le añade un margen de seguridad de 40, 60 o 80 mm Hg, dependiendo de si el valor POE es menor de 130 mm Hg, entre 131 y 190 mm Hg y mayor de 190 mm Hg, respectivamente (Tabla I)^{12,13}. Este sistema se le conoce como método POE (LOP) para calcular la presión intraoperatoria del torniquete en cada paciente concreto.

Diversos estudios han mostrado que el método POE es un sistema válido para conseguir un campo quirúrgico exangüe, minimizando el riesgo de lesionar tejidos sometidos a compresión por el torniquete en adultos¹⁴⁻¹⁷ y en niños¹⁸. Sin embargo, en la mayoría de estos estudios la colocación del manguito se realizó en el muslo o en el brazo, y el uso del POE en otras localizaciones, como la pierna o el tobillo, ha sido mucho menos estudiado. La colocación del torniquete en el tobillo es muy común en la cirugía del pie realizada por podólogos, ya que suele ser mejor tolerado por los pacientes y permite realizar la cirugía con bloqueos anestésicos locales dista-

les en el pie sin necesidad de utilizar anestesia general o bloqueos anestésicos más proximales (poplíteo o raquídeo). Pauers y Carocci¹⁹ estudiaron el efecto de optimizar la presión del torniquete en el tobillo, utilizando 200 mm de Hg, método diferente al del POE, por lo que hasta la fecha no sabemos si este sistema POE es un método válido para calcular la presión intraoperatoria del torniquete cuando la localización es en el tobillo.

Por todos estos motivos, el objetivo del presente estudio trató de valorar la calidad del campo quirúrgico exangüe y la aparición de complicaciones asociadas al uso del torniquete localizado en el tobillo para cirugía del pie, determinando la presión del torniquete con el uso del método recomendado por la AORN y AST basado en el cálculo del POE. Se trata de evaluar si al utilizar este método en el tobillo se consigue un sistema de hemostasia válido que permite un campo quirúrgico exangüe, a la vez que minimiza los problemas asociados al uso del torniquete por la presión ejercida en el tobillo.

Pacientes y métodos

Diseño del estudio

Se realizó un estudio transversal prospectivo de tipo serie de casos en pacientes intervenidos quirúrgicamente del pie mediante procedimientos que requerían la aplicación de torniquete quirúrgico en el tobillo. La redacción de este artículo se realizó siguiendo las recomendaciones de la guía STROBE para la redacción de estudios observacionales²⁰.

Población de estudio

Se incluyeron a todos los pacientes que fueron intervenidos quirúrgicamente del pie de forma consecutiva en la Clínica del Pie Elcano (Barakaldo, Vizcaya) y que cumplían los siguientes criterios de inclusión: 1) pacientes mayores de 18 años sometidos a intervención quirúrgica en el antepié, realizada con torniquete neumático colocado en el tobillo independiente del tiempo de duración del mismo, y 2) procedimiento realizado mediante anestesia local distal (tobillo o pie) junto con el uso de sedación consciente realizado con anestesiólogo. Se descartaron como criterios de exclusión los casos de cirugía del pie en los que no se utilizó torniquete en el tobillo (por ejemplo, cirugía ungueal) o en los que se utilizó otro tipo de hemostasia, como vasoconstrictores (adrenalina) asociada a anestésicos locales.

Todos los pacientes fueron pacientes privados de la Clínica del Pie Elcano (Bilbao, España) que acudieron al centro de forma voluntaria para el tratamiento de dolor y/o deformidades en el antepié y que aceptaron tratamiento quirúrgico de forma voluntaria. La toma de datos se realizó desde diciembre de 2018 a diciembre de 2022. La realización del presente estudio se cataloga como estudio observacional de tipo de serie de casos con carácter prospectivo cuya realización no alteró ni excedió la práctica clínica habitual o estándar que se realiza en dicho centro.

Protocolo e intervenciones realizadas

Una vez que el paciente estaba en el quirófano se canalizó una vía periférica mediante catéter intravenoso en el brazo y se administró

Tabla I. Método recomendado de determinación de la presión intraoperatoria del torniquete según la AORN y la AST.

Medición de POE	+ Margen de seguridad	POE < 130	40 mm Hg
		POE 131 - 190	60 mm Hg
		POE > 190	80 mm Hg

AORN: association of perioperative registered nurses. AST: association of surgical technologists. POE: presión de oclusión de la extremidad. mm Hg = milímetros de mercurio.



Figura 1. Medición de la presión de oclusión de la extremidad (POE) con la sonda doppler y el manguito de presión automático.

solución salina 0.9 % junto con fármacos para el procedimiento de sedación consciente realizado por el médico anestesiólogo (E. M. E.). Este procedimiento consistió en la administración de midazolam y fentanilo a dosis bajas ajustadas a peso del paciente y perfusión continua de propofol durante todo el procedimiento (sistema TCI entre 0.5-1.5 mg/ml) para conseguir una sedación con paciente dormido y respiración espontánea que se pudiera despertar a estímulo táctil o de llamada (escala 3 de Ramsay²¹). Justo después de la administración de esta medicación para la sedación consciente, y antes de realizar el bloqueo anestésico local en el pie, se calculó el valor POE en el miembro a intervenir. El valor POE se tomó colocando un manguito de presión automática que calculaba la presión arterial en el tobillo (HEM-M3-7131E; OMRON HEALTHCARE Co., Ltd., Kyoto, JAPAN) y con un doppler bidireccional con sonda de 8 Mhz (Sonoline B, Contect Medical Systems co., Ltd.; China) se localizó el flujo de la arteria pedia distal al manguito de presión. En los casos en los que la arteria pedia no pudo ser localizada (existe un porcentaje en torno al 5 % de la población que presenta ausencia o presencia vestigial de arteria tibial anterior y pedia²²) se utilizó la arteria tibial posterior para realizar dicha medición. Una vez que la arteria estaba perfectamente localizada con la sonda doppler, se realizó el inflado del manguito de presión del tobillo hasta una presión en la que el sonido de la onda doppler desaparecía, lo que indica que la arteria se colapsaba completamente. A continuación, el manguito de presión automático comenzaba a calcular la presión arterial bajando la presión en el tobillo de forma gradual a un ritmo de 3-5 mm de Hg por segundo aproximadamente. En el momento en el que la señal doppler se recuperaba, la presión marcada era estimada como la presión POE (Figura 1). Este procedimiento se realizó siempre con el paciente en decúbito supino (no sentado y con el corazón aproximadamente al nivel de la arteria del pie a explorar) y se repitió 2 veces consecutivas en cada paciente para asegurar la fiabilidad de la medición. Siempre se tomó la presión más alta de las 2 mediciones como la presión POE. No obstante, en los casos en los que se observó una diferencia mayor de 10 mm Hg entre el primer y el segundo registro, se tomó un tercer

registro para dilucidar la presión POE. Todos los cálculos del POE fueron realizados por 2 podólogos autores del artículo (J. P. H. y L. P. F.) que habían practicado previamente de forma conjunta el protocolo a seguir para la realización del cálculo POE. Todos los pacientes fueron monitorizados de forma constante por el anestesiólogo en su pulso cardiaco, presión arterial y saturación de oxígeno durante el procedimiento.

En todos los casos se utilizó un torniquete neumático manual (Komprimeter, Riester®, Phoenix, AZ, EE. UU.) de diseño recto (no contorneado a la extremidad) de 13 cm de anchura. El torniquete se aplicó haciendo previamente un vaciado de sangre mediante barrido con cinta de Smarch aplicada al pie. El tiempo de aplicación del torniquete nunca fue superior a 120 minutos. En los casos en los que el procedimiento se extendió más de 120 minutos, bien se continuó con la técnica sin torniquete ("en húmedo") hasta acabar la cirugía, bien se hizo una pausa de reperfusión por un mínimo de 20 minutos antes de volver a aplicar el torniquete en el tobillo. La nueva aplicación del torniquete nunca excedió los 30 minutos.

Variables y mediciones

Todos los procedimientos quirúrgicos fueron realizados por el mismo profesional podólogo, autor de este artículo (J. P. H.) que estaba al cargo de los pacientes durante el proceso quirúrgico. Una vez finalizada la cirugía, este autor realizó una valoración de la calidad del campo quirúrgico exangüe al finalizar la misma. Esta valoración del campo exangüe se realizó de forma cualitativa y estuvo basada en una escala de cuatro categorías: 1) Excelente: campo quirúrgico intraoperatorio exangüe con excelente visualización; 2) Buena: leve o mínimo sangrado que permite realizar la técnica sin modificar la presión del torniquete; 3) Regular: sangrado intraoperatorio que obliga a subir la presión del torniquete durante la cirugía, no porque la presión del manguito haya bajado, sino porque la presión calculada no permite trabajar por falta de visibilidad del campo; 4) Mala: abundante sangrado intraoperatorio que obliga a repetir el exanguinado del pie. Igualmente se anotaron durante el postoperatorio todas las incidencias o complicaciones que pudieran estar relacionadas con el uso del torniquete durante la cirugía: dolor local en la zona de colocación del torniquete, síntomas neurológicos postoperatorios compatibles con lesión nerviosa producida por el torniquete, lesión en la piel por la compresión ejercida por el torniquete y tromboflebitis y trombosis venosa profunda. Igualmente se anotó la existencia de eventos cardiovasculares o respiratorios inmediatos tras el desinflado del torniquete.

Los datos fueron rellenados durante el preoperatorio e inmediatamente después de la cirugía en una hoja de datos por cada paciente que finalmente fueron pasadas a una base de datos junto con la edad y sexo del paciente, presión arterial sistólica en el brazo, presión arterial sistólica en el tobillo, índice tobillo/brazo (T/B), valor POE, presión del manguito utilizada durante la cirugía y calidad del campo quirúrgico. Se llevó un seguimiento de todos los pacientes durante el curso postoperatorio habitual siguiendo los protocolos habituales del centro donde se llevó a cabo el estudio. Se realizaron consultas postoperatorias hasta el alta, que se realizó mínimo a los 12 meses después de la cirugía. Cualquier incidencia durante dicho periodo, especialmente relacionada con el uso del torniquete, fue seguida y anotada en la base de datos.

