

Artigo Original de Investigação

Influência do fluxo pulsátil em circulação extracorporeal na oximetria cerebral

The influence of pulsatile flow in extracorporeal circulation on cerebral oximetry

Pedro Morgado Soares^{1*}, Rúben Lamelas¹, José Apolinário^{1,2}, Nuno Raposo^{1,2}

¹ Escola Superior de Saúde da Cruz Vermelha Portuguesa

² Hospital de Santa Cruz, Centro Hospitalar Lisboa Ocidental, EPE

Introdução: A incidência de 1 a 6% de lesões neurológicas, de origem diversa, que se observa em doentes submetidos a procedimentos com Circulação Extracorporeal (CEC), continua a ser uma das principais preocupações das equipas cirúrgicas. Numa tentativa de melhor compreender os desarranjos da circulação cerebral verificados com a utilização de CEC, e de tentar tomar as acções correctivas para diminuir a incidência destas lesões neurológicas, têm-se desenvolvido diversos métodos de monitorização cerebral. Entre estes, destaca-se o método oximetria cerebral por espectroscopia próxima dos infra-vermelhos (NIRS). Um dos factores que tem sido defendido por alguns autores como podendo influenciar a perfusão cerebral é o tipo de fluxo utilizado, contínuo ou pulsátil, o que não é consensual.

Objectivo: Verificar, através de monitorização por NIRS, se existem alterações a nível da oximetria cerebral, dependentes do uso de fluxo pulsável ou de fluxo contínuo durante a CEC.

Metodologia: Entre Janeiro e Maio de 2010, estudou-se a NIRS numa amostra de 63 doentes adultos, divididos em dois grupos, em que num se utilizou fluxo de perfusão contínuo e noutro fluxo pulsado. Os valores de NIRS foram registados electronicamente, sendo memorizado o valor basal pré-CEC e, a todos os seis segundos, durante o período de clampagem da aorta. Foram comparados os valores de NIRS em ambos os grupos, fazendo recurso ao teste de T.

Resultados: Não se verificaram diferenças significativas, em termos de valores de NIRS, entre os dois grupos ($p=0,05$).

Conclusão: O estudo sugere não haver alterações significativas da NIRS com o uso de fluxo pulsátil em comparação com o fluxo contínuo.

Background: The incidence of 1-6% of neurological injuries of varying origins which is observed in patients undergoing procedures with cardiopulmonary bypass (CPB) remains a major concern of surgical teams. In an attempt to better understand the disorders of cerebral circulation verified by the use of CPB, and to try to take corrective actions to reduce the incidence of these neurological injuries, various methods of brain monitoring have been developed in recent years. Among them, the method of cerebral oximetry by near infrared spectroscopy (NIRS). One factor that has been advocated by some authors as being able to influence cerebral perfusion is the flux type, continuous or pulsatile, which is not consensual.

Objective: To determine, through monitoring by NIRS, if there are changes in cerebral oximetry, dependent on the use of pulsatile or continuous flow during CPB.

Methods: Between January and May 2010, we studied the NIRS in a sample of 89 adult patients, divided into two groups, in one of which was used continuous flow and pulsatile flow in another. NIRS values were recorded electronically and stored to baseline pre-CPB, and every six seconds, during Aortic cross-clamping. We compared the values of NIRS in both groups, making use of the T-test.

Results: There were no significant differences in terms of NIRS values between the two groups ($p = 0.05$).

Conclusion: This study suggests no significant changes in NIRS with the use of pulsatile flow compared with continuous flow.

PALAVRAS-CHAVE: Fluxo pulsátil; circulação extracorporeal; oximetria cerebral; NIRS.

KEY WORDS: Pulsatile flow; cardiopulmonary bypass; cerebral oximetry; NIRS.

* **Correspondência:** Pedro Morgado Soares. Email: pedro.soares@cardiocvp.net

INTRODUÇÃO

A utilização de circulação extracorporeal (CEC) é fundamental para a realização da maioria dos procedimentos cirúrgicos cardíacos. Apesar das sucessivas melhorias técnicas, a disfunção múltipla de órgãos após a CEC, induzida por uma síndrome de resposta inflamatória sistêmica (SIRS), continua a ser um problema clínico significativo, derivado do contacto do sangue com as superfícies artificiais do circuito extracorporeal (Hall, Smith, & Rocker, 1997; Kozik & Tweddell, 2006; Mills, 1995; Murkin, 2006; Nussmeier & Searles, 2010; Paparella, Yau, & Young,

