

# Principy lékařských terapeutických přístrojů pro intenzivní medicínu

Bronislav Balek  
e-mail [bbalek@seznam.cz](mailto:bbalek@seznam.cz)

Střední škola dopravy, obchodu a služeb Moravský Krumlov

## I Úvod

Příspěvek popisuje principy některých nejnovějších lékařských terapeutických přístrojů v intenzivní medicíně. Používají se v nemocnicích, na klinikách a odděleních anesteziologie, resuscitace a intenzivní péče, dalších jednotkách intenzivní péče, operačních a katetrizačních sálech, vozech rychlé lékařské pomoci, záchranných vrtulnících atd.

Jsou to miniaturní kardiostimulátory „Leadless“ (stimulace bez vodičových elektrod), bifázické defibrilátory (ruší mňhání srdečních síní a komor dvoupolaritním defibrilačním impulsem), hypertermická cytostatická intraperitoneální intraoperační laváž (promívání dutiny břišní a plic koncentrovaným cytostatikem ohřátým na teplotu těsně pod 43 °C), vysokofrekvenční tryskové a oscilační ventilátory, dlouhodobé mechanické srdeční podpory levé komory atd.

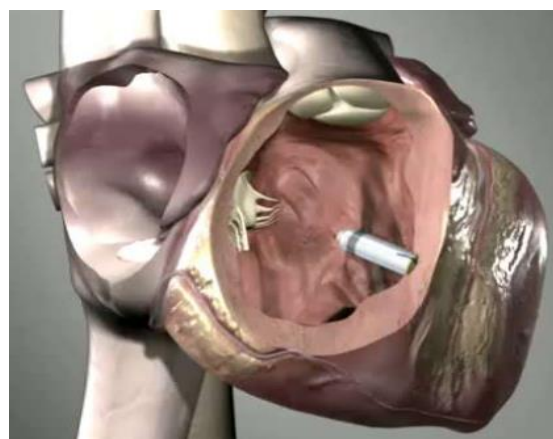
## 2 Miniaturní kardiostimulátory Leadless LCP Medtronic Micra

Kardiostimulace slouží k nápravě bradykardií (snížená srdeční frekvence) někdy i tachykardií (zvýšená srdeční frekvence) způsobených přerušením síňo-komorového vedení při infarktu myokardu nebo kdy sinoatriální uzel neplní funkci „pacemakeru“ dominantního generátoru. Využívá se dráždění srdečního svaly elektrickými impulsy s nadprahovou energií, které jsou vhodně časově voleny s ohledem na průběh EKG signálu.

Bezvodičové kardiostimulátory zaváděné katetrizací do hrotu pravé srdeční komory stehenní žilou. Typ: LCP Medtronic Micra, délka 25 mm, průměr 6 mm, výdrž baterie 6 let. Sestává s EKG zesilovače, generátorů pulsů, baterie a elektrod zabudovaných v těle LCP. Stimulační mód VVIR, hmotnost 1,75 g, objem 0,8 cm<sup>3</sup>, programovatelný tříosý akcelerometr.



Obr. 1. Leadless stimulator Micra

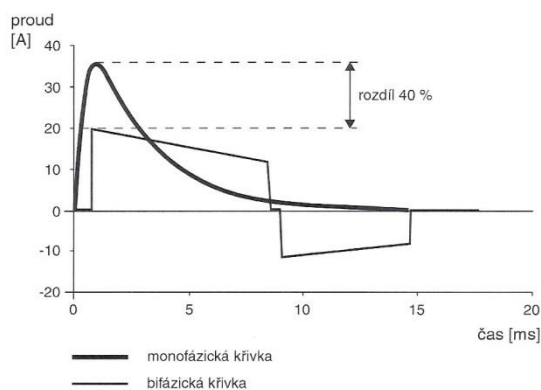


Obr. 2. Umístění stimulatoru v pravé srdeční komoře

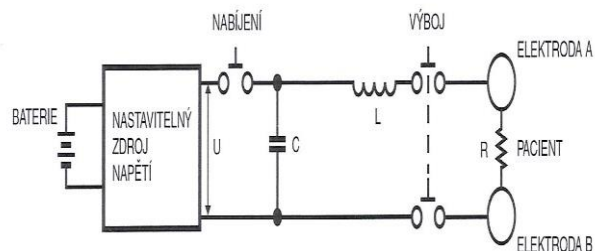
## 3 Monofázický a bifázický defibrilátor (Handl Z.)

