

# Zátěžové testy

Odb.as. MUDr. Jiří Jančík, Ph.D.

**FSpS MU v Brně**



## ◆ DŮVODY K PROVEDENÍ (INDIKACE) ZÁTĚŽOVÉHO TESTU

- ◆ Důvody k provedení zátěžového testu u pacientů i sportovců jsou různé.
  
- ◆ diagnostika stavu
  - zdraví (reakce na zátěž)
  - „trénovanosti“ (adaptace na zatížení)
- ◆ kontrola změny stavu
  - po určitém období
  - po určitém pohybovém režimu
- ◆ plánování pohybového režimu
  - tréninku
  - pohybové léčby atd.
- ◆ Prognóza
  - výběr talentovaných jedinců
  - načasování vrcholu výkonnosti

Novotný 2003

**FSUS MU v Brně**



# ZÁTĚŽOVÉ TESTY

## DYNAMICKÉ

STATICKÉ

ELEKTRICKÉ

FARMAKOLOGICKÉ

CHLADOVÉ

HYPOXICKÉ

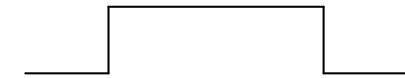
PSYCHICKÉ

*INTENZITA:*  
nízká  
střední  
submax.  
maximální

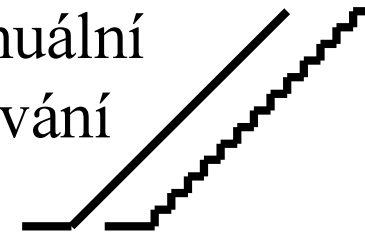
*ZDROJ:*  
vlastní pohyb  
stupně  
ergometr  
běhátko  
spec. ergometry

*TYP:*

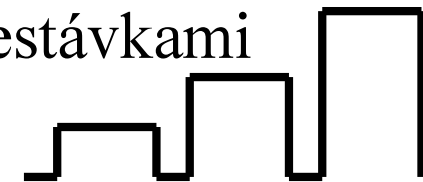
jednostupňový



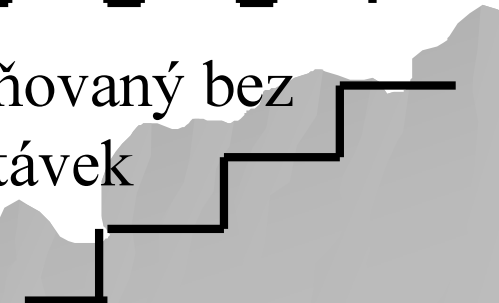
kontinuální  
zvyšování

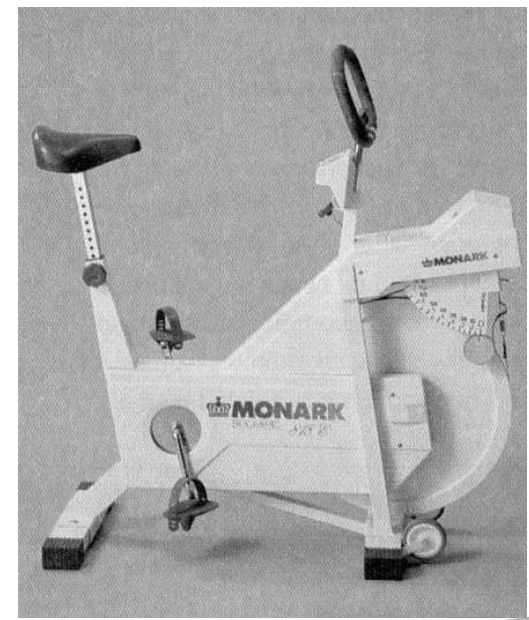
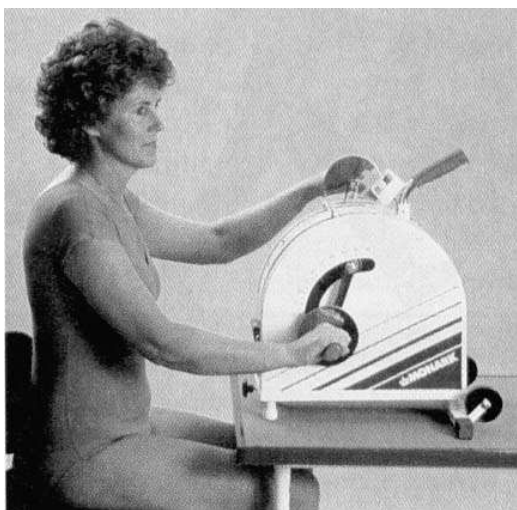
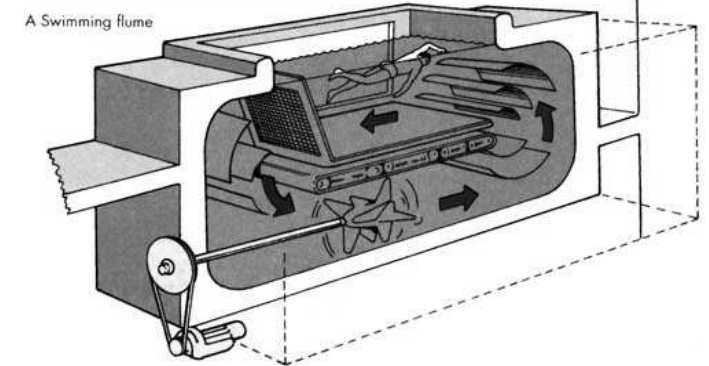
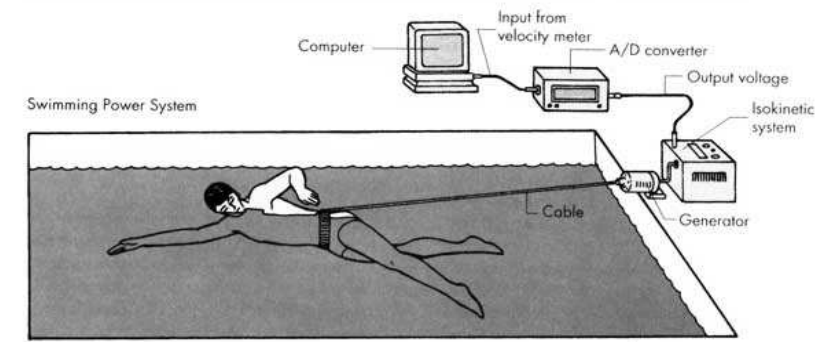
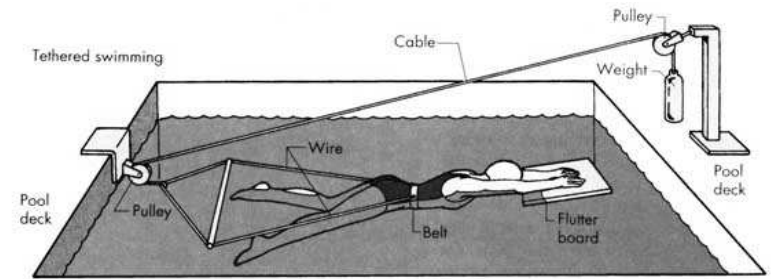
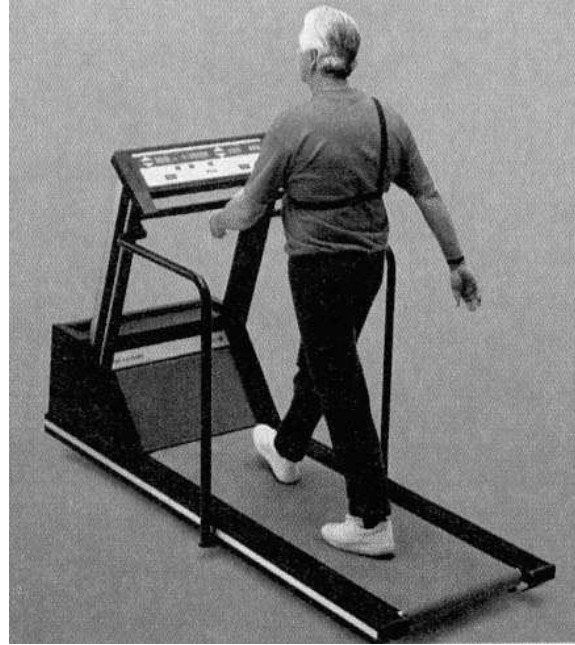
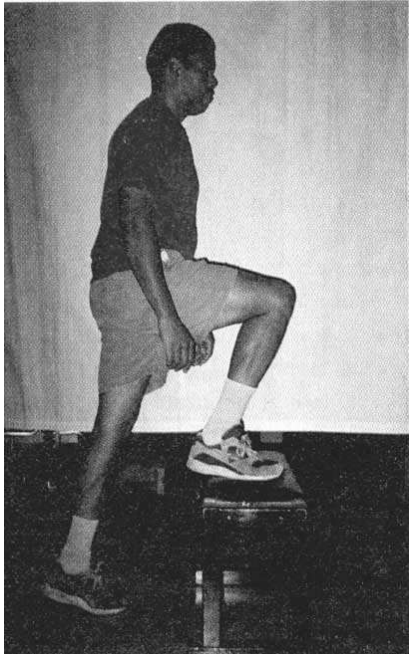


stupňovaný s  
přestávkami



stupňovaný bez  
přestávek





**ESAS MU v Brne**

## ◆ DŮVODY NEPROVEDENÍ (KONTRAINDIKACE) ZÁŤEŽOVÉHO TESTU

### ◆ **absolutní**

- celkové akutní onemocnění infekční, horečnaté (chřipka, angína atd.)
- floridní stádium zhoubného nádoru
- selhání funkcí životně důležitých orgánů a funkcí (srdeční infarkt, metabolický rozvrat atd.)