2002; Steinberg, Kapelanski, Olson, & Weiler, 1993; Warren et al, 2009). De igual forma, a relativamente elevada incidência de disfunção neurológica (1 a 6%) no período peri-operatório, com as suas consequências devastadoras, constitui uma séria ameaça ao sucesso deste tipo de intervenções (Anyanwu, Filsoufi, Salzberg, Bronster, & Adams, 2007; Gao, Taha, Gauvin, Othmen, Wang, & Blaise, 2005; Hogue, Murphy, Schechtman, & Dávila-Román, 1999; Knapik, Ciesla, Warwynczyk, Knapik, Borkowski, Zembala, 2010; McKhann, Grega, Borowicz, Baumgartner, & Selnes, 2006). O tipo de fluxo de perfusão utilizado, pulsátil ou contínuo, pode

desempenhar um papel importante neste processo. No entanto, mais de meio século após a implementação clínica da CEC, os dados que evidenciam a perfusão pulsátil como sendo superior à perfusão contínua são ainda controversos (Ji & Ündar, 2006; Ündar, 2004; Wright, 1994).

O fluxo pulsátil em CEC é de aplicação mais recente que o fluxo contínuo. No entanto, actualmente, o fluxo contínuo tem sido amplamente utilizado como o modelo padrão de perfusão em CEC. Contudo, persistem ainda defensores do fluxo pulsátil, que assumem que as reacções adversas à CEC podem estar relacionadas com a falta de pulsatilidade (Voss, et al, 2010). Segundo estes autores, a diversidade de resultados obtidos em estudos anteriores pode ser atribuída à variedade entre os tipos de fluxo pulsátil, o que torna difícil a comparação de resultados. Não existe, por isso, uma definição clara de fluxo pulsátil. Na maioria dos estudos, apenas os nomes de marcas de dispositivos de fluxo pulsátil são mencionados, não existindo informações reais sobre o padrão de fluxo. Em geral, uma pressão de pulso gerada superior a 15 mmHg é considerada de pulsátil. Contudo, é ainda assim uma pressão muito menor do que a pressão de pulso gerada pelo coração humano na circulação sanguínea. Na maioria dos casos, outros parâmetros relevantes, como a função sistólica ventricular, o volume de ejeção ou tempo de ejeção, não são mencionados (Voss et al, 2010).

Alguns estudos descreveram vantagens no uso prático do fluxo pulsátil ao invés do fluxo contínuo em CEC pelas seguintes razões:

- Pode proporcionar melhor perfusão do leito capilar durante os períodos de baixo fluxo da bomba, se a pressão crítica de oclusão capilar for mais alta com fluxo pulsátil (Abramov, et al, 2003; Ji & Ündar, 2006).
- Reduz o aumento da resistência vascular sistémica durante a CEC, através da manutenção de um nível normal de angiotensina II no plasma, um padrão normal de resposta ao stress e um eixo pituitário-adrenal funcional (Ji & Ündar, 2006; Taylor et al, 1978).

- Reduz a resposta inflamatória à CEC, e por conseguinte, reduz a permeabilidade capilar (Hall, 1997; Ji & Ündar, 2006; Singh, 1980).
- Proporciona um decréscimo de retenção de fluidos a nível pulmonar (Taylor et al, 1978).

Apesar de o fluxo pulsátil ter vindo a ser extensivamente estudado, existe ainda controvérsia relativamente à promoção de benefícios na sua utilização no que diz respeito à protecção de órgãos, especialmente do cérebro e rins.

Não parece haver dúvida que a utilização de fluxo pulsátil oferece ao coração vantagens significativas, em termos da sua protecção à lesão isquémica. No entanto, é difícil alcançar um fluxo pulsátil fisiológico através de um circuito não biológico e de alta resistência como o de CEC, muito em particular devido ao facto de o sangue ter de atravessar uma cânula arterial de pequeno calibre, o que amortece a forma da onda de pressão gerada artificialmente (Voss et al, 2010).

Lesão neurológica e protecção cerebral

A prevalência de lesões neurológicas associadas a CEC é preocupante (McKhann et al, 2002). Tendo por objectivo a redução da incidência destas lesões, têm vindo a ser desenvolvidos métodos de protecção cerebral. O objectivo principal destes métodos, é reduzir as fontes de lesão (como, por exemplo, embolia e hipoperfusão) e alcançar melhores níveis de tolerância à isquémia cerebral. Embora o período intra-operatório, em que os doentes estão sob CEC, seja o momento de maior perigo, a lesão cerebral pode ocorrer a qualquer momento do período peri-operatório. Na realidade, 20% dos acidentes vasculares cerebrais (AVC) ocorrem no período pós-operatório (Anyanwu, et al, 2007; Baufreton, 2010; Baufreton et al, 2005; Hogue, et al, 1999; McKhann, et al, 2006).

