

**MUNI
MED**

Poddajnost cévního systému

- Folkow – 19.století – přidal fyzikální charakteristiky jednotlivým úsekům cévního systému
- Základní vztah: krevní tlak je funkcí SV a PO
- Poddajnost – compliance (změna objemu/změna tlaku)

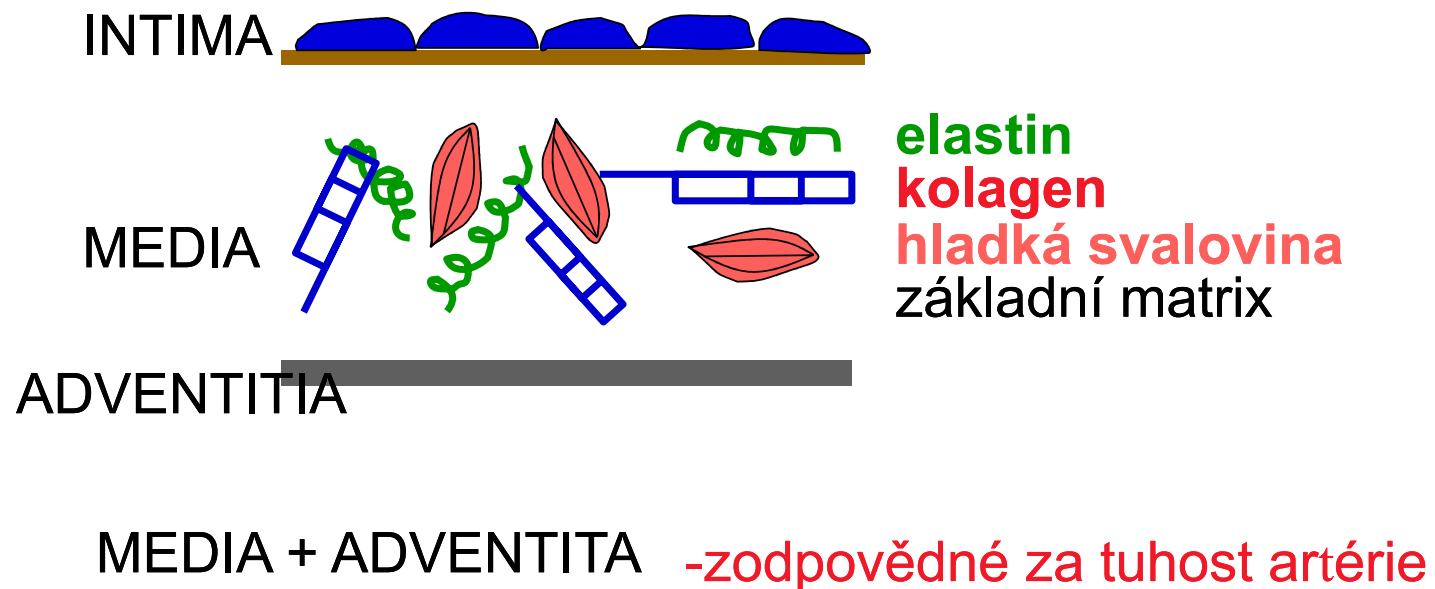
Využití v klinické diagnostice

- Neinvazivní vyšetřování tuhosti arteriálního systému se postupně dostává z pozice experimentů do klinické praxe
- Odstartováno díky novým doporučením Evropské hypertenzní společnosti v Miláně v r. 2007 – vyšetření rychlosti pulzové vlny bylo zařazeno mezi hlavní diagnostické metody i do procesu určování rizika vzniku kardiovaskulárního onemocnění + hodnocení efektu léčby esenciální hypertenze

- Tuhost tepen vyjadřuje poškození jejich stěn rizikovými faktory v dlouhém časovém úseku (roky), oproti tomu, že hodnoty krevního tlaku fyziologicky kolísají a nemusejí odrážet stupeň poškození cévní stěny
- Pomocí technik pro měření rychlosti pulzové vlny se dá vypočítat **centrální aortální tlak**, který je silnějším prognostickým parametrem než tlak měřený na pažní tepně a přesněji vyjadřuje zátěž srdce

- Změny v tuhosti arterií jsou klinicky nepostřehnutelné
- Metody jsou novodobým trendem pro stanovení rizika kardiovaskulárního onemocnění

