VITOR CERVANTES GORNATI

Desenvolvimento e aplicação prática de *shunt* vascular temporário por punção: estudo experimental em porcos

Tese apresentada à Faculdade de Medicina
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências

Programa de Clínica Cirúrgica

Orientador: Prof. Dr. Erasmo Simão da Silva

São Paulo

2018

VITOR CERVANTES GORNATI

Desenvolvimento e aplicação prática de *shunt* vascular temporário por punção: estudo experimental em porcos

Tese apresentada à Faculdade de Medicina
da Universidade de São Paulo para obtenção
do título de Doutor em Ciências

Programa de Clínica Cirúrgica

Orientador: Prof. Dr. Erasmo Simão da Silva

São Paulo

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Gornati, Vitor Cervantes

Desenvolvimento e aplicação prática de shunt vascular temporário por punção : estudo experimental em porcos / Vitor Cervantes Gornati. -- São Paulo, 2018.

Tese(doutorado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Programa de Clínica Cirúrgica.

Orientador: Erasmo Simão da Silva.

Descritores: 1.Procedimentos cirúrgicos vasculares 2.Lesões do sistema vascular 3.Trauma vascular 4.Trauma de extremidades 5.Dispositivos de acesso vascular 6.Shunt vascular 7.Shunt vascular temporário

USP/FM/DBD-303/18

Responsável: Eidi Raquel Franco Abdalla - CRB-8/4901

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, **Adélia Cervantes Flores Gornati** e **Gaetano Alberto Gornati**, por ensinarem com exemplos e palavras a importância da dedicação e da humildade.

À minha esposa, **Débora Yuri Moura Nakamura**, por ser meu porto sempre seguro. Sem ela, nenhuma conquista valeria a pena.

À minha filha, **Isabela Nakamura Gornati**, por me ensinar que o amor é infinito.

AGRADECIMENTOS

Ao **Prof. Dr. Erasmo Simão da Silva**, professor livre-docente da Disciplina de Cirurgia Vascular e Endovascular da FMUSP, agradeço pela orientação recebida desde a graduação, pelo exemplo de ética e retidão profissional.

Ao **Prof. Dr. Nelson De Luccia**, professor titular da Disciplina de Cirurgia Vascular e Endovascular da FMUSP.

Ao **Prof. Dr. Pedro Puech-Leão**, professor titular da Disciplina de Cirurgia Vascular e Endovascular da FMUSP.

Aos **cirurgiões do Serviço de Cirurgia Vascular e Endovascular do HC-FMUSP** e em especial, **Prof. Dr. Calógero Presti**, **Prof. Dr. José Augusto Tavares Monteiro**, **Prof. Dr. Cid José Sitrângulo Jr.** e **Profa. Dra. Nayara Cioffi Batagini**, integrantes do meu exame de qualificação.

Aos demais **cirurgiões vasculares, residentes e ex-residentes do Serviço de Cirurgia Vascular e Endovascular do HC-FMUSP**.

Aos biólogos **Alexandre Queiroz Silva** e **Gina Camillo Rocha Silvestre**, colaboradores do LIM 02 da FMUSP.

À **Sra. Eliane F. Mônica Gazetto**, secretária da Pós-graduação da
Clínica Cirúrgica da FMUSP.

Ao **Sr. Joselito da Silva Estrela**, colaborador do Centro de Ensino e
Pesquisa em Cirurgia “Vicky Safra” (CEPEC) da FMUSP.

“Conheça todas as teorias, domine todas as técnicas, mas ao tocar uma alma humana, seja apenas outra alma humana.”

Carl G. Jung

NORMALIZAÇÃO

Esta tese está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação:

Referências: adaptado de International Committee of Medical Journals Editors (Vancouver).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Divisão de Biblioteca e Documentação. Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias. Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Julia de A. L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 3a ed. São Paulo: Divisão de Biblioteca e Documentação; 2011.

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

Novo Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa (Decreto nº 6.583 de 29/09/2008).

ÍNDICE

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	VI
LISTA DE FIGURAS	VII
LISTA DE TABELAS	VIII
RESUMO	IX
ABSTRACT	XI
1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	10
3. MÉTODOS	12
3.1 ESTRUTURA E PLANEJAMENTO	12
3.2 TAMANHO AMOSTRAL – CÁLCULO DO N	12
3.3 ANESTESIA E MANEJO PERI-OPERATÓRIO	15
3.4 TÉCNICA OPERATÓRIA	16
3.4.1 SVT HABITUAL	21
3.4.2 SVT PROPOSTO (POR PUNÇÃO)	21
3.5 ESTATÍSTICA	26
4. RESULTADOS	28
5. DISCUSSÃO	34
6. CONCLUSÕES	41
7. REFERÊNCIAS	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

ANOVA – Análise de variância

EUA – Estados Unidos da América

IV – Via intravenosa

Kg – Quilogramas

mg – Miligramas

Min – Minuto

mL – Mililitros

mm – Milímetros

mmHg - Milímetros de mercúrio

NTDB - National Trauma Data Bank (Banco de dados nacional de trauma dos EUA)

NaCl - Cloreto de Sódio

PAi - Pressão arterial invasiva

PAM - Pressão arterial média

PVC - Policloreto de vinila

SVT – *Shunt(s)* vascular(es) temporário(s)

TVS – *Temporary vascular shunt*

UI - Unidades internacionais

USP – Universidade de São Paulo

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. POSICIONAMENTO DO SUÍNO MS-60 COM EXPOSIÇÃO SIMULTÂNEA DAS REGIÕES INGUINAIS, FACILITANDO ACESSO	15
FIGURA 2. CATETERIZAÇÃO DAS ARTÉRIAS FEMORAIS DISTAIS PARA AFERIÇÃO DE PAI BILATERALMENTE.....	17
FIGURA 3. MEDIDAS DE DIÂMETROS INTERNOS NOS SVT	18
FIGURA 4. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE CADA ETAPA NECESSÁRIA PARA O PREPARO DO SVT POR PUNÇÃO	19
FIGURA 5. DEMONSTRAÇÃO DA LIGADURA DA ARTÉRIA FEMORAL PROXIMAL ATRAVÉS DA PRESSÃO ARTERIAL INVASIVA.....	20
FIGURA 6. REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE CADA ETAPA NECESSÁRIA PARA IMPLANTE DO SVT POR PUNÇÃO (CRÉDITOS DAS IMAGENS: DR. GUSTAVO RODELA)	23
FIGURA 7. AFERIÇÃO DA PAI EM MEMBRO POSTERIOR APÓS IMPLANTE DE SVT	24
FIGURA 8. EXEMPLO DE AVALIAÇÃO DO FLUXO (ML/MIN) APÓS TERMINO DOS PROCEDIMENTOS COM OS SVT POR PUNÇÃO E HABITUAL	25
FIGURA 9. VALORES MÉDIOS DA PAM EM DIFERENTES MOMENTOS (FASE I, FASE II E FASE III).....	28
FIGURA 10. REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DOS VALORES DOS RESULTADOS DA COMPARAÇÃO ENTRE OS FLUXOS (ML/MIN) NO SVT HABITUAL E POR PUNÇÃO.....	30
FIGURA 11. TEMPO MÉDIO PARA A INSERÇÃO DO SVT HABITUAL E POR PUNÇÃO.....	31
FIGURA 12. PATÊNCIA SECUNDÁRIA NOS GRUPOS SVT HABITUAL E POR PUNÇÃO.	32
FIGURA 13. FÓRMULA DA LEI DE POISEUILLE	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. PARÂMETROS DO ESTUDO PARA CALCULO DO N (TAMANHO DA AMOSTRA).....	13
TABELA 2. TAMANHO DA AMOSTRA NO GRUPO SVT HABITUAL E SVT POR PUNÇÃO.....	14
TABELA 3. PARÂMETROS AVALIADOS NO ESTUDO	26
TABELA 4. SUMÁRIO DOS PARÂMETROS AVALIADOS PARA COMPARAR O SVT HABITUAL E POR PUNÇÃO	29

RESUMO

Gornati VC. *Desenvolvimento e aplicação prática de shunt vascular temporário por punção*: estudo experimental em porcos [tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2018.

Os *shunts* vasculares temporários (SVT) são utilizados como uma técnica eficaz para reestabelecer rapidamente o fluxo sanguíneo em casos de lesão vascular com isquemia do membro ou órgão acometido, no qual a revascularização deverá ser postergada. Habitualmente, o SVT é inserido dentro dos cotos proximal e distal do vaso lesado através de uma abertura na pele, visando restaurar a perfusão e interromper a isquemia. O objetivo deste estudo é comparar a pressão arterial média (PAM em mmHg) e o fluxo sanguíneo (em ml/min) em dois modelos de SVT, um habitual e outro implantado por punção, bem como o tempo para a inserção destes dispositivos e suas patências primária e secundária. Realizamos experimentos em 30 suínos, somando 60 intervenções de revascularização arterial temporária dos membros posteriores: trinta SVT habituais e trinta por punção. Analisamos a PAM durante os procedimentos nos membros posteriores e o fluxo através dos dois tipos de SVT. A análise de fluxo mostrou uma diferença significativa entre os SVT testados ($p=0,001$), sendo menor no grupo SVT por punção. No entanto, o tempo decorrido (min) para inserção do SVT habitual foi maior do que o tempo para inserção do SVT por punção ($15,32 \pm 3,08$ vs. $10,37 \pm 1,7$, $p=0,001$). Além disso, observamos uma recuperação da PAM nos membros submetidos aos dois tipos de SVT próxima à PAM sistêmica em 100% dos experimentos. Os resultados revelaram patência primária, secundária, e taxa de

complicações similares entre os dois tipos de SVT. Concluimos que o fluxo foi menor no SVT por punção, mas a recuperação da PAM foi semelhante e com menor tempo de inserção do SVT por punção.

