

Vacuum-assisted drainage in cardiopulmonary bypass: advantages and disadvantages

Sistema a vácuo na circulação extracorpórea: vantagens e desvantagens

Élio Barreto de Carvalho Filho¹, Fernando Augusto de Lima Marson¹, MD; Loredana Nilkenes Gomes da Costa¹, Nilson Antunes¹, PhD

DOI: 10.5935/1678-9741.20140029

RBCCV 44205-1549

Abstract

Systematic review of vacuum assisted drainage in cardiopulmonary bypass, demonstrating its advantages and disadvantages, by case reports and evidence about its effects on microcirculation. We conducted a systematic search on the period 1997-2012, in the databases PubMed, Medline, Lilacs and SciELO. Of the 70 selected articles, 26 were included in the review. Although the vacuum assisted drainage has significant potential for complications and requires appropriate technology and professionalism, prevailed in literature reviewed the concept that vacuum assisted drainage contributed in reducing the rate of transfusions, hemodilutions, better operative field, no significant increase in hemolysis, reduced complications surgical, use of lower prime and of smaller diameter cannulas.

Descriptors: Cardiopulmonary Bypass. Review. Thoracic Surgery.

INTRODUÇÃO

A circulação extracorpórea (CEC) é um conjunto de máquinas, aparelhos, tubos e técnicas que substituem temporariamente, as funções de bomba do coração e ventilação dos pulmões, enquanto estes órgãos ficam excluídos da circulação por evento cirúrgico^[1].

¹Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas (FCM-Unicamp), Campinas, SP, Brasil

Trabalho realizado no Hospital das Clínicas da Faculdade de Ciências Médicas da Universidade Estadual de Campinas (HC-FCM-Unicamp), Campinas, SP, Brasil.

Resumo

Revisão sistemática sobre drenagem assistida a vácuo na circulação extracorpórea, demonstrando seus benefícios, desvantagens, por relatos de casos e evidências sobre seus efeitos na microcirculação. Realizou-se pesquisa sistemática, no período de 1997-2012, nas bases de dados do PubMed-Medline, Lilacs e SciELO. Termos: "circulação extracorpórea", "vácuo", "drenagem", "cirurgia cardíaca" e suas correspondentes traduções, em condições variadas. Dos 70 artigos selecionados, 26 foram incluídos na revisão. Embora a drenagem assistida a vácuo possua potencial significativo de complicações e exija tecnologia e profissionalismo respectivo adequado, prevaleceu na literatura revisada o conceito de que a drenagem assistida a vácuo contribuiu na redução no índice de transfusões, hemodiluições, melhor campo operatório, não aumento de hemólise significativa, redução de complicações pós-cirúrgicas, uso de menor prime e uso de cânulas de menor calibre.

Descritores: Circulação Extracorpórea. Revisão. Cirurgia Torácica.

O circuito de CEC possui dois reservatórios, sendo o reservatório venoso com função de receber o sangue proveniente da drenagem venosa e o reservatório de cardiectomia que têm por função receber o sangue proveniente do campo operatório, recuperado por aspiração. Além disso, possui oxigenador acoplado a um permutador de calor. Entre o oxigenador e a cânula arterial, é instalado filtro de linha arterial.

Endereço para correspondência:
Fernando Augusto de Lima Marson
Unicamp - Universidade Estadual de Campinas
Tessália Vieira de Camargo, 126 - Cidade Universitária "Zeferino Vaz" -
Campinas, SP, Brasil - CEP: 13083-887
E-mail: fernandolimamarson@hotmail.com

Abreviaturas, acrônimos e símbolos	
CEC	Circulação extracorpórea
DAV	Drenagem assistida a vácuo
PNT	Pressão negativa tópica
PVC	Pressão venosa central

Alguns equipamentos são usados de acordo com o método da equipe, como o filtro pré-bypass, sistema de cardioplegia, assim como, a utilização de sistema de vácuo.