Strukturální podstata elasticity tepen



Faktory ovlivňující arteriální tuhost

A. Vascular Structure

B. Stiffness Pathology

Tunica adventitia

- Fibroblasts
- Collagen-containing matrix
- External elastic lamina

Tunica adventitia

- Collagen deposition
- Increase in fibroblasts

Tunica media

- Smooth muscle cells
- Elastic fibers

Tunica media

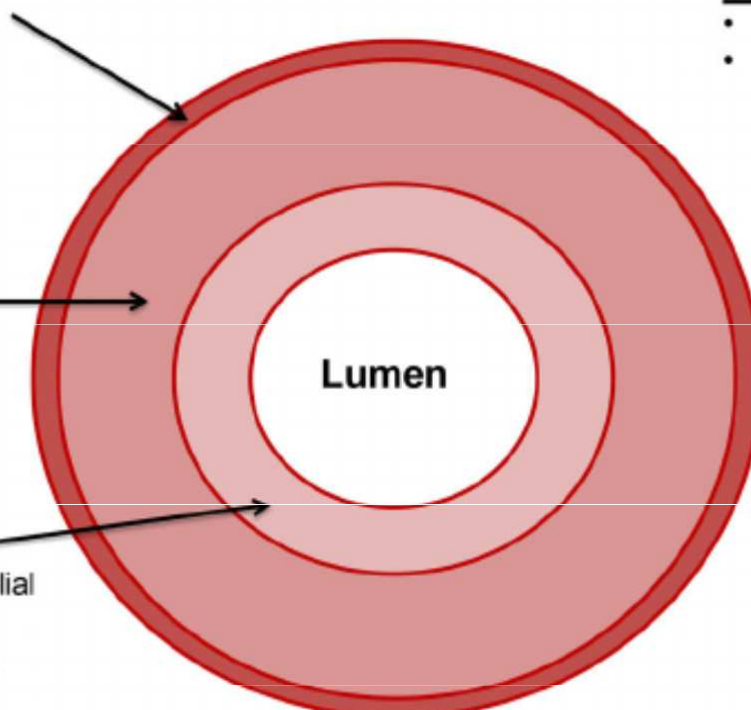
- Collagen deposition
- Elastin degradation
- RAAS Signaling
 - AT1R & MR
- VSMC stiffness
 - Increase in α -SMA & β 1-integrin