Análisis estadístico

Se calculó la media \pm desviación estándar de las variables cuantitativas y los porcentajes simples para las variables categóricas. Se obtuvo una estimación mediante porcentajes simples de la calidad del campo quirúrgico exangüe y se analizó la existencia de diferencias en el valor de la presión utilizada y la presión sistólica en brazo y tobillo en los diferentes grupos de calidad del campo quirúrgico (Excelente, Bueno, Regular y Malo) por medio de un test de contraste de hipótesis mediante la prueba H de Kruskal-Wallis (el equivalente no paramétrico al test de ANOVA). Se consideró estadísticamente significativo el valor $p < 0.05$. Todos los cálculos se realizaron mediante el programa IBM SPSS Statistics® (versión 26).

Resultados

Se analizaron un total de 124 pacientes, de los cuales en 8 pacientes faltaba alguna medición que impedía incluirlos en el estudio, por lo que la muestra final fue de 116 pacientes. En 2 de los 116 casos fue imposible localizar su edad y sexo en la hoja de toma de datos, aunque el resto de valores estaban correctamente rellenos, por lo que fueron incluidos en el análisis de presiones y en el cálculo de variables pero no fueron incluidos en el cálculo de la edad y sexo de la muestra. La Tabla II recoge los datos básicos de población de estudio y de las variables del estudio. La media de presión utilizada en el total de la muestra fue de 192.73 ± 31.76 mm Hg y el tiempo medio de isquemia utilizada fue de 73.92 ± 33.09 minutos.

La Tabla III recoge los porcentajes de calidad del campo quirúrgico y los valores de TA sistólica en brazo y tobillo y POE en cada una de las categorías. Utilizando el método descrito con el valor POE, la calidad del campo quirúrgico fue Excelente en 84 casos (72.4 %), Buena en 26 casos (22.4 %) y Regular en 6 casos (5.2 %). No hubo ningún caso de Mala calidad del campo quirúrgico. La prueba H de Kruskal-Wallis no mostró diferencias estadísticamente significativas entre los grupos de calidad del campo Excelente, Buena y Regular, tanto en la presión utilizada ($p = 0.327$) como en la presión arterial sistólica en el brazo ($p = 0.060$) y en el tobillo ($p = 0.076$).

En 9 casos se agotó el tiempo de hemostasia inicial de 120 minutos y se realizó reutilización de hemostasia con torniquete durante la cirugía con un periodo previo de reperusión del pie de entre 20 y 30 minutos (media 27.5 ± 5.2 minutos) para, a continuación, realizar

un segundo tiempo de hemostasia que duró entre 5 y 30 minutos (media 22.2 ± 8.2 minutos). Ninguno de los casos requirió una tercera utilización de hemostasia.

No se registró ningún evento cardiovascular o respiratorio al exanguinado y al desinflado del torniquete en los pacientes del estudio. Se reportaron complicaciones en 2 pacientes del estudio que pudieran estar relacionadas con el uso de torniquete: una de ellas fue la presencia de trombosis venosa profunda localizada en la pierna intervenida, que fue tratada de forma conservadora en régimen ambulatorio y con seguimiento por su médico de Atención Primaria. Esta paciente tuvo una presión de 195 mm Hg durante 120 minutos y fue una de las pacientes en las que se volvió a aplicar isquemia por 30 minutos después de un periodo de reperusión de 30 minutos. La segunda fue la presencia de dolor postoperatorio de carácter neurológico en el lugar de aplicación del torniquete, que remitió favorablemente a las 4-6 semanas de la intervención sin secuelas. En este caso, la presión utilizada del torniquete fue de 165 mm Hg por 102 minutos de tiempo.

Tabla II. Datos generales de la población de estudio y de las variables estudiadas (n = 116) *.

	Media	DS	Rango
Edad *	62.57	13.60	16 - 90
TA sistólica brazo	132.55	22.43	90 - 195
TA sistólica tobillo	142	51.07	90 - 168
POE	136.43	24.28	75 - 215
Presión utilizada (tobillo)	192.73	31.76	125 - 250
Tiempo isquemia (minutos)	73.92	33.09	11 - 119
Número (%)			
Sexo *	Hombres	23 (19.3 %)	
	Mujeres	93 (80.7 %)	
Pie	Derecho	70 (60.3 %)	
	Izquierdo	46 (39.7 %)	

TA: tensión arterial. POE: presión de oclusión de la extremidad. DS: desviación estándar. * El cálculo de la edad y el sexo se realizó sobre n = 114 y el resto de valores sobre n = 116.

Tabla III. Visualización del campo quirúrgico y presiones asociadas (n = 116).

	Número (%)	POE (Media \pm DS)	Presión utilizada (Media \pm DS)	IC (95 %) presión utilizada	Presión sistólica brazo (Media \pm DS)	Presión sistólica tobillo (Media \pm DS)	Presión utilizada - presión sistólica brazo
Excelente	84 (72.4 %)	134.45 \pm 23.04	190.90 \pm 25.03 *	184.22 - 197.59	129,81 \pm 19.84 **	135.55 \pm 22.27 ***	60.68 \pm 21.25
Buena	26 (22.4 %)	143.54 \pm 27.52	200.46 \pm 33.51 *	186.93 - 214.0	143.08 \pm 25.38 **	166.96 \pm 98.67 ***	61.0 \pm 21.05
Regular	6 (5.2 %)	133.33 \pm 25.03	184.5 \pm 39.69 *	142.85 - 226.15	129.83 \pm 32.6 **	116.6 \pm 16.99 ***	54,67 \pm 10.55
Mala	0 (0 %)	-	-	-	-	-	-

POE: presión de oclusión de la extremidad. DS: desviación estándar. IC: intervalo de confianza.

* Prueba H de Kruskal-Wallis ($p = 0.327$). ** Prueba H de Kruskal-Wallis ($p = 0.060$). *** Prueba H de Kruskal-Wallis ($p = 0.076$).

Discusión

Las lesiones en los vasos, nervios u otros tejidos, de forma temporal o permanente, son complicaciones debidas al uso del incorrecto del torniquete durante la cirugía de las extremidades. La mayoría de la literatura sostiene que el trauma mecánico originado por la presión del torniquete es el factor más importante en la patogenia de estas lesiones relacionadas con su uso²³⁻²⁷. Los trabajos clásicos de Ochoa y cols. concluyeron que las lesiones de los nervios estaban causadas por un aumento de la presión en el borde del manguito, que era donde se localizaban histológicamente las lesiones del nervio con desplazamiento de los nódulos de Ranvier, mostrando que se trataba de una neuropraxia por compresión más que una neuropatía isquémica como la causa de la parálisis producida por torniquete^{28,29}. Dentro de este contexto de lesión compresiva del nervio, las lesiones pueden aparecer como consecuencia de la colocación del torniquete en un lugar incorrecto, tamaño incorrecto del mismo, presión excesiva y/o un uso prolongado del mismo generalmente mayor a 2 horas. Determinar la presión adecuada del torniquete que sea suficiente como para crear un campo exangüe y que a la vez evite daño en los tejidos por compresión, es una tarea difícil cuya respuesta se mantiene elusiva. El presente estudio trató de valorar la calidad del campo exangüe en cirugía del pie con el torniquete colocado en el tobillo, utilizando el método recomendado por la AORN y ATS que utiliza en valor POE como referencia. Según el conocimiento de los autores, este es el primer estudio que ha medido la efectividad clínica del uso del POE como método de cálculo de la presión utilizada por el torniquete cuando este se localiza en el tobillo. Esta valoración clínica se había realizado en otros estudios con el método POE en el muslo^{14,16,17} pero no en el tobillo.

En la cirugía del pie realizada por podólogos se han utilizado históricamente durante años torniquetes en el tobillo con un índice mínimo de complicaciones. En un estudio sobre el uso de torniquetes neumáticos en el tobillo en 3027 procedimientos de cirugía podológica, realizados en EE. UU., únicamente se describieron un total de 5 complicaciones³⁰. Sin embargo, la determinación de la presión del torniquete usada en el tobillo no se realiza bajo unos parámetros fijos o estandarizados. Históricamente esta se ha realizado generalmente por medio de 3 métodos. El primero consiste en utilizar siempre una presión fija que no se cambia y que en el muslo suele ser de 350 mm de Hg y en el tobillo de 250 mm Hg. El segundo consiste en ajustar la presión con respecto a la presión arterial sistólica del paciente, añadiendo un incremento que varía entre 75-150 mm Hg dependiendo de la localización anatómica del torniquete, siempre evitando pasar los 250 mm de Hg en el tobillo³¹. El tercer método consiste en utilizar el método POE, recomendado por la AORN y por la ATS^{12,13}, que es el que se ha utilizado en el presente estudio, calculando el valor POE del paciente en el preoperatorio inmediato y añadiendo un margen de seguridad (Tabla I).

El presente estudio ha mostrado que el uso del método POE para el cálculo de la presión del torniquete en el tobillo es un método que permite trabajar bajo un campo quirúrgico exangüe con presiones sensiblemente más bajas que las históricamente utilizadas de 250 mm de Hg en el tobillo. En el presente estudio, en 110 de 116 pacientes (94.8 %) se catalogó el campo quirúrgico de Excelente o Bueno utilizando este método, y la presión media utilizada fue de 190.90 ± 25.03 mm de Hg en los casos que se consideró Excelente el campo quirúrgico (72.4 % de la muestra total) y de 200.46 ± 33.51 mm de Hg en los casos que se consideró como Bueno el campo quirúrgico (22,4 % de la muestra total).