Fibrilace (mňhání) srdečních síní nebo komor způsobí úplnou ztrátu koordinace elektrické a mechanické činnosti srdce. Důsledkem je chaotická kontrakce různých srdečních struktur, zástava mechanické práce srdce a tím i zástava krevního oběhu. Nemocný během několika sekund ztrácí vědomí – nastává klinická smrt. Defibrilace je posledním zásahem pro obnovu krevního oběhu. Elektrický proud, který proteče hrudníkem nemocného, vyvolá synchronizovanou depolarizaci s kontrakcí všech struktur srdce.

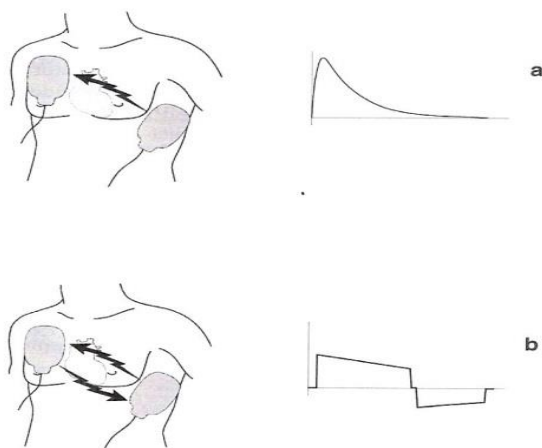
Bifázické defibrilátory byly zavedeny s implantabilními defibrilátory. Šetří srdce i spotřebu elektrické energie baterií. Amplituda defibrilačního proudu je u bifázického impulsu asi o 40 % nižší než u monofázického impulsu.



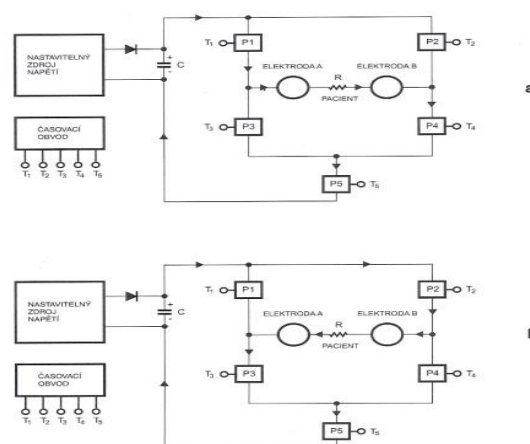
Obr. 3. Monofázický a bifázický výboj



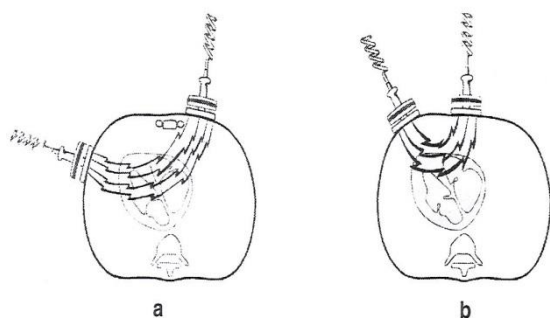
Obr. 4. Monofázický defibrilátor – schéma