O uso do sistema de drenagem assistida a vácuo (DAV) surgiu na tentativa de reduzir os efeitos deletérios da hemodiluição e com o advento das cirurgias minimamente invasivas ganhou destaque, e vem sendo usado em cirurgias cardíacas^[2-5].

A técnica de vácuo consiste em utilizar pressão negativa no reservatório venoso, permitindo a drenagem venosa ativa, eliminando os princípios de sinfonagem e da gravidade^[6]. Dessa maneira, é possível encurtar o circuito, reduzindo o volume de prime, de hemodiluição e possivelmente a incidência de hemotransfusão^[2-5].

A revisão sistemática teve como objetivo analisar o uso da DAV na CEC, citando suas vantagens e desvantagens por meio do relato de casos e evidências sobre seus efeitos na microcirculação.

Tabela 1. Visão geral dos estudos randomizados que analisaram o uso da drenagem assistida a vácuo.

Características	Número de Estudos (referências)
Redução em transfusões	7 [8-12,18,21]
Redução em hemodiluições	7 [9,12,18,20,22]
Melhor campo operatório	2 [9,24]
Hemólise não significativa	7 [10,18,19,20,22,26]
Redução nas complicações pós-cirúrgicas	2 [10,18]
Menor volume de prime	7 [10-12,17,18,20,21]
Menor diâmetro de cânulas	4 [11,18,20,24]
Alto risco	2 [13,34]
Limitações	3 [12,17,19]
Embolia aerífera	5 [11,13,16,18,19]

MÉTODOS

Foi realizada pesquisa sistemática, incluindo artigos publicados em língua portuguesa e inglesa, no período de 1997 a 2012.

A busca de referências foi feita nos bancos de dados das bases: PubMed-Medline (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed>), Lilacs (<http://lilacs.bvsalud.org/>), SciELO (<http://www.scielo.org/php/index.php>), utilizando os descritores: “circulação extracorpórea”, “vácuo”, “drenagem”, “cirurgia cardíaca” e suas correspondentes traduções e sinônimos, em condições variadas.

As revisões sobre o tema e as listas de referências dos artigos incluídos foram consultadas, em busca de novos artigos para inclusão no presente estudo.

Após esta etapa, foi iniciado o processo de seleção dos estudos pela análise de títulos e resumos. O primeiro critério de inclusão utilizado foi a identificação de trabalhos relevantes, considerando aqueles em que o sistema de drenagem era o foco principal do artigo (Tabela 1). Nesse momento, foram excluídos todos que apenas citavam o vácuo como método utilizado nas cirurgias e/ou fatos descritos.

Síntese de Dados

Foram encontrados com o uso das palavras-chave 47 artigos na primeira busca na base PubMed-Medline e 23 artigos nas SciELO-Lilacs.

Por meio de avaliação dos resumos incluídos nessa fase, foram definidos como critério para recuperação de artigos completos: relato de caso, revisões sistemáticas, metanálise, ensaios clínicos randomizados, cujos resultados tratavam do efeito direto da utilização do vácuo no paciente (de forma positiva ou negativa). A revisão foi finalizada com a leitura de 27 artigos completos.

Os 27 trabalhos analisados foram divididos em três grupos: (I) relatos de casos com a utilização de drenagem a vácuo (n=3); (II) utilização do vácuo em processos cirúrgicos e sua influência na hemodinâmica (n=5); (III) utilização do vácuo em procedimentos de CEC e sua avaliação (n=19).

No grupo I, houve três relatos de casos, dos quais dois descrevem métodos que obtiveram sucesso e um com acidente utilizando a técnica com vácuo. Shin et al.^[7] utilizaram a drenagem por vácuo em cirurgia para retirada de tumor em átrio direito. Ao final do procedimento, a técnica foi avaliada como eficaz, permitindo a retirada do tumor de maneira segura e simples. De forma semelhante, Fukuda et al.^[8] descrevem a operação de valva tricúspide em paciente com grave congestão em coração insuficiente causada por valva com tecido calcificado. Ao final do trabalho, os autores relatam o sucesso do procedimento citando que a hemólise causada pelo método foi insignificante e o paciente se manteve estável no pós-operatório, com hemorragia mínima e melhora no edema de pulmões e rins.