Descritores: procedimentos cirúrgicos vasculares; lesões do sistema vascular; trauma vascular; trauma de extremidades; dispositivos de acesso vascular; *shunt* vascular; *shunt* vascular temporário.

ABSTRACT

Gornati VC. *Development and practical application of a puncture temporary vascular shunt: an experimental study in pigs* [thesis]. “São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo”; 2018.

Temporary vascular shunts (TVS) are used as an effective technique to rapidly restore blood flow in cases of vascular injury with ischemia of the affected limb or organ, in which revascularization shall be postponed. Usually, TVS is positioned within the proximal and distal stumps of the injured vessel, through an opening of the skin, in order to restore perfusion and stop the ischemia. We sought to compare mean blood pressure (MBP in mmHg) and blood flow (ml/min) between two types of TVS, a standard one and a puncture one, as well as the time spent to insert these devices. We performed an experimental study on 30 pigs, including 60 vascular interventions in posterior limbs: thirty standard TVS and thirty puncture TVS. MBP was analyzed during the interventions in both posterior limbs and the flow through both types of TVS. Flow analysis revealed a significant difference between the two types of TVS ($p=0,001$), being lower in the puncture TVS. However, the time spent during standard TVS insertion was greater than that of the puncture shunt ($15,32 \pm 3,08$ min vs. $10,37 \pm 1,7$ min, $p=0,001$). In addition, we observed a limb MBP recovery close to systemic MBP in 100% of the experiments. The results show similar primary and secondary patency and complication rate in both TVS types. Therefore, we conclude that the flow was lower in the puncture TVS, but the MBP recovery was similar and it took less time to be inserted.

Descriptors: vascular surgical procedures; vascular system injury; vascular trauma; extremity trauma; vascular access devices; vascular shunt; temporary vascular shunt.

INTRODUÇÃO

1. INTRODUÇÃO

O trauma é uma das maiores causas de morbimortalidade no mundo, especialmente nas faixas etárias jovens e economicamente ativas, sendo a 1ª causa de óbito neste grupo, no ano de 2015 ^{1, 2}. Além disso, implica em importante ônus ao indivíduo, sua família, ao Estado e aos empregadores, devido aos afastamentos e aposentadorias precoces determinadas pelo evento. Nos EUA, ao redor de 30 milhões de pessoas por ano necessitam de algum atendimento médico por trauma, resultando em 3 milhões de internações por ano ³, contabilizando em 2006, gastos que atingiam cifras ao redor de US\$ 406 bilhões (80 bilhões em tratamento médico e 326 bilhões em perda de produtividade por afastamento) ⁴. Dados do Brasil evidenciam um quadro igualmente preocupante. Em 2016, mais de 1 milhão de brasileiros foram internados vítimas de trauma, sendo 70% do sexo masculino e aproximadamente 60% em idade economicamente ativa ⁵.

Dentre as causas de morbimortalidade e prejuízo financeiro devido ao trauma está o subgrupo de traumas vasculares. Eles tornam-se cada vez mais frequentes, devido ao alto - e crescente - número de acidentes de trânsito e conflitos armados, civis ou militares. Aproximadamente 1,5-4,4% de todos os traumas no meio civil tem acometimento vascular, com mortalidade de 10-16%, segundo informações dos EUA ⁶, Reino Unido ⁷ e Austrália ⁸. Além das mortes, provocam perda da função de membros, amputações, feridas complexas, dor crônica, e frequentemente estão associadas a fraturas ósseas, lesões nervosas, contaminação da ferida ⁹ e síndrome compartimental ¹⁰, fatores complicadores e de piora de prognóstico. Atualmente, o índice de amputação de membros superiores e de membros inferiores nos traumas vasculares chega a 1,3% e a 7,8%, respectivamente ⁹. São situações que exigem atuação precoce de uma

equipe cirúrgica multidisciplinar, composta ao menos por cirurgião geral/trauma, ortopedista e cirurgião vascular, visando impedir ou mesmo minimizar danos mais graves e definitivos como os já citados.

O trauma vascular arterial pode ter diferentes formas de apresentação clínica. Os sinais e sintomas podem ser frustros, como discreta alteração de perfusão, assimetria de pulsos ou de índice tornozelo-braquial, até quadros mais evidentes, como ausência de pulsos unilateral e hematoma pulsátil ou em expansão, além de situações dramáticas como hemorragia franca ou isquemia crítica do membro ou órgão acometido^{11, 12}. A hipótese diagnóstica de trauma vascular deve ser aventada frente ao mecanismo do trauma, ao agente lesivo e ao trajeto do ferimento, e ainda assim a realização de exames subsidiários pode ser necessária, especialmente nos indivíduos com sintomas mais discretos, que podem ser mascarados por outras lesões associadas¹². O atraso no tratamento aumenta as chances de que haja prolongamento da hemorragia, da isquemia do membro ou área, aumentando também a possibilidade de amputações, fasciotomias descompressivas, síndrome de reperfusão¹³ e sequelas funcionais, como lesões neurológicas¹⁴.

As lesões arteriais podem ser originárias de trauma fechado ou penetrante, sendo que no meio civil eles tem proporções semelhantes, e o segundo é a principal causa no meio militar^{6, 7, 15}. Em números absolutos as lesões civis são mais prevalentes, porém a incidência de lesões em conflitos militares é maior, e vem crescendo a cada nova guerra¹⁶. Ball *et cols* em 2009 fizeram uma revisão dos dados dos traumas vasculares em civis, segundo o banco de dados nacional de trauma dos EUA (NTDB). Evidenciou-se que em dez anos, 64% das vítimas de trauma vascular submetidas a revascularização de urgência tiveram como origem da lesão um trauma fechado, geralmente por acidente automotivo com fratura óssea adjacente. Já os

traumas penetrantes correspondiam aos 36% restantes, dos quais 97% eram devidos a projéteis de armas de fogo ¹⁷. Por outro lado, White *et al.* analisaram mais de 1500 traumas vasculares nas Guerras do Iraque e Afeganistão, demonstrando que 60% desses traumas foram causados por explosão e 30% por projétil de armas de fogo, restando apenas 10% por trauma fechado ¹⁸.

Apesar de o primeiro reparo arterial descrito ter sido realizado no ano de 1792 por Halowell ¹⁹, a técnica de anastomose vascular semelhante ao que conhecemos hoje foi descrita em 1902 por Carrel ²⁰. Desde então, a evolução do tratamento do trauma vascular ocorreu principalmente em períodos de guerra, quando lesões traumáticas tornaram-se mais frequentes e as possibilidades de tratamento foram amplamente testadas na prática. Cirurgiões alemães relataram uma centena de tentativas de reparos arteriais durante a Primeira Guerra Mundial (1914-1918) ²¹, enquanto na Segunda Guerra Mundial (1939-1945), DeBakey e Simeone relataram a primeira grande série de intervenções em traumas vasculares, com mais de dois mil indivíduos, mais da metade dos quais necessitando amputação maior como tratamento definitivo, e incluindo 81 reparos de lesões arteriais, os quais tiveram uma taxa de amputação de 36% ²². Na sequência, em 1948, o impacto do trauma arterial e as possíveis técnicas usadas para reconstrução passaram a ser descritos com maior profundidade ²³.

A Guerra da Coréia (1950-1953) representou um marco no tratamento do trauma vascular, por ser o período no qual a ligadura dos vasos deixou de ser a conduta-padrão. Uma vez que técnicas de reconstrução e novos materiais se difundiram, a taxa de amputação pós revascularização caiu para 21%, segundo análise de casos de Hughes ^{24, 25}. Na Guerra do Vietnã (1955-1975), mais de 1000 traumas arteriais foram tratados, com taxa de amputação de 13-20% e ótimo seguimento a longo prazo. Além disso, durante essa guerra o reparo venoso começou a ser visto com

maior importância, e a retirada dos atingidos nos campos de batalha passou a ser realizada rotineiramente com helicópteros, tornando o início do tratamento muito mais precoce e minimizando o tempo de isquemia ²⁶⁻²⁸.

A incidência de traumas vasculares aumentou mais de 5 vezes desde as duas Guerras Mundiais até os conflitos no Afeganistão e Iraque (2003-2011), passando pelas Guerras da Coreia e Vietnã. Enquanto nas duas primeiras não ultrapassava 1-2% de todos os traumas, representaram mais de 10% nestes últimos conflitos ¹⁸. Graças aos avanços anteriormente citados, os resultados das tentativas de revascularização nessas guerras foram melhores, com taxa de amputação chegando a apenas 5-10% nos paciente atingidos ²⁹⁻³¹, um resultado muitas vezes superior inclusive ao dos atendimentos dos eventos ocorridos fora de ambientes de guerra ^{32, 33}.