Estos resultados son similares a los reportados por Pauers y Cacori, que usaron un torniquete ligeramente curvo inflado a 200 mm Hg en los que en el 90 % de los casos se obtuvo una hemostasia adecuada con complicaciones postoperatorias mínimas¹⁹. Los resultados del presente estudio hacen pensar que el uso de una presión fija a 250 mm de Hg en el tobillo sobreestima la presión necesaria para conseguir un campo quirúrgico exangüe en el que se puede trabajar de forma comfortable. Igualmente, el utilizar un margen de seguridad de 100 mm Hg sobre la presión arterial sistólica^{32,33} puede sobreestimar en muchos casos la presión necesaria para producir un campo quirúrgico exangüe. En el presente estudio, la diferencia de presión arterial sistólica y la presión utilizada en el tobillo utilizando el cálculo del POE fue de 60.43 ± 21.64 mm Hg para el total de la muestra y la Tabla III muestra ese valor en los diferentes grupos de calidad del campo quirúrgico. A tenor de estos resultados, parece que el uso de esta regla (presión arterial sistólica + 100 mm Hg) para el cálculo de la presión del torniquete podría no ser el ideal.

El valor POE está relacionado con diversas variables del propio paciente, como la presión arterial sistólica, el índice tobillo-brazo, el tamaño de la extremidad y las variables externas como el diseño del torniquete (recto o contorneado) y el ancho del torniquete, entre otras. Diferentes autores han tratado de establecer fórmulas que ayuden al cálculo de este valor basándose en muchas ocasiones en la presión arterial sistólica braquial. Diamond y cols.³³ establecieron como fórmula: (presión arterial sistólica x 1.5) + edad como valor mínimo para oclusión. Massey y cols.³⁴ estudiaron diversos factores predictivos para determinar la presión de oclusión arterial en el pie utilizando un torniquete en el tobillo y utilizando diversas variables fisiológicas y antropométricas de los participantes su ecuación de regresión final fue: $(116 \times \text{índice tobillo/brazo}) + (1.37 \times \text{tensión arterial sistólica}) - 159$. Tuncalli y cols. desarrollaron el concepto de presión de oclusión arterial mediante la siguiente fórmula [presión arterial sistólica + 10]/KTP, siendo KTP un coeficiente de amortiguación tisular que los autores establecieron^{35,36}. Por otro lado, McEwey y cols. señalaron que el valor POE puede variar ampliamente con respecto a la presión arterial sistólica medida en el brazo y que esta variabilidad sugiere que calcular la presión del torniquete utilizando únicamente la presión arterial sistólica en el brazo del paciente podría no ser óptima en muchos casos¹⁴. En el presente estudio no se encontraron diferencias en la presión arterial sistólica en los diferentes grupos de calidad del campo quirúrgico: Excelente, Bueno y Regular; aunque se observó una mayor dispersión de los datos del grupo Regular con respecto al grupo Bueno y de estos dos (Regular y Bueno) con respecto al grupo Excelente, tal y como muestran los valores de la desviación estándar de la presión arterial sistólica braquial (Tabla III). Este aspecto también se ve reflejado en la dispersión de la presión final utilizada según los datos de los intervalos de confianza (Tabla III).

Un aspecto a señalar del presente estudio consiste en el uso de sedación consciente en todos los pacientes mediante anestesiólogo. Independientemente de que la presión arterial medida en el brazo sea o no relevante con respecto al cálculo del valor POE, es importante que esta se mantenga estable durante todo el acto quirúrgico con mínimas variaciones. El hecho de mantener al paciente monitorizado constantemente y bajo sedación consciente por el anestesiólogo

ayudó a mantener un nivel estable de presión arterial durante el acto quirúrgico en todos los pacientes del estudio. En este sentido, los resultados obtenidos en el presente estudio deben verse bajo dicho prisma de monitorización constante de la presión arterial y puede que no sean aplicables a otros estudios que no hayan tenido una vigilancia y monitorización estrecha de la presión arterial del paciente durante el intraoperatorio.

Aparte de la prevención de lesiones producidas por la presión, existe otro apartado relevante con el uso de los torniquetes que hace referencia a la presencia de dolor intraoperatorio producido por el torniquete que tiende a aumentar con el tiempo de uso del mismo³⁷. Este es un aspecto importante, ya que permite realizar la cirugía de forma segura y confortable para el paciente con bloqueos anestésicos distales y con sedación intravenosa sin la necesidad de anestesia general o de bloqueos más proximales (poplíteo o raquídeo). Finsen and Kasseh³⁸ concluyeron que el uso de torniquetes en el tobillo es mejor tolerado por los pacientes que cuando estos se usan en la pierna. Es la opinión subjetiva de los autores del presente artículo que el uso de presiones más bajas del torniquete, junto con el uso de sedación intravenosa, retrasa la aparición de dolor asociado al torniquete durante el procedimiento quirúrgico. Desafortunadamente, este aspecto no fue estudiado en el presente trabajo y se necesitarían estudios futuros para comprobar dicha hipótesis.

El periodo inmediato justo después de exanguinación de la extremidad y de desinflado del torniquete presentan potencialmente riesgo de crear inestabilidad hemodinámica en el paciente. El desinflado del torniquete produce efectos sistémicos cardiovasculares, hematológicos, respiratorios y metabólicos producidos por los residuos originados en el tejido una vez que la isquemia se retira y pasa a la circulación central^{39,40}. Igualmente, existe riesgo de crear fenómenos de embolización justo después del desinflado del torniquete de las extremidades que han sido reportados claramente en la literatura⁴¹⁻⁴⁴. En el presente estudio todos los pacientes fueron estrechamente monitorizados y ninguno sufrió ningún evento cardiovascular o respiratorio en el intraoperatorio y postoperatorio inmediatos con el inflado y desinflado del torniquete. Es importante señalar en este sentido que la mayoría de estos eventos han sido reportados con torniquetes en localizaciones más proximales como el muslo, en los que hay mayor de volumen sanguíneo de exanguinación y de desinflado, y mayor cantidad de tejido isquémico expuesto, especialmente muscular, comparado con el uso del torniquete en el tobillo en el que la única zona anatómica exanguinada es el pie. De hecho, un reciente estudio en pacientes operados de hallux valgus/limitus con uso de torniquete en el muslo mostró que los cambios isquémicos más significativos se producían en el tejido muscular y no en el tejido subcutáneo u óseo⁴⁵. Por todo esto, consideramos que la localización en el tobillo es muy segura a efectos cardiovasculares, respiratorios y metabólicos de carácter sistémico.

El presente estudio presenta ciertas limitaciones, por lo que la interpretación de los resultados debe ser tomada con cierta cautela. En primer lugar, la valoración de la calidad campo quirúrgico se realizó de forma subjetiva por medio de una gradación en 4 valores (Excelente, Buena, Regular y Mala). Aunque esta medición ha sido utilizada previamente en otros estudios^{14,16,36}, existe subjetividad inherente a esta valoración que puede haber interferido en los resultados obtenidos. En segundo lugar, el método de medición POE consume tiempo en el quirófano y requiere ciertas habilidades y prácticas del operador

responsable para que sea preciso. Es por esto que es un método muy poco usado en la práctica clínica habitual y estos aspectos creemos que pueden ser una limitación para expandir su uso de forma rutinaria a la práctica clínica en la cirugía del pie.

En conclusión, el presente estudio ha determinado la calidad el campo quirúrgico utilizando un método de cuantificación de la presión del torniquete (método POE) cuando la localización es en el tobillo en cirugía del antepie. La media de la presión utilizada por el torniquete en el presente estudio fue de 192.73 ± 31.73 mm de Hg, lo que supone presiones inferiores a las utilizadas históricamente en el tobillo de forma estándar para la cirugía del pie. La calidad del campo quirúrgico fue considerada como Excelente o Buena en el 94.8 % de los casos. El cálculo de la presión del torniquete en el tobillo mediante el método POE añadiendo un margen de seguridad es un método válido y fiable con el que se obtiene una calidad del campo quirúrgico excelente y buena en la gran mayoría de los casos y con mínimas complicaciones. Los autores opinan que el método de cálculo de la presión debe realizarse de forma individualizada y el uso rutinario de una presión constante de 250 mm Hg en todos los casos debe ser evitado.

Declaración ética

La realización del presente estudio fue aprobada por la dirección del centro y el estudio fue llevado a cabo siguiendo todas las recomendaciones de la Declaración de Helsinki, obteniendo un consentimiento informado de todos los participantes después de una explicación verbal del proyecto. La realización del presente estudio no alteró, ni excedió, ni modificó en ningún momento la práctica clínica habitual o estándar que se venía llevando a cabo para este tipo de pacientes en el centro asistencial donde se realizó, por lo que no se solicitó aprobación por un comité central de ética para investigación clínica.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Financiación

Ninguna.

Contribución de los autores

Concepción y diseño del estudio: JPH, LPF, LTV.

Recogida de datos: JPH, LPF, LTV, EME.

Análisis e interpretación de los resultados: JPH, AGF.

Creación, redacción y preparación del boceto inicial del trabajo: JPH, AGF, EME.

Revisión y aceptación final: JPH, LPF, LTV, AGF, EME.

Bibliografía

1. Farhan-Alanie MM, Dhaif F, Trompeter A, Underwood M, Yeung J, Parsons N, et al. The risks associated with tourniquet use in lower limb trauma surgery: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthop Surg & Traumatol.* 2021;31(5):967-79. DOI: 10.1007/s00590-021-02957-7.
2. Davey MS, Davey MG, Hurley ET, Kearns SR. Tourniquet use during open reduction and internal fixation of ankle fractures - A systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Surg.* 2022;61(5):1103-8. DOI: 10.1053/j.jfas.2022.01.019.
3. Singh V, Robin JX, Fieldler B, Rozell JC, Schwarzkopf R, Aggarwal VK. Tourniquet use is associated with reduced blood loss and fewer reoperations in aseptic revision total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2022;37(8S):S947-S953. DOI: 10.1016/j.arth.2022.01.005.
4. McEwen JA. Complications of and improvements in pneumatic tourniquets used in surgery. *Med Instrum.* 1981;15(4):253-7.
5. Odinson A, Finsen V. Tourniquet use and its complications in Norway. *J Bone Joint Surg Br Vol.* 2006;88(8):1090-2. DOI: 10.1302/0301-620X.88B8.17668.