### ◆ **relativní**

- onemocnění, jejichž průběh může být proměnlivý (diabetes mellitus, astma bronchiale, angina pectoris, hypertenzní nemoc atd.)
  - ◆ ve fázi (stavu) dobré kompenzace a uspokojivé léčby je možno za určitých podmínek test provést
  - ◆ ve fázi zhoršení stavu nelze test provést

Novotný 2003

ISHS MU v Brně

## ◆ DŮVODY K PŘERUŠENÍ ZÁTĚŽOVÉHO TESTU

- ◆ U testovaných osob se v průběhu zátěže mohou objevit změny, které jsou důvodem k přerušení testu:

známky selhání a zhoršení důležitých životních funkcí

### ◆ **objektivní**

- nebezpečné a se zátěží se prohlubující poruchy srdeční činnosti
- pokles krevního tlaku, příliš vysoký TK, nezvyšující se TK při vyšší zátěži

### ◆ **subjektivní**

- bolest, dušnost, slabost, závrať, vyčerpání

Novotný 2003

ISpS MU v Brně

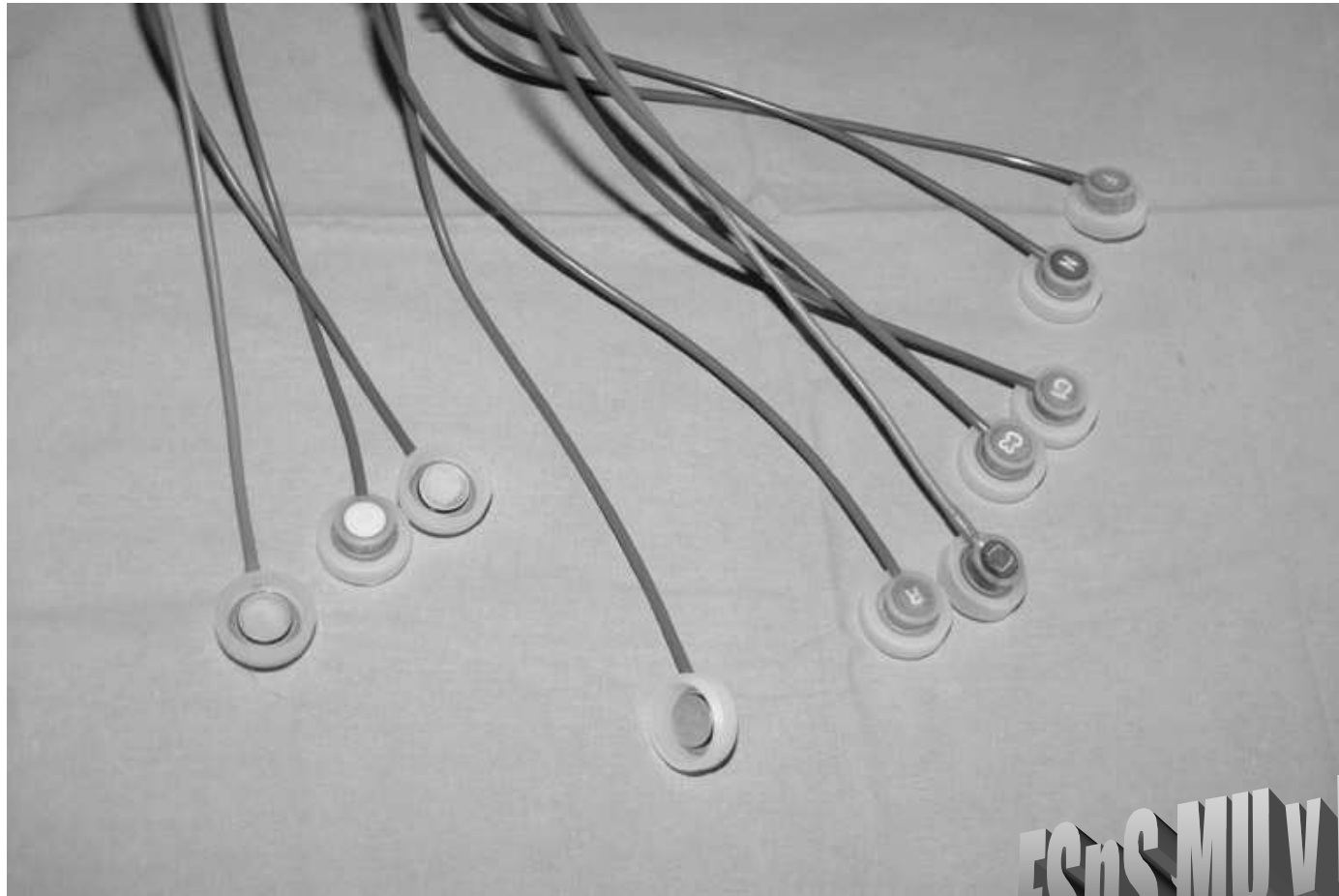
***Ergometrie je zátěžový test s přesně dávkovaným nebo měřeným výkonem (za použití ergometru).***



**FSpS MU v Brně**

# SNÍMÁNÍ

## system vakuových podtlakových elektrod



FSpS MU v Brně





ESDS MU v Brně

# Hodnocení zátěžového testu.

***klinická odpověď-příznaky***

***hemodynamická odpověď-krevní tlak a srdeční frekvence(kardiovaskulární hodnoty)***

***ekg změny***

***tělesná výkonnost***

**ISpS MU v Brně**

**Klinická odpověď:**

*reakce nemocného subjektivní obtíže  
/dušnost, bolesti, slabost, příznaky bránící v pokračování zátěže./*

- ◆ *Typická angina pectoris.....3 znaky*  
*...svíravá bolest na hrudi*  
*...je vyvolána námahou nebo stresem*  
*...rychlá úleva v klidu nebo po aplikaci nitroglycerinu*
- ◆ *Atypická nebo možná AP.....2 znaky*
- ◆ *Nespecifická nebo neanginózní bolest.....1 znak/*

# KARDIOVASKULÁRNÍ HODNOTY

## SRDEČNÍ FREKVENCE

U zdravých stoupá se vzrůstajícím fyzickým zatížením lineárně až do oblasti submaximálních intenzit; od úrovně 75-85% maxima dochází k pozvolnému zpomalení vzestupu až na úroveň maximální srdeční frekvence; na této úrovni je možno setrvat ještě několik minut.

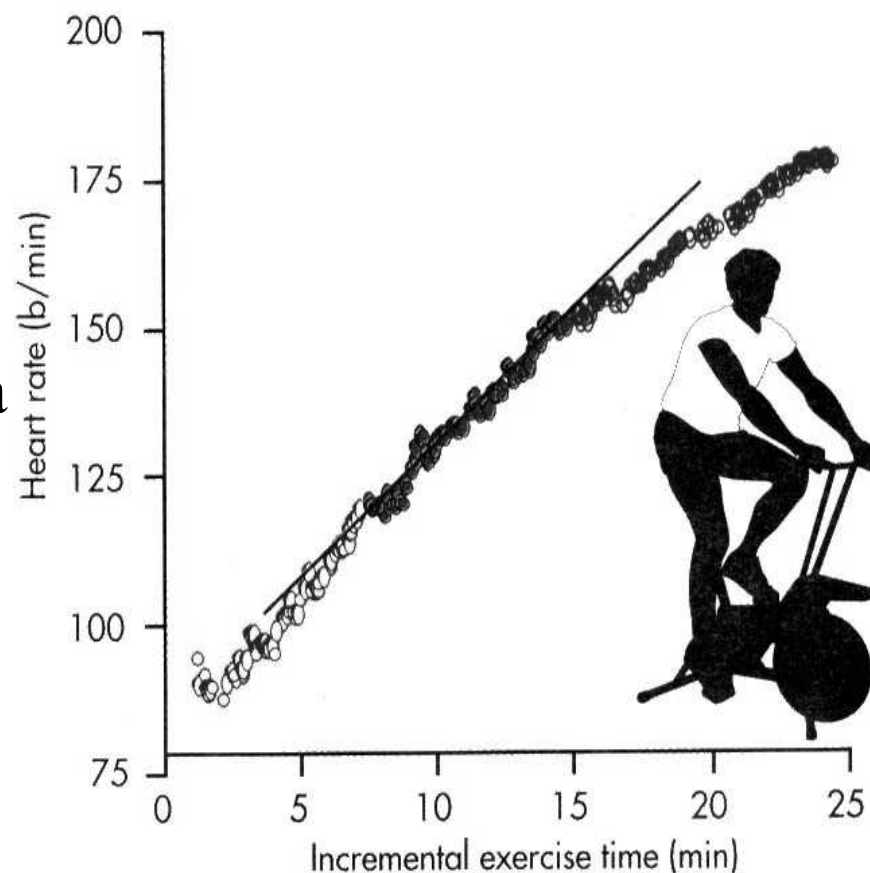
Vzrůst srdeční frekvence je provázen vzestupem spotřeby kyslíku i minutového srdečního objemu.