A relação direta entre o tempo de isquemia e a taxa de amputação pós trauma vascular foi um dos principais conhecimentos adquiridos e sedimentados durante o longo período de guerras descrito anteriormente ^{12, 23}. A perfusão de um membro isquêmico deve ser restaurada sempre o mais precocemente possível, de preferência antes de 6 a 8 horas, para que a sua função seja preservada ^{34, 35}. É fato notório que na primeira metade do século XX, poucas opções estavam disponíveis para reconstrução arterial, e a necessidade fez com que fossem propostas as primeiras alternativas temporárias, mesmo com a certeza de que o dispositivo iria obstruir em pouco tempo. O objetivo era estimular o desenvolvimento de circulação colateral e diminuir o efeito da ligadura arterial ³⁶, que era o único tratamento definitivo à época.

Muitas evoluções ocorreram no tratamento das lesões arteriais no século passado. O tratamento de escolha passou da simples ligadura para a reconstrução com enxerto de veia autóloga. Mais recentemente, o uso da arteriografia tornou-se mais

frequente e liberal, abrindo espaço para o advento de técnicas endovasculares, que se provaram viáveis para indivíduos selecionados³⁷⁻³⁹.

Os *shunts* vasculares temporários (SVT) foram inicialmente descritos no ano de 1900, quando Payr testou anéis extraluminais absorvíveis de magnésio para anastomose em artérias femorais de porcos⁴⁰. Tuffier em 1915 descreveu tubos de prata revestidos com parafina para conectar cotos arteriais e manter temporariamente a perfusão arterial⁴¹. O advento dos SVT ocorreu devido à clara gravidade dos desfechos após ligaduras arteriais, e como citado anteriormente, pela ausência de alternativa viáveis para uma revascularização precoce, mesmo que fosse temporária. Ainda que simples, representaram o início da busca por alternativas à ligadura no controle de danos, e possibilitaram o desenvolvimento dos materiais atuais como os SVT de plástico e silicone, criados na segunda metade do século XX.

O primeiro relato na literatura de um SVT como os que conhecemos hoje foi feito por Shemiakin e Gordiitsa em 1966⁴², porém a primeira série de casos é datada de 1971, por Eger *et cols.*⁴³. Os SVT tem sua maior utilidade em casos de lesão vascular que provoque isquemia grave do membro ou órgão afetado, mas no qual a revascularização deverá ser postergada, como em situações em que haja outras lesões associadas que causem risco de morte ou para que seja realizada fixação de uma fratura⁴³⁻⁴⁵. Sendo assim, as principais indicações de SVT são fratura exposta com perda de tecido e lesão arterial, necessidade de perfusão durante uma reconstrução vascular complexa, controle de danos em paciente com iminente risco de morte ou perda do membro e perfusão para reimplante de membro amputado^{16, 46}.

Desde suas primeiras descrições no final da década de 1960 e início de 1970^{42, 43}, os SVT vêm sendo estudados e desenvolvidos em etapas, bem como o trauma arterial em geral, principalmente durante guerras. A eficácia e a viabilidade do uso dos

SVT já foi amplamente comprovada em diversos relatos oriundos da experiência no campo de batalha ^{47, 48}. Nos conflitos no Iraque em 2008, seu uso se fez necessário em 40% ferimentos vasculares femoro-poplíteos ²⁹ (acima do joelho) ou no membro superior acima do cotovelo, sendo necessária sua utilização, em média, por pouco mais de uma hora, resultando em uma salvamento de 92% dos membros acometidos, a curto prazo ⁴⁸. A experiência atual indica que os SVT permanecem implantados em geral por 1 a 4 horas e com uma funcionalidade de mais de 3 horas sem necessidade de heparinização sistêmica contínua ⁴⁹⁻⁵².

A maior parte do uso dos SVT se dá em casos de trauma perfurante ou por explosões, porém as lesões desse tipo são mais comuns em cenário de guerra. No meio civil os traumas penetrantes já foram maioria ¹⁵, mas atualmente há uma forte tendência a inversão desse quadro, com traumas fechados crescendo ^{34, 53}. Em comparação com as lesões penetrantes, os pacientes vítimas de traumas fechados apresentam um maior risco de amputação de membro e morte, principalmente no caso de lesão de artérias mais distais, principalmente a artéria poplítea ^{7, 34, 54}. Isso é explicado pela maior energia relacionada ao trauma fechado, pelas outras lesões frequentemente associadas e pela necessidade de dissecção do vaso para que seja implantado o SVT, adicionando tempo e morbidade ao procedimento ⁷.

Em geral, os SVT são condutos feitos de material sintético, que podem ser pré-fabricados em plástico – policloreto de vinila (PVC) (Javid® - Bard Peripheral Vascular, Inc. Tempe, EUA , Argyle® - Medtronic, Inc., Minneapolis, EUA e Pruitt-Inahara® - LeMaitre Vascular, Inc., EUA) ou em silicone (Sundt® - Integra NeuroSciences, Inc., Plainsboro, EUA), podendo ainda serem utilizadas sondas de alimentação, equipos de transfusão ou de soro ⁵², impregnadas ou não com heparina ⁵⁵. O SVT é posicionado dentro da luz do vaso lesado, com o objetivo de reestabelecer temporariamente o fluxo

sanguíneo através dele, até que seja possível a realização da correção vascular definitiva. O período após o implante de um SVT é o momento ideal para realizar-se outros procedimentos com maior tranquilidade e controle, tais como fixação de fraturas, desbridamentos, reparos venosos, neurorrafia e controle de danos. Diminui-se, portanto, a probabilidade de lesão direta por isquemia e a trombose distal secundária a ausência de fluxo sanguíneo. Além disso, o uso precoce de SVT provou diminuir os marcadores de lesão tecidual pós isquemia num estudo em porcos⁵⁶.

Por se tratar de uma técnica relativamente simples, o implante de SVT pode ser reproduzido com facilidade e é possível seu uso em uma grande variedade de artérias, como axilar, braquial, radial e ulnar, ilíaca, femoral, poplítea e tibiais. Já foi relatado até o uso de SVT em lesão de artéria mesentérica superior⁵⁷ e algumas tentativas em lesões de aorta⁵⁸. Nos EUA, a sua utilização já atinge 8-9% dos traumas vasculares urbanos^{34, 46}.

As possíveis complicações de um SVT são a oclusão precoce, o deslocamento, o sangramento e até a embolização⁵⁹. Todos esses eventos são geralmente causados por falha técnica, mas a oclusão precoce pode estar associada ainda à confecção de SVT com *loop*, ligadura de veia profunda e à presença de síndrome compartimental concomitante⁴⁷. Estudo multicêntrico de 2016, evidenciou uma taxa de trombose de SVT e deslocamento do mesmo de 5,6% e de 1,4%, respectivamente⁵⁹. Apesar de não se evidenciar associação entre a falha do SVT e a necessidade de amputação, houve associação do uso prolongado dos SVT (mais de 8 horas) com a presença lesão endotelial e subsequente trombose local e até do enxerto vascular^{60, 61}.

Esses dados, associados ao já citado aumento gradual da incidência de traumas vasculares com lesão arterial, tanto no meio civil quanto no militar, evidenciam

que estudos envolvendo SVT e o desenvolvimento de técnicas derivadas dele, especialmente as menos invasivas, ainda se fazem necessários. Exemplos dessa tendência são os estudos que aproveitaram os introdutores durante procedimentos endovasculares complexos como possíveis SVT ^{62, 63}.

O presente estudo pretende explorar uma possível alternativa ao SVT habitual, que seja realizada por punção, visando uma maior abrangência no uso dos SVT, incluindo o uso em traumas fechados, aumentando sua acessibilidade em ambiente pré-hospitalar, encurtando o tempo de isquemia e possivelmente reduzindo taxas de amputação e morbidade.

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Comparar o SVT por punção com o SVT habitual quanto:

- à resposta pressórica;
- ao fluxo sanguíneo proporcionado;
- ao tempo decorrido para o implante;
- à patência primária e secundária

MÉTODOS

3. MÉTODOS

3.1 ESTRUTURA E PLANEJAMENTO

Este estudo experimental em animais, foi conduzido no Laboratório de Investigação Médica 02 da Faculdade de Medicina da USP - Anatomia e Cirurgia Vascular, Unidade de Biomecânica Vascular - e no Centro de Ensino e Pesquisa Vicky Safrá (CEPEC - FMUSP), gentilmente cedido pela Disciplina de Urologia do Hospital das Clínicas da FMUSP. As instalações utilizadas contavam com monitor de pressão arterial invasiva, ventilação mecânica e profissionais capacitados em anestesia porcina. O Comitê de ética da FMUSP aprovou a pesquisa.

3.2 TAMANHO AMOSTRAL – CÁLCULO DO N

Realizado o cálculo do número (N) de procedimentos necessários para o estudo, utilizando-se um α de 0,001 (erro tipo 1 - possibilidade de que a diferença encontrada não seja real – falso positivo) e um β de 0,05 (erro tipo 2 - possibilidade de que não seja encontrada uma diferença real – falso negativo), com poder de 95%, o que caracteriza reserva de poder da prova suficiente para outros tipos de testes incluídos no projeto deste estudo.