Já Gregory et al.^[9], em relato de caso, citam embolia aerífera massiva em paciente que realizou cirurgia de Fontan. O problema ocorreu por pressurização do reservatório venoso ocasionado por ventosa que bloqueava o fluxo de ar de dentro para fora do reservatório. Por esse motivo, recomenda o conhecimento aprofundado do perfusionista sobre o material que utiliza, evitando este tipo de acidente.

No grupo II, cinco estudos que utilizam o vácuo como tratamento de feridas cirúrgicas e/ou abscesso foram descritos. Petzina et al.^[10] em seu estudo mostraram que a utilização do sistema vácuo gerou redução imediata no débito cardíaco e no volume sistólico, assim como, o volume dias-

tólico final do ventrículo esquerdo. Kadohama et al.^[11], em relato de caso, também comprovam a eficiência da utilização de vácuo para pós esternotomia, até em pacientes pediátricos, assim como, Anne et al.^[12] mostram a eficiência do vácuo no fechamento de feridas no mediastino. Lindstedt et al.^[13] mostraram os benefícios do tratamento por vácuo na micro-circulação miocárdica.

Por fim, Chen et al.^[14] demonstraram que a assistência a vácuo para auxílio em cicatrizações de feridas pode ser utilizado por seus benefícios como: restabelecer a integridade da membrana basal, reduzir o espaço endotelial e edemas, reduzir permeabilidade dos vasos sanguíneos, aumentar seu calibre e do volume capilar, e estimular a angiogênese.

No grupo III foram analisadas as características: transfusão sanguínea, hemodiluição, campo operatório, hemólise, complicações pós-cirúrgicas, volume do *prime*, tamanho de cânulas utilizadas, embolia aerífera, limitações e riscos da técnica.

DISCUSSÃO

O desenvolvimento de pesquisas na área de CEC tem contribuído no esclarecimento de dúvidas de alguns procedimentos realizados, muitas vezes, por motivos não científicos, mas sim, por experiência na rotina cirúrgica. A presente revisão sistemática evidencia que o uso do sistema de drenagem a vácuo pode ser eficaz, seguro, proporcionando novas técnicas de serem realizadas.

Analisando os três relatos de casos encontrados (grupo I), observamos que em um caso houve acidente com embolia aerífera maciça. Gregory et al.^[9] relatam que o acidente não foi causado, exclusivamente, pelo sistema de vácuo usado, e sim por ventosa não adequada para o procedimento, que gerou pressurização no sistema. Trocando a ventosa por uma que mantivesse e facilitasse o fluxo de ar com o ambiente, o procedimento se tornou seguro. Dessa forma, o autor chama atenção para os materiais utilizados no procedimento, que podem causar acidentes quando desconhecidos pelos profissionais.

Na análise realizada, foi observado que 79% (n=15) dos autores consideram que a técnica de assistência por vácuo trás benefício ao procedimento e/ou paciente. A redução no número de transfusões^[5,6,15-19] contribui para a não sobrecarga nos bancos de sangue. A redução ocorre por melhora na drenagem venosa e, conseqüente, não necessidade de acréscimo de volume no reservatório venoso para manter níveis de segurança contra entrada de ar no sistema.

O menor uso de hemoderivados contribui para redução de complicações pós-cirúrgicas^[16,20], sendo que a técnica oferece redução do *prime* total^[5,16-21] reduzindo a hemodiluição^[5,6,18-21] e mantendo hematócrito e hemoglobina em níveis aceitáveis. Houve discordância quando a geração de hemólise pelo uso de vácuo. A maioria dos autores^[16,18,20,22-25] considera que a

hemólise causada nos procedimentos com pressão negativa foram semelhantes a hemólise na drenagem gravitacional. Contudo, na comparação da drenagem por vácuo com a drenagem pela bomba centrífuga, Cirri et al.^[26] mostraram que a drenagem a vácuo causa maior grau de hemólise, conclusões confirmadas por Gregoretti et al.^[27]. Porém, Lau et al.^[28] e Shin et al.^[24] discordam, mostrando índices de hemólise semelhantes.