6. Committee on Complications of Arthroscopy, Association of North America. Complications of arthroscopy and arthroscopic surgery: results of a national survey. *Arthroscopy*. 1985;1(4):214-20. DOI: 10.1016/S0749-8063(85)80086-4.
7. Pennsylvania Patient Safety Authority. Strategies for avoid problems with the use of pneumatic tourniquets. *Pennsylvania Patient Safety Advisory*. 2010;7(3):97-101.
8. Ahmed I, Chawla A, Underwood M, Price AJ, Metcalfe A, Hutchinson C, et al. Tourniquet use for knee replacement surgery. *Cochr Database System Rev*. 2020;12:CD012874. DOI: 10.1002/14651858.CD012874.pub2.
9. Migliorini F, Maffulli N, Eschweiler J, Knobe M, Tingart M, Betsch M. Tourniquet use during knee arthroplasty: A Bayesian network meta-analysis on pain, function, and thromboembolism. *Surgeon*. 2022;20(4):241-51. DOI: 10.1016/j.surge.2021.03.004.
10. Fitzgibbons PG, DiGiovanni C, Hares S, Akelman E. Safe Tourniquet Use: A Review of the Evidence. *J Am Acad Orthop Surg*. 2012;20(5):310-9. DOI: 10.5435/00124635-201205000-00007.
11. Noordin S, McEwen JA, KraghCJF, Eisen A, Masri B. Surgical Tourniquets in Orthopaedics. *J Bone Joint Surg (Am)*. 2009;91(12):2958-67. DOI: 10.2106/JBJS.I.00634.
12. AORN: Recommended practices for the use of the pneumatic tourniquet in the perioperative practice setting. In: Blanchard J, Burlingame B (eds.). *Perioperative Standards and Recommended Practices: For Inpatient and Ambulatory Settings*. Denver, Colorado: Association of periOperative Registered Nurses; 2011. p. 177-89.
13. Association of Surgical Technologists: Recommended Standards of Practice for Safe Use of Pneumatic Tourniquets [Internet]. Littleton, CO, Association of Surgical Technologists; 2007 [Acceso en marzo de 2023]. Disponible en: http://www.ast.org/pdf/Standards_of_Practice/RSOP_Pneumatic_Tourniquets.pdf.
14. McEwen JA, Inkpen K, Younger A. Thight tourniquet safety. *Surgical Technologist*. 2002;34(7):9-19.
15. Tuncali B, Karci A, Bacakoglu AK, Tuncali BE, Ekin A. Controlled hypotension and minimal inflation pressure: a new approach for pneumatic tourniquet application in upper limb surgery. *Anesth Analg*. 2003;97(5):1529-32. DOI: 10.1213/01.ANE.0000081660.97731.91.
16. Tuncali B, Boya H, Kayhan Z, Arac S. Tourniquet pressure settings based on limb occlusion pressure determination or arterial occlusion pressure estimation in total knee arthroplasty? A prospective, randomized, double blind trial. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2018;52(4):256-60. DOI: 10.1016/j.aott.2018.04.001.
17. Younger ASE, McEwen JA, Inkpen K. Wide Contoured Thigh Cuffs and Automated Limb Occlusion Measurement Allow Lower Tourniquet Pressures. *Clin Orthop Rel Res*. 2004;428:286-93. DOI: 10.1097/01.blo.0000142625.82654.b3.
18. Reilly CW, McEwen JA, Leveille L, Perdios A, Mulpuri K. Minimizing Tourniquet Pressure in Pediatric Anterior Cruciate Ligament Reconstructive Surgery: A Blinded, Prospective Randomized Controlled Trial. *J Pediatr Orthop*. 2009;29(3):275-80. DOI: 10.1097/BPO.0b013e31819bcd14.
19. Pauers RS, Carocci M. A low pressure pneumatic tourniquets: Effectiveness at minimum recommended inflation pressures. *J Foot Ankle Surg*. 1994;33(6):605-9.
20. von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gotsche PC, Vandenbroucke JP. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) Statement: guidelines for reporting observational studies. *Ann Intern Med*. 2007;147(8):573-7. DOI: 10.7326/0003-4819-147-8-200710160-00010.
21. Ramsay MA, Savege TM, Simpson BR, Goodwin R. Controlled sedation with alphaxalone-alphadolone. *Br Med J*. 1974;2(5920):656-9. DOI: 10.1136/bmj.2.5920.656.
22. Sarrafian SK, Kellikian AS. *Angiology*. En: Kellikian AS (ed.). *Sarrafian's anatomy of the foot and ankle: descriptive, topographical, functional*. 3.^ª ed. Philadelphia: Walters Kluwer Lippincott Williams & Wilkins; 2011. p. 381-427.
23. Masri BA, Eisen A, Duncan CP, McEwen JA. Tourniquet-induced nerve compression injuries are caused by high pressure levels and gradients - a review of the evidence to guide safe surgical, pre-hospital and blood flow restriction usage. *BMC Biomed Eng*. 2020;2:7. DOI: 10.1186/s42490-020-00041-5.
24. Hurst LN, Weiglein O, Brown WF, Campbell G. The pneumatic tourniquet: a biomechanical and electrophysiological study. *Plast Reconstr Surg*. 1981;67(5):648-52. DOI: 10.1097/00006534-198105000-00014.
25. Day RL, Zale BW. The effect of tourniquets on muscle enzymes during foot and ankle surgery. *J Foot Surg*. 1993;32(3):280-4.
26. Klenerman L. Tourniquet paralysis. *J Bone Joint Surg*. 1983;66(4):374-5. DOI: 10.1302/0301-620X.65B4.6874704.
27. McLaren AC, Rorabeck CH. The pressure distribution under tourniquets. *J Bone Joint Surg*. 1985;67(3):433-8. DOI: 10.2106/00004623-198567030-00014.
28. Ochoa J, Fowler T, Gilliat RW. Anatomical changes in peripheral nerves compressed by a pneumatic tourniquet. *Anat*. 1972;113(Pt 3):433-55.
29. Ochoa J, Danta G, Fowler TJ, Gilliat RW. Nature of the nerve lesion caused by a pneumatic tourniquet. *Nature*. 1971;233(5317):265-6. DOI: 10.1038/233265a0.
30. Derner R, Buckholz J. Surgical hemostasis by pneumatic ankle tourniquet during 3027 podiatric operations. *J Foot Surg*. 1995;34(3):236-46. DOI: 10.1016/S1067-2516(09)80054-9.
31. Kim TK, Bammie AB, Sim JA, Park JH. Is lower tourniquet pressure during total knee arthroplasty effective? A prospective randomized controlled trial. *BMC Musculoskel Dis*. 2019;20(1):275. DOI: 10.1186/s12891-019-2636-7.
32. Wakai A, Winter DC, Street JT, Redmond PH. Pneumatic tourniquets in extremity surgery. *J Am Acad Orthop Surg*. 2001;9(5):345-51. DOI: 10.5435/00124635-200109000-00008.
33. Diamond EL, Sherman M, Lenet M. A quantitative method of determining the pneumatic ankle tourniquet setting. *J Foot Surg*. 1985;24(5):330-4.
34. Massey KA, Blakeslee C, Martin W, Pitkow HS. Pneumatic Ankle Tourniquets: Physiological Factors Related to Minimal Arterial Occlusion Pressure. *J Foot Ankle Surg*. 1999;38(4):256-63. DOI: 10.1016/S1067-2516(99)80067-2.
35. Tuncali B, Karci A, Tuncali BE, et al. A new method for estimating arterial occlusion pressure in optimizing pneumatic tourniquet inflation pressure. *Anesth Analg*. 2006;102(6):1752-7. DOI: 10.1213/01.ane.0000209018.00998.24.
36. Tuncali B, Boya H, Kayhan Z, Arac S, Camurdan MA. Clinical utilization of arterial occlusion pressure estimation method in lower limb surgery: effectiveness of tourniquet pressures. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2016;50(2):171-7.
37. Kamath K, Kamath SU, Tejaswi P. Incidence and factors influencing tourniquet pain. *Chin J Traumatol*. 2021;24(5):291-4. DOI: 10.1016/j.cjtee.2021.05.002.
38. Finsen V, Kassetth A. Tourniquets in forefoot surgery. *J Bone Joint Surg*. 1997;79(1):99-101. DOI: 10.1302/0301-620X.79B1.0790099.
39. Murphy CG, Winter DC, Bouchier-Hayes DJ. Tourniquet injuries: pathogenesis and modalities for attenuation. *Acta Orthop Bel*. 2005;71(6):635-45.
40. Kumar K, Railton C, Tawfic Q. Tourniquet application during anesthesia: "What we need to know?". *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*. 2016;32(4):424-30. DOI: 10.4103/0970-9185.168174.
41. Darmanis S, Papanikolaou A, Pavlakis D. Fatal intra-operative pulmonary embolism following application of an Esmarch bandage. *Injury*. 2002;33(9):761-4. DOI: 10.1016/S0020-1383(02)00096-7.
42. Feldman V, Biadsi A, Slavin O, Kish B, Tauber I, Nyska M, et al. Pulmonary Embolism After Application of a Sterile Elastic Exsanguination Tourniquet. *Orthopedics*. 2015;38(12):e1160-3. DOI: 10.3928/01477447-20151123-08.
43. Bharti N, Mahajan S. Massive pulmonary embolism leading to cardiac arrest after tourniquet deflation following lower limb surgery. *Anaesth Intensive Care*. 2009;37(5):867-8.
44. Song JE, Chun DH, Shin JH, Park C, Lee JY. Pulmonary thromboembolism after tourniquet inflation under spinal anesthesia - A case report-. *Korean J Anesthesiol*. 2010;59 Suppl(Suppl):S82-5. DOI: 10.4097/kjae.2010.59.S.S82.
45. Hanberg P, Bue M, Kabel J, Jørgensen AR, Søballe K, Stilling M. Tourniquet-induced ischemia and reperfusion in subcutaneous tissue, skeletal muscle, and calcaneal cancellous bone. *APMIS*. 2021;129(4):225-31. DOI: 10.1111/apm.13121.



