

体外循环不同血流模式的能量分析和对内皮功能的研究

EEP

(erg s/cm³)

$$EEP = \left(\int fpdt \right) / \left(\int fdt \right)$$

郭 震

$$EEP = \left(\int fpdt \right) / \left(\int fdt \right)$$

SHE

上海市胸科医院体外循环室

$$SHE(erg s/cm^3) = 1332 / \left(\left(\int fpdt \right) / \left(\int fdt \right) \right) - MAP$$

背景

平流灌注

平流灌注是目前主流的灌注模式

临床效果得到认可

其非生理灌注模式的特点是否能满足需要？

脏器灌注不良

内毒素释放

全身炎症反应

危重、高龄，脏器功能障碍患者

背景

搏动灌注

仿生理搏动灌注的研究已有多年
仅有理论支持，临床效果不明确
近十年的动物和临床研究

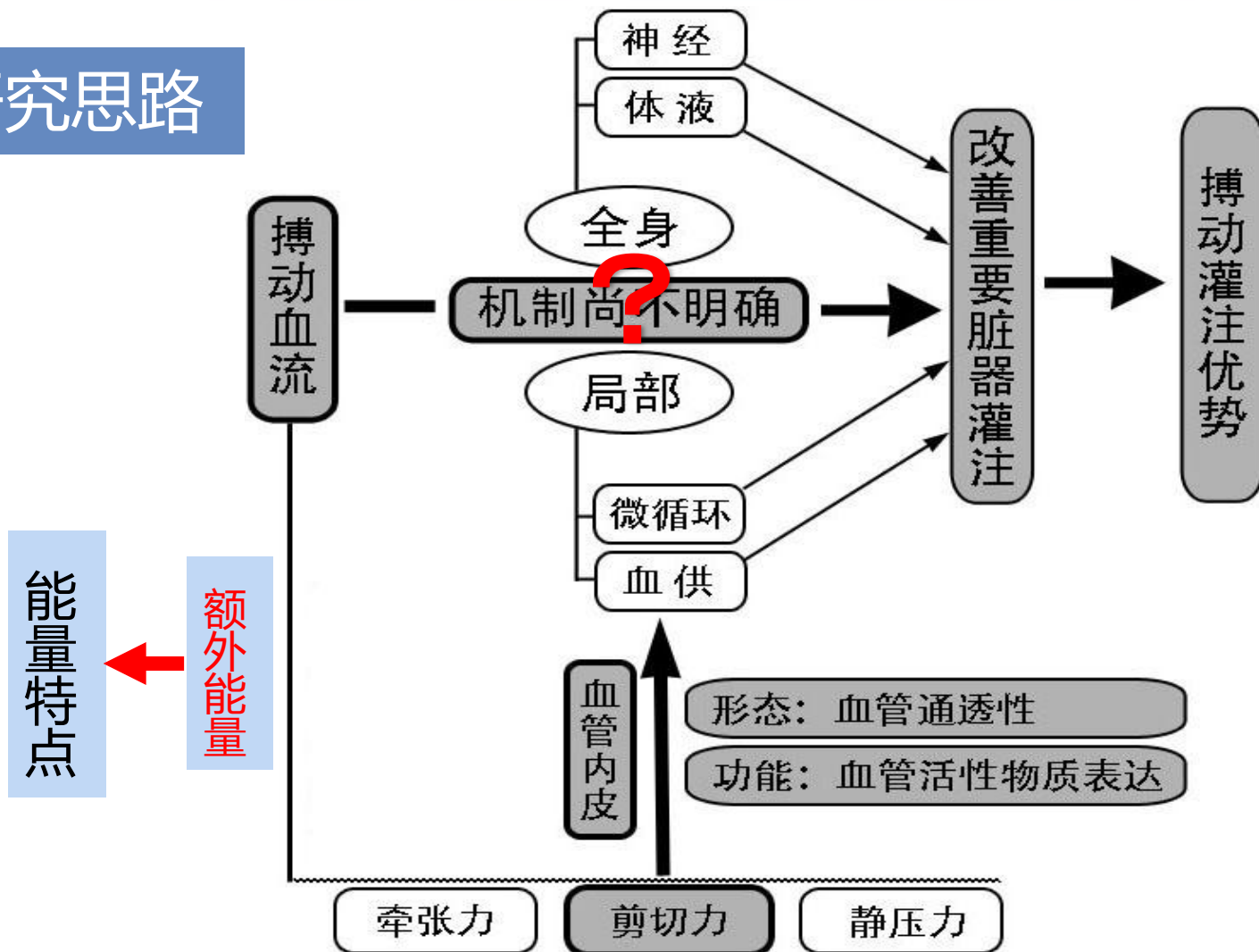
设备和耗材的限制

明确了富裕能量的存在（EEP、SHE）

人体生理性搏动灌注的生理意义并不明确

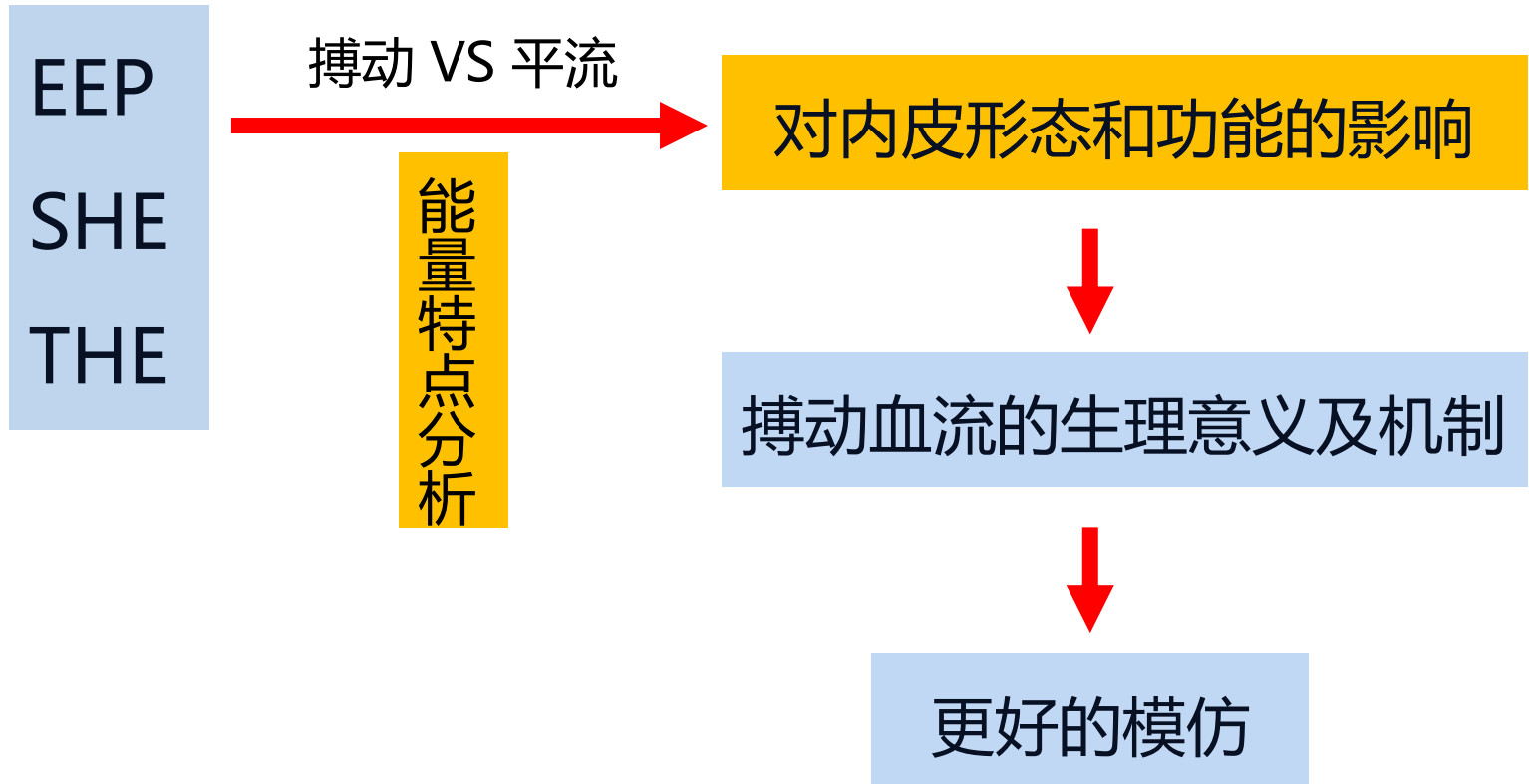
背景

研究思路



背景

搏动灌注



背景

研究思路

内皮是最先、最直接感受搏动能量的部位
人体最大的器官，广泛分布于机体各个器官组织
多方面的生理和代谢功能

- 调节血管紧张性
- 血管通透性
- 参与促凝血
- 血管塑形和重建
- 动脉粥样硬化等病理改变

方法

患者资料

患者基本资料

组别	年龄 (岁)	身高 (cm)	体质量(kg)	体表面积 (m ²)	射血分数 (%)
PP 组	58.36±12.73	161.61±7.75	60.05±9.61	1.72±0.14	58.86±6.7