A monitorização da actividade cerebral durante a cirurgia cardíaca não é recente, existindo muitas técnicas disponíveis para acompanhar os diferentes aspectos da actividade cerebral: eletroencefalograma, *doppler* transcraniano, oximetria da saturação de

oxigénio no bulbo jugular ou córtex frontal (SCO_2) e a espectroscopia próxima dos infravermelhos - NIRS (Jungwirth, 2010). É sobre este último método que incidiu o presente estudo.

A NIRS é um método não-invasivo de medição da saturação da hemoglobina em oxigénio no cérebro. Esta baseia-se na absorção da luz infravermelha pelos tecidos biológicos. O dispositivo utiliza dois comprimentos de onda (724 e 810 nm) para medir as mudanças na saturação da hemoglobina (Hb).

Sabe-se que são diversos os factores que influenciam a auto-regulação do fluxo sanguíneo e do consumo de oxigénio cerebral. Os mais importantes são a taxa de hemoglobina no sangue, a pressão parcial de dióxido de carbono arterial, a pressão sanguínea arterial, o nível de anestesia, a temperatura cerebral e a adequação do retorno venoso cerebral (Fischer, et al, 2009; Jungwirth, 2010; Murkin & Arango, 2009).

As intervenções no tratamento das dessaturações de oxigénio (O_2) no tecido cerebral diminuem a agressão imposta ao sistema neurológico, permanecendo um objecto de estudo na actualidade. Os melhores dados actuais provêm de um estudo aleatório de 200 doentes submetidos a cirurgia de revascularização do miocárdio (Murkin, et al, 2007). Neste estudo, os doentes receberam tratamento para a dessaturação de O_2 tanto pela leitura feita pela NIRS, como através do método convencional. As intervenções usadas para tratar a dessaturação de O_2 incluíram um fluxo de CEC adequado, o aumento da pressão arterial média, manutenção dos valores normais de CO_2 , o aumento da dosagem anestésica, o aumento da pressão parcial do O_2 no sangue arterial, e a iniciação de fluxo pulsátil da CEC. O grupo que recebeu estas intervenções veio a revelar baixas taxas de lesão dos órgãos-alvo (enfarte miocárdio, AVC's e morte) e redução do tempo de permanência na unidade de cuidados intensivos, quando comparado com o grupo de controlo.

A diferença que revela em relação à monitorização convencional da saturação arterial é que a NIRS tem um transmissor e dois receptores em vez de um. O primeiro receptor está localizado a 3 cm da fonte de

luz (emissor), que capta o nível de saturação de O_2 extracerebral dos tecidos (pele, ossos, dura-máter), fornecendo indicações sobre os tecidos superficiais. O segundo receptor, colocado lateralmente, a mais de 4 cm da fonte de luz, permite a análise profunda do tecido cerebral. Na posição frontal, corresponde à junção da artéria cerebral média. O dispositivo utiliza algoritmos matemáticos com base na Lei de Beer-Lambert, subtraindo-se o sinal superficial do sinal total, para dar somente o valor do sinal profundo (Madsen & Secher, 1999; Owen-Reece, Smith, Elwell, & Goldstone, 1999). Nesta região cortical, presume-se que 75% do fluxo de sangue seja composto por sangue venoso. Consequentemente, o valor SCO_2 final resultará num equilíbrio entre a oferta e o consumo de O_2 , determinando assim o consumo de oxigénio dos tecidos, o melhor sinal de qualidade da perfusão cerebral. Os eléctrodos são ligados a um computador, mostrando gráficos em tempo real da saturação de ambos os hemisférios cerebrais, a partir de dados recolhidos a cada seis segundos. Os valores normais variam de indivíduo para indivíduo, logo, não existe um intervalo de valores no qual se deva considerar normal. Como tal, considera-se o valor basal registado antes do procedimento cirúrgico e anestésico como valor de referência. Sempre que este valor baixar 20% num período curto ou baixar 50% num longo período, deverá existir uma intervenção para corrigir a dessaturação. Esta modalidade de monitorização cerebral é relativamente recente e parece ser promissora para a prevenção e correcção da saturação de oxigénio cerebral.