Com base em pesquisas anteriores com o uso de SVT em porcos e principalmente nos dados preliminares obtidos nos procedimentos-piloto, o fluxo sanguíneo médio por um SVT habitual foi considerado de 150 ± 30 ml/minuto, e o fluxo esperado nos SVT por punção seria 25% menor que o anterior. Os dados citados encontram-se resumidos na tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros do estudo para cálculo do N (tamanho da amostra)

Parâmetros do Estudo	
Média, grupo 1	150
Média, grupo 2	112 (25% dec)
Alfa	0.001
Beta	0.05
Poder	0.95

Com essas informações, procedeu-se o cálculo⁶⁴:

$$\begin{aligned}
 k &= \frac{n_2}{n_1} = 1 \\
 n_1 &= \frac{(\sigma_1^2 + \sigma_2^2/K)(z_{1-\alpha/2} + z_{1-\beta})^2}{\Delta^2} \\
 n_1 &= \frac{(30^2 + 30^2/1)(3.29 + 1.64)^2}{38^2} \\
 n_1 &= 30 \\
 n_2 &= K * n_1 = 30
 \end{aligned}$$

Onde:

$\Delta = |\mu_2 - \mu_1|$ = diferença absoluta entre duas médias

σ_1, σ_2 = variância das médias #1 e #2

n_1 = tamanho amostral para o grupo #1

n_2 = tamanho amostral para o grupo #2

α = probabilidade de erro tipo I (0,001)

β = probabilidade de erro tipo II (0,05)

z = valor Z crítico para um dado α ou β

k = razão do tamanho amostral para o grupo #2 sobre o grupo #1

Chegou-se assim a 30 procedimentos para o grupo SVT habitual (N1), e de 30 para o grupo SVT por punção (N2), totalizando 60 procedimentos de SVT (N).

Tabela 2. Tamanho da amostra no grupo SVT habitual e SVT por punção

Tamanho da Amostra (N)	
Grupo 1 (SVT habitual)	30
Grupo 2 (SVT por punção)	30
Total	60

Como citado anteriormente, o planejamento definitivo foi possível graças à realização de 8 procedimentos-piloto, através dos quais aprimorou-se o desenho do estudo e técnica de execução. Durante 14 meses, 30 porcos da raça MS-60, com peso variando entre 16 e 27kg, foram submetidos a um total de 60 procedimentos de revascularização arterial temporária dos membros posteriores. Ou seja, em cada animal foram realizados simultaneamente os dois tipos de SVT, um em cada membro posterior, para efeito de comparação, totalizando 30 SVT por punção e 30 SVT habituais. Por características anatômicas dos porcos, foram utilizadas preferencialmente as artérias femorais dos animais (diâmetro arterial adequado e facilidade de acesso) (Figura 1). Os animais com hipotensão refratária a infusão de soro fisiológico, no intra-operatório foram excluídos (critério de exclusão).

Figura 1. Posicionamento do suíno MS-60 com exposição simultânea das regiões inguinais, facilitando acesso

3.3 ANESTESIA E MANEJO PERI-OPERATÓRIO

A técnica anestésica empregada em todos os animais constou da administração de Quetamina (Ketamin-S®, Cristália) na dose de 5 mg/kg e Midazolam (Dormire®, Cristália) na dose de 0,25 mg/kg, ambos colocados em mesma seringa e administrados pela via intramuscular no dorso dos animais, como medicação pré-anestésica.

Decorridos quinze minutos a veia marginal da orelha era puncionada com cateter vascular de calibre 20 ou 22 (BD Insyte®). Uma vez estabelecido o acesso venoso, realizava-se a indução anestésica, que consistiu da aplicação de tiopental sódico em bolus, na dose de 20mg/kg. Os animais receberam também um volume inicial de 20 ml/Kg de solução fisiológica (NaCl 0,9%) para compensar a perda volêmica relativa ao jejum. Foram submetidos a intubação com sonda endotraqueal de diâmetro 6 (Portex®) e mantidos oxigenados pelo respirador (Takaoka Origami®), sendo a manutenção anestésica feita com tiopental (Thiopentax® - Cristália) e a analgesia com

fentanil (Fentanest® - Cristália), por uma dose inicial de 5µg/kg seguida de infusão contínua de 0,4µg/kg/min por via intravenosa (IV). Após intubação, os animais foram mantidos em ventilação mecânica e estabilidade hemodinâmica, com administração de fluidos continua no intraoperatório. (10mL/kg/h). Para anticoagulação, os animais receberam 200UI/kg de heparina não fracionada intravenosa, imediatamente após o implante dos dois tipos de SVT.

3.4 TÉCNICA OPERATÓRIA

A equipe cirúrgica contou sempre com ao menos dois profissionais com experiência em técnica operatória vascular, incluindo sempre o pesquisador principal. Os procedimentos foram iniciados sempre com a dissecação da porção distal das artérias femorais bilateralmente, imediatamente proximal aos joelhos traseiros, seguida da cateterização retrógrada das mesmas sob visão direta com cateter vascular de calibre 20 (BD Insyte®), para medição de pressão arterial invasiva (PAi) das artérias a serem submetida aos dois tipos de SVT, sendo registradas as medidas aferidas em cada membro, após a fixação dos cateteres (Figura 2).

Figura 2. Cateterização das artérias femorais distais para aferição de PAi bilateralmente.

A e B. Dissecção, controle e cateterização das artérias femorais distais. **C.** Registro da PAi.

Todos os implantes de SVT foram precedidos por uma lesão da artéria receptora, realizada de forma controlada, através de dissecção, controle, ligadura e secção da mesma.

O primeiro SVT, aqui chamado de *habitual*, foi realizado com uma sonda uretral nº 10 de 40 cm, conectando os lúmens dos cotos proximal e distal da artéria lesada.

O SVT proposto, aqui denominado de *por punção*, consistiu na conexão de dois introdutores vasculares curtos (marca Cordis-Johnson), inseridos na artéria lesada (sendo um de 6F proximal e um de 5F distal à lesão), através das saídas das vias laterais destes. Os diâmetros internos dos orifícios de cada componente dos SVT foram aferidos com paquímetro (Figura 3), para fundamentarem a análise comparativa dos

fluxos avaliados. O diâmetro do dispositivo de Prutt-Inahara não foi medido pois seu menor diâmetro interno envolve os orifícios de saída das vias laterais dos introdutores, não afetando portanto o fluxo.

Figura 3. Medidas de diâmetros internos nos SVT

A. Diâmetro interno da via lateral do introdutor 6F **B.** Diâmetro interno da via lateral do introdutor 5F. **C.** Diâmetro interno da saída distal do introdutor 6F. **D.** Diâmetro interno da saída distal do introdutor 5F. **E.** Diâmetro interno do tubo de PVC utilizado como SVT habitual.

Realizou-se a conexão entre os dois introdutores acima referidos através de um dispositivo de Pruitt-Inahara 9F com 15 cm de comprimento (Figura 4).

Foi padronizado o implante do SVT por punção sempre no membro posterior direito, enquanto o SVT habitual foi implantado sempre no membro posterior esquerdo.

Figura 4. Representação esquemática de cada etapa necessária para o preparo do SVT por punção

A. Introdutor curto 5F com via lateral **B.** Detalhe da conexão do introdutor com a via lateral **C.** Desconexão do introdutor com a via lateral **D.** Introdutor já sem a via lateral **E.** SVT Pruitt-Inahara 9F 15cm **F.** Comparação do comprimento do SVT habitual com o SVT por punção **G.** Elementos do SVT por punção posicionados **H.** Conexão da saída lateral do

introdutor proximal do SVT por punção com a extremidade proximal do Prutt-Inahara **I**. Detalhe da conexão da saída lateral do introdutor proximal do SVT novo com a extremidade proximal do Prutt-Inahara **J**. Conexão da saída lateral do introdutor distal do SVT novo com a extremidade distal do Prutt-Inahara **K**. SVT por punção concluído.

Na sequência, proximalmente às PAi, as mesmas artérias eram dissecadas, ligadas e seccionadas, sendo registrada novamente as PAi resultantes pós-ligadura (Figura 5).

Figura 5. Demonstração da ligadura da artéria femoral proximal através da pressão arterial invasiva

Dissecção (A) e ligadura (B) de artéria femoral proximal (seta preta). C. Registro da PAi no membro após ligadura de artéria femoral proximal (seta branca).

Constatadas as ligaduras bem sucedidas, através da imediata queda de pressão arterial nos membros, iniciava-se o processo de realização dos dois tipos de

SVT, um na sequência do outro, sempre iniciando pelo *shunt* por punção, por padronização.

3.4.1 SVT HABITUAL

O SVT chamado de habitual foi confeccionado sempre após o controle dos cotos proximal e distal da artéria femoral lesada. Uma pinça hemostática foi colocada em cada um dos cotos artérias, seguido da abertura dos lúmens com auxílio de pinça anatômica. O implante do SVT tinha início através da inserção de uma sonda uretral de policloreto de vinila (PVC) nº 10 (2,55mm de diâmetro interno) de 40 cm de comprimento através dos orifícios dos cotos arteriais, conectando os dois lúmens, e fixação da posição da sonda inserida 2 cm nos cotos proximal e distal, com uma sutura de fio de algodão 3-0 ao redor da artéria sobre a sonda. O SVT foi mantido com a configuração de uma alça para propiciar melhor acomodação.

3.4.2 SVT PROPOSTO (POR PUNÇÃO)

A artéria proximal foi puncionada de maneira retrógrada, com auxílio do USG (eco-guiadas) (GE Logiqbook®), seguida da inserção de um fio-guia teflonado e um introdutor 6F sobre o fio-guia, à Seldinger. Quando, por motivo técnico não fosse possível a punção eco-guiada, seria realizada a dissecação e punção sob visão direta da artéria.