NP 组	56.61±10.78	164.9±9.5	63.65±10.81	1.72±0.19	57.03±10.52
P 值	0.267	0.136	0.172	0.785	0.957

2013年11月~2015年1月

瓣膜病患者，56名，男33名

方法

设备仪器

体外循环机：Sorin STOCKERK-S5

微栓：MAQUET-QUART

氧合器：Terumo-SX18

动脉插管：上海祥盛直插管

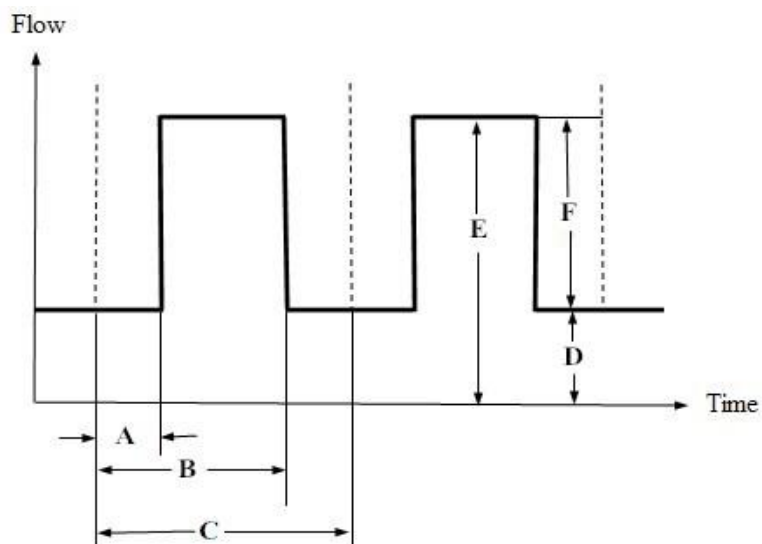
PowerLab 8/30生理仪及配套的labchart软件

Transonic超声血流仪（T420）



方法

设备仪器



体外循环机：Sorin STOCKERK-S5

- A：开始时间，30%
 - B：停止时间，70%
 - C：搏动周期，100%；
 - D：基础流量，30%；
 - E：总灌注流量，100%；
 - F：搏动流量，70%
- 搏动频率：75次/分