O padrão de fluxo sanguíneo utilizado em CEC tem vindo a ser descrito como podendo ter implicações no fluxo sanguíneo cerebral, logo influenciando a SCO_2 (Jaroszewski et al, 2004; Singh et al, 1980; Voss et al, 2010). No entanto, este facto está longe de ter sido comprovado.

Nesta perspectiva, este estudo tem como principal objectivo verificar através de monitorização por NIRS, se existem alterações a nível da oximetria cerebral, aquando do uso de fluxo pulsátil ou de fluxo contínuo durante a CEC.

METODOLOGIA

Para verificar o acima citado objectivo, foi delineado um estudo prospectivo, experimental e transversal, em que se comparou os valores da SCO_2 em dois grupos de indivíduos, em que num se utilizou fluxo de perfusão contínuo e noutro fluxo pulsátil.

A amostra foi constituída por todos os indivíduos adultos submetidos a cirurgia sob CEC, sujeitos a monitorização de SCO_2 , num Hospital da Grande Lisboa, entre Janeiro e Maio de 2010, e que não apresentassem critérios de exclusão, tendo-se conseguido recolher informação de 63 indivíduos. Estes foram divididos aleatoriamente em dois grupos, em que num o padrão de fluxo utilizado foi contínuo e noutro pulsátil.

Tomaram-se como critérios de exclusão os seguintes factores:

- Cirurgia de emergência;
- Cirurgias realizadas na sala 2 do bloco operatório do serviço em que se realizou o estudo. O equipamento de CEC em questão não tem a possibilidade de realizar fluxo pulsátil;
- Recusa do médico anestesista em utilizar SCO_2 ;
- Recusa do médico-cirurgião em utilizar fluxo pulsátil;

Como forma de caracterização de ambos os grupos, compararam-se as variáveis idade, superfície corporal, taxa de hemoglobina e hematócrito pré e intra-operatória, tempo de CEC e de clampagem de aorta.

A SCO_2 foi medida com o recurso ao sistema INVOS® (Somanetics Corp, Troy, MI, EUA). O doente foi monitorizado com sensores fronto-parietais bilaterais, o local clássico de monitorização. Antes da indução anestésica, foram registados os valores basais, para ambos os hemisférios cerebrais. A partir daí, o equipamento registou os valores de SCO_2 a todos os seis segundos. Durante o procedimento, sempre que se registou uma queda dos valores da SCO_2 , em relação aos valores basais, superior a 20%, foram

tomadas medidas de correcção. Estas foram:

- Queda excessiva da taxa de hemoglobina no sangue: administração de diuréticos, ultrafiltração ou transfusão de concentrado eritrocitário;
- Queda da pressão arterial média: aumento do fluxo sanguíneo extracorporeal e/ou administração de vasoconstritores (fenilefrina);
- Diminuição da pressão parcial de dióxido de carbono no sangue arterial: diminuição da ventilação;
- Aumento da actividade cerebral por diminuição do nível anestésico: administração de fármacos indutores do sono (Midazolam ou Propofol), ou analgésicos opióides (Fentanil).

Todas estas variáveis foram registadas na base de dados do serviço de Cirurgia Cardio-Torácica do Hospital.

Todos os doentes sofreram indução anestésica por métodos semelhantes, independentemente do anestesista responsável, sendo esta composta por indutores do sono (Midazolam), analgésicos opióides (Fentanil) e bloqueadores neuromusculares (Rocurónio). A manutenção anestésica foi realizada com os mesmos agentes, e, adicionalmente com Sevoflurano. Sempre que necessário, utilizou-se Propofol, de forma a manter o índice bispectral inferior a 60.

O material e equipamento de CEC utilizado foram também uniformes entre ambos os grupos. Foram utilizados oxigenadores de membrana microporosa (Terumo RX25® e Sorin Synthesis®), bomba de roletes (Jostra HL-20® e Terumo System 1®), e filtro arterial (Pall AI-6® e Sorin Synthesis®). O protocolo de actuação no caso de desregulação dos equilíbrios ácido-base, circulatório e hidro-electrolítico foi semelhante em todos os elementos da amostra. Foram também utilizados equipamentos de reaproveitamento sanguíneo peri-operatório.

A temperatura mínima utilizada nos procedimentos em estudo variou entre os 32°C e os 34°C, sendo o

reaquecimento realizado com uma diferença entre o permutador de calor e o sangue arterial do doente não superior a 10°C, sendo a primeira limitada ao valor máximo de 40°C.