ORIGINAL

Bilingual article English/Spanish

Rev Esp Podol. 2024;xx(x):xx-xx

DOI: <http://dx.doi.org/10.20986/revesppod.2024.1676/2023>

Use of Limb Occlusion Pressure as a method for calculation of intraoperative ankle tourniquet pressure in forefoot surgery: a prospective case series

Uso de Presión de Oclusión de Extremidad como método de cálculo de la presión intraoperatoria del torniquete en tobillo en cirugía del antepié: serie de casos prospectiva

Javier Pascual Huerta¹, Leticia Palacio Fernández¹, Lucía Trincado Villa¹, Antonio González Fernández¹ y Eduardo Mongil Escudero²

¹*Clínica del Pie Elcano. Barakaldo, Vizcaya, Spain.* ²*Servicio de Anestesia y Reanimación. Hospital Universitario de Galdakao, Vizcaya, Spain*

Key words:

Pneumatic tourniquet, pressure, limb occlusion pressure, foot surgery, ischemia, ankle.

Abstract

Objetives: The use of tourniquets in foot surgery can produce complications. It was assessed que quality of surgical field hemostasis and its complications with the use of an ankle tourniquet whose pressure was determined by using the Limb Occlusion Pressure (LOP) method.

Patients and methods: Patients surgically treated with an ankle tourniquet were included. Pressure of the tourniquet was calculated using LOP method with a cuff at the ankle until Doppler stethoscope sound was not detected. A security margin was added of 40, 60 or 80 mm Hg if LOP value was less than 130, between 131-190 or more than 190 respectively. Quality of surgical field was graded as Excellent, Good, Fair and Bad.

Results: A total of 116 patients were included. Mean pressure was 192.73 ± 31.73 mm Hg and mean time of ischemia was 73.92 ± 33.09 minutes. Quality of the surgical field was Excellent in 84 cases (72.4 %), Good in 26 cases (22.4 %) and Fair in 6 cases (5.2 %) with no Bad cases.

Conclusions: The surgical field was considered Excellent or Good in 94.8% of the cases with ankle pressures noticeably lower than those traditionally used in the ankle for foot surgery. The use of LOP method to calculate tourniquet pressures at the ankle is a valid and safe method that allow a bloodless surgical field with minimal complications.

Palabras clave:

Torniquete neumático, presión, presión de oclusión de extremidad, cirugía del pie, isquemia, tobillo.

Resumen

Objetivos: El uso de torniquetes en cirugía del pie puede presentar complicaciones. Se valoró la calidad del campo quirúrgico exangüe y la aparición de complicaciones con el uso de torniquete localizado en el tobillo, determinando la presión mediante el método de Presión de Oclusión de Extremidad (LOP).

Pacientes y métodos: Se incluyeron a pacientes intervenidos quirúrgicamente del pie con torniquete en el tobillo. La presión con método LOP se determinó con manguito en el tobillo hasta que se perdía el pulso con onda doppler, y al que se añadió un margen de seguridad de 40, 60 u 80 mm Hg si el valor LOP era menor de 130, entre 131-190 y mayor de 190 mm Hg, respectivamente. La calidad del campo quirúrgico fue catalogada como Excelente, Buena, Regular y Mala.

Resultados: Se incluyeron un total de 116 pacientes. La media de presión utilizada fue de 192.73 ± 31.73 mm Hg y el tiempo medio de isquemia 73.92 ± 33.09 minutos. La calidad del campo quirúrgico fue Excelente en 84 casos (72.4 %), Buena en 26 casos (22.4 %) y Regular en 6 casos (5.2 %) sin ningún caso de Mala calidad.

Conclusiones: El campo quirúrgico fue considerado como Excelente o Bueno en el 94.8 % de los casos con el uso de presiones sensiblemente inferiores a las clásicamente utilizadas en el tobillo para cirugía del pie. El cálculo de la presión del torniquete en el tobillo mediante el método LOP es un método válido y fiable que permite un campo quirúrgico exangüe con mínimas complicaciones.

Received: 10-09-2023

Accepted: 12-04-2023



0210-1238 © The Authors. 2024.
Editorial: INSPIRA NETWORK GROUP S.L.
This is an Open Access paper under a Creative Commons Attribution 4.0 International License
(www.creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Correspondence:

Javier Pascual Huerta
javier.pascual@hotmail.com

Introduction

Surgical tourniquets are routinely used in limb surgery to improve visualization of the surgical field, allowing for more precise technical work in a safe and faster environment,^{1,2} thereby avoiding injuries or technical errors due to lack of visibility and reducing blood loss.³ Despite all these benefits and technological advances in tourniquet management,⁴ their use is not without problems or risks, which are well documented in the literature.⁵⁻⁹

Ischemia and pressure are the two main iatrogenic factors involved in the use of intraoperative tourniquets. Metabolic effects are associated with the sequelae produced by sustained ischemia, while nerve and muscle tissue injuries are directly related to local compression produced by the tourniquet itself and the duration of that local pressure.^{10,11} As of today, there is no safe intraoperative pressure that can be used without risking injury to structures, and the most appropriate way to calculate that pressure remains unknown.

However, in recent years, the concept of LOP (limb occlusion pressure) has been developed, defined as the minimum pressure of the tourniquet to stop arterial flow distal to it, which would be the tourniquet pressure required to maintain a bloodless surgical field.¹² The Association of periOperative Registered Nurses (AORN) and the Association of Surgical Technologists (ATS) in the United States recommend calculating this value and using it as a system to estimate the intraoperative tourniquet pressure, with an added safety margin of 40, 60, or 80 mm Hg, depending on whether the LOP value is less than 130 mm Hg, between 131 and 190 mm Hg, and greater than 190 mm Hg, respectively (table I).^{12,13} This system is known as the LOP method for calculating the intraoperative tourniquet pressure in each specific patient.

Several studies have shown that the LOP method is a valid system for achieving a bloodless surgical field, minimizing the risk of injuring tissues subjected to compression by the tourniquet in adults¹⁴⁻¹⁷ and children.¹⁸ However, in most of these studies, the cuff was placed in the thigh or arm, and the use of LOP in other locations, such as the leg or ankle, has been much less studied. Ankle tourniquet placement is very common in foot surgery performed by podiatrists, as it is usually better tolerated by patients and allows surgery to be performed with distal local anesthetic blocks in the foot without the need for general anesthesia or more proximal anesthetic blocks (popliteal or spinal). Pauer and Carocci¹⁹ studied the effect of optimizing ankle tourniquet pressure using 200 mm Hg, a method different from LOP, so we do not know to date if this LOP system is a valid method for calculating intraoperative tourniquet pressure when the location is the ankle.

For all these reasons, the aim of this study was to evaluate the quality of the bloodless surgical field and the occurrence of complications associated with the use of ankle tourniquet for foot surgery, determining the tourniquet pressure using the method recommended by AORN and AST based on LOP calculation. The aim was to assess whether using this method at the ankle achieves a valid hemostasis system that allows for a bloodless surgical field while minimizing problems associated with tourniquet use due to pressure exerted on the ankle.

Patients and methods

Study design

This was a prospective, cross-sectional case series study conducted on patients undergoing foot surgery requiring the application of a surgical tourniquet at the ankle. The drafting of this article followed the recommendations of the STROBE guidelines for reporting observational studies.²⁰

Study population

All patients consecutively undergoing foot surgery at Clínica del Pie Elcano (Bilbao, Vizcaya, Spain) who met the following inclusion criteria were included: 1) patients older than 18 years undergoing surgery in the forefoot, performed with a pneumatic tourniquet placed at the ankle regardless of the duration of its application, and 2) procedure performed using distal local anesthesia (ankle or foot) along with conscious sedation administered by an anesthesiologist. Cases of foot surgery where an ankle tourniquet was not used (for example, nail surgery) or where other types of hemostasis, such as vasoconstrictors (adrenaline) associated with local anesthetics, were used were excluded.

All patients were private patients at Clínica del Pie Elcano (Bilbao, Vizcaya, Spain) who voluntarily attended the center for the treatment of pain and/or deformities in the forefoot and who voluntarily accepted surgical treatment. Data collection was conducted from December 2018 through December 2022. The present study is classified as an observational case series study with prospective character. While conducting this study the routine clinical practice of such center was not altered whatsoever.

Protocol and procedures

Once the patient was in the operating room, a peripheral vein was cannulated with an IV catheter in the arm, and 0.9% saline solution was administered along with drugs for the conscious sedation procedure performed by the anesthesiologist (E.M.E.). This procedure involved administering midazolam and fentanyl at low doses adjusted to the patient's weight and continuous infusion of propofol throughout the procedure (target-controlled infusion system between 0.5-1.5 mg/ml) to achieve sedation with the patient asleep and on spontaneous breathing, who could be awakened by tactile or verbal stimulation (Ramsay scale level 3).²¹ Immediately after administering this drug for conscious sedation, and before performing the local anesthetic block in the foot, the LPO value was calculated in the limb to be operated on. The LOP value was obtained by plac-

Table I. Method recommended to determine the intraoperative pressure of the tourniquette according to the AORN and the AST.

LOP measurement	+ Security marging	LOP < 130	40 mm Hg
		LOP 131 - 190	60 mm Hg
		LOP > 190	80 mm Hg

AORN, Association of periOperative Registered Nurses; ATS, Association of Surgical Technologists; LOP, limb occlusion pressure; mm HG, millimeters of mercury.