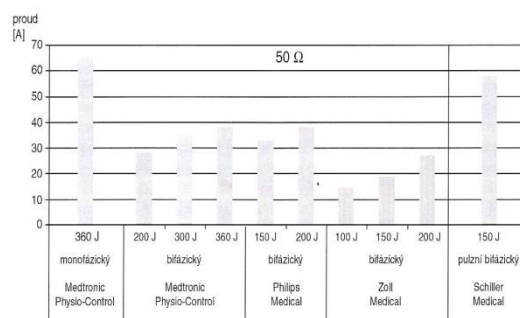
Obr. 5. Směry defibrilačních výbojů



Obr. 6. Bifázický defibrilátor – schéma



Obr. 7 Správně/špatně přiložené elektrody



Obr. 8. Parametry defibrilátorů

## 4 Hypertermická cytostatická intraperitoneální intraoperační laváž (Skála)

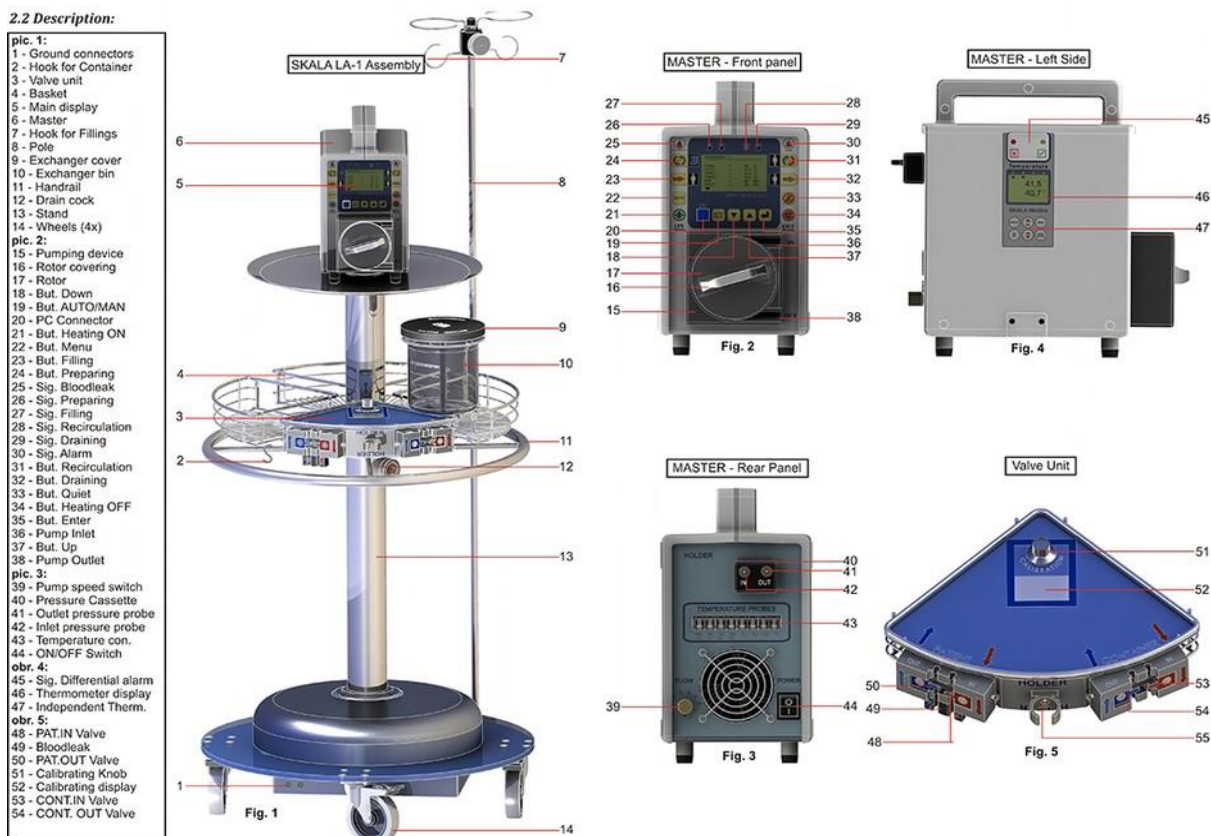
Cytostatická laváž dutiny břišní je novou metodou léčení pacientů při a po operačním výkonu, vyvinutá původně pro zhoubné nádory pobřišnice, ale v současné době aplikovaná s dobrými výsledky i při jiných náročných operačních zákrocích. Při operačním výkonu dochází zpravidla při odstraňování nádoru k uvolnění buněk, které se mohou uchytit na raných plochách a následně dále růst. Navíc při operaci lze odstranit jen viditelné nádorové struktury, zatímco mikroskopické unikají pozornosti. Aby bylo zamezeno jejich novému růstu, je nutné zbytky nádorového onemocnění co nejdříve odstranit. Prozatím nejúčinnější metodou pro jejich likvidaci je nová metoda laváže břišní dutiny nazývaná také „Hypertermická cytostatická intraperitoneální intraoperační laváž břišní dutiny“ označovaná mezinárodní zkratkou „HIPEC“ (nebo HITOC pro laváž plic).

Metoda je zvláště vhodná pro léčení zhoubných nádorových onemocnění v břišní dutině (zažívací a gynekologické orgány).