Submaximální hodnoty 75-85% SFmax určuje se podle vzorce:  $200 - \text{věk}$

Maximální hodnoty SFmax určuje se podle vzorce  $220 - \text{věk}$ :

**Tréninková (rehabilitační) tepová frekvence:**

**60 - 70 % hodnoty tolerované pacientem /SF sl/. 180 - věk**



# KREVŇÍ TLAK

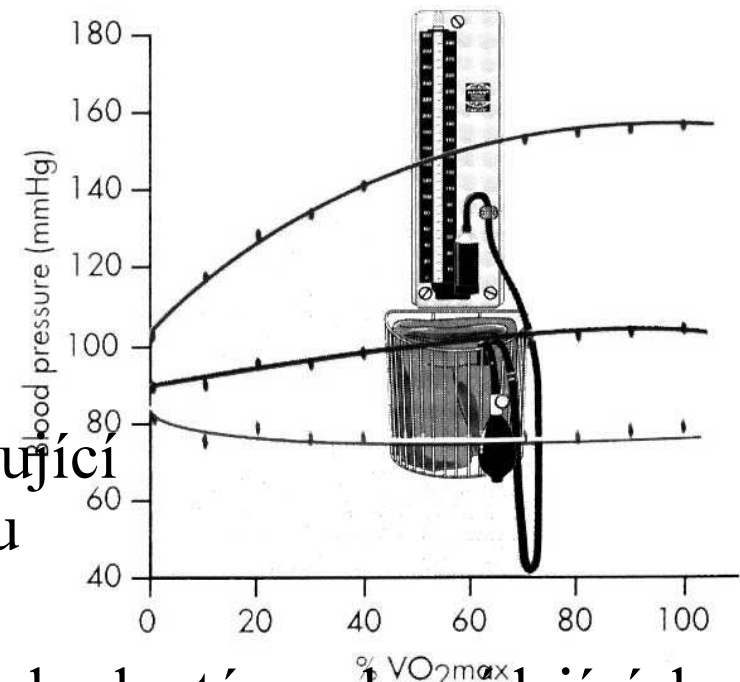
Reakce při zátěži:

- normotonická-při stupňovaném zatížení vzrůstá STK fyziologicky bez výrazných odchylek od referenčních hodnot do <200 mmHg

- hypertonická- patologická odezva převyšující referenční hodnoty pro příslušnou intenzitu stupňovaného zatížení.

- hypotonická - snižená oproti referenčním hodnotám odpovídajících příslušné intenzitě zátěže, objevuje se u osob se sníženou koronární rezervou

- zpomalený pokles STK v zotavení se hodnotí v 1. a 3. minutě po ukončení zátěže, může být známkou ICHS.



## PRODUKT FREKVENCE - TLAK- (RPP)

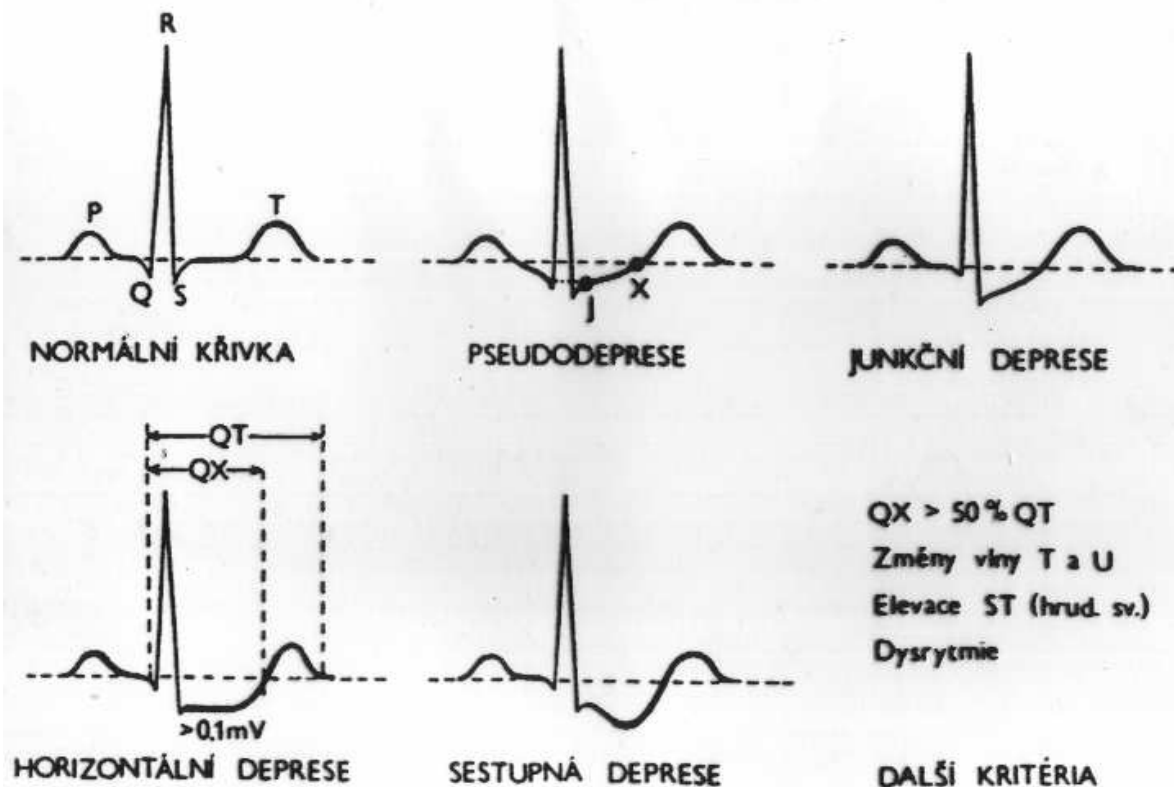
Nepřímý ukazatel spotřeby kyslíku v myokardu:  $SF \cdot STK / 100$

Při stejné zátěži je index menší u trénovaných osob.

I nemocní by měli dosáhnout nejméně 200 - pod touto hodnotou je omezená kardiální výkonnost; hodnoty vyšší než 300 znamenají přetížení cirkulace

# Hodnocení zátěžového testu

## Elektrokardiografické změny



Kritéria možných ischemických změn myokardu

ESUS MU v Brně

# Hodnocení zátěžového testu

## Hodnocení tělesné výkonnosti

- ◆ **Tělesná výkonnost:** *Schopnost nemocného podat určitý výkon, tedy vykonat práci za určitý čas.*

*Vyjádření v absolutních hodnotách:* **W**  
*v relativních hodnotách:* **W/kg**  
*v násobcích klidového příjmu kyslíku-  
metabolických ekvivalentech* **MET**  
*(příjem kyslíku v klidu za bazálních podmínek)*  
**=3,5 ml/kg/min**

- ◆ **Maximální příjem kyslíku** **VO<sub>2</sub> max**  
*Maximální množství kyslíku které může vyšetřovaná osoba dopravit do organismu za podmínek dynamické zátěže a které se i přes pokračující zátěž již dále nezvyšuje.*

**Test W170** je stanovení výkonu, který je testovaná osoba schopna provádět při srdeční frekvenci 170 za minutu (na bicyklovém ergometru) [W]; pro interindividuální hodnocení je vhodné výkon přepočítat na kg hmotnosti [W/kg]; hodnoty nepřímo ukazují na míru adaptace především kardiovaskulárního systému na vytrvalostní výkon

### Validita

- platnost vyšetřovacího postupu pro poznání onemocnění - vhodnost testu.

### Senzitivita

- procento vyšetřených s onemocněním a s pozitivním výsledkem testu.  
 $SP: / SP + FN /$

### Specificita

- procento vyšetřených bez onemocnění a s negativním výsledkem testu.  
 $SN: / SN + FP /$

### Pozitivní předpovědní /prediktivní/ hodnota

- procento správně pozitivních výsledků ze všech pozitivních výsledků.  
 $SP: / SP + FP /$

### Negativní předpovědní hodnota

- procento správně negativních výsledků ze všech výsledků negativních.  
 $SN: / SN + FN /$