Por forma a atingir o objectivo do estudo, realizou-se uma comparação da SCO_2 média entre os dois grupos, antes e durante a CEC, estudando-se a diferença entre a SCO_2 basal e aquela registada durante o procedimento. De igual forma, compararam-se as médias entre grupos em relação às variáveis débito circulatório médio, taxa de hemoglobina e hematócrito, pH, pO_2 e pCO_2 arterial.

A análise estatística foi realizada utilizando o programa *Statistical Package for Social Sciences*®, versão 17.0 e *Microsoft Office Excel 2007*®. Utilizaram-se medidas de estatística descritiva (média, desvio-padrão e tabelas de frequências) para a caracterização da amostra. Para verificar as diferenças entre os dois grupos em estudo, utilizou-se primariamente o teste de Kolmogorov-Smirnov para análise da normalidade e, verificada esta, teste de t para amostras independentes, aceitando-se um nível de significâncias de 95%. Escolheu-se um teste paramétrico para testar a existência de diferenças entre as medições da SCO_2 basal e durante a clampagem da aorta (Teste de t para amostras emparelhadas). Nas variáveis que não demonstraram ter distribuição normal, utilizou-se o teste não paramétrico de Mann-Whitney, aceitando-se também um nível de significância de 95%.

RESULTADOS

A amostra em estudo foi constituída por 63 doentes, 34 do sexo masculino (53.97%) e 29 do sexo feminino (46.03%). A média de idades foi de $70,99 \pm 11,84$ anos, com valores mínimo e máximo de 27 e 89 anos respectivamente, não existindo diferença entre os grupos. O tipo de fluxo usado durante o procedimento foi em 49,2% dos casos fluxo pulsátil e nos restantes 50,8%, utilizou-se fluxo contínuo. Na Tabela 1, estão referenciados os procedimentos cirúrgicos realizados. De referir que os procedimentos com maior expressão foram os de substituição

valvular isolada (49,2%) e cirurgia valvular e coronária associada (19%).

Da análise das variáveis de caracterização, não se observaram diferenças entre grupos, no que respeita a peso, idade, superfície corporal, hemoglobina e hematócrito pré-operatório ($p > 0,05$) (Tabela 2). No entanto, regista-se uma ligeira diferença, entre o grupo de fluxo pulsátil e de fluxo contínuo, no valor basal da oximetria do hemisfério esquerdo ($59,54 \pm 8,48$ vs $56,82 \pm 7,98$, $p = 0,045$).

Nas Tabelas 3 e 4, mostra-se a análise entre os dois grupos, em termos de valores de oximetria cerebral observados. Comparou-se a SCO_2 basal com aquela medida em CEC, de forma absoluta e entre grupos. Estes testes, revelaram não existirem diferenças significativas na SCO_2 referente a ambos os hemisférios cerebrais durante a CEC, entre ambos os grupos, isto é, a utilização de fluxo sanguíneo pulsátil não fez variar a SCO_2 quando comparado com o grupo em que se utilizou fluxo contínuo. No entanto, verificou-se que existem diferenças significativas entre as medições basais de SCO_2 e aquelas observadas durante a CEC, em ambos os grupos ($p < 0,05$).

DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

Os principais resultados deste estudo são a não existência de relação entre o tipo de fluxo utilizado e a existência de alterações na oximetria cerebral. Este resultado, confirma alguns outros estudos realizados previamente, que indicam a não existência de vantagens clínicas na utilização do fluxo pulsátil (Hsia e Gruber, 2006; Miller, 2009; Ündar, 2004; Voss, 2010). No entanto, não existe até à data, uma avaliação concreta da perfusão cerebral, avaliada por SCO_2 , pelo que os resultados obtidos só podem ser comparados com outros métodos de avaliação da circulação cerebral.

Adicionalmente, devemos enquadrar os resultados obtidos, em função das limitações apresentadas pelo presente estudo, as quais podem ser importantes para o seu entendimento:

- Os procedimentos cirúrgicos não foram homogêneos, isto é, o estudo foi realizado sobre uma amostra cujos procedimentos de

CEC variaram em função do tipo de procedimento cirúrgico realizado. Aqui, deve notar-se que a temperatura nasofaríngea mínima, e a duração desse período de hipotermia, registaram variações entre casos. Sendo este um dos factores que contribui para o estabelecimento de vasoconstricção cerebral, este facto potencialmente influenciará os valores da SCO_2 , podendo este factor contribuir para algum enviesamento da análise de resultados. Também a duração dos procedimentos variou entre casos, o que também deverá ser tido em conta na análise dos resultados.