方法

监测指标

能量指标

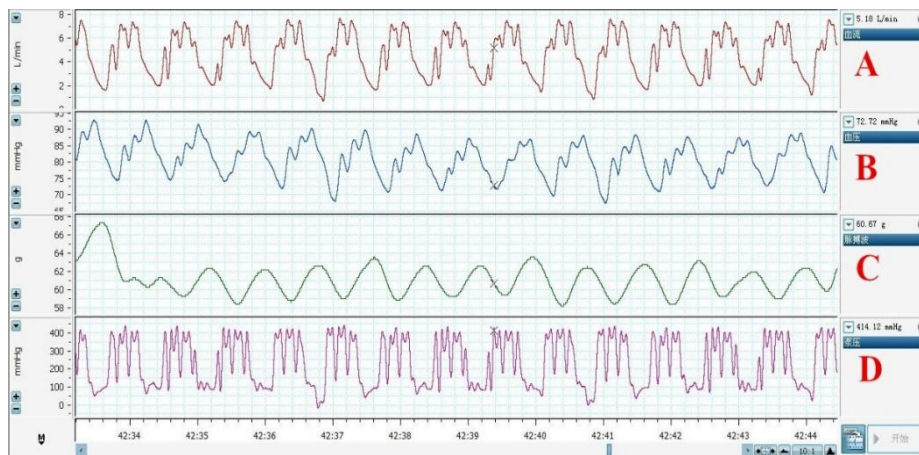
EEP、SHE、THE
时域和频域分析

内皮功能

ET-1、NO
IL-6、IL-10
TNF- α

临床指标

乳酸
肌酐、尿素氮
术中、术后尿量



方法

能量指标

数据通过powerlab生理仪和transonic流量仪采集并记录
配套的labchart软件用于计算
每个时间点截取一段含有15至20个周期的片段计算

$$EEP \text{ (mmHg)} = \frac{\int fp dt}{\int f dt}$$

$$SHE = 1332 \times [EEP - MAP]$$

$$THE = 1332 \times EEP$$

方法

能量指标

桡动脉波时域分析

分析波形的时域特点 (labchart软件)

h1: 基线到峰值的高度

t1: 周期起点到峰值的时间

t: 一个周期时间

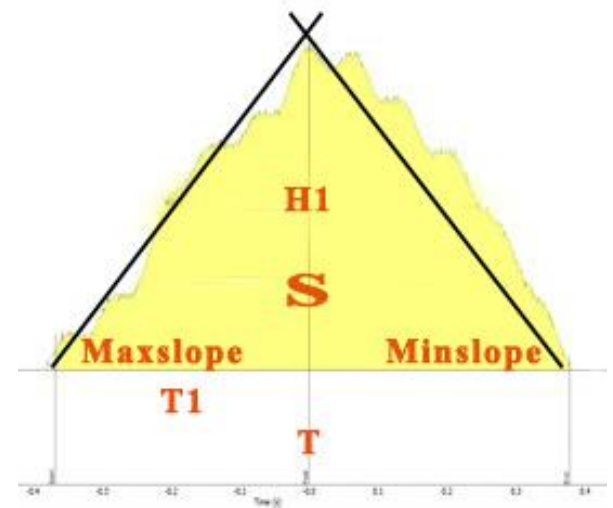
Maxslope: 周期起点到峰值之间的最高斜率值

Minslope: 峰值到周期结束之间的最低斜率值

S: 波形的面积

Width70: 从基线起上70% h1高度所对应的宽度

W/t: Width70除以周期值



方法

能量指标

桡动脉波频域分析

- 利用快速傅立叶变换将周期性的时域信号分解提取信号特征的方法（labchart软件）
- 获得频率谱图像和相应的频谱数值
 - 幅值频率谱分析
 - 功率谱密度估算分析
- 反映信号的幅值随频率的分布情况

方法

内皮功能

ET-1、NO

THF、IL-6、IL-10

检测时间

麻醉诱导后

主动脉阻断后30分钟

停机后30分钟

术后6小时

方法

临床指标

肌酐、尿素氮

手术前、后24小时

尿量

术中，术后24H

乳酸

诱导后、阻断后30分钟、停机前、停机30分钟、术后2H、术后24H

结果

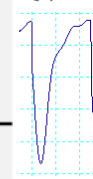
能量指标

EEP&THE

THE

组别	阻断后	阻断后 10'	阻断后 20'	阻断后 30'	开放前
PP	300381 ± 45941	302670 ± 49513	308698 ± 41372	299310 ± 49111	315605 ± 47181
NP	189494 ± 44999	196983 ± 48194	197605 ± 45402	200656 ± 45334	197590 ± 34273
P 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