Outro benefício relatado foi a melhora na visualização do campo operatório com a redução de sangue, gerando maior segurança e praticidade ao procedimento^[6,24]. A limitação na drenagem venosa promove campo cirúrgico mais congestionado e impõe dificuldades de visualização pelo cirurgião. A possibilidade de utilização de cânulas de menor calibre é outro fator importante^[17,18,20,24]. Esta possibilidade se dá pelo sistema de vácuo aperfeiçoar a velocidade de escoamento pela cânula, permitindo fluxo maior. Com isto, podem-se utilizar cânulas venosas de calibre menor, o que melhora a visualização no campo operatório, sem comprometer a drenagem venosa. Também permite a canulação de vasos de menor calibre. A drenagem a vácuo está intimamente relacionada a cirurgias minimamente invasivas que preconizam pequenas incisões cirúrgicas e otimização do campo operatório. Contudo, devido aos benefícios, este tipo de drenagem pode ser utilizada em perfusões normais, desde que sejam tomadas medidas de segurança como: (i) utilização de equipamentos modernos e próprios, (ii) utilização de filtros e (iii) conhecimento da técnica pelo perfusionista^[29].

Apenas dois autores consideraram o tipo de drenagem analisado como sendo de alto risco^[29,30], por ser procedimento com alta probabilidade de acidentes devido à rápida velocidade em que se altera o volume no reservatório. Apesar da colocação, os trabalhos concluem que o procedimento é efetivo e seguro, pois mesmo com a condição de mudança rápida de volume no reservatório, a experiência nos casos descritos confirma ser possível o procedimento de forma eficiente, com o domínio da técnica.

Davila et al.^[30] afirmaram que o procedimento possui risco devido à técnica ser diferente da usualmente praticada, obrigando o perfusionista a ter conhecimento do sistema. Em um sistema de CEC a vácuo, o sistema deve ser construído para possibilitar alternativas em casos de acidentes. Na situação específica do uso de pressão negativa, métodos de recirculação do sangue e despressurização dos reservatórios devem ser pensados para se obter procedimento seguro. Exemplificando o fato, Davila et al.^[30] demonstraram que simples mudança de posição de válvula na montagem do circuito pode gerar pressurização do sistema, impossibilitando ou dificultando a correção do acidente.

No nosso levantamento, a embolia aerífera foi relatada em cinco estudos^[17,18,22,29,31], mostrando que a assistência venosa a vácuo produz quase 10 vezes mais embolia na linha arterial comparada com a gravitacional, apesar do uso de

equipamentos apropriados. Esta embolia citada refere-se à produção de microbolhas no fluido devido ao turbilhamento produzido na passagem por tubulação estreita em regime de alta pressão. Os mesmos estudos mostram que comparando apenas a duração entre os métodos de vácuo e gravidade, em uma situação de entrada de ar no circuito pela linha venosa, o vácuo permite maior volume de ar no sistema. Isto sugere potencial perigo, principalmente na utilização de prime reduzido, visto que com níveis rebaixados de volume no reservatório a turbulência gerada na CEC pode permitir a embolia aerífera.

Os outros autores citados confirmam a possibilidade de embolia, entretanto afirmam serem controláveis os riscos deste acometimento, desde que o perfusionista tenha conhecimento da técnica aplicada, conhecendo as limitações e riscos que esta trás. Mesmo com chances aumentadas de acidentes, Carrier et al.^[32] e Murai et al.^[25] consideram que a utilização de vácuo não aumenta a chance de complicações neurológicas e gerais, confirmando a teoria que os riscos podem ser controlados.