A artéria distal foi então puncionada de maneira anterógrada, sob visão direta, devido ao seu diâmetro reduzido e ao espasmo arterial que ocorre após a manipulação das artérias porcinas. Um fio-guia teflonado curto foi introduzido seguido por um introdutor 5F.

O processo de confecção do SVT proposto era finalizado após a retirada das vias laterais dos introdutores, mantendo o nariz e fio guia dentro deles, para evitar

sangramento desnecessário. Conectava-se as extremidades do *shunt* Prutt-Inahara com o orifício de saída da via lateral dos dois introdutores, com uma pinça hemostática (Kelly) impedindo o fluxo sanguíneo através dele. Essa conexão foi realizada sempre manualmente, de maneira simples, com o Prutt-Inahara envolvendo o orifício de saída da via lateral dos introdutores.

Antes de liberar a pinça hemostática, retirava-se o fio-guia do introdutor e procedia-se a heparinização local deste introdutor com 10ml de soro heparinizado (0,5ml heparina em 50ml de SF), através do nariz deste ou da via lateral do Prutt-Inahara. Retirava-se então o nariz e liberava-se a pinça hemostática, reestabelecendo o fluxo, verificando a ausência de vazamentos e confirmando a conexão bem sucedida. A sequência do procedimento está representada na Figura 6.

Figura 6. Representação esquemática de cada etapa necessária para implante do SVT por punção (Créditos das imagens: Dr. Gustavo Rodela)

A. Representação de lesão arterial por trauma fechado causando isquemia. **B.** Punção retrógrada de artéria proximal à lesão com agulha de punção. **C.** Inserção de introdutor 6F proximal sobre o fio guia. **D.** Punção anterógrada de artéria distal à lesão com agulha de punção. **E.** Inserção de introdutor 5F distal sobre o fio guia. **F.** Retirada dos tubos das vias laterais dos introdutores. **G.** *Shunt* de Pruitt-Inahara. **H.** Conexão do Pruitt-Inahara com as vias laterais dos introdutores (distal no detalhe). **I.** SVT por punção pronto para ser liberado. **J.** Liberação do SVT por punção. **K.** Fluxo sanguíneo através do SVT por punção. **L.** Membro reperfundido.

Após o implante dos dois SVT, a PAi distal nos membros posteriores era novamente registrada (Figura 7), assim como a PAi no introdutor proximal, para que

pudesse ser estabelecido um cálculo da relação entre a PA média proximal (sistêmica) e distal ao SVT (PA no membro).

Figura 7. Aferição da PAi em membro posterior após implante de SVT

Os dois SVT foram mantidos inseridos por ao menos 1h, para avaliação do que chamamos de patência primária, ou seja, o funcionamento ininterrupto do mesmo desde a sua inserção. Essa informação era adquirida através da análise da PAi nos membros revascularizados; se a curva e os valores da PA mantêm-se normais (Figura 7), o resultado da patência primária foi considerado positivo; se a curva perde a amplitude e a PA diminui, sem que haja correlação com a PA sistêmica, o resultado foi considerado negativo, sendo o procedimento reavaliado e corrigido se possível, visando a análise da patência secundária, ou seja, o funcionamento após a nova abordagem.

Imediatamente antes do término do procedimento, o introdutor distal (no caso do SVT por punção) e a parte distal do SVT habitual eram removidos e colocados em recipiente com demarcação volumétrica, sendo medidos os volumes de sangue expelidos através dos mesmos ao longo de um minuto, para análise quantitativa (ml/min) e comparação dos fluxos promovidos por estas modalidades de SVT (Figura 8).

Figura 8. Exemplo de avaliação do fluxo (ml/min) após termino dos procedimentos com os SVT por punção e habitual

Em caso de trombose do SVT habitual, este era retirado, limpo e submetido a uma nova tentativa de implante. Quando da trombose ou oclusão do SVT por punção, este era submetido a uma tentativa de salvamento através de aspiração dos coágulos com pressão negativa através da via lateral deste tipo de *shunt*.

Com o fim do procedimento, ainda sob anestesia geral, os animais foram submetidos à eutanásia com 20ml de Cloreto de Potássio (KCl), conforme legislação vigente⁶⁵.

Para melhor avaliar os valores médios da Pressão Arterial Média (PAM) em diferentes momentos, dividimos o experimento em três fases, descritas a seguir:

Fase I: PAM sistêmica pré lesão.

Fase II: PAM sistêmica e nos membros posteriores imediatamente após a lesão arterial nestes membros, antecedendo o implante dos dois tipos de SVT.

Fase III: PAM sistêmica e nos membros posteriores após o implante dos SVT habitual e por punção nos tempos T=0 (PAM inicial), T=30 (30 min após a inserção dos SVT) e T=60 (último registro antes da finalização do experimento).

Portanto, os dados coletados são evidenciados na Tabela 3:

Tabela 3. Parâmetros avaliados no estudo

Parâmetros	Medidas
Fluxo sanguíneo	ml/min
Patência primária em 1h	sim/não
Patência secundária	sim/não
Complicações (trombose, desconexão e sangramento)	sim/não
PAM nos membros posteriores pré ligadura arterial	mmHg
PAM nos membros posteriores pós ligadura arterial	mmHg
PA média sistêmica e nos membros posteriores t=0	mmHg
PA média sistêmica e nos membros posteriores t=30	mmHg
PA média sistêmica e nos membros posteriores t=60	mmHg
Tempo para inserção de SVT	min

3.5 ESTATÍSTICA

Os dados foram armazenados em uma planilha do Excel® for MAC e posteriormente importados para o software SPSS 25.0 for MAC para análise estatística. Os dados contínuos como a pressão arterial média, fluxo e tempo de inserção dos SVT foram descritos pela média e seu respectivo desvio-padrão e foram testados quanto a sua distribuição com o teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov. Para os dados categóricos como a presença (sim/não) de patência e complicações foram realizados o teste de qui-quadrado. Na análise da estatística inferencial o teste de ANOVA oneway e ANOVA de medidas repetidas foram utilizadas para a comparação entre os grupos (PAM sistêmica, PAM no membro posterior com SVT habitual e PAM no membro posterior com SVT por punção) e entre a evolução temporal de cada grupo, respectivamente. Um erro do tipo I de 5% foi aceito para significância estatística.

RESULTADOS

4. RESULTADOS

A média da PAM sistêmica antes do procedimento foi $92,61\text{mmHg} \pm 8,45$, mantendo-se estável durante todo o procedimento. Após a realização da lesão/interrupção do fluxo, em todos os membros alvo notou-se redução estatisticamente significativa ($p=0,001$) da PAM, resultando numa PAM média de $15,1 \pm 2,75$ e $14,8 \pm 2,07$ no grupo que seria submetido ao SVT habitual e por punção respectivamente, ou seja, em média 83,7% e 84% de queda (Figura 9). Os 60 implantes de SVT (30 habituais e 30 por punção) foram realizados com sucesso, recuperando a PAM próxima à sistêmica em 100% dos experimentos.

Figura 9. Valores médios da PAM em diferentes momentos (Fase I, Fase II e Fase III)

Analisou-se a PAM sistêmica e comparou-se com as pressões obtidas nos grupos SVT habitual e SVT por punção nos tempos T=0, T=30 e T=60. As médias da PAM estão descritas na tabela 1. Não houve diferença estatística significativa entre os valores médios encontrados ao longo do procedimento. A razão média entre a PAM no grupo SVT habitual e a PAM sistêmica nos tempos (T=0, T=30 e T=60) foram $0,95 \pm 0,06$, $0,93 \pm 0,04$ e $0,93 \pm 0,06$. Em comparação com o SVT por punção, foram $0,93 \pm 0,07$, $0,91 \pm 0,04$ e $0,89 \pm 0,03$. Não houve, portanto, significância estatística nas diferenças entre esta razão nos dois grupos. Ainda na tabela 1, temos informações obtidas sobre os fluxos, as patências e o índice de complicações.

Tabela 4. Sumário dos parâmetros avaliados para comparar o SVT habitual e por punção

	SVT habitual	SVT por punção	p-valor
PAM nos membros pós ligadura (mmHg)	15,1 $\pm$ 2,75	14,78 $\pm$ 2,07	0,624
PAM t=0 (mmHg)	89,6 $\pm$ 9,67	88,0 $\pm$ 10,42	0,543
PAM t=30 (mmHg)	87,84 $\pm$ 7,70	85,63 $\pm$ 7,84	0,275
PAM t=60 (mmHg)	86,78 $\pm$ 7,75	83,77 $\pm$ 7,19	0,125
Tempo para inserção (min)	15,13 $\pm$ 3,08	10,37 $\pm$ 1,73	0,0001
Fluxo (ml/min)	153,20 $\pm$ 18,57	110,36 $\pm$ 9,99	0,0001
Patência primária (sim ou não)	27/30 (90%)	26/30 (86,6%)	0,474
Patência secundária (sim ou não)	2/3 (66,6%)	4/4 (100%)	0,389
Complicações (sim ou não)	5/30 (16,6%)	4/30 (13,3%)	0,718

A figura 10 é a representação gráfica dos dados de fluxo sanguíneo arterial comparando-se o SVT por punção com o SVT habitual (quantificou-se o fluxo sanguíneo após a finalização do procedimento). A média do fluxo no grupo que recebeu o SVT habitual foi de $153,20 \pm 18,57$ ml/min e o no grupo que recebeu o SVT por punção foi de $110,36 \pm 9,99$. Houve diferença estatisticamente significativa entre os grupos ($p=0,001$), sendo maior no grupo SVT habitual.