Figure 1. Measurement of limb occlusion pressure (LOP) using a Doppler probe and an automatic pressure cuff.

ing an automatic pressure cuff that calculated the arterial pressure at the ankle (HEM-M3-7131E; OMRON HEALTHCARE Co., Ltd., Kyoto, JAPAN), and with a bidirectional Doppler using an 8 MHz probe (Sonoline B, Contact Medical Systems co., Ltd.; China), the flow of the distal pedal artery to the pressure cuff was located. In cases where the pedal artery could not be located (there is a percentage of around 5% of the population with absent or vestigial presence of the anterior tibial and pedal artery),²² the posterior tibial artery was used for this measurement. Once the artery was perfectly located with the Doppler probe, the ankle pressure cuff was inflated to a pressure at which the Doppler wave sound disappeared, indicating complete collapse of the artery. Afterwards, the automatic pressure cuff began to calculate the arterial pressure by gradually decreasing the pressure in the ankle at a rate of approximately 3-5 mm Hg per second. When the Doppler signal recovered, the marked pressure was estimated as the LOP pressure (Figure 1). This procedure was always performed with the patient in a supine position (not sitting and with the heart approximately at the level of the artery of the foot to be explored) and was repeated 2 times consecutively in each patient to ensure the reliability of the measurement. The highest pressure of the 2 measurements was always taken as the LOP pressure. However, in cases where a difference of more than 10 mm Hg was observed between the first and second readings, a third reading was used to determine the LOP pressure. All LOP calculations were performed by 2 podiatrists who were authors of the article (J.P.H. and L.P.F.), and who had previously practiced together the protocol that should be followed for the LOP calculation. All patients were constantly monitored by the anesthesiologist for their heartbeat, blood pressure, and oxygen saturation during the procedure.

In all cases, a 13 cm-wide manual pneumatic tourniquet (Komprimeter, Riester®, Phoenix, AZ, USA) with a straight design (not contoured to the limb) was used. The tourniquet was applied after previously emptying blood by sweeping with a Smarch tape applied to the foot. The application time of the tourniquet never exceeded 120 minutes. In cases where the procedure lasted more than 120 minutes, either the technique went on without a tourniquet (“wet”) until

the surgery was finished, or a reperfusion pause of, at least, 20 minutes was taken before reapplying the tourniquet at the ankle. The new application of the tourniquet never exceeded 30 minutes.

Variables and measurements

All surgical procedures were performed by the same podiatrist, the author of this article (J.P.H.), who was in charge of the patients during the surgical process. Once the surgery was completed, this author assessed the quality of the bloodless surgical field at the end of the procedure. This assessment of the bloodless field was performed qualitatively and was based on a four-category scale: 1) Excellent: bloodless intraoperative surgical field with excellent visualization; 2) Good: slight or minimal bleeding allowing the technique to be performed without having to change the tourniquet pressure; 3) Fair: intraoperative bleeding requiring increasing the tourniquet pressure during surgery, not because the cuff pressure has decreased, but because the calculated pressure does not allow working due to lack of field visibility; 4) Poor: abundant intraoperative bleeding requiring repeating foot exsanguination. Similarly, all incidents or complications that could be related to the use of the tourniquet during surgery were noted during the postoperative period: local pain in the tourniquet placement area, postoperative neurological symptoms compatible with nerve injury due to the tourniquet, skin injury due to compression exerted by the tourniquet, and thrombophlebitis and deep vein thrombosis. The existence of immediate cardiovascular or respiratory events after tourniquet deflation was also noted.

Data were filled in during the preoperative period and immediately after surgery on a data sheet for each patient, which were then transferred to a database along with the patient's age and sex, systolic blood pressure in the arm, systolic blood pressure in the ankle, ankle/brachial index (ABI), LOP value, tourniquet pressure used during surgery, and quality of the surgical field. Follow-up of all patients was conducted during the usual postoperative course following the standard protocols of the center where the study was conducted. Postoperative consultations were conducted until discharge, which occurred, at least, 12 months after surgery. Any incidents during this period, especially related to tourniquet use, were tracked, and recorded in the database.

Statistical analysis

The mean \pm standard deviation of quantitative variables and simple percentages for categorical variables were calculated. An estimation of the quality of the bloodless surgical field was obtained using simple percentages, while differences in the values of the pressure used and systolic pressure in the arm and ankle were analyzed in the different groups of surgical field quality (Excellent, Good, Fair, and Poor) using a hypothesis contrast test through the Kruskal-Wallis H test (the non-parametric equivalent to the ANOVA test). P values < 0.05 were considered statistically significant. All calculations were performed using the IBM SPSS Statistics® program (version 26).

Results

A total of 124 patients were analyzed, 8 of whom had missing measurements that prevented their inclusion in the study, resulting

in a final sample of 116 patients. In 2 out of the 116 cases, it was impossible to locate their age and gender on the data collection sheet, although the rest of the values were correctly filled out, so they were included in the pressure analysis and variable calculation but not in the calculation of age and gender for the sample. Table II shows the basic population data and study variables. The mean pressure used in the total sample was 192.73 ± 31.76 mm Hg, and the mean ischemia time used was 73.92 ± 33.09 minutes.

Table III shows the percentages of surgical field quality and systolic blood pressure values in the arm and ankle, as well as the LOP in each category. Using the method described with the LOP value, the quality of the surgical field was Excellent in 84 cases (72.4%), Good in 26 cases (22.4%), and Fair in 6 cases (5.2%). No cases of poor-quality surgical field were ever reported. The Kruskal-Wallis test did not show statistically significant differences between the Excellent, Good, and Fair quality field groups, both in the pressure used ($p =$

0.327) and in the systolic blood pressure in the arm ($p = 0.060$) and ankle ($p = 0.076$).

In 9 cases, the initial hemostasis time of 120 minutes was exhausted, and hemostasis reutilization with a tourniquet was performed during surgery with a previous reperfusion period of the foot between 20 and 30 minutes (mean, 27.5 ± 5.2 minutes), followed by a second hemostasis time lasting between 5 and 30 minutes (mean, 22.2 ± 8.2 minutes). None of the cases required a third use of hemostasis.

No cardiovascular or respiratory events were recorded during exsanguination and tourniquet deflation in the study patients. Complications were reported in 2 patients in the study that could be related to tourniquet use: one of them was the presence of localized deep vein thrombosis in the intervened leg, which was conservatively treated on an outpatient basis and followed up by their primary care physician. This patient had a pressure of 195 mm Hg for 120 minutes and was one of the patients in whom ischemia was reapplied for 30 minutes after a 30-minute reperfusion window. The second was the presence of postoperative neurological pain at the tourniquet application site, which subsided favorably 4 to 6 weeks after the intervention without sequelae. In this case, the tourniquet pressure used was 165 mm Hg for 102 minutes.

Discussion

Injuries to vessels, nerves, or other tissues, whether temporarily or permanently, are complications due to the incorrect use of the tourniquet during limb surgery. Most of the literature maintains that mechanical trauma due to tourniquet pressure is the most important factor in the pathogenesis of these injuries related to its use.²³⁻²⁷ Classic studies by Ochoa et al. concluded that nerve injuries were caused by increased pressure at the edge of the cuff, which was the location where nerve lesions histologically occurred with displacement of the Ranvier nodes, showing that it was compression neuropathy rather than ischemic neuropathy the cause of the paralysis produced by the tourniquet.^{28,29} Within this context of compressive nerve injury, lesions can appear as a consequence of incorrect tourniquet placement, incorrect size of the tourniquet, excessive pressure, and/or prolonged use, generally exceeding 2 hours. Determining the appropriate tourniquet pressure sufficient to create a bloodless field

Table II. General data of the study population and variables studied (n = 116) *

	Mean	SD	Range
Age *	62.57	13.60	16 - 90
Brachial SBP	132.55	22.43	90 - 195
Ankle SBP	142	51.07	90 - 168
LOP	136.43	24.28	75 - 215
Pressure used (ankle)	192.73	31.76	125 - 250
Ischemia time (minutes)	73.92	33.09	11 - 119
	Number (%)		
Gender *	Male	23 (19.3%)	
	Female	93 (80.7%)	
Foot	Right	70 (60.3%)	
	Left	46 (39.7%)	

SBP, systolic blood pressure; LOP, limb occlusion pressure; SD, standard deviation.
* Age and gender calculation was performed on n = 114, and the rest on n = 116.

Table III. Visualization of the surgical field and associated pressures (n = 116)

Surgical Field Visualization and Associated Pressures (n = 116)	Number (%)	LOP (Mean \pm SD)	Pressure used (Mean \pm SD)	95%CI of pressure used	Brachial systolic pressure (Mean \pm SD)	Ankle systolic pressure (Mean \pm SD)	Used pressure - Brachial systolic pressure (Mean)
Excellent	84 (72.4%)	134.45 ± 23.04	190.90 ± 25.03	184.22 - 197.59	129.81 ± 19.84	135.55 ± 22.27	60.68 ± 21.25
Good	26 (22.4%)	143.54 ± 27.52	200.46 ± 33.51	186.93 - 214.0	143.08 ± 25.38	166.96 ± 98.67	61.0 ± 21.05
Regular	6 (5.2%)	133.33 ± 25.03	184.5 ± 39.69	142.85 - 226.15	129.83 ± 32.6	116.6 ± 16.99	54.67 ± 10.55
Poor	0 (0%)	-	-	-	-	-	-

CI, confidence interval; LOP, limb occlusion pressure; SD, standard deviation.

* Kruskal-Wallis H test ($p = 0.327$). ** Kruskal-Wallis H test ($p = 0.060$). *** Kruskal-Wallis H test ($p = 0.076$).

and, at the same, time avoid tissue damage due to compression is a difficult task whose answer remains elusive. The present study aimed to assess the quality of the bloodless field in foot surgery with the tourniquet placed on the ankle, using the method recommended by AORN and ATS which uses the LOP value as a reference. As far as the authors know, this is the first study ever conducted to measure the clinical effectiveness of using LOP as a method of calculating the pressure used by the tourniquet when located on the ankle. This clinical assessment had been performed in other studies using the LOP method in the thigh^{14, 16, 17} but not in the ankle.

In podiatry foot surgery, tourniquets have historically been used for years on the ankle with a minimal rate of complications. In a study on the use of pneumatic tourniquets on the ankle in 3027 podiatric surgery procedures performed in the United States, only 5 complications were described.³⁰ However, determining the tourniquet pressure used on the ankle is not performed under fixed or standardized parameters. Historically, this has generally been done using 3 methods. The first method consists of always using a fixed pressure that is not changed, usually 350 mm Hg in the thigh and 250 mm Hg on the ankle. The second method consists of adjusting the pressure relative to the patient's systolic blood pressure, adding an increment that varies between 75-150 mm Hg depending on the anatomical location of the tourniquet, always avoiding exceeding 250 mm Hg on the ankle.³¹ The third method consists of using the LOP method, recommended by AORN and ATS,^{12, 13} which is the one used in the present study, by calculating the patient's LOP value in the immediate preoperative period and adding a safety margin (Table I)

As f, this is the first study that has measured the clinical effectiveness of using LOP (Estimated Occlusion Pressure) as a method for calculating the pressure used by the tourniquet when located at the ankle. This clinical assessment had been carried out in other studies using the LOP method in the thigh, but not at the ankle.