- Não foram efectuadas correlações entre as variáveis que podem influenciar a SCO_2 e os valores medidos. Nesta perspectiva, não é possível verificar se houve factores que influenciaram a perfusão cerebral, de forma independente, dado não ser esse o objectivo do estudo.
- Não existe um protocolo estabelecido quanto às indicações para utilização de medição intra-operatória de SCO_2 , sendo que a principal razão para tal facto se prende com o elevado custo dos consumíveis dos equipamentos utilizados. Este facto, leva a que, na generalidade dos casos, a medição da SCO_2 seja realizada em doentes cujo estado geral é mais grave, em particular se já apresentam lesões da vasculatura cerebral e/ou periférica. Neste contexto, é natural que surjam alterações significativas da SCO_2 .

Apesar destas limitações e da originalidade do estudo, o que torna difícil realizar comparações com o trabalho de outros autores, os resultados podem ser interpretados à luz do conhecimento existente nesta área. Assim, a pulsatilidade do fluxo sanguíneo é um assunto em aberta discussão, apesar das múltiplas abordagens que este tema já sofreu, com vários autores a esgrimirem argumentos a favor e contra a sua utilização. Recentemente, vários são os trabalhos que versam a utilização de fluxo contínuo em dispositivos de assistência circulatória de longa

duração. Os bons resultados obtidos com a utilização desses dispositivos vieram de novo trazer interrogações sobre a necessidade de imitar o normal funcionamento do coração, aquando da utilização de equipamentos de circulação artificial (Russell, et al, 2009; Miller, 2009). Nesta perspectiva, os resultados do presente estudo não são surpreendentes, pois não parece ser necessário manter fluxo pulsátil para a perfusão cerebral ser adequada. A incidência de lesões do sistema nervoso central parece antes estar ligada a fenómenos de hipoperfusão derivados de desarranjos da auto-regulação cerebral e da existência de fontes embólicas (Anyanwu, et al, 2007).

Face ao exposto, o principal contributo do presente estudo para o conhecimento científico está relacionado com o facto de, pela primeira vez, tanto quanto é conhecimento dos autores, se ter utilizado um método específico de medição da oximetria cerebral para relacionar esta variável com o tipo de fluxo circulatório utilizado.

Os resultados alcançados por este estudo sugerem não existirem alterações significativas da oximetria cerebral com o uso de fluxo pulsátil, em comparação com o fluxo contínuo, não indicando benefícios explícitos do uso de qualquer destes tipos de fluxo, quando comparados entre si, mesmo levando em linha de conta as limitações do estudo.

Existe ainda a confirmação que com a CEC, durante a clampagem da aorta, há uma quebra nos valores de oximetria cerebral.

REFERÊNCIAS

- Abramov, D., Tamariz, M., Serrick, C. I., Sharp, E., Noel, D., Harwood, S., Christakis, G. T., et al (2003). The influence of cardiopulmonary bypass flow characteristics on the clinical outcome of 1820 coronary bypass patients. *The Canadian Journal of Cardiology*, 19(3), 237-243.
- Anyanwu, Filsoufi, Salzberg, Bronster, & Adams, (2007). Epidemiology of stroke after cardiac surgery in the current era. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 134(5), 1121-1127.e1. doi:10.1016/j.jtcvs.2007.06.031