Figura 10. Representação gráfica dos valores dos resultados da Comparação entre os fluxos (ml/min) no SVT habitual e por punção

Na figura 11 constata-se a representação gráfica do tempo (min) para realização dos procedimentos. Este foi menor, com significância estatística ($p=0,001$), na inserção do SVT por punção ($10,37 \pm 1,7$) em comparação ao SVT habitual ($15,32 \pm 3,08$).

Figura 11. Tempo médio para a inserção do SVT habitual e por punção

Entre os animais que receberam o SVT habitual, 5 animais (16,6%) apresentaram complicações, sendo três casos de trombose (um deles por dobradura ou acotovelamento do SVT com obstrução do fluxo), dois sangramentos por desconexão. Entre os animais que receberam o SVT por punção, 4 animais (13,3%) apresentaram trombose como complicação, porém todas foram revertidas de maneira simples, através da aspiração do coágulo por seringa com pressão negativa na saída lateral do *shunt* Prutt-Inahara.

Figura 12. Patência secundária nos grupos SVT habitual e por punção.

Não observamos diferença estatística significativa nas complicações entre os grupos que receberam os SVT. Conforme os dados de complicações acima citados, quando da análise da funcionalidade do SVT arterial, observou-se patência primária similar ($p= 0,474$) entre os grupos SVT habitual (90%) e por punção (86,6%), bem como os percentuais de patência secundária foram 66,6% e de 100% na mesma ordem dos SVT, também sem diferença estatística (Figura 12).

Nenhum animal evoluiu a óbito.

DISCUSSÃO

5. DISCUSSÃO

A ideia deste experimento surgiu através da observação da rotina assistencial das urgências e emergências vasculares no Pronto Socorro do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo e da necessidade de opções rápidas e práticas para revascularização temporária de membros isquêmicos.

O SVT habitual já é uma técnica consagrada, com resultados positivos, diminuindo a taxa de amputação e até mesmo de mortalidade^{48, 52, 66}. A proposta do SVT por punção não é de substituir tal técnica, mas sim complementá-la, principalmente no caso dos traumas fechados, onde a disseção e controle dos cotos arteriais lesados, como seria necessário para o implante de um SVT habitual demandariam tempo, estrutura hospitalar e agregariam morbidade a um paciente com condições de saúde já comprometidas. Portanto, esta análise comparativa usa a técnica consagrada contra uma nova técnica e com parâmetros objetivos pretende-se demonstrar a viabilidade técnica e funcional de um novo SVT.

Identificamos dois estudos com ideia semelhante, valendo-se do uso de introdutores vasculares para confecção de SVT endovascular^{63, 67}. A diferença é que estes estudos foram feitos principalmente em pacientes submetidos a procedimentos endovasculares complexos, com expectativa de longa duração, visando diminuir o tempo de isquemia e minimizar a síndrome de reperfusão. Além disso, a conexão entre os introdutores foi realizada através das próprias vias laterais, diferentemente da nossa proposta, que utilizou um *shunt* de Prutt-Inahara para conectá-los. Por fim, como nosso estudo foi experimental em porcos, aferimos continuamente a PAi do membro cuja artéria foi lesada e obteve-se a análise direta do fluxo sanguíneo, e não indiretamente com fluxômetros, como no caso de Hanley *et cols.*⁶³ e de Österberg *et cols.*⁶⁷. A

comparação adequada entre o fluxo sanguíneo nos dois tipos de SVT baseia-se na Lei de Poiseuille. Ela foi formulada pelo médico e físico francês Jean Louis Marie Poiseuille e relaciona o fluxo (Q) em um tubo cilíndrico transportando um líquido viscoso, com o raio (r), comprimento (l), pressão (P) e coeficiente de viscosidade (η), ou seja, descreve o comportamento dos fluídos nos tubos. A fórmula derivada desta Lei é usada para determinar o fluxo no tubo (Figura 13) ⁶⁸. Desse modo, em todos os procedimentos foram utilizados SVT com os mesmos comprimentos, a fim de minimizar as variáveis. Além disso, como a pressão é uma das variáveis mais importantes, a comparação foi sempre feita no mesmo animal, simultaneamente, com um tipo de SVT em cada membro posterior. Por outro lado, o diâmetro foi sempre menor no SVT por punção que no SVT habitual.

$$Q = \frac{\pi P r^4}{8 \eta l}$$

Figura 13. Fórmula da Lei de Poiseuille

O fluxo sanguíneo quantificado ao final de 1 hora de procedimento foi maior no SVT habitual, com significância estatística. Esse dado está provavelmente relacionado ao diâmetro reduzido nas vias laterais e nos orifícios distais dos introdutores usados no SVT por punção em comparação com o diâmetro da sonda de PVC usada no SVT habitual, como pode-se observar nas figuras abaixo. Assim, ainda segundo a já citada Lei de Poiseuille, sendo o fluxo Q dependente da quarta potência do raio R (Figura 12), é realmente previsto uma diferença, que pode ser amenizada com simples alterações nas características do introdutor, como o aumento do diâmetro da via lateral (Figura 3)

Após o implante, ambos os SVT tiveram adequada proporção de recuperação da PAM em relação a PAM sistêmica, com mais de 90% nos dois casos. Acredita-se que tais achados sejam justificados pela patência dos SVT e suficiente fluxo sanguíneo nos mesmo, mas também pela adaptação corporal à isquemia aguda, com alteração da resistência vascular periférica⁶⁹. Em 1999, Dawson *et cols.* mostraram em estudo experimental com SVT em porcos que o fluxo arterial através do SVT habitual era aproximadamente 60% do encontrado em uma artéria não lesionada, e que esse fluxo era o suficiente para que não houvesse aumento de ácido láctico⁵¹.

Os autores de alguns estudos propuseram métodos para quantificação do fluxo sanguíneo normal nas artérias dos membros inferiores em humanos⁷⁰⁻⁷², e apenas um avaliou artérias distais. Segundo este, o fluxo arterial basal médio para humanos é de 152ml/min na artéria femoral superficial, 72ml/min na artéria poplítea e de 3ml/min na artéria pediosa distal⁷⁰, diminuindo durante situações de isquemia e aumentando durante o exercício⁷¹, em avaliações com o auxílio de ultrassom.

Aproveitando essas informações, infere-se que o SVT por punção, mesmo com diâmetros menores, deve ser suficiente para a manutenção do fluxo necessário para perfusão da artéria poplítea e distais (110,36ml/min $\pm$ 9,99 foi o fluxo médio obtido no SVT por punção). Tal dado é importante pois mais da metade dos traumas arteriais acometem artérias do joelho ou mais distais, sendo a artéria poplítea a mais comumente lesada (35,5%). Além disso, as lesões desta artéria são as principais responsáveis por amputações de membros inferiores^{22, 73}, principalmente nos casos de trauma fechado, nos quais as lesões poplíteas são responsáveis por mais que o dobro de amputações que as lesões de artéria femoral⁹.

Quando comparado com estudos semelhantes, observamos que os fluxos obtidos pelo SVT por punção foram equiparáveis. Em nosso estudo o fluxo máximo

alcançado foi de 134ml/min, enquanto que Österberg *et cols.* chegaram a um fluxo de 140ml/min utilizando materiais semelhantes ⁶⁷ e Hanley *et cols.* a 102ml/min ⁶³. Outro estudo, com uso de SVT em animais com choque hemorrágico, demonstraram valores de no máximo 41ml/min ⁷⁴, evidenciando a importância da estabilidade hemodinâmica.

A amostra de animais mostrou-se hemodinamicamente homogênea antes do procedimento, apresentando uma PAM média maior que 90mmHg, evidenciando semelhança com o esperado nos seres humanos (70-105mmHg) ⁷⁵. Após a realização da lesão controlada (ligadura da artéria femoral), todos os membros apresentaram queda importante da PAM (mais de 80%), com manutenção da PAM sistêmica dentro da faixa normal, o que comprovou a obstrução do fluxo sanguíneo, sem diferença entre os lados dos dois tipos de SVT.

A análise do tempo do procedimento de implantação dos SVT evidenciou diferença significativa, sendo o SVT por punção quase 5 minutos mais rápido. A esses números podemos agregar o fato de o procedimento ter sido realizado com as artérias já dissecadas e controladas, o que parece favorecer o SVT habitual, uma vez que essa etapa não existe para o SVT por punção. Não encontramos até o presente momento, dados na literatura sobre o tempo médio para implante de SVT, para que houvesse comparação.

Os dois tipos de SVT obtiveram taxa de sucesso inicial de 100%, e a patência primária nos dois tipos de SVT foi semelhante, mantendo o padrão encontrado na literatura, que é de 78-95,6% em SVT utilizados em lesões artérias proximais ^{29, 30, 47, 48, 76}. Os números de complicações relacionadas ao SVT habitual em nosso estudo se assemelharam a estudos recentes que evidenciaram em torno de 7-20% de complicações, principalmente trombose e deslocamento ^{59, 77}. Houveram mais

complicações no grupo SVT habitual, porém mais trombozes no grupo SVT por punção (4 episódios, todas em animais diferentes).