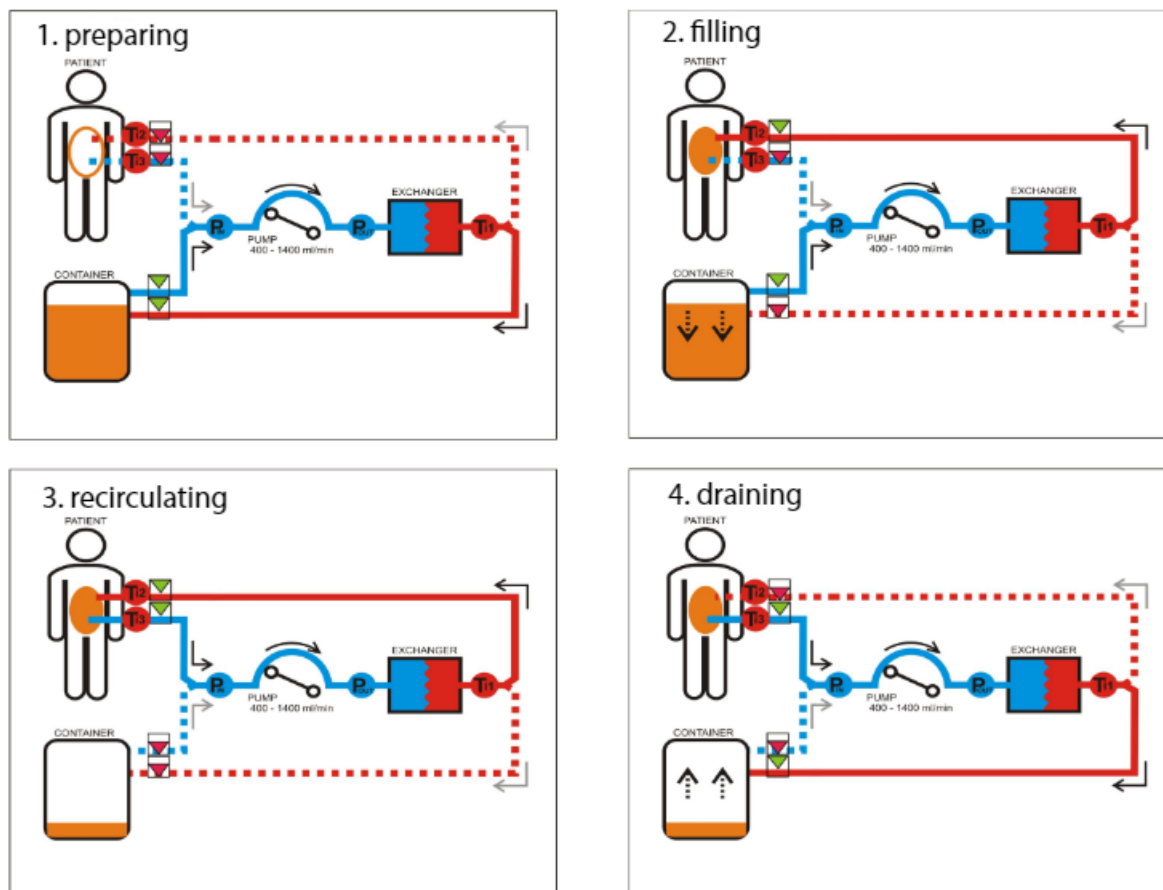
Vlastní princip **laváže** spočívá v naplnění břišní dutiny pacienta cytostatickým roztokem a udržování jeho teploty na hodnotě blízké 43 °C. Tím dochází k uplatnění dvou důležitých principů nutných ke zničení malých nádorových buněk. Jedná se o **termotoxicitu**, **cytotoxicitu** a jejich vzájemné působení s umocňujícím účinkem.

**Princip termotoxicity:** Při zahřátí zdravé tkáně cytostatikem na teplotu blízkou 43 °C, dochází k jejímu prokrvení, ve snaze odvést přebytečné teplo a tím také dojde k ochlazení cytostatického roztoku. Nádory typu pseudomixomu apod. se, na rozdíl od zdravé tkáně, při zahřátí cytostatickým roztokem na teplotu blízkou 43 °C, brání pokrytím svého povrchu ochrannou proteinovou vrstvou (heat-shock-protein), neboť na rozdíl od zdravé tkáně by nedokázala nádorová tkáň odvést teplo. Proteinová vrstva nádorovou tkáň zviditelní imunologickému systému, který ji pak může identifikovat jako vetřelce a účinně proti ní bojovat.

**Cytotoxicita** spočívá v chemické likvidaci malých mikroskopických nádorů silným roztokem cytostatika (800 až 1000krát koncentrovanějším než pro intravenózní aplikaci). Záměrem zvýšené koncentrace cytostatika je, aby se lavážní roztok za působení termotoxicity dostal v nadprahové úrovni koncentrace až po „krojení“ nádoru. Kritická doba působení cytostatického roztoku je 30 až 35 min od začátku jeho aplikace, kdy se cytostatický roztok nasytí (vyčerpá) a to, jak kontaktem s nádorovými, tak i zdravými buňkami omývaných (lavážovaných) vnitřních tkání. Po zbytek doby laváže, dalších 60 min, je uplatňován nadále princip termotoxicity. Vzhledem k přirozené termoregulaci lidského těla je zahřátý cytostatický roztok v břišní dutině neustále ochlazován dle aktuální tělesné teploty pacienta. Z těchto důvodů musí být cytostatický roztok recirkulován přes speciální tepelný výměník, ve kterém je znovu zahřát na teplotu blízkou 43 °C. Proces účinného působení zahřátým cytostatickým roztokem je praxí stanoven na cca 90 min (Více informací na na [www.surgicaloncology.com](http://www.surgicaloncology.com) nebo [www.peritonectomy.com](http://www.peritonectomy.com)).