Tunica intima

- Monolayer of endothelial cells
- Internal elastic lamina

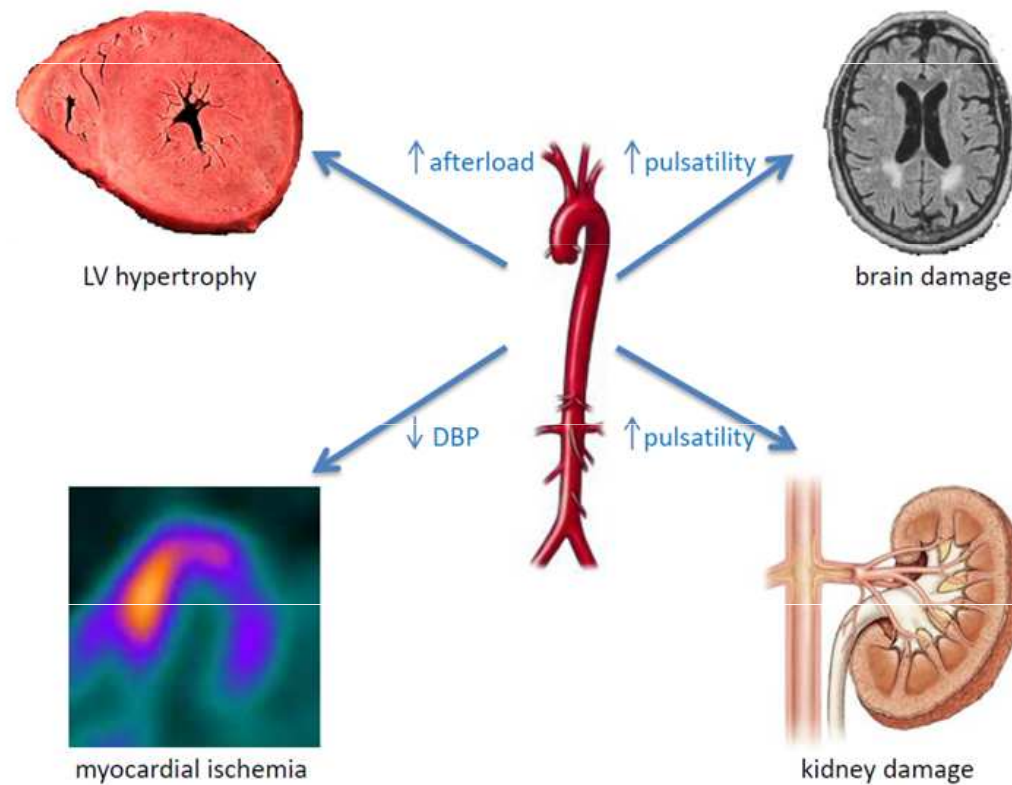
Tunica intima

- Endothelial dysfunction
- Oxidative stress

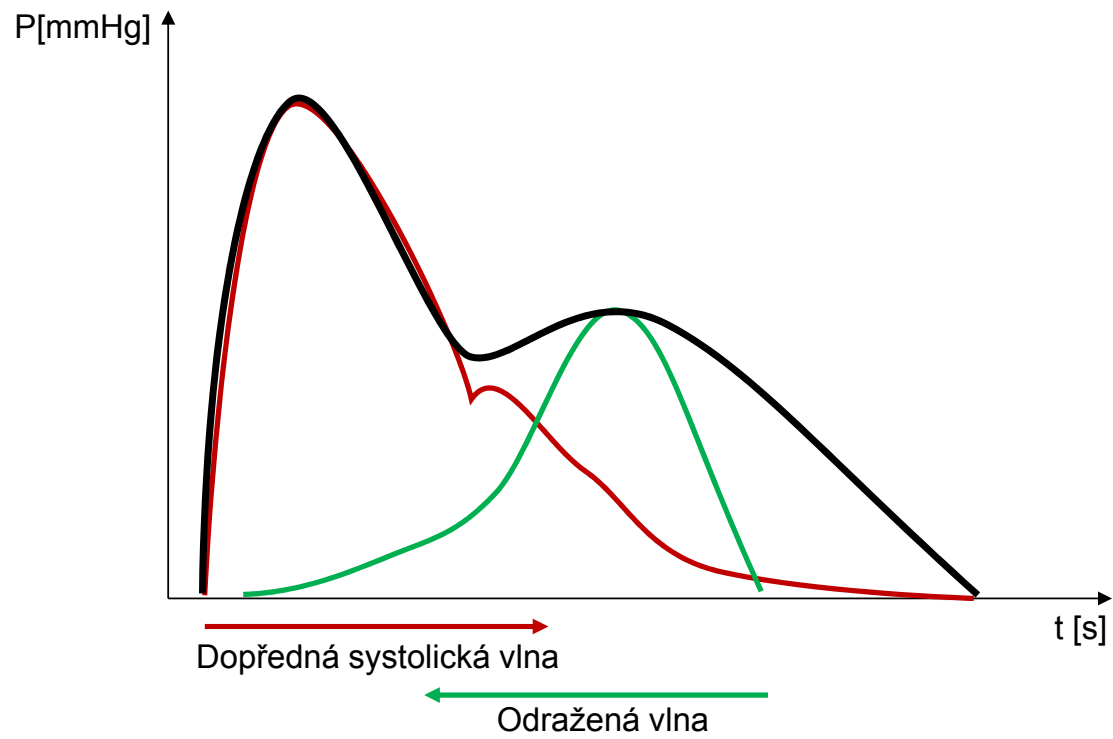