Pudemos observar, por outro lado, que as trombozes no SVT por punção foram resolvidas de maneira simples, através da aspiração do coágulo por seringa com pressão negativa na saída lateral do *shunt* de Prutt-Inahara, motivo pelo qual a patência secundária no SVT por punção foi de 100%. No caso do SVT habitual, a patência secundária foi de 66,6%, pois em um dentre os três casos de trombose não foi possível o reimplante do *shunt*, devido a um importante espasmo arterial proximal, com retração da mesma.

Optou-se por manter os SVT por apenas uma hora pois a complicação mais frequente, a trombose, ocorre principalmente nesse período ^{59, 77}. Além disso, há vários estudos avaliando a capacidade de um SVT habitual manter-se pervio por até 72 horas, inclusive sem heparina sistêmica ^{49-52, 78}. Por fim, a legislação da cidade de São Paulo não permite o pernoite de suínos submetidos a procedimentos experimentais ⁶⁵.

O fato de contar com a via lateral também pode ser uma vantagem no diagnóstico preciso das lesões arteriais. A arteriografia é considerada o padrão-ouro no diagnóstico de lesões arteriais traumáticas ^{79, 80}, porém quando realizada antes da revascularização de urgência está relacionada com aumento do tempo de isquemia e aumento do risco de amputação ⁶⁶. Nesse sentido, o SVT por punção pode oferecer a vantagem de permitir o diagnóstico arteriográfico ao mesmo tempo em que mantém a perfusão no membro, sem aumento do tempo de isquemia ou risco de amputação.

Sabe-se que os SVT são utilizados atualmente em até 9% dos traumas vasculares ^{34, 46}, um número que se refere em geral apenas aos traumas penetrantes. Talvez essa seja o maior progresso possível com o uso do SVT por punção: a possibilidade do seu uso em traumas fechados, os quais tem clara ascensão na

incidência^{6, 7} e reportado um maior risco de amputação⁹. Importante salientar a possibilidade da aplicação do SVT por punção em atendimentos pré-hospitalares, diminuindo o tempo de isquemia, e até mesmo em cirurgias vasculares complexas e reconstruções arteriais que necessitem de longo tempo de clampeamento.

Podemos observar várias características positivas do SVT por punção, mas também foram notadas limitações, como a possível dificuldade em puncionar-se artérias lesadas, pela possibilidade de espasmo. Além disso, é importante que o médico executor tenha domínio da técnica de punção vascular guiada por ultrassom, e que os introdutores estejam disponíveis.

Nesse cenário, observa-se como perspectiva futura a realização de simples alterações na sua conformação que poderiam melhorar o fluxo sanguíneo, como o aumento do diâmetro do orifício de saída da via lateral dos introdutores. Por fim, estudos em humanos podem ser realizados, incluindo marcadores de isquemia e reperfusão, como lactato, e análise comparativa das taxas de amputação com o uso de cada tipo de SVT.

CONCLUSÕES

6. CONCLUSÕES

Não há diferença na resposta hemodinâmica após o implante dos dois tipos de SVT.

O fluxo sanguíneo através do SVT por punção é menor que no SVT habitual.

O SVT por punção é implantado em menor tempo que o SVT habitual.

Não há diferença nas patências primária e secundária entre dois tipos de SVT.

REFERÊNCIAS

7. REFERÊNCIAS

1. Organization WH. Distribution of deaths among the three main cause groups. *Global Health Observatory (GHO) data*. 2015.
2. Center for Disease Control and Prevention. Ten Leading Causes of Death by Age Group. *Web-based Injury Statistics Query and Reporting System*. 2015.
3. Center for Disease Control and Prevention. Estimated Lifetime Medical and Work-Loss Costs of Emergency Department–Treated Nonfatal Injuries — United States. 2013.
4. Corso P, Finkelstein E, Miller T, Fiebelkorn I and Zaloshnja E. Incidence and lifetime costs of injuries in the United States. *Inj Prev*. 2006; 12: 212-8.
5. Departamento de Informática do SUS. Morbidade Hospitalar do SUS por Causas Externas. *TABNET*. 2016.
6. Barmparas G, Inaba K, Talving P, et al. Pediatric vs adult vascular trauma: a National Trauma Databank review. *J Pediatr Surg*. 2010; 45: 1404-12.
7. Perkins ZB, De'Ath HD, Aylwin C, Brohi K, Walsh M and Tai NR. Epidemiology and outcome of vascular trauma at a British Major Trauma Centre. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2012; 44: 203-9.
8. Sugrue M, Caldwell EM, Damours SK, Crozier JA and Deane SA. Vascular injury in Australia. *Surg Clin North Am*. 2002; 82: 211-9.
9. Kauvar DS, Sarfati MR and Kraiss LW. National trauma databank analysis of mortality and limb loss in isolated lower extremity vascular trauma. *J Vasc Surg*. 2011; 53: 1598-603.
10. Jacob JE. Compartment syndrome. A potential cause of amputation in battlefield vascular injuries. *Int Surg*. 1974; 59: 542-8.
11. Bassett FH, 3rd and Silver D. Arterial injury associated with fractures. *Arch Surg*. 1966; 92: 13-9.
12. Perry MO, Thal ER and Shires GT. Management of arterial injuries. *Ann Surg*. 1971; 173: 403-8.
13. Blaisdell FW. The pathophysiology of skeletal muscle ischemia and the reperfusion syndrome: a review. *Cardiovasc Surg*. 2002; 10: 620-30.
14. Barros D'Sa AA, Harkin DW, Blair PH, Hood JM and McIlrath E. The Belfast approach to managing complex lower limb vascular injuries. *Eur J Vasc Endovasc Surg*. 2006; 32: 246-56.

15. Caps MT. The epidemiology of vascular trauma. *Semin Vasc Surg.* 1998; 11: 227-31.
16. Abou Ali AN, Salem KM, Alarcon LH, et al. Vascular Shunts in Civilian Trauma. *Frontiers in Surgery.* 2017; 4: 39.
17. Ball CG, Kirkpatrick AW, Rajani RR, et al. Temporary intravascular shunts: when are we really using them according to the NTDB? *Am Surg.* 2009; 75: 605-7.
18. White JM, Stannard A, Burkhardt GE, Eastridge BJ, Blackburne LH and Rasmussen TE. The epidemiology of vascular injury in the wars in Iraq and Afghanistan. *Ann Surg.* 2011; 253: 1184-9.
19. Lambert M. Wound of an artery treated by pin suture: Extract of a letter read by W. Hunter *Med Obs.* 1762; 2: 360-4.
20. Carrel A, Morel, B. . Anastomose bout a bout de la jugulaire et de la carotide primitive. . *Lyon Medical.* 1902: 114–6.
21. Rich NM. An historical tour of vascular injury management: From its inception to the new millennium. *Surg Clin North Am.* 2001; 81: 1199-215.
22. DeBakey M and Simeone FA. Battle injuries of the arteries in World War II; an analysis of 2,471 cases. *Ann Surg.* 1946; 123: 534-79.
23. Breidenbach L and Lord JW, Jr. Restoration and preservation of arterial continuity following trauma. *Am J Surg.* 1948; 76: 578-85.
24. Hughes CW. The Primary Repair of Wounds of Major Arteries: An Analysis of Experience in Korea in 1953. *Annals of Surgery.* 1955; 141: 297-303.
25. Hughes CW. Arterial Repair During the Korean War. *Annals of Surgery.* 1958; 147: 555-61.
26. Fisher GW. Acute arterial injuries treated by the United States Army Medical Service in Vietnam, 1965-1966. *J Trauma.* 1967; 7: 844-55.
27. Rich NM, Baugh JH and Hughes CW. Acute arterial injuries in Vietnam: 1,000 cases. *J Trauma.* 1970; 10: 359-69.
28. Rich NM and Hughes CW. Vietnam vascular registry: a preliminary report. *Surgery.* 1969; 65: 218-26.
29. Woodward EB, Clouse WD, Eliason JL, et al. Penetrating femoropopliteal injury during modern warfare: experience of the Balad Vascular Registry. *J Vasc Surg.* 2008; 47: 1259-64; discussion 64-5.
30. Clouse WD, Rasmussen TE, Peck MA, et al. In-theater management of vascular injury: 2 years of the Balad Vascular Registry. *J Am Coll Surg.* 2007; 204: 625-32.