Historically, ankle tourniquets have been used for years in foot surgery by podiatrists with a minimum complication rate. In a study on the use of pneumatic tourniquets at the ankle in 3027 podiatric surgery procedures performed in the U.S., only a total of 5 complications were described. However, determining the tourniquet pressure used at the ankle is not done under fixed or standardized parameters. Historically, this has generally been done using three methods. The first method consists of always using a fixed pressure that is not changed, typically 350 mm Hg in the thigh and 250 mm Hg at the ankle. The second method consists of adjusting the pressure based on the patient's systolic blood pressure, adding an increment ranging from 75-150 mm Hg depending on the anatomical location of the tourniquet, always avoiding exceeding 250 mm Hg at the ankle. The third method consists of using the LOP method, recommended by the AORN and the ATS, which is the method used in the present study, calculating the patient's LOP value in the immediate preoperative period and adding a safety margin (Table I).

The present study has shown that the use of the LOP method for calculating tourniquet pressure at the ankle is a method that allows working under a bloodless surgical field with pressures significantly lower than those historically used of 250 mm Hg at the ankle. In the present study, in 110 out of 116 patients (94.8%), the surgical field was categorized as Excellent or Good using this method, and the mean pressure used was 190.90 ± 25.03 mm Hg in cases where the surgical field was considered Excellent (72.4% of the overall sam-

ple) and 200.46 ± 33.51 mm Hg in cases where the surgical field was considered Good (22.4% of the overall sample). These results are similar to those reported by Pauers and Cacori, who used a slightly curved tourniquet inflated to 200 mm Hg, in which in 90% of cases adequate hemostasis was achieved with minimal postoperative complications.¹⁹ The results of the present study suggest that using a fixed pressure of 250 mm Hg at the ankle overestimates the pressure needed to achieve a bloodless surgical field in which one can work comfortably. Similarly, using a safety margin of 100 mm Hg above the systolic blood pressure^{32, 33} can overestimate, in many cases, the pressure needed to produce a bloodless surgical field. In the present study, the difference between systolic blood pressure and the pressure used at the ankle using LOP calculation was 60.43 ± 21.64 mm Hg for the total sample, and Table III shows that value in the different groups of surgical field quality. In light of these results, it seems that using this rule (systolic blood pressure + 100 mm Hg) for calculating tourniquet pressure may not be ideal.

The LOP value is related to various variables of the patient, such as systolic blood pressure, ankle-brachial index, limb size, and external variables such as tourniquet design (straight or contoured) and tourniquet width, among others. Several authors have tried to establish formulas to aid in the calculation of this value, often based on brachial systolic blood pressure. Diamond et al.³³ established the formula: (systolic blood pressure \times 1.5) + age as the minimum occlusion value. Massey et al.³⁴ studied various predictive factors to determine arterial occlusion pressure in the foot using an ankle tourniquet and using various physiological and anthropometric variables of the participants; their final regression equation was: $(116 \times \text{ankle/brachial index}) + (1.37 \times \text{systolic blood pressure}) - 159$. Tuncalli et al. developed the concept of arterial occlusion pressure using the following formula [systolic blood pressure + 10]/tissue damping coefficient.^{35, 36} On the other hand, McEwev et al. noted that the LOP value can vary widely with respect to systolic blood pressure measured in the arm and that this variability suggests that calculating tourniquet pressure using only systolic blood pressure in the patient's arm may not be optimal in many cases.¹⁴ In the present study, no differences were found in systolic blood pressure among the different groups of surgical field quality: Excellent, Good, and Regular; although a greater dispersion of data was observed in the Regular group with respect to the Good group and between these two (Regular and Good) with respect to the Excellent group, as shown by the values of the standard deviation of brachial systolic blood pressure (Table III). This aspect is also reflected in the dispersion of the final pressure used according to the data from the confidence intervals (Table III).

One aspect to note in the present study is the use of conscious sedation in all patients by an anesthesiologist. Regardless of whether blood pressure measured in the arm is relevant to the calculation of the LOP value, it should remain stationary throughout the entire surgical procedure with minimal variations. The fact that the patient was constantly monitored and under conscious sedation by the anesthesiologist helped maintain a stable level of blood pressure during the surgical procedure in all the study patients. In this regard, the results obtained in the present study should be viewed in the context of constant blood pressure monitoring and may not be applicable to other studies that did not have close monitoring of the patient's blood pressure during the intraoperative period.

Apart from preventing pressure-related injuries, there is another relevant aspect regarding the use of tourniquets that speaks of the presence of intraoperative pain caused by the tourniquet, which tends to increase with the duration of its use.³⁷ This is an important aspect, as it allows surgery to be performed safely and comfortably for the patient with distal nerve blocks and IV sedation without need for general anesthesia or more proximal blocks (popliteal or spinal). Finsen and Kasseth³⁸ concluded that the use of ankle tourniquets is better tolerated by patients than when they are used on the leg. It is the subjective opinion of the authors of this article that the use of lower tourniquet pressures, along with the use of IV sedation, delays the onset of tourniquet-associated pain during the surgical procedure. Unfortunately, this aspect was not studied in the present work, and future studies would be needed to test this hypothesis.

The immediate period just after exsanguination of the limb and deflation of the tourniquet potentially carries a risk of creating hemodynamic instability to the patient. Tourniquet deflation produces systemic cardiovascular, hematological, respiratory, and metabolic effects due to the residues originating in the tissue once ischemia is removed and passes into the central circulation.^{39,40} Similarly, there is a risk of creating embolization phenomena just after the deflation of the extremity tourniquet, which have been clearly reported in the literature.⁴¹⁻⁴⁴ In the present study, all patients were closely monitored, and none suffered any cardiovascular or respiratory events in the immediate intraoperative and postoperative periods with the inflation and deflation of the tourniquet. In this regard, we should mention that most of these events have been reported with tourniquets in more proximal locations such as the thigh, where there is a larger volume of blood exsanguination and deflation, and a greater amount of exposed ischemic tissue, especially muscular, compared to the use of the tourniquet at the ankle, where the only anatomical area exsanguinated is the foot. In fact, a recent study in patients undergoing hallux valgus/limitus surgery with the use of a thigh tourniquet showed that the most significant ischemic changes occurred in muscular tissue, not in subcutaneous or bone tissues.⁴⁵ For all these reasons, we consider ankle location to be very safe in terms of systemic cardiovascular, respiratory, and metabolic effects.

The present study has certain limitations, so the interpretation of the results should be approached with caution. Firstly, the assessment of surgical field quality was done subjectively by grading it into 4 values (Excellent, Good, Regular, and Poor). Although this measurement has been used in previous studies,^{14,16,36} there is inherent subjectivity to this assessment that may have interfered with the results obtained. Secondly, the LOP measurement method takes time in the operating room and requires certain skills and practices from the operator in charge to be precise. Therefore, it is a method that is rarely used in the routine clinical practice, and we believe these aspects could be a limitation to expanding its use routinely in clinical practice in foot surgery.

In conclusion, the present study has determined the quality of the surgical field using a method for quantifying tourniquet pressure (LOP method) when the location is at the ankle in forefoot surgery. The mean pressure used by the tourniquet in the present study was 192.73 ± 31.73 mm Hg, which represents pressures lower than those historically used at the ankle as standard for foot surgery. The quality of the surgical field was considered Excellent or Good in 94.8% of cases. Calculating tourniquet pressure at the ankle using the LOP

method adding a safety margin is a valid and reliable method that yields excellent and good surgical field quality in most cases and with minimal complications. The authors believe that the pressure calculation method should be done on an individual basis, and the routine use of a constant pressure of 250 mm Hg in all cases should be avoided.

Ethical statement

This study was conducted after being approved by the center's management and following all the recommendations of the Declaration of Helsinki, and after informed consent from all participants was obtained after a verbal explanation of the project. While this study was being conducted, it did not alter, exceed, or change in any way the usual or routine clinical practice for this type of patients in the health care center where it was conducted, so no approval was sought from a central committee for clinical research ethics.

Conflicts of interest

None declared.

Funding

None declared.

Authors' contributions

Conception and study design: JPH, LPF, LTV.

Data collection: JPH, LPF, LTV, EME.

Result analysis and interpretation: JPH, AGF.

Creation, drafting, and preparation of the initial draft of the paper: JPH, AGF, EME.

Review and final acceptance: JPH, LPF, LTV, AGF, EME.

References

- Farhan-Alanie MM, Dhaif F, Trompeter A, Underwood M, Yeung J, Parsons N, et al. The risks associated with tourniquet use in lower limb trauma surgery: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthop Surg & Traumatol.* 2021;31(5):967-79. DOI: 10.1007/s00590-021-02957-7.
- Davey MS, Davey MG, Hurley ET, Kearns SR. Tourniquet use during open reduction and internal fixation of ankle fractures - A systematic review and meta-analysis. *J Foot Ankle Surg.* 2022;61(5):1103-8. DOI: 10.1053/j.jfas.2022.01.019.
- Singh V, Robin JX, Fieldler B, Rozell JC, Schwarzkopf R, Aggarwal VK. Tourniquet use is associated with reduced blood loss and fewer reoperations in aseptic revision total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2022;37(8S):S947-S953. DOI: 10.1016/j.arth.2022.01.005.
- McEwen JA. Complications of and improvements in pneumatic tourniquets used in surgery. *Med Instrum.* 1981;15(4):253-7.
- Odinsson A, Finsen V. Tourniquet use and its complications in Norway. *J Bone Joint Surg Br Vol.* 2006;88(8):1090-2. DOI: 10.1302/0301-620X.88B8.17668.
- Committee on Complications of Arthroscopy, Association of North America. Complications of arthroscopy and arthroscopic surgery: results of a national survey. *Arthroscopy.* 1985;1(4):214-20. DOI: 10.1016/S0749-8063(85)80086-4.
- Pennsylvania Patient Safety Authority. Strategies for avoid problems with the use of pneumatic tourniquets. *Pennsylvania Patient Safety Advisory.* 2010;7(3):97-101.
- Ahmed I, Chawla A, Underwood M, Price AJ, Metcalfe A, Hutchinson C, et al. Tourniquet use for knee replacement surgery. *Cochr Database System Rev.* 2020;12:CD012874. DOI: 10.1002/14651858.CD012874.pub2.
- Migliorini F, Maffulli N, Eschweiler J, Knobe M, Tingart M, Betsch M. Tourniquet use during knee arthroplasty: A Bayesian network meta-analysis on pain, function, and thromboembolism. *Surgeon.* 2022;20(4):241-51. DOI: 10.1016/j.surge.2021.03.004.
- Fitzgibbons PG, DiGiovanni C, Hares S, Akelman E. Safe Tourniquet Use: A Review of the Evidence. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20(5):310-9. DOI: 10.5435/00124635-201205000-00007.