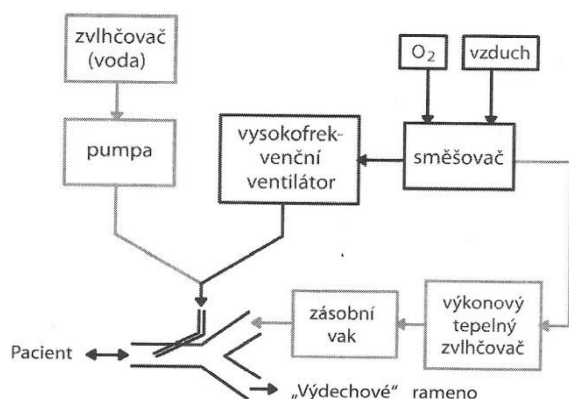


Obr. 9. Lavážní aparatura LA<sub>5</sub> fy SKALA-Medica s.r.o.



Obr. 10. Hydroschéma hypertermického lavážního přístroje SKALA LA-1

## 5 Vysokofrekvenční tryskové a oscilační ventilátory (Roubík)



Obr. 11. Vřtryskový ventilátor – blokové schéma

Ventilátory umožňují nahradit funkci dýchacích svalů a zajistit odpovídající výměnu krevních plynů v plicích nemocného. Vysokofrekvenční ventilátory mají frekvenci vdechů vyšší než 150 dechů/min.

### 5.1 Vysokofrekvenční tryskový ventilátor (HFJV)

Základem HFJV je tryska umístěná přímo do průdušnice nebo do endotracheální rourky či její speciální spojky (obr.11). Vřtryskový ventilátor dodává tryskou pneumatické pulsy o velké rychlosti plynu do průdušnice nebo do endotracheální rourky. Objem inspirovaného plynu tvoří nejen plyn z této trysky, ale i plyn přisávaný z okolí trysky. Přisávaný vzduch proudící vysokým průtokem postranním ramenem bývá zahříván a zvlhčován.

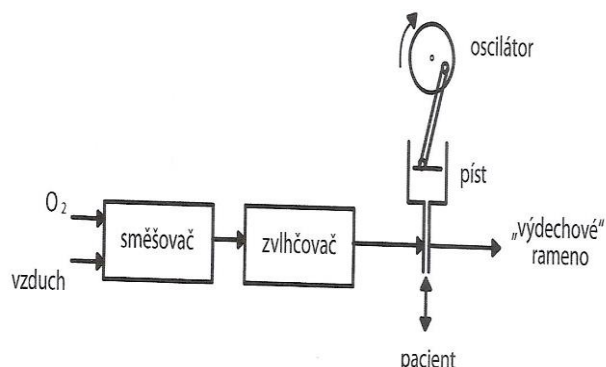
**Generované veličiny:** napájecí tlak:  $(400 \pm 100)$  kPa, průtok min. 50 l/min, frekvence přepínatelná: 20–40 až 120–180 c/min., insuflační tlak:  $(0–300)$  kPa, jednorázový dechový objem:  $(10–250)$  ml.



Obr. 12. Vřtryskový ventilátor Paravent

Aplikátor: Tryska v průdušnici nebo endotracheální rource

## 5.2 Vysokofrekvenční oscilační ventilátor (HFOV)



Obr. 13. Vř oscilační ventilátor – blokové schéma



Obr. 14. Vř oscilační ventilátor Sensor Medics 3100

U **vř oscilačního ventilátoru (HFOV)** (obr. 13 a 14) je generátorem tlakových změn (proudu) dýchací směsi píst ve válci, oscilující membrána nebo přerušovač průtoku plynů. Pacient je napojen na postranní rameno hlavní trubice obr.13., kterou proudí čerstvá zvlhčená ventilační směs. Tlakové pulsy, generované pístem nebo membránou vysokou oscilační frekvencí, vhání ventilační plyn endotracheální trubicí s těsnící manžetou do pacienta a zpět. Proud čerstvé ventilační směsi v hlavní trubicí zabráňuje reinspiraci expirovaného plynu. Na hlavní trubicí je několik ventilů, které zajišťují regulaci konstantního středního tlaku v dýchacích cestách a bezpečnost ventilačního režimu pro pacienta.