变化



EEP

组别	阻断后	阻断后 10'	阻断后 20'	阻断后 30'	开放前
PP	223.9 ± 32.8	227.2 ± 37.2	231.8 ± 31.1	224.7 ± 36.9	236.9 ± 35.4
NP	142.3 ± 33.8	147.9 ± 36.2	148.4 ± 34.1	150.6 ± 34.0	148.3 ± 25.7
PP/NP	1.57	1.54	1.58	1.51	1.60
P 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

34:43

EEP (V)

EEP (V)

36:30 36:30.5 36:31 36:31.5 36:32 36:32.5 36:33 36:33.5 36:34 36:34.5 36:35 36:35.5 36:36 36:36.5

结果

能量指标

富余血液动力学能量 (SHE)

搏动与平流不同时间段SHE比较

组别	阻断后	阻断后 10'	阻断后 20'	阻断后 30'	开放前
PP	222533±47312	217675±49367	221359±41598	209463±51262	226874±46948
NP	107394±42019	107681±45089	103471±46618	106774±46616	105866±36022
PP/PN	2.07	2.02	2.14	1.96	2.14
P 值	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

结果

能量指标

脉压差

搏动与平流不同时间脉压差比较

组别	阻断前	阻断后	阻断后 10'	阻断后 20'	阻断后 30'	开放前	开放后
PP	34.4±15.3	12.3±7.3	12.7±6.1	13.2±6.1	13.6±6.9	13.8±7.8	28.6±13.1
NP	34.3±18.5	1.7±1.7	2.4±1.9	3.3±3.2	2.8±2.5	2.4±2.3	30.8±11.8
P 值	0.974	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.678

结果

能量指标

泵压、平均动脉压和流量均无明显差异

搏动血流产生的脉压差接近**15mmHg**

搏动灌注能量非搏动灌注多了近**60%**

富余血流动力学能量比非搏动灌注增加了**110%**

血液携带的能量除了参与血压的形成，额外能量通过其他形式进行了能量转换，如势能、剪切力、牵张力等

结果

能量指标

时域指标

组别	h1 (mmHg)	t1(ms)	t(ms)	Maxslope	Minslope	S (mmHg.s)	Width70 (ms)	W/t
阻断前 PP	32.9±12.7	247.7±41.0	916.9±222.3	433.4±219.9	-249.0±121.0	10.6±3.8	171.6±52.7	192.3±60.4
阻断后 PP	14.1±6.4	442.1±65.9	789.1±10.1	174.1±134.4	-154.2±117.5	6.0±2.5	247.2±104.7	330.1±129.7
P 值	0.020	0.001	0.268	0.149	0.776	0.031	0.466	0.359