- Baufreton, C. (2010). Role of surgical factors in strokes after cardiac surgery. *Archives of Cardiovascular Diseases*, 103(5), 326-332. doi:10.1016/j.acvd.2009.12.007
- Baufreton, C., Allain, P., Chevailler, A., Etcharry-Bouyx, F., Corbeau, J. J., Legall, D., & de Brux, J. L. (2005). Brain Injury and Neuropsychological Outcome After Coronary Artery Surgery Are Affected by Complement Activation. *Ann Thorac Surg*, 79(5), 1597-1605.
- Fischer, G. W., Torrillo, T. M., Weiner, M. M., & Rosenblatt, M. A. (2009). The Use of Cerebral Oximetry as a Monitor of the Adequacy of Cerebral Perfusion in a Patient Undergoing Shoulder Surgery in the Beach Chair Position. *Pain Practice*, 9(4), 304-307. doi:10.1111/j.1533-2500.2009.00282.x
- Gao, Taha, Gauvin, Othmen, Wang, & Blaise (2005). Postoperative cognitive dysfunction after cardiac surgery. *Chest*, 128(5), 3664-3670. doi:10.1378/chest.128.5.3664
- Hall, Smith, & Rocker (1997). The systemic inflammatory response to cardiopulmonary bypass: pathophysiological, therapeutic, and pharmacological considerations. *Anesthesia and Analgesia*, 85(4), 766-782.
- Hogue, Murphy, Schechtman, & Davila-Roman (1999). Risk factors for early or delayed stroke after cardiac surgery. *Circulation*, 100(6), 642-647.
- Hsia, & Gruber (2006). Factors influencing neurologic outcome after neonatal cardiopulmonary bypass: What we can and cannot control. *The Annals of Thoracic Surgery*, 81(6), S2381-S2388. doi:10.1016/j.athoracsur.2006.02.074
- Jaroszewski, D. E., & Restrepo, L. (2004). Cognitive dysfunction after coronary artery bypass graft surgery. *Seminars in Cerebrovascular Diseases and Stroke*, 4(2), 109-116. doi:10.1053/j.scds.2004.10.005
- Ji, & Ündar, (2006). An evaluation of the benefits of pulsatile versus nonpulsatile perfusion during cardiopulmonary bypass procedures in pediatric and adult cardiac patients. *ASAIO Journal*, 52(4), 357-361. doi:10.1097/01.mat.0000225266.80021.9b
- Jungwirth, B. (2010). Neuromonitoring during cardiac surgery. *S Afr J Anaesthesiol Analg*, 23(16), 1.
- Knapik, Ciesla, Wawrzynczyk, Knapik, Borkowski, & Zembala (2010). Incidence and prediction of permanent neurological deficits after cardiac surgery: Are the existing models of prediction truly global? *European Journal of Cardio-thoracic Surgery*, 37(3), 717-723. doi:10.1016/j.ejcts.2009.09.015
- Kozik, & Tweddell (2006). Characterizing the Inflammatory Response to Cardiopulmonary Bypass in Children. *The Annals of Thoracic Surgery*, 81(6), S2347-S2354. doi:10.1016/j.athoracsur.2006.02.073
- Madsen & Secher (1999). Near-infrared oximetry of the brain. *Progress in Neurobiology*, 58(6), 541-560. doi:10.1016/S0301-0082(98)00093-8
- McKhann, et al, (2002). Encephalopathy and stroke after coronary artery bypass grafting: Incidence, consequences, and prediction. *Archives of Neurology*, 59(9), 1422-1428. doi:10.1001/archneur.59.9.1422
- McKhann, Grega, Borowicz, Baumgartner, & Selnes, (2006). Stroke and encephalopathy after cardiac surgery: An update. *Stroke*, 37(2), 562-571. doi:10.1161/01.STR.0000199032.78782.6c
- Miller, L. W. (2009). Is Pulsatile Blood Flow No Longer Essential? *Circulation*, 120(23), 2313-2314. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.109.908582
- Mills (1995). Risk factors for cerebral injury and cardiac surgery. *The Annals of Thoracic Surgery*, 59(5), 1296-1299. doi:10.1016/0003-4975(95)00054-O
- Murkin (2006). Pathophysiological basis of CNS injury in cardiac surgical patients: Detection and prevention. *Perfusion*, 21(4), 203-208. doi:10.1191/0267659106pf869oa
- Murkin, J. M., & Arango, M. (2009). Near-infrared spectroscopy as an index of brain and tissue oxygenation. *British Journal of Anaesthesia*, 103(Supplement 1), i3-i13. doi:10.1093/bja/aep299
- Murkin, John M., Adams, S. J., Novick, R. J., Quantz, M., Bainbridge, D., Iglesias, I., Cleland, A., et al. (2007). Monitoring Brain Oxygen Saturation During Coronary Bypass Surgery: A Randomized, Prospective Study. *Anesthesia & Analgesia*, 104(1), 51-58. doi:10.1213/01.ane.0000246814.29362.f4
- Nussmeier, & Searles (2010). Inflammatory brain injury after cardiopulmonary bypass: Is it real? *Anesthesia & Analgesia*, 110(2), 288-290. doi:10.1213/ANE.0b013e3181c8b1bb
- Owen-Reece, Smith, Elwell & Goldstone (1999). Near infrared spectroscopy. *British Journal of Anaesthesia*, 82(3), 418-426.
- Paparella, Yau, & Young, E. (2002). Cardiopulmonary bypass induced inflammation: Pathophysiology and treatment. An update. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*, 21(2), 232-244. doi:10.1016/S1010-7940(01)01099-5
- Russell et al (2009). Renal and hepatic function improve in advanced heart failure patients during continuous-flow support with the HeartMate II left ventricular assist device. *Circulation*, 120(23), 2352-2357. doi:10.1161/CIRCULATIONAHA.108.814863
- Singh, R. K., Barratt-Boyes, B. G., & Harris, E. A. (1980). Does pulsatile flow improve perfusion during hypothermic cardiopulmonary bypass? *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 79(6), 827-832.