**Generované veličiny:** frekvence: (180–900) cyklů/min., dechový objem: (1–3) ml/kg

**Aplikátor:** Endotracheální rourka v průdušnici

## 6 Dlouhodobé mechanické srdeční podpory (Netuka IKEM)

Tab. 1 Dělení mechanických srdečních podpor

| Kritéria dělení                     | Charakteristiky                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| podporovaná část srdce              | levá komora – LVAD<br>pravá komora – RVAD<br>obě komory – BiVAD<br>ortotopická náhrada srdce – TAH                                                                                                                                    |
| umístění hnací komponenty MSP       | parakorporální – mimo tělo nemocného; spojení transkutánně vedenými kanylymi<br>implantabilní – uvnitř těla nemocného                                                                                                                 |
| charakter generovaného průtoku krve | pulzatilní systémy s chlopněmi<br>• pneumatický pohon<br>• elektromechanický pohon<br>nepulzatilní systémy – kontinuální axiální průtok<br>• vysokofrekvenční rotační turbína<br>• centrifugální planární turbína<br>hybridní systémy |
| doba použití                        | krátkodobé – 14–30 dnů<br>dlouhodobé – měsíce až roky                                                                                                                                                                                 |

LVAD – left ventricular assist device; RVAD – right ventricular assist device; BiVAD – biventricular assist device; TAH – total artificial heart

Dle tabulky 1 se zmíníme o dlouhodobých mechanických podporách srdce levé srdeční komory (LVAD-left ventricular assist device). Používá se u nemocných čekajících na vhodného dárce pro transplantaci srdce. Mohou být užity měsíce až roky. Implantují se do hrotu levé srdeční komory.

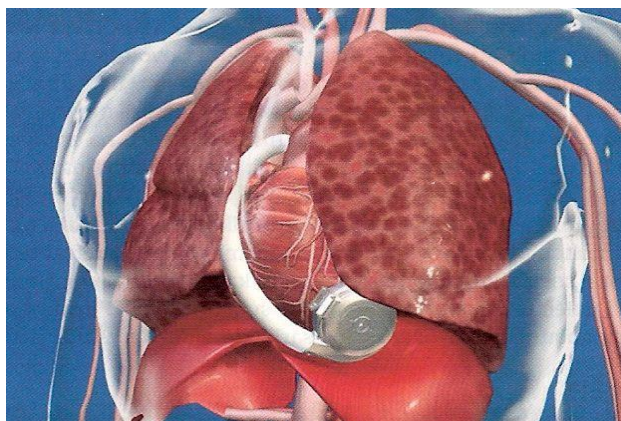
## 6.1 Mechanické srdeční podpory levé srdeční komory firmy HeartWare



Obr. 15. Řez čerpadlem HeartWare III



Obr. 16. Čerpadlo HeartWare III



Obr. 17. Umístění pumpy do hrotu levé srdeční komory



Obr. 18. Skutečná velikost pumpy

### HeartWare System Implantables

#### HVAD® PUMP



#### General Characteristics

- » Continuous flow
- » Displaced volume = 50cc, Weight = 160g
- » Device size and integrated inflow cannula allow for pericardial placement, which eliminates the need for abdominal surgery and device pockets
- » Can provide up to 10L/min of flow\*



#### Impeller

- » Magnetically and hydrodynamically suspended
- » Wide-bladed
- » Operates at speeds ranging from 1800 to 4000 rpm
- » Provides multiple blood flow paths