阻断后h1值显著减小，t1值显著增大

正常生理状态下的动脉波：前陡后缓

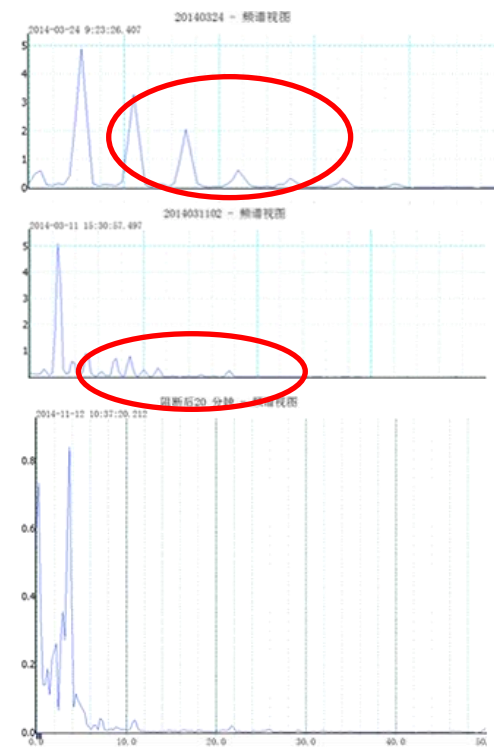
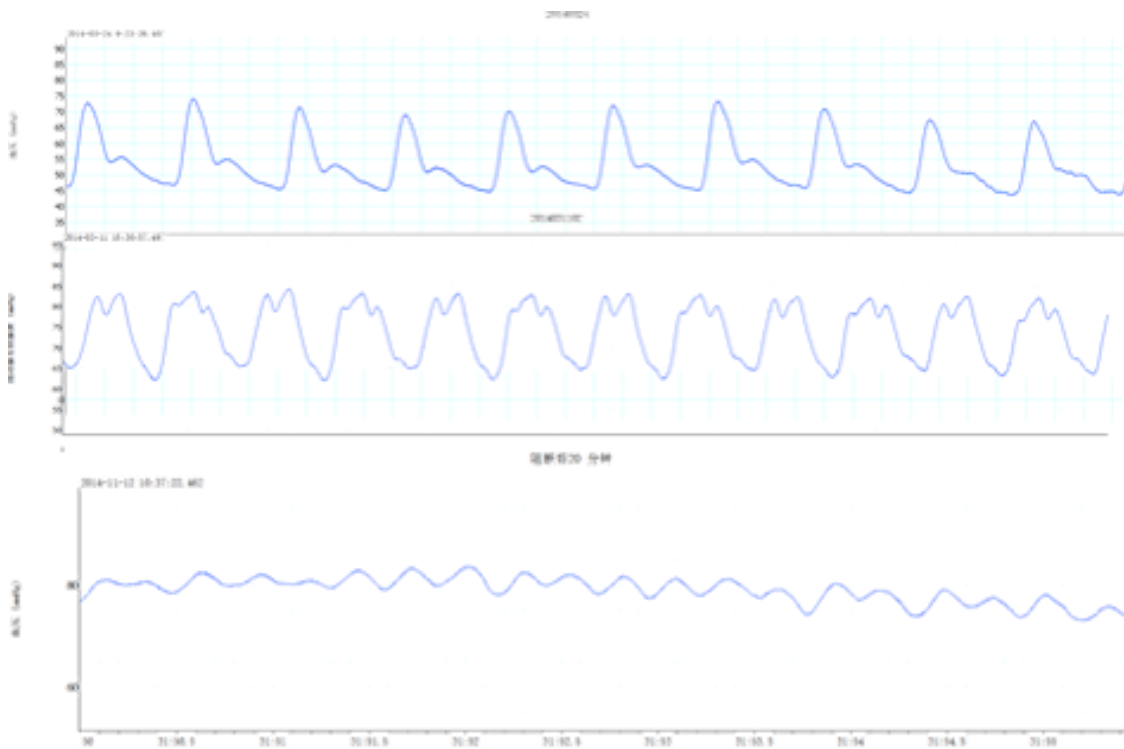
搏动灌注下的动脉波：正态分布，其波峰低

平流灌注：高频高尖波形

结果

能量指标

幅度频率谱分析



幅值、谐波、桡动脉压基波幅值/泵压基波幅值

结果

能量指标

功率谱密度分析

桡动脉

搏动与平流阻断前后动脉波普能比

组别	PP 组		NP 组	
	0-5Hz 谱能比	0-10Hz 谱能比	0-5Hz 谱能比	0-10Hz 谱能比
阻断前	0.92±0.05	0.97±0.04	0.90±0.09	0.96±0.06
阻断后	0.82±0.17	0.90±0.15	0.62±0.22	0.76±0.17
P 值	0.027	0.051	0.000	0.000

平流血流携带能量的频率与搏动灌注明显不同

结果

能量指标

功率谱密度分析

微栓

搏动与平流泵压普能比

组别	0-5Hz 谱能比	0-10Hz 谱能比
PP	0.608 ± 0.113	0.803 ± 0.088
NP	0.390 ± 0.038	0.729 ± 0.077
P 值	0.000	0.056

结果

能量指标

功率谱密度分析

搏动与平流功率谱密度估算

	阻断前			阻断后		
	0-5Hz	0-10Hz	0-40Hz	0-5Hz	0-10Hz	0-40Hz
PP/NP 比值	1.08	1.10	1.10	9.49	4.84	3.80