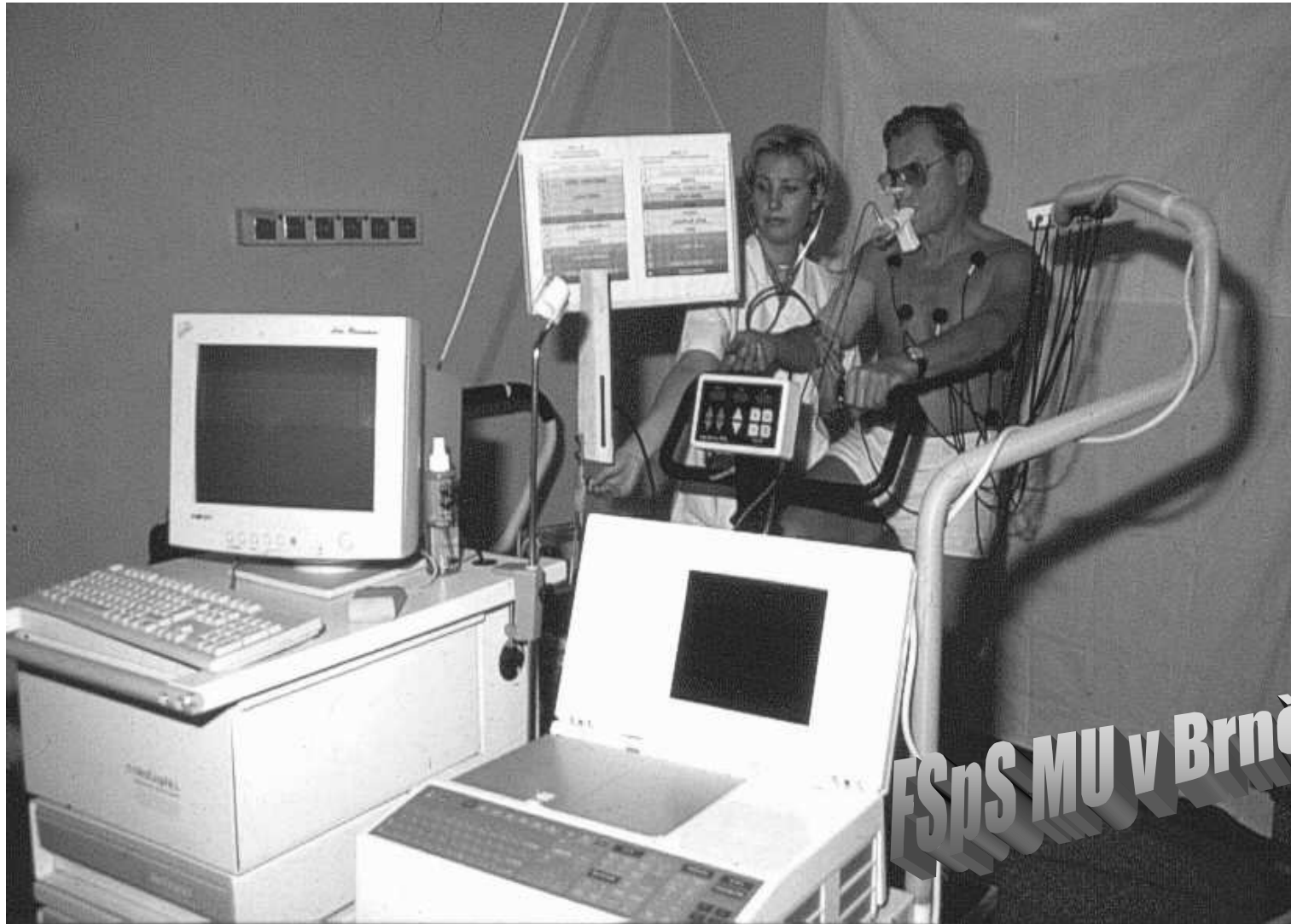
## ◆ AEROBNÍ TESTY

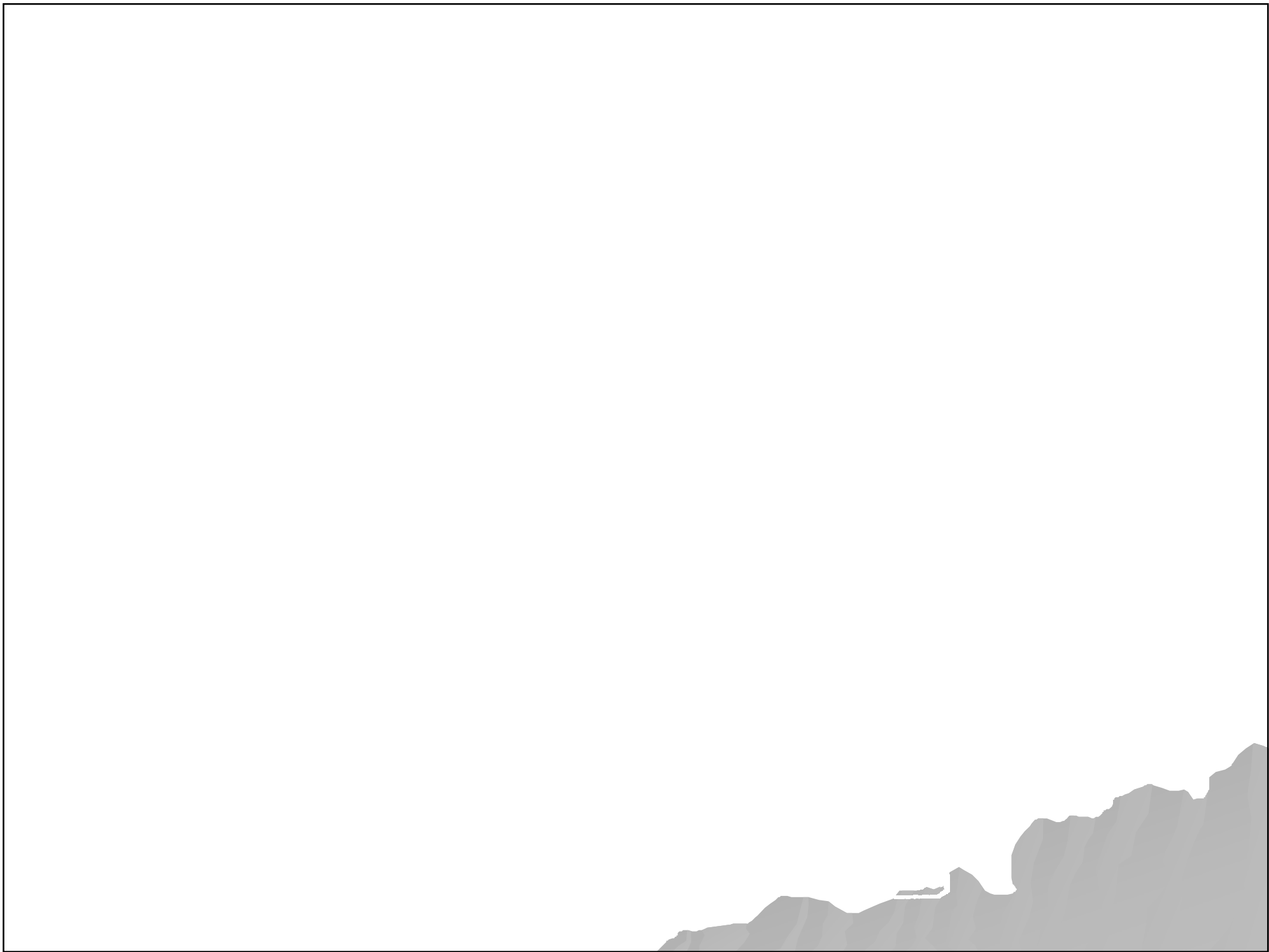
- ◆ jsou testy zaměřené na hodnocení schopnosti využít oxidativních (aerobních) energetických metabolických cest pro syntézu adenosintrifosfátu v pracujících svalech.
- ◆ **Maximální minutový příjem („spotřeba“ kyslíku)** (maximal aerobic power MAP) je nejvyšší dosažený minutový příjem kyslíku během maximální zátěže do vyčerpání (příjem se již nezvyšuje); pro posuzování schopnosti k vytrvalostnímu výkonu (přesun těla v prostoru) i pro interindividuální hodnocení je vhodnější jej přepočítat na kg hmotnosti ( $VO_{2max}/kg$ )
- ◆ **Kyslíkový poločas** je doba, za kterou dosáhne minutový příjem kyslíku polovinu své nejvyšší hodnoty v průběhu lehké až submaximální zátěže (pod úrovní anaerobního prahu); aerobně lépe disponovaní jedinci mají tuto dobu kratší

◆ Novotný 2003

ESTS MU v Brně

***Spiroergometrie je zátěžový test s přesně dávkovaným nebo měřeným výkonem a analýzou ventilovaného vzduchu.***





### Spirometry

	FVC	FRV1	FRV1/FVC	MVV
Actual				
↳ Pred				

### Exercise

	VO2/kg	RHR	HR	HCO3	pH	PaCO2	PaO2
Rest	4.0	0.85	53.0				
WR max	28.8	1.24	96.0				

		Anaerobic Threshold	Maximum VO2	Predicted Maximum
VO2	(mL/min)	1082.7	2157.7	1878.9
VO2	(mL/kg/min)	14.4	28.8	
METS		4.1	8.2	
Heart Rate	(beats/min)	70.0	96.0	151.0
O2 Pulse	(mL/beat)	15.5	22.5	
VE	(L/min)	27.8	98.7	124.3
Work	(watts)	60.0	140.0	128.0

### General

	Normal	Patient
Functional Capacity (VO2max/Pred VO2max)	>85%	115%
Anaerobic Threshold (VO2AT/Pred VO2max)	>40%	58%

### Respiratory

	Normal	Patient
Breathing Reserve (1-(VEmax/pred VEmax))	>30%	21%; -26L
Respiratory Rate (br/min; Rest to WRmax)	8 - 50	14 - 44
VT/FVC (Rest to WRmax)	.15 - .60	

### Ventilation/Perfusion

	Normal	Patient
VD/VT (Rest to WRmax)	.35 - <.25	0.32 - 0.09
P(a-ET)CO2 (torr; Rest to WRmax)	+3 - <0	
P(A-a)O2 (torr; Rest to WRmax)	<21	

### Cardiac

	Normal	Patient
Heart Rate Reserve(1-(HRmax/pred.HRmax))	<15%	36%
O2 Pulse (mL/beat; Rest to WRmax)		5.7 - 22.5
Blood Pressure (mmHg; Rest to WRmax)	<230/90	

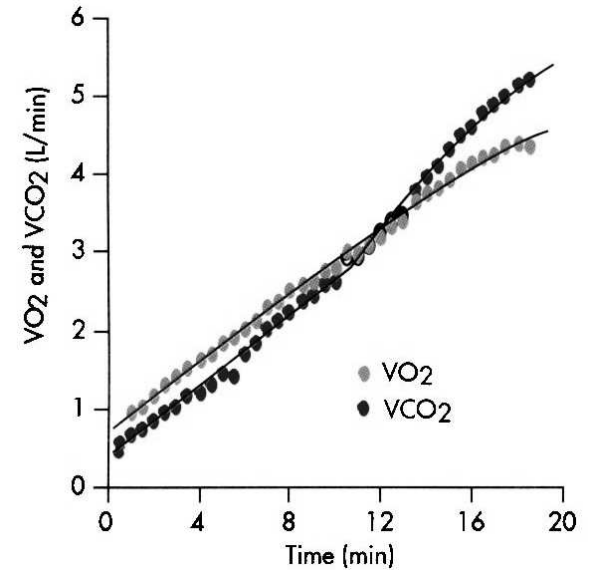
**FSIS MU v Brně**

# SPOTŘEBA KYSLÍKU $\dot{V}O_2$ [l/min]

*Množství kyslíku předané tkáním za časovou jednotku*

Ukazatel aerometabolických schopností organismu a výkonnosti transportního systému.

Udává se rovněž v jednotkách l/min/kg, tento parametr zohledňuje interindividuální rozdíly v hmotnosti těla.