Além dos riscos citados, são levantadas algumas limitações da técnica de vácuo por alguns autores, como Colangelo et al.^[22], que relatam a técnica como onerosa, sendo que citam o procedimento utilizando bomba centrífuga para a realização da drenagem. Porém, a colocação torna-se frágil. É de conhecimento global que há outros métodos de menor custo para realização do procedimento, como: (i) utilização de monitor para controle de vácuo proveniente do sistema de vácuo instalado em salas de cirurgia, (ii) bombas de vácuo e (iii) bomba de roletes.

Outra limitação é citada por Taketani et al.^[5], sendo que o procedimento de vácuo apresenta instabilidade devido ao controle impreciso da pressão negativa. Porém, tal limitação é ultrapassada quando se usa válvulas ou monitores que controlam níveis de pressão negativa.

O levantamento de dados também incluiu trabalhos que tratam da influência do vácuo na hemodinâmica do paciente, principalmente sobre a microcirculação. Atualmente, há pouco conhecimento sobre os efeitos do vácuo na microcirculação, local que muito preocupa os perfusionistas, pois é nesta área a maior dificuldade de se fazer alcançar a perfusão sanguínea. Há estudos que relatam a eficiência do tratamento a vácuo^[12,10,11]. Detalhado por Gustafsson et al.^[33] de feridas cirúrgicas como a mediastinite pós esternotomia. O mecanismo pelo qual a pressão negativa tópica (PNT) promove a cicatrização de feridas é por estimular o fluxo de sangue na periferia do ferimento e no músculo esquelético. O estresse mecânico e gradiente de pressão pelo tecido causam aumento de volume sanguíneo na área. Tanto o estresse mecânico como o aumento do fluxo sanguíneo é reconhecido por estimular a proliferação endotelial, o brotamento capilar e angiogênese^[34].

Em busca de utilizar o conhecimento da PNT para a melhora na microcirculação miocárdica, Lindstedt et al.^[13] re-

alizaram estudo com seis porcos simulando isquemia miocárdica, ocluindo a artéria descendente posterior esquerda e utilizando a PNT como forma de melhoramento da microcirculação. Como resultados, obtiveram que a utilização de 50 mmHg de pressão negativa tópica estimulou a perfusão de 25 mm em profundidade no músculo esquelético e no miocárdio houve duplicação no fluxo de sangue, detectado com a utilização de Laser Doppler.

Petzina et al.^[10] realizaram esternotomia em seis porcos e trataram a ferida cirúrgica com vácuo, demonstrando que o uso de pressão negativa reduziu o débito cardíaco e o volume sistólico dos animais que passaram pelo processo cirúrgico. Este procedimento seria usado em pacientes com infecções profundas de esterno que possuem insuficiência cardíaca isquêmica. Concomitante a isto, Chen et al.^[14] mostram os efeitos do vácuo na microcirculação. Os autores estudaram feridas em coelhos, analisando a velocidade do fluxo sanguíneo capilar, assim como seu calibre, a densidade capilar, a estrutura do endotélio e o processo de cicatrização.

O melhor nível de pressão avaliado foi de -10 kPa, que mostrou alcançar velocidade máxima de sangue nos capilares em 4 minutos e permaneceu com este fluxo por maior tempo. Após a realização das feridas nas orelhas dos coelhos, observou-se no tecido: mitocôndrias túrgidas, membranas segmentadas, grandes espaços endoteliais, poucas junções celulares e muitas vesículas pinocíticas. Após 2 minutos de uso de vácuo, os capilares se tornaram mais redondos, o endotélio cúbico e a membrana basal foram quase que totalmente recuperadas. Em 10 minutos, os capilares se tornaram elípticos e dilatados. Em 30 minutos, brotos capilares surgiram, assim como os processos de vilosidades, significando a angiogênese. Em duas horas, novos vasos foram encontrados, foram reduzidos os espaços endoteliais e as junções celulares estavam mais firmes. Em 24 horas, foi observada a redução de vesículas pinocíticas. Já no grupo controle, em 3 dias ainda era observado membrana celular fragmentada e diversas vesículas pinocíticas. Atribui a esses fatos o maior volume de sangue causado pelo estímulo do gradiente de pressão negativa, favorecendo a integridade da membrana, ocasionando redução da permeabilidade, que por consequência irá reduzir a formação de edema e, assim, cicatrizar rapidamente o local.