组别	0-5Hz	0-10Hz	0-40Hz
阻断前/阻断后比值 (PP)	2.85	2.80	2.60
阻断前/阻断后比值 (NP)	14.20	12.33	9.14

结果

内皮功能

ET-1

组别	T1	T2	T3	T4
PP 组	1.32±0.68	1.39±0.66*	1.42±0.64*	2.05±0.87▲
NP 组	1.32±0.46	1.81±0.74▲	2.01±0.93▲	2.39±0.94▲

T1诱导后、T2阻断后30分钟、T3停机后30分钟、T4术后6小时

NO

组别	T1	T2	T3	T4
PP 组	8.65±4.74	7.37±2.91	17.19±6.9▲	6.09±4.4▲
NP 组	6.53±4.58	6.7±4.47	16.68±6.96▲	5.68±3.47

注：与非搏动灌注组比较：* $P < 0.05$ ；与组内T1比较：▲ $P < 0.05$

结果

内皮功能

IL-6	组别	T1	T2	T3	T4
	PP 组	19.75±9.27	17.96±2.91	31.76±26.66▲	46.06±34.48▲
NP 组	18.34±0.19	17.71±0.89	31.25±15.37▲	39.08±21.26▲	

IL-10	组别	T1	T2	T3	T4
	PP 组	3.59±2.25	16.42±11.96*▲	242.47±231.05*▲	21.27±13.83*▲
NP 组	3.74±2.53	25.6±16.58▲	533.86±415.01▲	40.65±38.55▲	

TNF-α	组别	T1	T2	T3	T4
	PP 组	4.21±1.01	4.95±1.06▲	7.11±2.61▲	5.39±4.4
NP 组	3.8±2.66	5.2±2.81▲	7.02±4.59▲	5.1±3.25▲	

T1诱导后、T2阻断后30分钟、T3停机后30分钟、T4术后6小时
注：与非搏动灌注组比较：* $P < 0.05$ ；与组内T1比较：▲ $P < 0.05$

结果

临床指标

肌酐尿素氮与尿量

肌 酐

组别	术前	术后	差值
PP 组	71.07±22.33	76.61±30.1	-5.54±24.4
NP 组	72.84±23.82	72.77±26.	+0.07±22.17
<i>P</i> 值	0.585	0.75	

尿 量

组别	术中单位时间尿量
PP 组	672.71±310.55* ▲
NP 组	397.79±171.74
<i>P</i> 值	0.002

尿素氮

组别	术前	术后	差值
PP 组	6.8±3.24	8.01±3.56	-1.21±3.32
NP 组	6.78±2.89	8.92±3.6	-2.14±3.49
<i>P</i> 值	0.894	0.199	0.343

结果

临床指标

乳酸

搏动与平流围术期乳酸比较

组别	T1	T2	T3	T4	T5	T6
PP 组	1.68±0.51	1.94±1.64	2.13±1.19*▲	2.85±1.29▲	3.79±2.22▲	3.22±1.5▲
NP 组	1.6±0.65	2.18±0.74▲	2.89±1.01▲	2.96±1.39▲	3.93±2.38▲	3.2±1.66▲

注：与非搏动灌注组比较：* $P < 0.05$ ；与组内T1比较：▲ $P < 0.05$

T1：诱导后、T2：阻断30分钟、T3：停机前、T4：停机后30分钟、T5：术后2小时、T6：术后24小时

分析和总结

讨论

- 搏动血流携带更多的能量
- 两种血流模式的能量特点不同
 - 搏动以低频能量为主，更易于传播
 - 更接近生理搏动，但在普能比和幅值分布上有差异
 - 平流能量衰竭明显，低频能量为主，可达数倍
- 两种血流模式在临床指标上差异不明显

谢谢

EEP

$$EEP = \left(\int fpdt \right) / \left(\int fdt \right)$$

$$EEP = \left(\int fpdt \right) / \left(\int fdt \right)$$

($erg\ s/cm^3$)

Thank you for your attention

$$SHE(erg\ s/cm^3) = 1332 \left[\left(\left(\int fpdt \right) / \left(\int fdt \right) \right) - MAP \right]$$