# VÝDEJ OXIDU UHLIČITÉHO $\dot{V}CO_2$ [l/min]

Doplňková hodnota při neinvazivním určování anaerobního prahu a pro stanovení poměru respirační výměny R

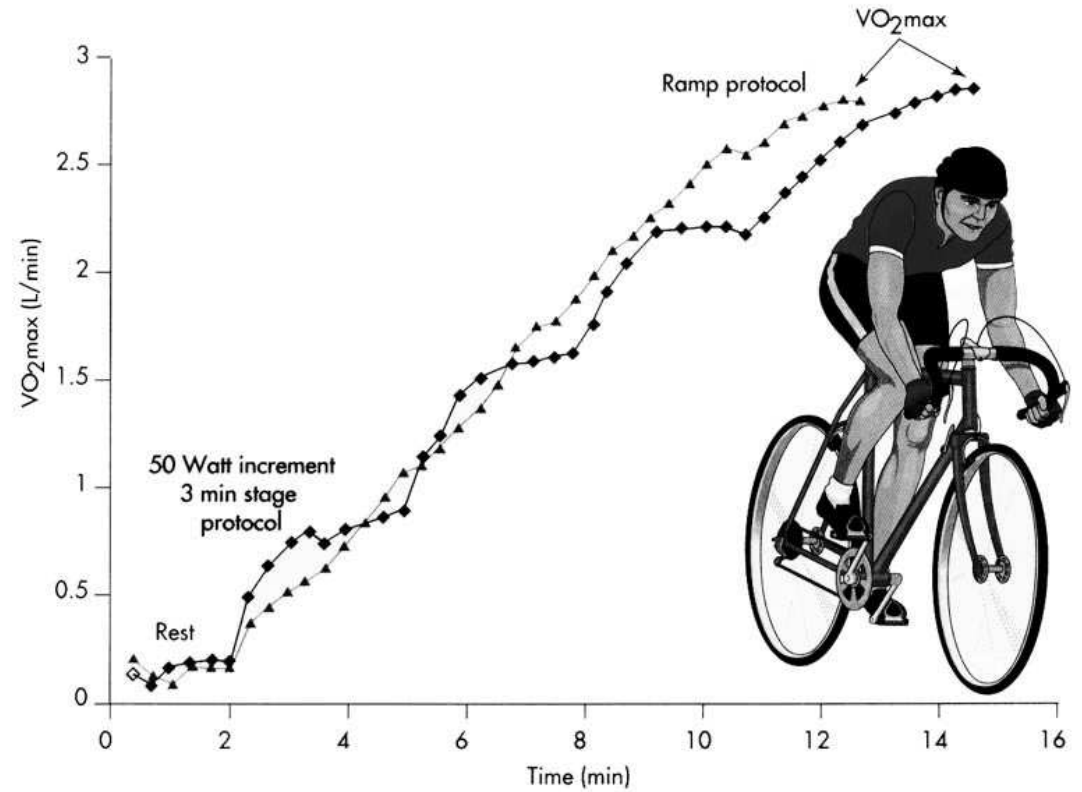
# MAXIMÁLNÍ SPOTŘEBA KYSLÍKU $\dot{V}O_{2max}$ (peak) [l/min] nebo [l/min/kg]

Důležitý funkční ukazatel zátěžového vyšetření - představuje kapacitu transportního systému.

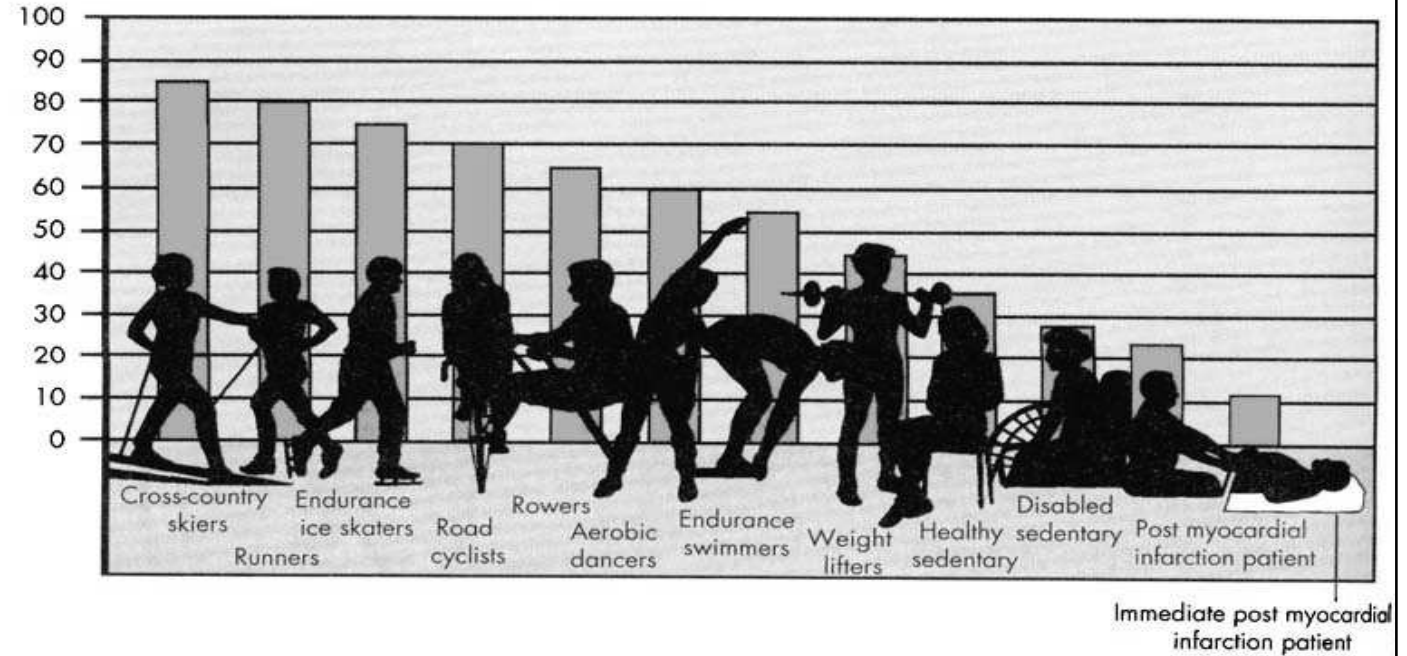
Nemocné osoby mají tento index podstatně nižší a ani nesplňují kritéria pro dosažení maxima.

lidé s chronickým  
onemocněním  
 $VO_2\text{max} < 20\text{ml/min/kg}$

velmi dobře trénovaní  
vrcholoví sportovci  
 $VO_2\text{max} > 80\text{ml/min/kg}$



$VO_2\text{max}$   
(ml/kg/min)



FSdS MU v Brně

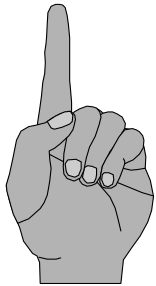
# Funkční snížení aerobní kapacity a aerobního prahu (modifikováno podle: Webera, K. T.)

Třída	Poškození	$\dot{V}O_2\text{max}$ (sl) (ml . min.kg <sup>-1</sup> )	ANP (ml . min <sup>-1</sup> kg <sup>-1</sup> )
A	nulové - nízké	> 20	> 14
B	mírné - střední	16-20	11-14
C	střední - těžké	10-15	8-10
D	těžké	6-9	5-7
E	velmi těžké	< 6	< 5

(Placheta ,1999)

ESUS MU v Brně

***Vrcholový příjem kyslíku patří mezi nejdůležitější nezávislé prognostické faktory u srdečních nemocí.***



***Snížení příjmu kyslíku na méně***

***než  $12 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$  představuje indikaci k transplantaci srdce.***

**ESUS MU V Brně**



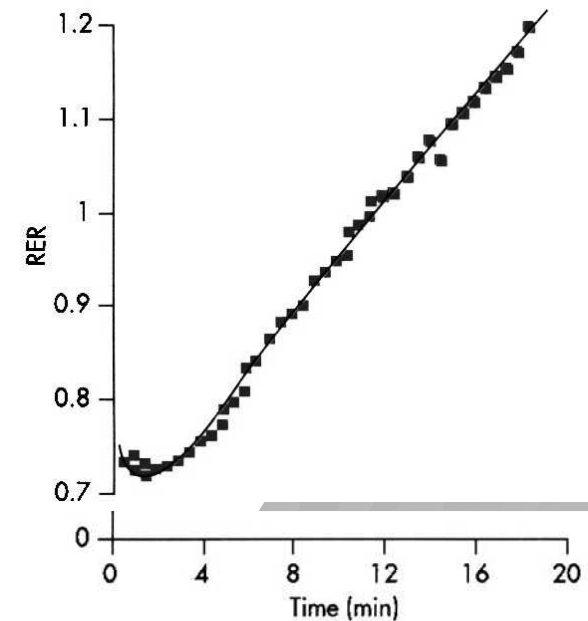
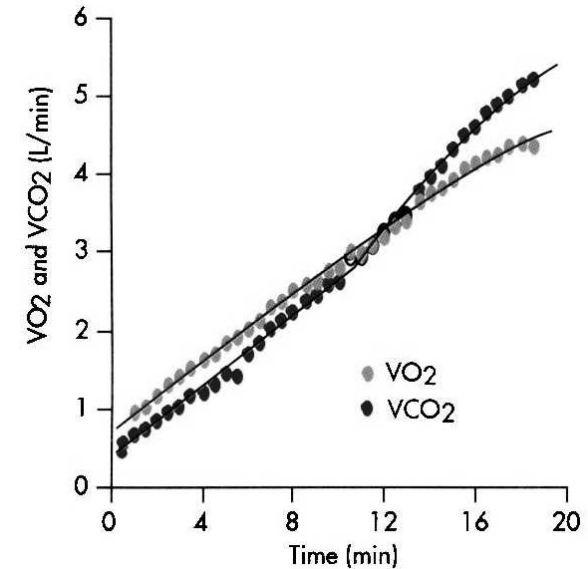
# TEPOVÝ KYSLÍK $\dot{V}O_2:SF$ [ml]