Transpondo este estudo para a circulação extracorpórea, mesmo em condições diferentes, podemos pensar que a utilização do vácuo pode trazer benefícios à microcirculação, favorecendo melhor perfusão tecidual e minimizando o edema intersticial provocado pelo processo inflamatório e pela alteração de regime de fluxo gerado pela circulação extracorpórea. Estudo que ainda necessita ser realizado.

Munster et al.^[35] relataram o procedimento de perfusão com auxílio de vácuo em 54 pacientes. O sistema descrito no trabalho é semelhante ao utilizado normalmente em circulação extracorpórea, com adição de monitor de pressão negativa, transdutor de pressão descartável e conector em “Y”

para unir o reservatório à fonte de vácuo. A válvula de alívio do reservatório venoso já compunha o sistema e por isso não precisou ser adicionada. Com a utilização deste sistema, os autores afirmam ter possibilitado o coração estar sempre vazio, assim como, permitido o uso de cânulas menores facilitando o processo cirúrgico. Outros fatores foram relatados como: a facilidade de manter a pressão venosa central (PVC) do paciente sempre próxima a zero, a redução da adição de fluido de 250 mL de *prime*, em média, e a não observação de hemólise no pós-operatório.

Com estes dados, Munster et al.^[35] reiteram os autores citados anteriormente de alguns benefícios do uso de pressão negativa na CEC, acrescentando que o procedimento utilizado é de baixo custo e beneficia o paciente, durante a perfusão, por reduzir a PVC do paciente, melhorando desse modo à drenagem venosa e reduzindo a pré-carga momentaneamente, até a saída de CEC. O efeito da melhor drenagem venosa possibilita ao perfusionista manobras, dependendo do hematócrito (maior que 25%), como a hemoconcentração. Este procedimento reduzirá o possível excesso de líquido, reduzindo até mesmo após a CEC a pré-carga no miocárdio, assim como, reduzindo a formação de edema no paciente, resultando em melhora significativa na clínica final do mesmo.

CONCLUSÃO

Concluindo, embora a DVAV possua potencial significativo de complicações e exija tecnologia e profissionalismo respectivo adequado, prevaleceu na literatura revisada o conceito de que a DVAV contribuiu na redução no índice de transfusões, hemodiluições, melhor campo operatório, não aumento de hemólise significativa, redução de complicações pós-cirúrgicas, uso de menor *prime* e uso de cânulas de menor calibre.

Papéis e responsabilidades dos autores

EBCF	Levantamento dos dados, revisão dos artigos e construção textual
FALM	Revisor
LNGC	Revisor
NA	Revisor e autor responsável pela publicação