11. Noordin S, McEwen JA, Kragh CJF, Eisen A, Masri B. Surgical Tourniquets in Orthopaedics. *J Bone Joint Surg (Am)*. 2009;91(12):2958-67. DOI: 10.2106/JBJS.I.00634.
12. AORN: Recommended practices for the use of the pneumatic tourniquet in the perioperative practice setting. In: Blanchard J, Burlingame B (eds.). *Perioperative Standards and Recommended Practices: For Inpatient and Ambulatory Settings*. Denver, Colorado: Association of periOperative Registered Nurses; 2011. p. 177-89.
13. Association of Surgical Technologists: Recommended Standards of Practice for Safe Use of Pneumatic Tourniquets [Internet]. Littleton, CO, Association of Surgical Technologists; 2007 [Acceso en marzo de 2023]. Disponible en: http://www.ast.org//pdf/Standards_of_Practice/RSOP_Pneumatic_Tourniquets.pdf.
14. McEwen JA, Inkpen K, Younger A. Tight tourniquet safety. *Surgical Technologist*. 2002;34(7):9-19.
15. Tuncali B, Karci A, Bacakoglu AK, Tuncali BE, Ekin A. Controlled hypotension and minimal inflation pressure: a new approach for pneumatic tourniquet application in upper limb surgery. *Anesth Analg*. 2003;97(5):1529-32. DOI: 10.1213/01.ANE.0000081660.97731.91.
16. Tuncali B, Boya H, Kaykan Z, Arac S. Tourniquet pressure settings based on limb occlusion pressure determination or arterial occlusion pressure estimation in total knee arthroplasty? A prospective, randomized, double blind trial. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2018;52(4):256-60. DOI: 10.1016/j.aott.2018.04.001.
17. Younger ASE, McEwen JA, Inkpen K. Wide Contoured Thigh Cuffs and Automated Limb Occlusion Measurement Allow Lower Tourniquet Pressures. *Clin Orthop Rel Res*. 2004;428:286-93. DOI: 10.1097/01.blo.0000142625.82654.b3.
18. Reilly CW, McEwen JA, Leveille L, Perdios A, Mulpuri K. Minimizing Tourniquet Pressure in Pediatric Anterior Cruciate Ligament Reconstructive Surgery: A Blinded, Prospective Randomized Controlled Trial. *J Pediatr Orthop*. 2009;29(3):275-80. DOI: 10.1097/BPO.0b013e31819bcd14.
19. Pauers RS, Carocci M. A low pressure pneumatic tourniquets: Effectiveness at minimum recommended inflation pressures. *J Foot Ankle Surg*. 1994;33(6):605-9.
20. von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gotsche PC, Vandenbroucke JP. The Strengthening of Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) Statement: guidelines for reporting observational studies. *Ann Intern Med*. 2007;147(8):573-7. DOI: 10.7326/0003-4819-147-8-200710160-00010.
21. Ramsay MA, Savege TM, Simpson BR, Goodwin R. Controlled sedation with alphaxalone-alphadolone. *Br Med J*. 1974;2(5920):656-9. DOI: 10.1136/bmj.2.5920.656.
22. Sarrafian SK, Kellikian AS. *Angiology*. En: Kellikian AS (ed.). *Sarrafian's anatomy of the foot and ankle: descriptive, topographical, functional*. 3.^a ed. Philadelphia: Walters Kluwer Lippincott Williams & Wilkins; 2011. p. 381-427.
23. Masri BA, Eisen A, Duncan CP, McEwen JA. Tourniquet-induced nerve compression injuries are caused by high pressure levels and gradients - a review of the evidence to guide safe surgical, pre-hospital and blood flow restriction usage. *BMC Biomed Eng*. 2020;2:7. DOI: 10.1186/s42490-020-00041-5.
24. Hurst LN, Weiglein O, Brown WF, Campbell G. The pneumatic tourniquet: a biomechanical and electrophysiological study. *Plast Reconstr Surg*. 1981;67(5):648-52. DOI: 10.1097/00006534-198105000-00014.
25. Day RL, Zale BW. The effect of tourniquets on muscle enzymes during foot and ankle surgery. *J Foot Surg*. 1993;32(3):280-4.
26. Klenerman L. Tourniquet paralysis. *J Bone Joint Surg*. 1983;66(4):374-5. DOI: 10.1302/0301-620X.65B4.6874704.
27. McLaren AC, Rorabeck CH. The pressure distribution under tourniquets. *J Bone Joint Surg*. 1985;67(3):433-8. DOI: 10.2106/00004623-198567030-00014.
28. Ochoa J, Fowler T, Gilliat RW. Anatomical changes in peripheral nerves compressed by a pneumatic tourniquet. *Anat*. 1972;113(Pt 3):433-55.
29. Ochoa J, Danta G, Fowler TJ, Gilliat RW. Nature of the nerve lesion caused by a pneumatic tourniquet. *Nature*. 1971;233(5317):265-6. DOI: 10.1038/233265a0.
30. Derner R, Buckholz J. Surgical hemostasis by pneumatic ankle tourniquet during 3027 podiatric operations. *J Foot Surg*. 1995;34(3):236-46. DOI: 10.1016/S1067-2516(09)80054-9.
31. Kim TK, Bamme AB, Sim JA, Park JH. Is lower tourniquet pressure during total knee arthroplasty effective? A prospective randomized controlled trial. *BMC Musculoskel Dis*. 2019;20(1):275. DOI: 10.1186/s12891-019-2636-7.
32. Wakai A, Winter DC, Street JT, Redmond PH. Pneumatic tourniquets in extremity surgery. *J Am Acad Orthop Surg*. 2001;9(5):345-51. DOI: 10.5435/00124635-200109000-00008.
33. Diamond EL, Sherman M, Lenet M. A quantitative method of determining the pneumatic ankle tourniquet setting. *J Foot Surg*. 1985;24(5):330-4.
34. Massey KA, Blakeslee C, Martin W, Pitkow HS. Pneumatic Ankle Tourniquets: Physiological Factors Related to Minimal Arterial Occlusion Pressure. *J Foot Ankle Surg*. 1999;38(4):256-63. DOI: 10.1016/S1067-2516(99)80067-2.
35. Tuncali B, Karci A, Tuncali BE, et al. A new method for estimating arterial occlusion pressure in optimizing pneumatic tourniquet inflation pressure. *Anesth Analg*. 2006;102(6):1752-7. DOI: 10.1213/01.ane.0000209018.00998.24.
36. Tuncali B, Boya H, Kayhan Z, Arac S, Camurdan MA. Clinical utilization of arterial occlusion pressure estimation method in lower limb surgery: effectiveness of tourniquet pressures. *Acta Orthop Traumatol Turc*. 2016;50(2):171-7.
37. Kamath K, Kamath SU, Tejaswi P. Incidence and factors influencing tourniquet pain. *Chin J Traumatol*. 2021;24(5):291-4. DOI: 10.1016/j.cjtee.2021.05.002.
38. Finsen V, Kasset A. Tourniquets in forefoot surgery. *J Bone Joint Surg*. 1997;79(1):99-101. DOI: 10.1302/0301-620X.79B1.0790099.
39. Murphy CG, Winter DC, Bouchier-Hayes DJ. Tourniquet injuries: pathogenesis and modalities for attenuation. *Acta Orthop Bel*. 2005;71(6):635-45.
40. Kumar K, Railton C, Tawfic Q. Tourniquet application during anesthesia: "What we need to know?". *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*. 2016;32(4):424-30. DOI: 10.4103/0970-9185.168174.
41. Darmanis S, Papanikolaou A, Pavlakis D. Fatal intra-operative pulmonary embolism following application of an Esmarch bandage. *Injury*. 2002;33(9):761-4. DOI: 10.1016/S0020-1383(02)00096-7.
42. Feldman V, Biadsi A, Slavin O, Kish B, Tauber I, Nyska M, et al. Pulmonary Embolism After Application of a Sterile Elastic Exsanguination Tourniquet. *Orthopedics*. 2015;38(12):e1160-3. DOI: 10.3928/01477447-20151123-08.
43. Bharti N, Mahajan S. Massive pulmonary embolism leading to cardiac arrest after tourniquet deflation following lower limb surgery. *Anaesth Intensive Care*. 2009;37(5):867-8.
44. Song JE, Chun DH, Shin JH, Park C, Lee JY. Pulmonary thromboembolism after tourniquet inflation under spinal anesthesia - A case report-. *Korean J Anesthesiol*. 2010;59 Suppl(Suppl):S82-5. DOI: 10.4097/kjae.2010.59.S.S82.
45. Hanberg P, Bue M, Kabel J, Jørgensen AR, Søballe K, Stilling M. Tourniquet-induced ischemia and reperfusion in subcutaneous tissue, skeletal muscle, and calcaneal cancellous bone. *APMIS*. 2021;129(4):225-31. DOI: 10.1111/apm.13121.