Množství kyslíku dodané tkáním jedním tepem  
ukazatel výkonnosti i ekonomiky práce  
transportního systému  
(čím vyšší, tím příznivější)

POMĚR RESPIRAČNÍ VÝMĚNY-  
RER

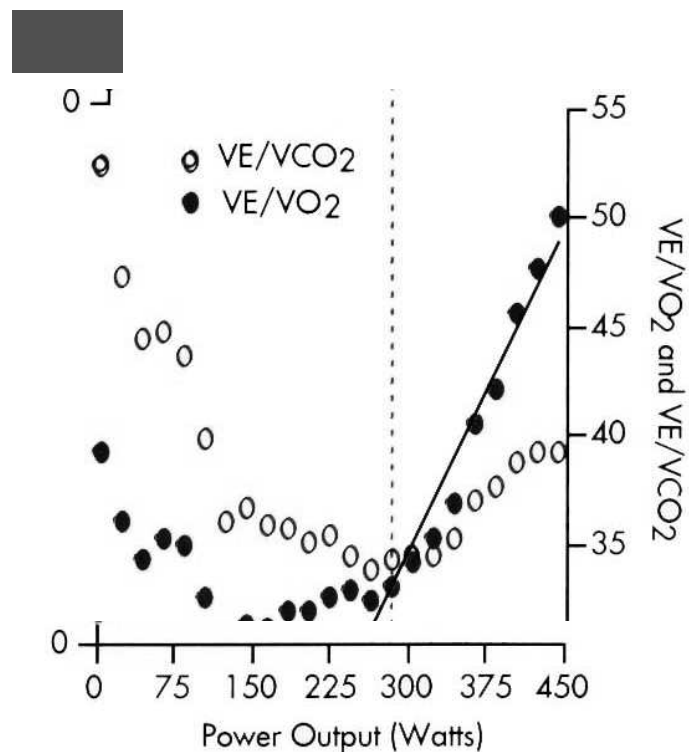
$$\frac{\dot{V}CO_2}{\dot{V}O_2}$$

Kritérium dosažení maximální metabolické  
úrovně  
informace o podílu metabolismu energetických  
ekvivalentů  
parametr pro neinvazivní určení anaerobního  
prahu



# VENTILAČNÍ EKVIVALENT $\dot{V}E_{O_2}$ [1]

Množství vzduchu v litrech proventilovaného plicemi, z něhož si organismus odebere 1 litr  $O_2$ .



Během stupňovaného zatížení nejprve mírně klesá, s dalším vzrůstem zátěže stoupá pozvolna, později strměji. Průběh má exponenciální charakter, místo počátku prudkého vzestupu odpovídá přibližně úrovni *anaerobního prahu*.

Hodnota je ukazatelem ekonomiky dýchání: zdatnější a zdraví mají při stejných zátěžích nižší výsledky, málo zdatní a nemocní reagují podstatně vyššími hodnotami.

# VENTILAČNÍ EKVIVALENT $VE_{CO_2}$ [1]

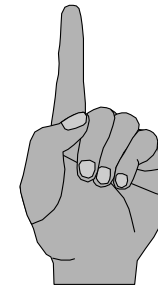
Množství vzduchu v litrech proventilovaného plicemi, z něhož organismus vyloučí 1 litr  $CO_2$ .

# ANAEROBNÍ PRÁH

## *metabolický přechod*

Určitý krátký časový úsek v průběhu stupňového zatížení, kdy je porušena rovnováha mezi tvorbou a odbouráváním především laktátu a dochází k nekompenzovanému vzestupu jeho koncentrace v krvi. Je to předěl mezi převážně aerobním a aerobně-anaerobním krytím energetických nároků organismu.

### STANOVENÍ:



*neinvazivní* - z ventilačně respiračních hodnot

*invazivní* - z hodnot exponenciálního vzrůstu laktátu nebo úbytku bází  
za použití grafických a matematických postupů

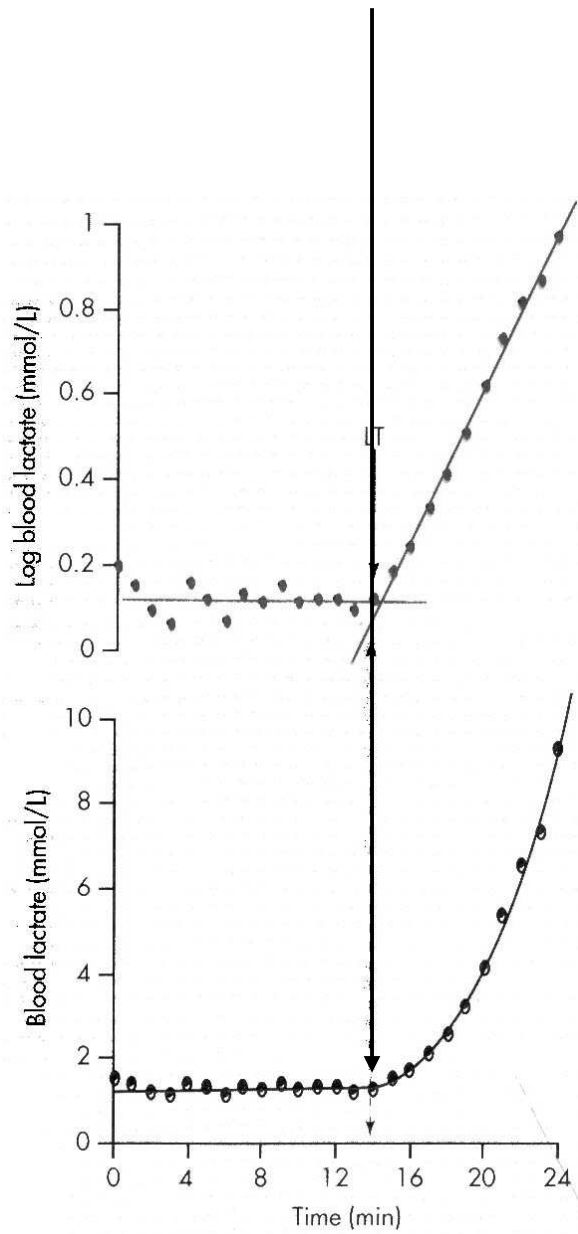
ESUS MUV Brně

# METABOLICKÁ ACIDÓZA:

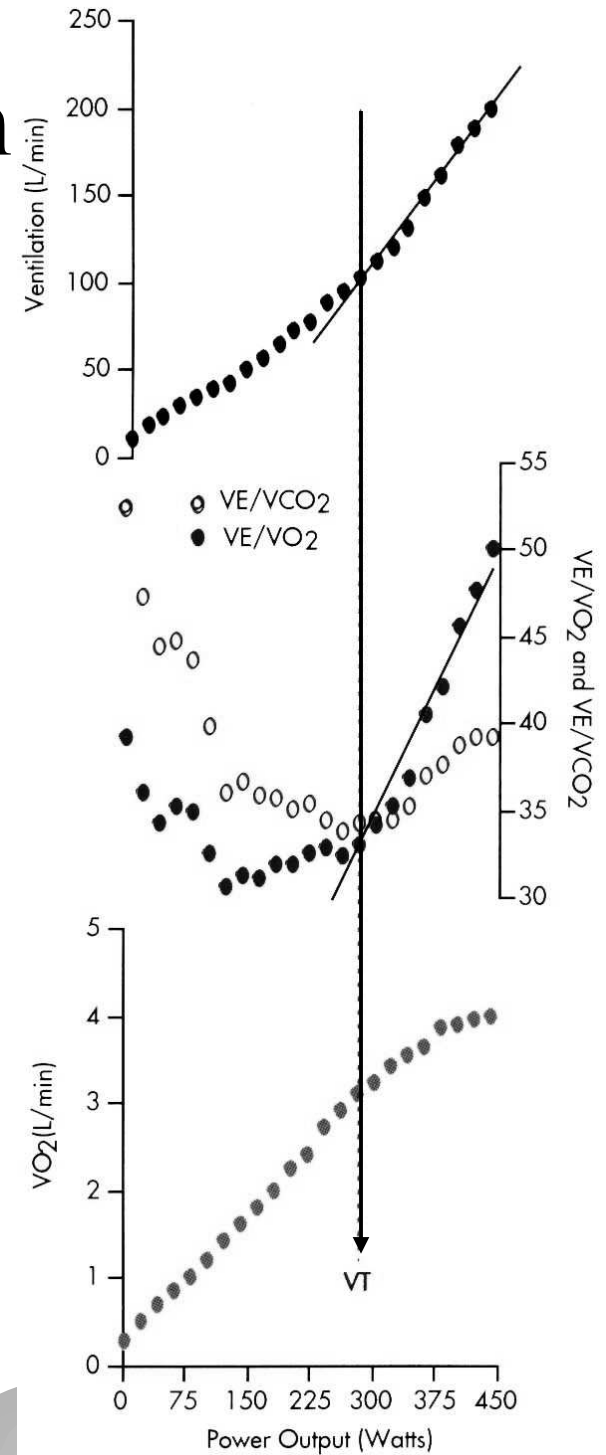
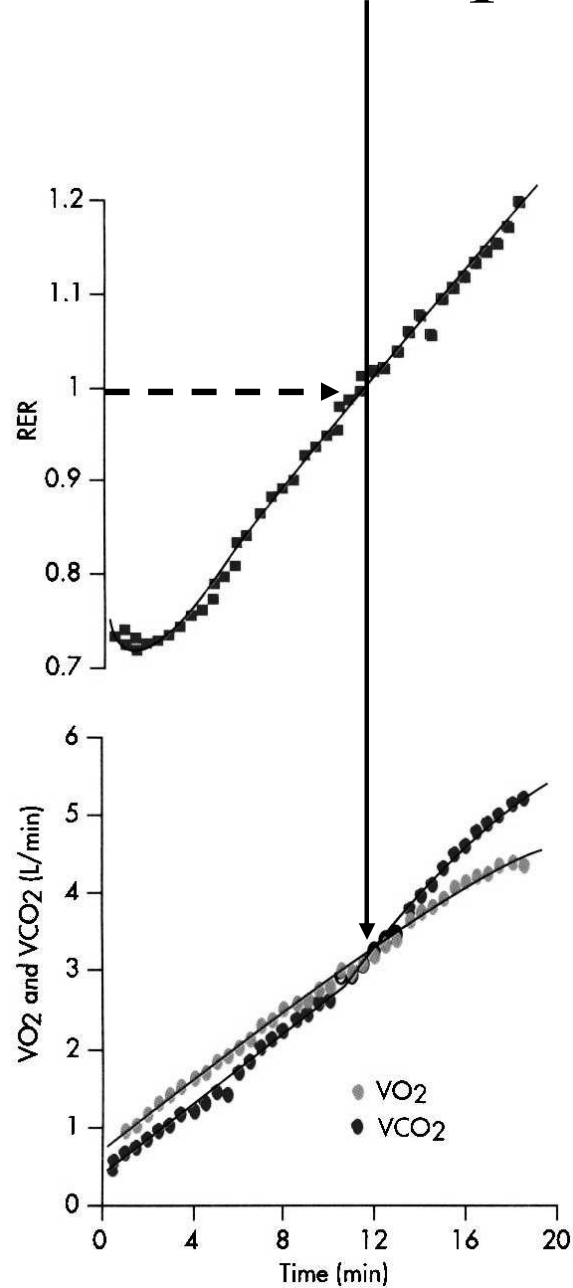