REFERÊNCIAS

1. Souza MHL, Elias DO. Fundamentos da circulação extracorpórea 2ª ed. Rio de Janeiro: Centro editorial Alfa Rio; 2006. 828p.
2. Canêo LF, Lourenço Filho DD, Rocha e Silva R, Jatene FB, Turri F, Leimer AA. Drenagem venosa assistida através da utilização controlada de vácuo no reservatório venoso do oxigenador. Rev Bras Cir Cardiovasc. 1999;14(2):135-8.
3. Souza DD, Braile DM. Avaliação de nova técnica de hemoconcentração e da necessidade de transfusão de hemoderivados em pacientes submetidos à cirurgia cardíaca com circulação extracorpórea. Rev Bras Cir Cardiovasc. 2004;19(3):287-94.
4. Souza HJB, Moitinho RF. Estratégias para redução do uso de hemoderivados em cirurgia cardiovascular. Rev Bras Cir Cardiovasc. 2008;23(1):53-9.
5. Taketani S, Sawa Y, Masai T, Ichikawa H, Kagisaki K, Yamaguchi T, et al. A novel technique for cardiopulmonary bypass using vacuum system for venous drainage with pressure relief valve: an experimental study. Artif Organs. 1998;22(4):337-41.
6. Chalegre ST, Salerno PR, Salerno LMVO, Melo ARS, Pinheiro AC, Frazão CS, et al. Drenagem venosa assistida a vácuo na circulação extracorpórea e necessidade de hemotransfusão: experiência de serviço. Rev Bras Cir Cardiovasc. 2011;26(1):122-7.
7. Shin H, Mori M, Matayoshi T, Suzuki R, Yozu R. Resection of giant right atrial lymphoma using vacuum-assisted cardiopulmonary bypass without snaring the inferior vena cava. Ann Thorac Cardiovasc Surg. 2004;10(4):249-51.
8. Fukuda W, Aoki C, Daitoku K, Fukuda I. Vacuum-assisted venous drainage in tricuspid valve re-replacement. Interact Cardiovasc Thoracic Surg. 2011;13(1):101-3.
9. Gregory SM, Kussman BD, Wagner JW, Boyle SL, Howe RJ, Pigula FA et al. Massive Air Embolism in a Fontan patient. J Extracorp Technol. 2011;43(2):79-83.
10. Petzina R, Ugander M, Gustafsson L, Engblom H, Sjögren J, Hetzer R, et al. Hemodynamic effects of vacuum-assisted closure therapy in cardiac surgery: Assessment using magnetic resonance imaging. J Thorac Cardiovasc Surg. 2007;133(5):1154-62.
11. Kadohama T, Akasaka N, Nagamine A, Nakanishi K, Kiyokawa K, Goh K, et al. Vacuum-assisted closure for pediatric post-sternotomy mediastinitis: are low negative pressures sufficient? An Thorac Surg. 2008;85(3):1094-6.
12. Conquest AM, Garofalo JH, Maziarz DM, Mendelson KG, Su Sun Y, Wooden WA, et al. Hemodynamic effects of the vacuum-assisted closure device on open mediastinal wounds. J Surg Res. 2003;115(2):209-13.
13. Lindstedt S, Malmsjö M, Ingemansson R. Blood flow changes in normal and ischemic myocardium during topically applied negative pressure. Ann Thorac Surg. 2007;84(2):568-73.
14. Chen SZ, Li J, Li XY, Xu LS. Effects of vacuum-assisted Closure on Wound Microcirculation: An experimental Study. Asian J Surg. 2005;28(3):211-7.
15. Zangrillo A, Garozzo FA, Biondi-Zoccai G, Pappalardo F, Monaco F, Crivellari M, et al. Miniaturized cardiopulmonary bypass improves short-term outcome in cardiac surgery: a meta-analysis