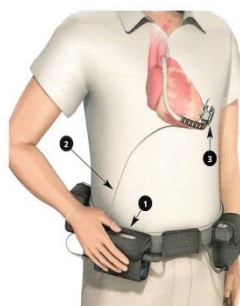
Primary Flow Path



Secondary Flow Path



Tertiary Flow Path

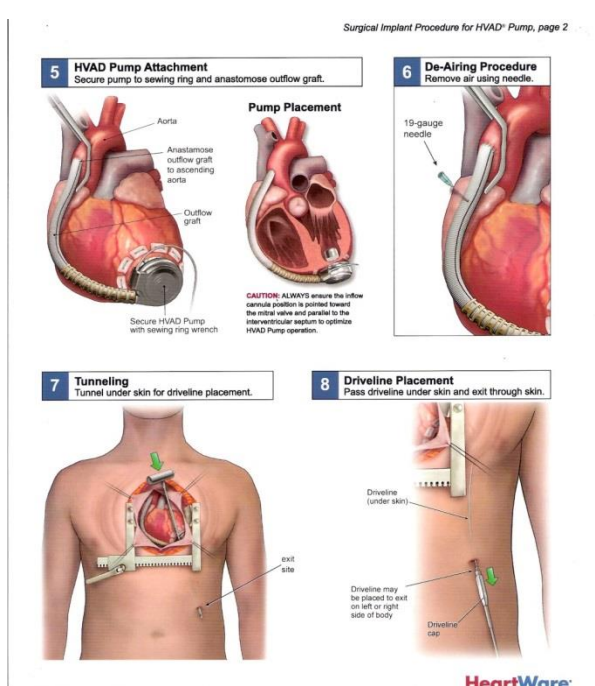
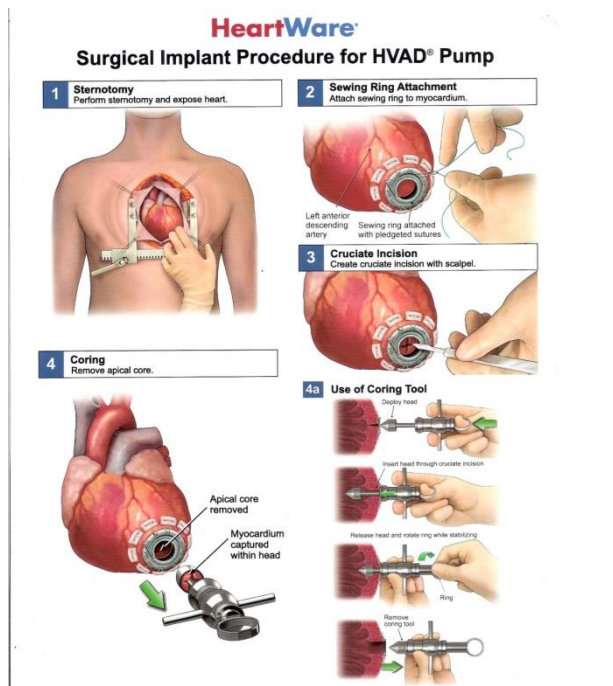


Obrázek 1: Vyobrazení implantovaného čerpadla HVAD®

1. Souprava k nošení u pasu obsahující řídicí jednotku a baterie
2. Místo výstupu pohonné jednotky
3. Čerpadlo HVAD®

Obr. 19. Princip pumpy HeartWare III

Obr. 20. Implantovaná pumpa s příslušenstvím

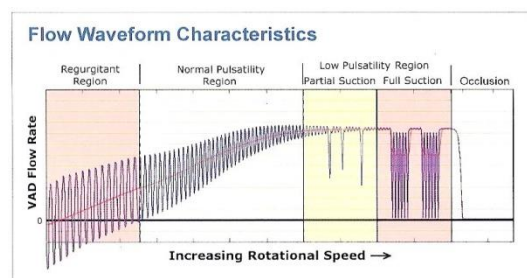


Obr. 21. Postup při implantaci pumpy HeartWare II

### 1.3 Součásti komorového asistenčního systému HeartWare®

|                                                                     |  |                                                                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Čerpadlo HVAD®</b>                                               |  | Čerpadlo přecherává krev ze srdce do dalších orgánů těla. Čerpadlo je implantováno u báze srdce během chirurgického zákroku.                                               |
| <b>Řídicí jednotka HeartWare®</b>                                   |  | Řídicí jednotka ovládá čerpadlo a zajišťuje jeho správnou funkci. V případě problému upozorňuje uživatele slovy, světelnými a zvukovými signály.                           |
| <b>Baterie HeartWare®</b>                                           |  | Baterie se používá k napájení čerpadla. Za VŠECH okolností jsou vyžadovány dvě baterie nebo jedna baterie a síťový adaptér střídavého nebo stejnosměrného proudu.          |
| <b>Nabíječka baterie HeartWare®</b>                                 |  | Nabíječka baterií slouží k dobíjení a testování baterií.                                                                                                                   |
| <b>Adaptér střídavého proudu nabíječky baterie HeartWare®</b>       |  | Adaptér nabíječky využívá elektrickou energii ze síťové zásuvky pro napájení nabíječky baterií.                                                                            |
| <b>Pohonná jednotka Kryt</b>                                        |  | Malý bílý kryt nasunutý přes přípojku čerpadla/řídicí jednotky, který chrání řídicí jednotku a konektor čerpadla.                                                          |
| <b>Adaptér střídavého proudu pro řídicí jednotku HeartWare®</b>     |  | Adaptér využívající napájení ze síťové zásuvky pro pohon řídicí jednotky.                                                                                                  |
| <b>Adaptér stejnosměrného proudu pro řídicí jednotku HeartWare®</b> |  | Adaptér využívající napájení z elektrické zásuvky v automobilu pro pohon řídicí jednotky.                                                                                  |
| <b>Adaptér poplachu</b>                                             |  | Červený adaptér poplachu je určen pouze pro nouzové situace. Adaptér se používá ke ztišení poplachu „Bez napájení“ po odpojení napájení z již nepoužívané řídicí jednotky. |