31. Chambers LW, Rhee P, Baker BC, et al. Initial experience of US Marine Corps forward resuscitative surgical system during Operation Iraqi Freedom. *Arch Surg*. 2005; 140: 26-32.
32. Sampliner JE and Vlastou C. Peripheral vascular trauma: a civilian experience. *Am Surg*. 1977; 43: 438-44.
33. Markov NP, DuBose JJ, Scott D, et al. Anatomic distribution and mortality of arterial injury in the wars in Afghanistan and Iraq with comparison to a civilian benchmark. *J Vasc Surg*. 2012; 56: 728-36.
34. Subramanian A, Vercruysse G, Dente C, Wyrzykowski A, King E and Feliciano DV. A decade's experience with temporary intravascular shunts at a civilian level I trauma center. *J Trauma*. 2008; 65: 316-24; discussion 24-6.
35. Malan E and Tattoni G. Physio- and anatomo-pathology of acute ischemia of the extremities. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 1963; 4: 212-25.
36. Hancock H, Rasmussen TE, Walker AJ and Rich NM. History of temporary intravascular shunts in the management of vascular injury. *Journal of Vascular Surgery*. 2010; 52: 1405-9.
37. Fox CJ, Gillespie DL, O'Donnell SD, et al. Contemporary management of wartime vascular trauma. *J Vasc Surg*. 2005; 41: 638-44.
38. Schwartz MR, Weaver FA, Bauer M, Siegel A and Yellin AE. Refining the indications for arteriography in penetrating extremity trauma: a prospective analysis. *J Vasc Surg*. 1993; 17: 116-22; discussion 22-4.
39. Belczak S, Silva ES, Aun R, et al. Endovascular treatment of peripheral arterial injury with covered stents: an experimental study in pigs. *Clinics (Sao Paulo)*. 2011; 66: 1425-30.
40. Payr E. Beiträge zur Technik der Blutgefäß – und Nervennaht nebst Mittheilungen über die Verwendung eines resorbirbaren Metalles in der Chirurgie [Contributions to the technique of blood vessel and nerve suture, as well as the use of a resorbable metal in surgery]. *Arch Klin Chir*. 1900; 62: 67-93.
41. Tuffier T. French Surgery in 1915. *Br J Surg*. 1917; 4: 420-32.
42. Shemiakin IS and Gordiitsa VA. [On making a temporary shunt in traumatic injuries of arteries]. *Voen Med Zh*. 1966; 3: 69-70.
43. Eger M, Golcman L, Goldstein A and Hirsch M. The use of a temporary shunt in the management of arterial vascular injuries. *Surg Gynecol Obstet*. 1971; 132: 67-70.
44. Nichols JG, Svoboda JA and Parks SN. Use of temporary intraluminal shunts in selected peripheral arterial injuries. *J Trauma*. 1986; 26: 1094-6.

45. Reber PU, Patel AG, Sapio NL, Ris HB, Beck M and Kniemeyer HW. Selective use of temporary intravascular shunts in coincident vascular and orthopedic upper and lower limb trauma. *J Trauma*. 1999; 47: 72-6.
46. Feliciano DV and Subramanian A. Temporary vascular shunts. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2013; 39: 553-60.
47. Chambers LW, Green DJ, Sample K, et al. Tactical surgical intervention with temporary shunting of peripheral vascular trauma sustained during Operation Iraqi Freedom: one unit's experience. *J Trauma*. 2006; 61: 824-30.
48. Rasmussen TE, Clouse WD, Jenkins DH, Peck MA, Eliason JL and Smith DL. The use of temporary vascular shunts as a damage control adjunct in the management of wartime vascular injury. *J Trauma*. 2006; 61: 8-12.
49. Aldridge SD, Badellino MM, Malaspina PJ, et al. Extended intravascular shunting in an experimental model of vascular injury. *J Cardiovasc Surg (Torino)*. 1997; 38: 183-6.
50. Granchi T, Schmittling Z, Vasquez J, Schreiber M and Wall M. Prolonged use of intraluminal arterial shunts without systemic anticoagulation. *Am J Surg*. 2000; 180: 493-6; discussion 6-7.
51. Dawson DL, Putnam AT, Light JT, et al. Temporary arterial shunts to maintain limb perfusion after arterial injury: an animal study. *J Trauma*. 1999; 47: 64-71.
52. Sriussadaporn S and Pak-art R. Temporary intravascular shunt in complex extremity vascular injuries. *J Trauma*. 2002; 52: 1129-33.
53. Gupta R, Rao S and Sieunarine K. An epidemiological view of vascular trauma in Western Australia: a 5-year study. *ANZ J Surg*. 2001; 71: 461-6.
54. Kauvar DS, Sarfati MR and Kraiss LW. National trauma databank analysis of mortality and limb loss in isolated lower extremity vascular trauma. *Journal of Vascular Surgery*. 53: 1598-603.
55. Walker AJ, Mellor SG and Cooper GJ. Experimental experience with a temporary intraluminal heparin-bonded polyurethane arterial shunt. *Br J Surg*. 1994; 81: 195-8.
56. Gifford SM, Eliason JL, Clouse WD, et al. Early versus delayed restoration of flow with temporary vascular shunt reduces circulating markers of injury in a porcine model. *J Trauma*. 2009; 67: 259-65.
57. Reilly PM, Rotondo MF, Carpenter JP, Sherr SA and Schwab CW. Temporary vascular continuity during damage control: intraluminal shunting for proximal superior mesenteric artery injury. *J Trauma*. 1995; 39: 757-60.

58. Zacharopoulos L and Symbas PN. Internal temporary aortic shunt for managing lesions of the descending thoracic aorta. *Ann Thorac Surg.* 1983; 35: 240-2.
59. Inaba K, Aksoy H, Seamon MJ, et al. Multicenter evaluation of temporary intravascular shunt use in vascular trauma. *J Trauma Acute Care Surg.* 2016; 80: 359-64; discussion 64-5.
60. Ding W, Ji W, Wu X, Li N and Li J. Prolonged indwelling time of temporary vascular shunts is associated with increased endothelial injury in the porcine mesenteric artery. *J Trauma.* 2011; 70: 1464-70.
61. Gomes M, Soares MO, Dumville JC, et al. Cost-effectiveness analysis of general anaesthesia versus local anaesthesia for carotid surgery (GALA Trial). *Br J Surg.* 2010; 97: 1218-25.
62. Osterberg K, Falkenberg M and Resch T. Endovascular technique for arterial shunting to prevent intraoperative ischemia. *Eur J Vasc Endovasc Surg.* 2014; 48: 126-30.
63. Hanley SC, Neequaye SK, Steinmetz O, Obrand D, Mackenzie K and Abraham CZ. Sheath-shunt technique for avoiding lower limb ischemia during complex endovascular aneurysm repair. *Journal of Vascular Surgery.* 2015; 62: 762-6.
64. Rosner B. *Fundamentals of Biostatistics.* 7th ed. ed.: Boston, MA, 2011.
65. Veterinária CFdM. Resolução Nº 1.000, de 11 de Maio de 2012.
66. Glass GE, Pearse MF and Nanchahal J. Improving lower limb salvage following fractures with vascular injury: a systematic review and new management algorithm. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2009; 62: 571-9.
67. Österberg K, Falkenberg M and Resch T. Endovascular Technique for Arterial Shunting to Prevent Intraoperative Ischemia. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery.* 48: 126-30.
68. Suter SP and Skalak R. The History of Poiseuille's Law. *Annual Review of Fluid Mechanics.* 1993; 25: 1-20.
69. Gillani S, Cao J, Suzuki T and Hak DJ. The effect of ischemia reperfusion injury on skeletal muscle. *Injury.* 2011; 43: 670-5.
70. Holland CK, Brown JM, Scoutt LM and Taylor KJ. Lower extremity volumetric arterial blood flow in normal subjects. *Ultrasound Med Biol.* 1998; 24: 1079-86.
71. Hussain ST, Smith RE, Wood RF and Bland M. Observer variability in volumetric blood flow measurements in leg arteries using duplex ultrasound. *Ultrasound Med Biol.* 1996; 22: 287-91.

72. Lewis P, Psaila JV, Davies WT, McCarty K and Woodcock JP. Measurement of volume flow in the human common femoral artery using a duplex ultrasound system. *Ultrasound Med Biol*. 1986; 12: 777-84.
73. Mullenix PS, Steele SR, Andersen CA, Starnes BW, Salim A and Martin MJ. Limb salvage and outcomes among patients with traumatic popliteal vascular injury: an analysis of the National Trauma Data Bank. *J Vasc Surg*. 2006; 44: 94-100.
74. Marinho de Oliveira Goes Junior A, de Campos Vieira Abib S, de Seixas Alves MT, Venerando da Silva Ferreira PS and Carvalho de Andrade M. To shunt or not to shunt? An experimental study comparing temporary vascular shunts and venous ligation as damage control techniques for vascular trauma. *Ann Vasc Surg*. 2014; 28: 710-24.
75. Carey RM, Cutler J, Friedewald W and al e. The 1984 Report of the Joint National Committee on Detection, Evaluation, and Treatment of High Blood Pressure. *Arch Intern Med*. 1984; 144: 1045-57.
76. Taller J, Kamdar JP, Greene JA, et al. Temporary vascular shunts as initial treatment of proximal extremity vascular injuries during combat operations: the new standard of care at Echelon II facilities? *J Trauma*. 2008; 65: 595-603.
77. Oliver JC, Gill H, Nicol AJ, Edu S and Navsaria PH. Temporary vascular shunting in vascular trauma: a 10-year review from a civilian trauma centre. *S Afr J Surg*. 2013; 51: 6-10.
78. Chao A, Chen K, Trask S, et al. Time to failure of arterial shunts in a pig hemorrhagic shock model. *Am Surg*. 2012; 78: 1045-8.
79. Bartlett CS. Clinical update: gunshot wound ballistics. *Clin Orthop Relat Res*. 2003: 28-57.
80. Starnes BW, Beekley AC, Sebesta JA, Andersen CA and Rush RM, Jr. Extremity vascular injuries on the battlefield: tips for surgeons deploying to war. *J Trauma*. 2006; 60: 432-42.