- of randomized controlled studies. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2010;139(5):1162-9.
16. Nasso G, Costantini C, Petralia A, Del Prete A, Lopriore V, Fattouch K, et al. A new extracorporeal vacuum-assisted device to optimize cardiopulmonary bypass. Comparison with the conventional system. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2011;12(4):591-5.
 17. Banbury MK, White JA, Blackstone EH, Cosgrove DM 3rd. Vacuum-assisted venous return reduces blood usage. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 2003;126(3):680-7.
 18. Bevilacqua S, Matteucci S, Ferrarini M, Kacila M, Ripoli A, Baroni A, et al. Biochemical evaluation of vacuum-assisted venous drainage: a randomized, prospective study. *Perfusion.* 2002;17(1):57-61.
 19. Nakanishi K, Shichijo T, Shinkawa Y, Takeuchi S, Nakai M, Kato G, et al. Usefulness of vacuum-assisted cardiopulmonary bypass circuit for pediatric open-heart surgery in reducing homologous blood transfusion. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2001;20(2):233-8.
 20. Hayashi Y, Kagisaki K, Yamaguchi T, Sakaguchi T, Naka Y, Sawa Y, et al. Clinical application of vacuum-assisted cardiopulmonary bypass with a pressure relief valve. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2001;20(3):621-6.
 21. Pappalardo F, Corno C, Franco A, Giardina G, Scandroglio AM, Landoni G, et al. Reduction of hemodilution in small adults undergoing open heart surgery: a prospective randomized trial. *Perfusion.* 2007;22(5):317-22.
 22. Colangelo N, Torracca L, Lapenna E, Moriggia S, Crescenzi G, Alfieri O. Vacuum-assisted venous drainage in extrathoracic cardiopulmonary bypass management during minimally invasive cardiac surgery. *Perfusion.* 2006;21(6):361-5.
 23. Mueller XM, Tevaera HT, Horisberger J, Augstburger M, Burki M, von Segesser LK. Vacuum assisted venous drainage does not increase trauma to blood cells. *ASAIO J.* 2001;47(6):651-4.
 24. Shin H, Yozu R, Maehara T, Matayoshi T, Morita M, Kawai Y, et al. Vacuum assisted cardiopulmonary bypass in minimally invasive cardiac surgery: its feasibility and effects on hemolysis. *J Artif Organs* 2000;24(6):450-3.
 25. Murai N, Cho M, Okada S, Chiba T, Saito M, Shioyuchi S, et al. Venous drainage method for cardiopulmonary bypass in single-access minimally invasive cardiac surgery: siphon and vacuum-assisted drainage. *J Artif Organs.* 2005;8(2):91-4.
 26. Cirri S, Negri L, Babbini M, Latis G, Khlal B, Tarelli G, et al. Haemolysis due to active venous drainage during cardiopulmonary bypass: comparison of two different techniques. *Perfusion.* 2001;16(4):313-8.
 27. Gregoretti S. Suction-induced hemolysis at various vacuum pressures: implications for intraoperative blood salvage. *Transfusion.* 1996;36(1):57-60.
 28. Lau CL, Posther KE, Stephenson GR, Lodge A, Lawson JH, Darling EM, et al. Mini-circuit cardiopulmonary bypass with vacuum assisted venous drainage. Feasibility of an asanguineous prime in the neonate. *Perfusion.* 1999;14(5):389-96.
 29. Kiyama H, Imazeki T, Katayama Y, Murai N, Mukoyama M, Yamauti N. Vacuum-assisted venous drainage in single-access minimally invasive cardiac surgery *J Artif Organs.* 2003;6(1):20-4.
 30. Davila RM, Rawles T, Mach MJ. Venoarterial air embolus: a complication of vacuum-assisted venous drainage. *Ann Thorac Surg.* 2001;71(4):1369-71.
 31. Willcox TW, Mitchell SJ, Gorman DF. Venous air in the bypass circuit: a source of arterial line emboli exacerbated by vacuum-assisted drainage. *Ann Thorac Surg.* 1999;68(4):1285-9.
 32. Carrier M, Cyr A, Voisine P, Pellerin M, Perrault LP, Cartier R, et al. Vacuum-assisted venous drainage does not increase the neurological risk. *Heart Surg Forum.* 2002;5(3):285-8.
 33. Gustafsson RI, Sjogren J, Ingemansson R. Deep sternal wound infection: a sternal-sparing technique with vacuum-assisted closure therapy. *Ann Thorac Surg.* 2003;76(6):2048-53.
 34. Vandenburg HH. Mechanical forces and their second messengers in stimulating cell growth in vitro. *Am J Physiol.* 1992;262(3 Pt 2):R350-5.
 35. Münster K, Andersen U, Mikkelsen J, Petterson G. Vacuum assisted venous drainage (VAVD). *Perfusion.* 1999;14(6):419-23.