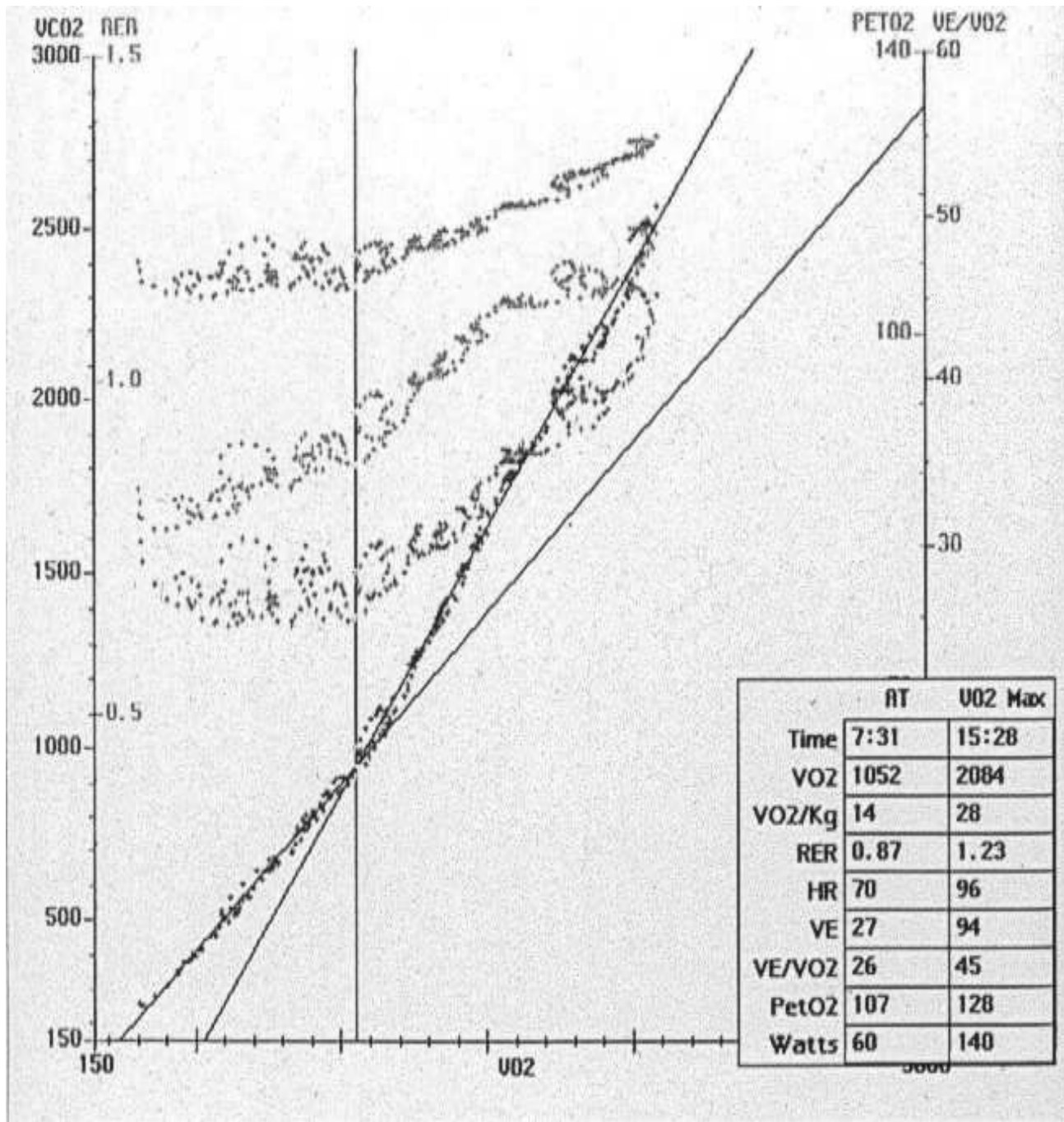
- ◆ Vzestup a kumulace krevního laktátu
- ◆ Pokles pH krve
- ◆ Hyperventilace
- ◆ Pokles bikarbonátu
- ◆ INVAZIVNÍ URČENÍ ANAEROBNÍHO PRAHU
- ◆ „laktátový“
- ◆ „-BE práh“

# Laktátový práh



# Ventilační práh





**FSÚS MU v Brně**

# FSIS MU v Brně

8

10 (min)

- ◆ **Testem mluvení**“ (test du parler – Croteau a kol., ) lze přibližně odhadnout a stanovit intenzitu blížíci se anaerobnímu prahu: Zátěžová zvyšující se ventilace začne bránit schopnosti souvislého hovoru. Taková intenzita zátěže by se snad mohla nazvat „práh mluvení“.

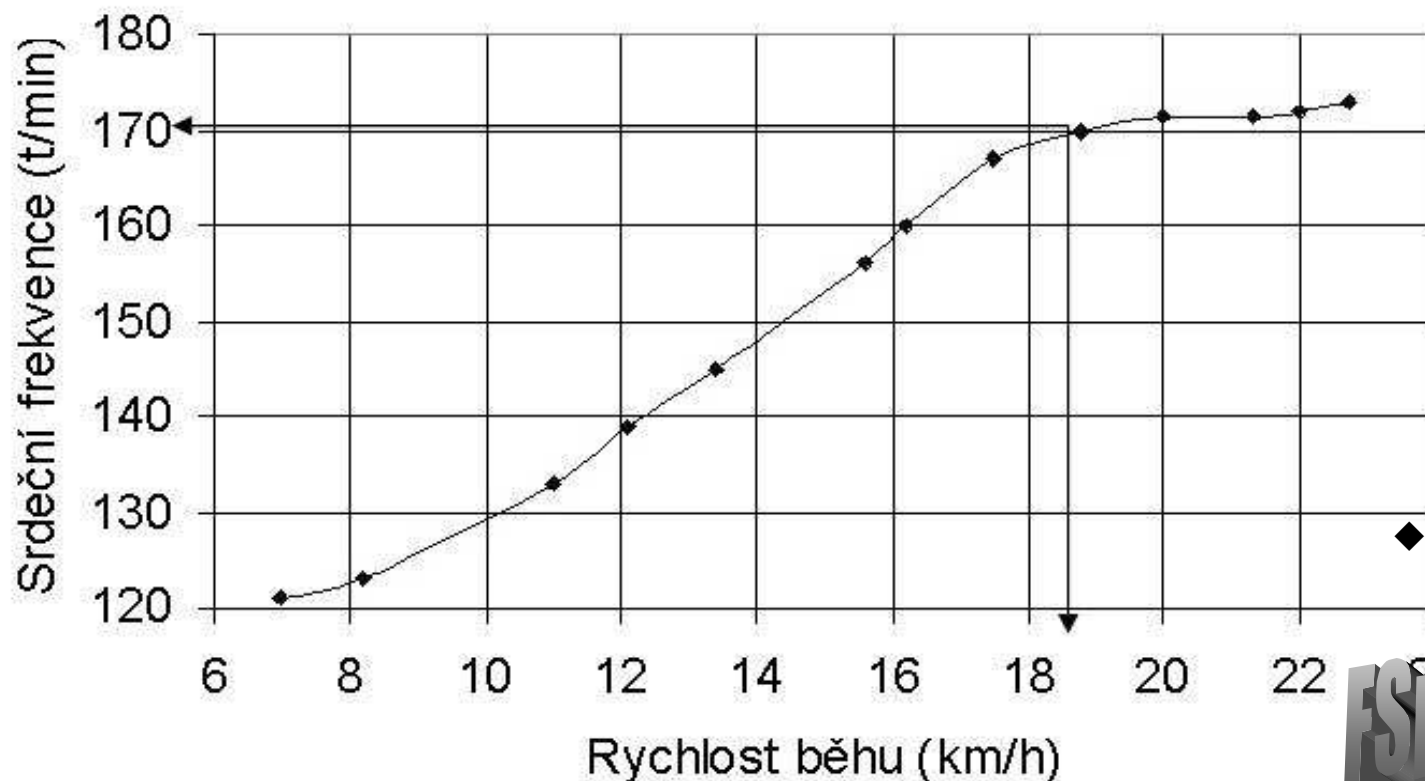
◆ Novotný 2003



## Cirkulační“ práh – „neinvazivní“:

Práh je stanoven jako intenzita zatížení (a odpovídající srdeční frekvence atd.) v momentu odklonu srdeční frekvence od přímky, která je proložena střední částí závislosti SF na intenzitě zatížení. Intenzita může být vyjádřena výkonem na ergometru (v laboratoři) nebo rychlostí pohybu (běh, plavání atd. – Conconi).