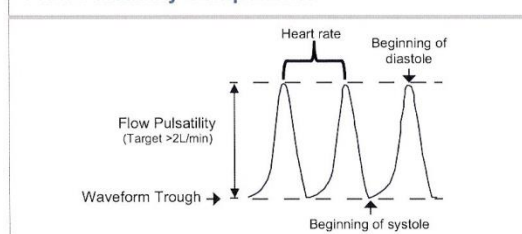
Obr. 22. Součásti pumpy HeartWare III



### Expected HVAD® Pump Parameters

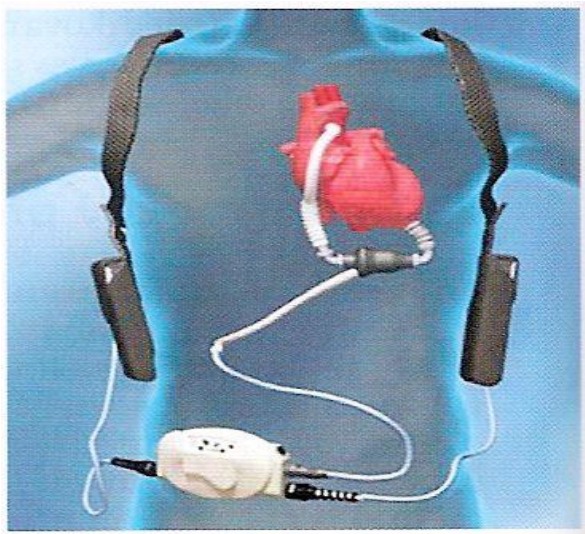
| Speed (rpms) | Power (watts) | Flow (L/min) |
|--------------|---------------|--------------|
| 2400         | 2.5           | 3            |
| 3200         | 8.5           | 8            |

### Flow Pulsatility Components

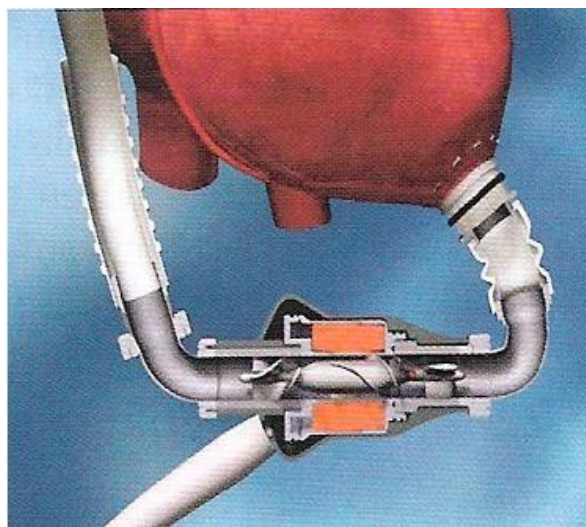


Obr. 23. Generované veličiny pumpy HeartWare III

## 6.2 Mechanické srdeční podpory levé komory firmy HeartMate (Netuka IKEM, Novinky v kardiologii 2015)



Obr. 24. Pumpa HeartMate II

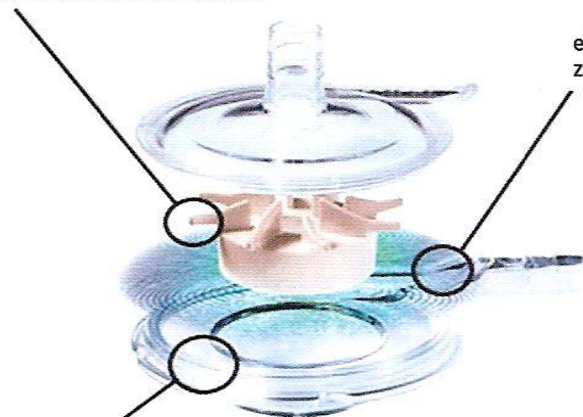


Obr.25. Řez pumpou HeartMate II

magneticky levitující turbína

elektromagnetický  
závěs

bezložiskový povrch krevního kompartmentu



Obr. 26. Princip a ukázka čerpadla HeartMate III

## 7 Závěr

Příspěvek popisuje některé další lékařské terapeutické přístroje pro intenzivní medicínu. Znalost fyzikálních principů a funkcí těchto přístrojů umožní budoucím lékařům lépe se orientovat v krátkodobé i dlouhodobé resuscitaci. Vědomosti poslouží nejen lékařům ale i biomedicínským inženýrům, záchranářům, všeobecným sestrám a studentům elektroprůmyslovek se zaměřením na lékařskou elektroniku.