Steinberg, Kapelanski, Olson, & Weiler (1993). Cytokine and complement levels in patients undergoing cardiopulmonary bypass. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 106(6), 1008-1016.

Taylor, K. M., Wright, G. S., Bain, W. H., Caves, P. K., & Beastall, G. S. (1978). Comparative studies of pulsatile and nonpulsatile flow during cardiopulmonary bypass. III. Response of anterior pituitary gland to thyrotropin-releasing hormone. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*, 75(4), 579-584.

Ündar (2004). Myths and truths of pulsatile and nonpulsatile perfusion during acute and chronic cardiac support. *Artificial Organs*, 28(5), 439-443. doi:10.1111/j.1525-1594.2004.00086.x

Voss, et al (2010). Cardiopulmonary bypass with physiological flow and pressure curves: Pulse is unnecessary! *European Journal of Cardio-thoracic Surgery*, 37(1), 223-232. doi:10.1016/j.ejcts.2009.05.050

Warren, et al (2009). The inflammatory response to cardiopulmonary bypass: Part 1 - mechanisms of pathogenesis. *Journal of Cardiothoracic and Vascular Anesthesia*, 23(2), 223-231. doi:10.1053/j.jvca.2008.08.007

Wright (1994). Hemodynamic analysis could resolve the pulsatile blood flow controversy. *The Annals of Thoracic Surgery*, 58(4), 1199-1204.

Tabela 1. Frequências dos procedimentos cirúrgicos dos doentes do estudo e o padrão de fluxo utilizado.

	Frequência	Percentagem	Frequência pulsátil	Percentagem pulsátil	Frequência contínuo	Percentagem contínuo
Valvular isolado	31	49,2	15	48,3	16	50,0
CABG isolado	5	7,9	2	6,5	3	9,5
Valvular & CABG	12	19,0	8	25,8	4	12,5
Valvular & CABG & Outro	5	7,9	3	9,7	2	6,2
Outro	3	4,8	1	3,2	2	6,2
Valvular & Outro	5	7,9	2	6,5	3	9,5
CABG & Outro	2	3,2	0	0	2	6,2
Total	63	100	31	100	32	

CABG – Cirurgia coronária

Tabela 2. Caracterização da amostra.

Variável	Fluxo	N	Média	Desvio padrão	p
Idade	Pulsátil	31	72,72	11,548	0,257
	Contínuo	32	69,32	12,060	
Tempo de CEC	Pulsátil	31	110,23	33,942	0,856
	Contínuo	32	111,94	39,109	
Tempo de clampagem da aorta	Pulsátil	31	79,43	22,883	0,990
	Contínuo	32	79,34	30,352	
Hemoglobina basal	Pulsátil	31	12,89	1,985	0,084
	Contínuo	32	11,99	2,070	
Hct basal	Pulsátil	31	46,72	6,577	0,219
	Contínuo	32	36,20	5,636	
Superfície corporal	Pulsátil	31	1,77	0,176	0,905
	Contínuo	32	1,77	0,216	

Tabela 3. Caracterização da oximetria cerebral basal e em CEC, em ambos os grupos.

	Fluxo	Média	Desvio padrão	p
Oximetria cerebral média - Hemisfério esquerdo	Pulsátil	59,54	8,486	1,524
	Contínuo	56,82	7,982	1,411
Oximetria cerebral média - Hemisfério direito	Pulsátil	60,13	8,389	1,506
	Contínuo	58,15	8,906	1,574
Oximetria basal - Hemisfério esquerdo	Pulsátil	67,13	13,844	2,486
	Contínuo	60,25	12,784	2,260
Oximetria basal - Hemisfério direito	Pulsátil	67,45	13,248	2,379
	Contínuo	61,94	11,492	2,031

Tabela 4. Diferenças entre a oximetria cerebral em CEC, entre ambos os grupos.

	Fluxo	Média	Desvio padrão	p
Diferença na oximetria média do hemisfério esquerdo (%)	Pulsátil	0,0759	0,137	0,163
	Contínuo	0,0342	0,097	
Diferença na oximetria média do hemisfério direito (%)	Pulsátil	0,0732	0,142	0,264
	Contínuo	0,0379	0,104	