### Anaerobní práh (Conconiho test)



◆ Novotný 2003

FSIS MU v Brně

# BORGOVA ŠKÁLA SUBJEKTIVNÍHO VNÍMÁNÍ INTENZITY ZÁTĚŽE - RPE (rating of perceived exertion)

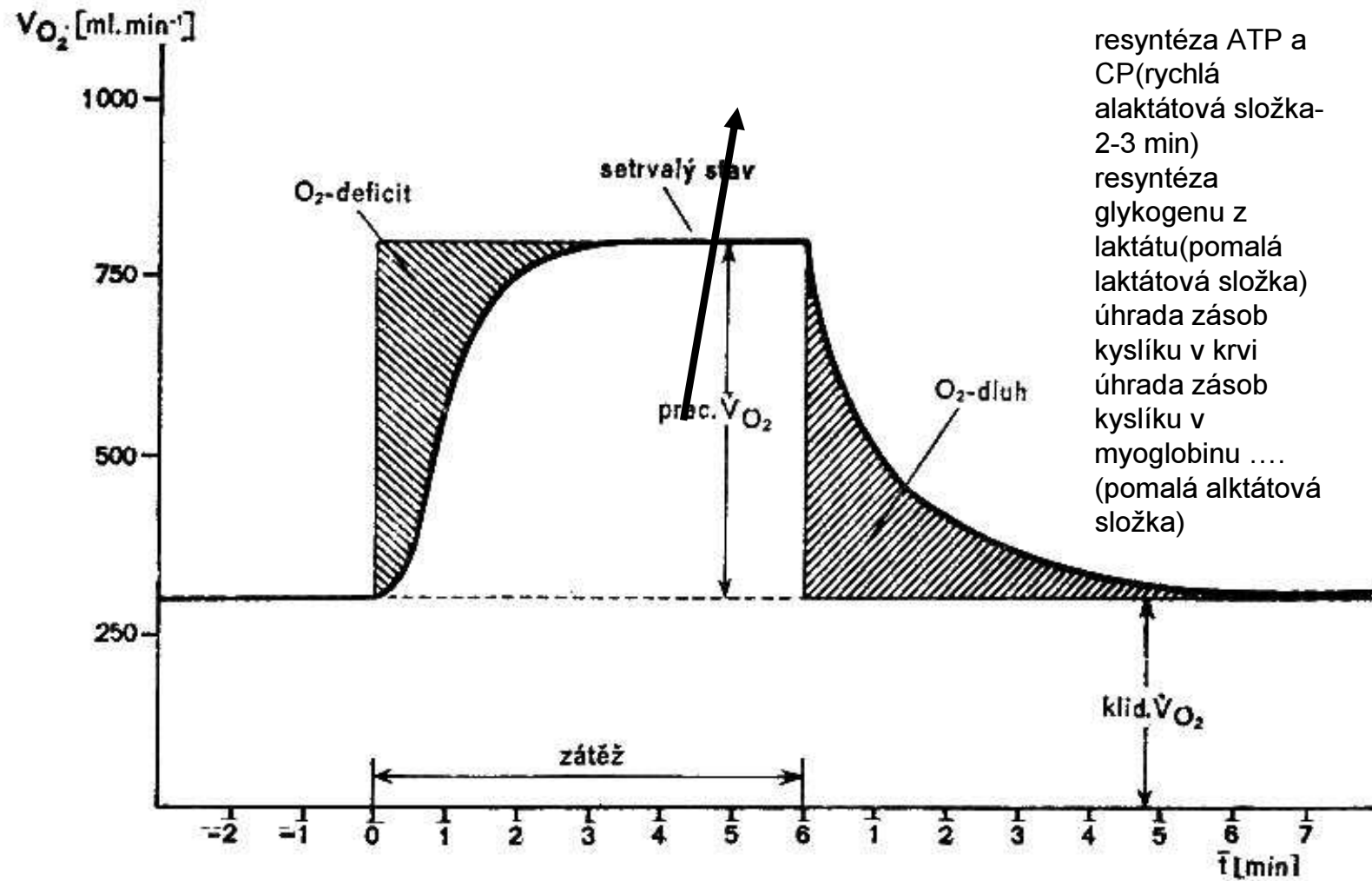
6		14	
7	velmi, velmi lehká	15	namáhavá
8		16	
9	velmi lehká	17	velmi namáhavá
10		18	
11	lehká	19	
12		20	velmi, velmi namáhavá
13	poněkud namáhavá		

# Borgova škála subjektivního hodnocení dušnosti, bolesti na hrudi a dolních končetin

0	vůbec žádná	6	
0,5	velmi, velmi slabá	7	velmi silná (těžká)
1	velmi slabá	8	
2	lehká	9	
3	střední	10	velmi, velmi silná
4	poněkud silná (těžká)	*	maximální
5	silná (těžká)		

# ANAEROBNÍ TESTY

- ◆ jsou testy zaměřené na hodnocení schopnosti využít neoxidativních (anaerobních) energetických metabolických cest pro syntézu adenosintrifosfátu v pracujících svalech.
- ◆ **Maximální kyslíkový deficit** (maximal level of oxygen deficit) je teoretické množství kyslíku, které chybí (v průběhu maximální kontinuální zátěže do vyčerpání) do úrovně maximálního příjmu kyslíku [l]
- ◆ **Maximální kyslíkový dluh** (oxygen debt), maximální zotavovací kyslík je množství kyslíku, které převyšuje klidový příjem kyslíku (po skončení maximální zátěže do vyčerpání) [l]
- ◆ **Koncentrace laktátu v krvi** nejvyšší koncentrace laktátu po skončení maximální zátěže do vyčerpání (většinou v průběhu 3. minuty zotavení) [mmol/l]
- ◆ **Úbytek bazí v krvi** (base excess) úbytek bazí v krvi je odrazem jejich spotřeby na kompenzaci zátěžové metabolické acidózy (především v důsledku kumulace laktátu) a těsně koreluje s koncentracemi laktátu v krvi; je vyjádřen záporným číslem přebytku bazí [mmol/l]



## ◆ **Valsalvův manévr**

Kombinovaná zátěž při Valsalvově manévru nachází výraznou kardiovaskulární odezvu. Test má význam v diagnostice kardiogenních a neurogenních poruch srdečního rytmu, které se pod vlivem této zátěže mohou objevit nebo prohloubit. U pacientů s kardiomyopatií nebo srdeční autonomní neuropatií bývá zjišťováno snížení difference R-R intervalů při usilovném výdechu a následné zotavné fázi. Výhodou je jednoduchost a dostupnost.

◆ Novotný 2003

## ◆ Ortostatický test (Schellong)

- ◆ Změna polohy člověka z lehu do stoje v gravitačním poli představuje ortostatickou zátěž, která vyvolá stagnaci krve v dolních končetinách a snížení žilního návratu a QS. U zdravého člověka se zvýší HR, dochází k periferní vasokonstrikci a vyrovnává se Q a TK Test má význam v diagnostice kolapsových stavů, stavů bezvědomí, ortostatických poruch regulace TK a HR. Jeho výhodou, proti testu na sklopném stole, je jeho jednoduchost a dostupnost.

◆ Novotný 2003

ESUS MUV BRNĚ

## ◆ “Handgrip”

Stisk ručního dynamometru určitou silou a po určitou dobu představuje fyzickou izometrickou a výraznou oběhovou zátěž. Hlavní výhodnou je jednoduchost, malá přístrojová náročnost a to, že se neprovádí dynamický pohyb – pacient nepohybuje tělem (možnost sledování ekg, katetrizace

◆ Novotný 2003



## ◆ **Chladový zátěžový test**

Chladem vzniklá periferní vasokonstrikce a zvýšení TK aktivuje baroreflex a kardioinhibiční (vagové) centrum prodloužené míchy. Zátěž může vyvolat anginu pectoris, bradykardii až srdeční zástavu. Proto lze test použít v diagnostice uvedených patologií.

◆ Novotný 2003

## ◆ **Wingateský test**

- ◆ (Wingate anaerobic test WAnT) během 30 sec šlapání maximální rychlostí na bicyklovém ergometru s konstantním odporem (individuálně nastaveným momentem síly) se nejvyšší dosažený výkon [W] a počítá celková práce [J].

◆ Novotný 2003

- ◆ **Margariův test** (Margaria step - running test - Margaria a kol, 1966) běží se co nejrychleji do 14 schodů, měří se čas běhu mezi 3. a 9. schodem, výkon se vypočítá  $P = m \cdot v / t$  (m - hmotnost těla, v - výška schodu, t - čas)
- ◆ **Kinderman-Schnabelův test** spočívá ve dvou zatíženích s odstupem 40 minut, první zatížení je 40 sekund, druhé do vyčerpání, porovnávají se časy a laktáty obou zatížení (Komadel, 1997; Skorocká a kol. 2003)

Novotný 2003

ESIS MU V BRNĚ