- Degradace elastinu
- Depozice kolagenu
- Endoteliální dysfunkce

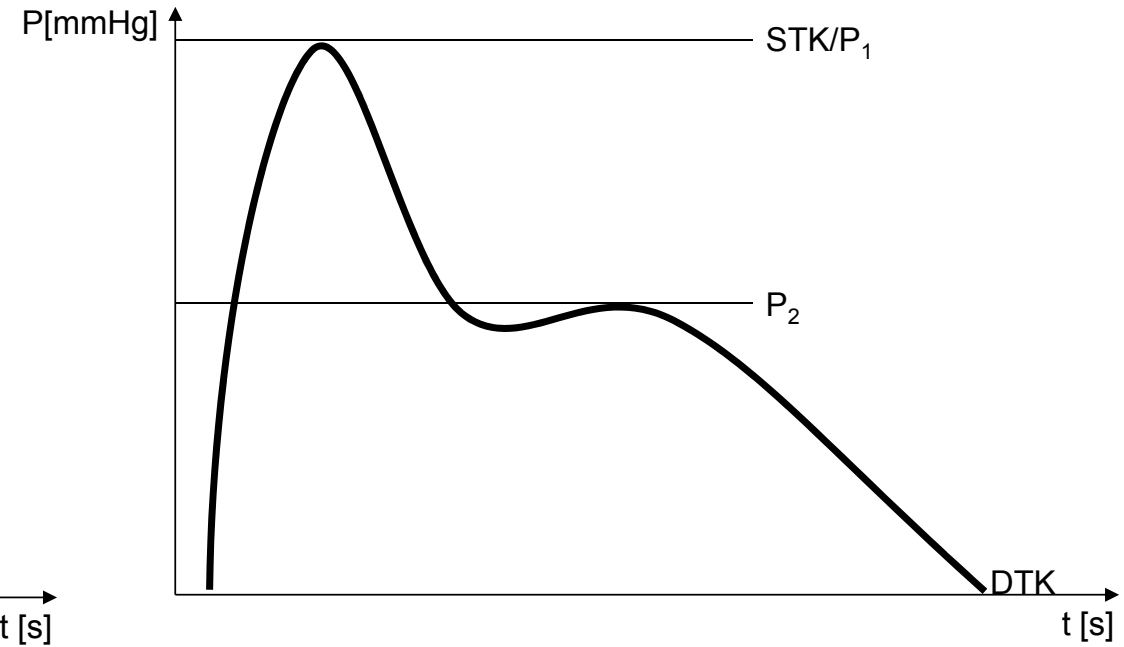
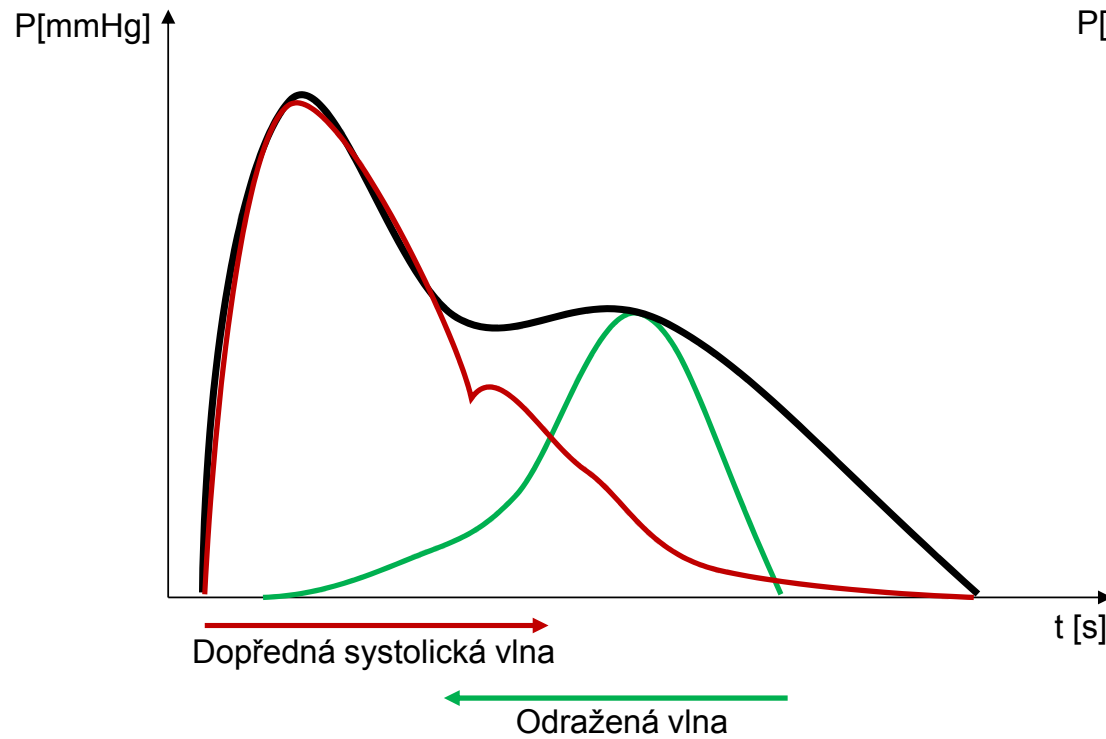
Důsledky zvýšené arteriální tuhosti



Pulzová vlna



Pulzová vlna



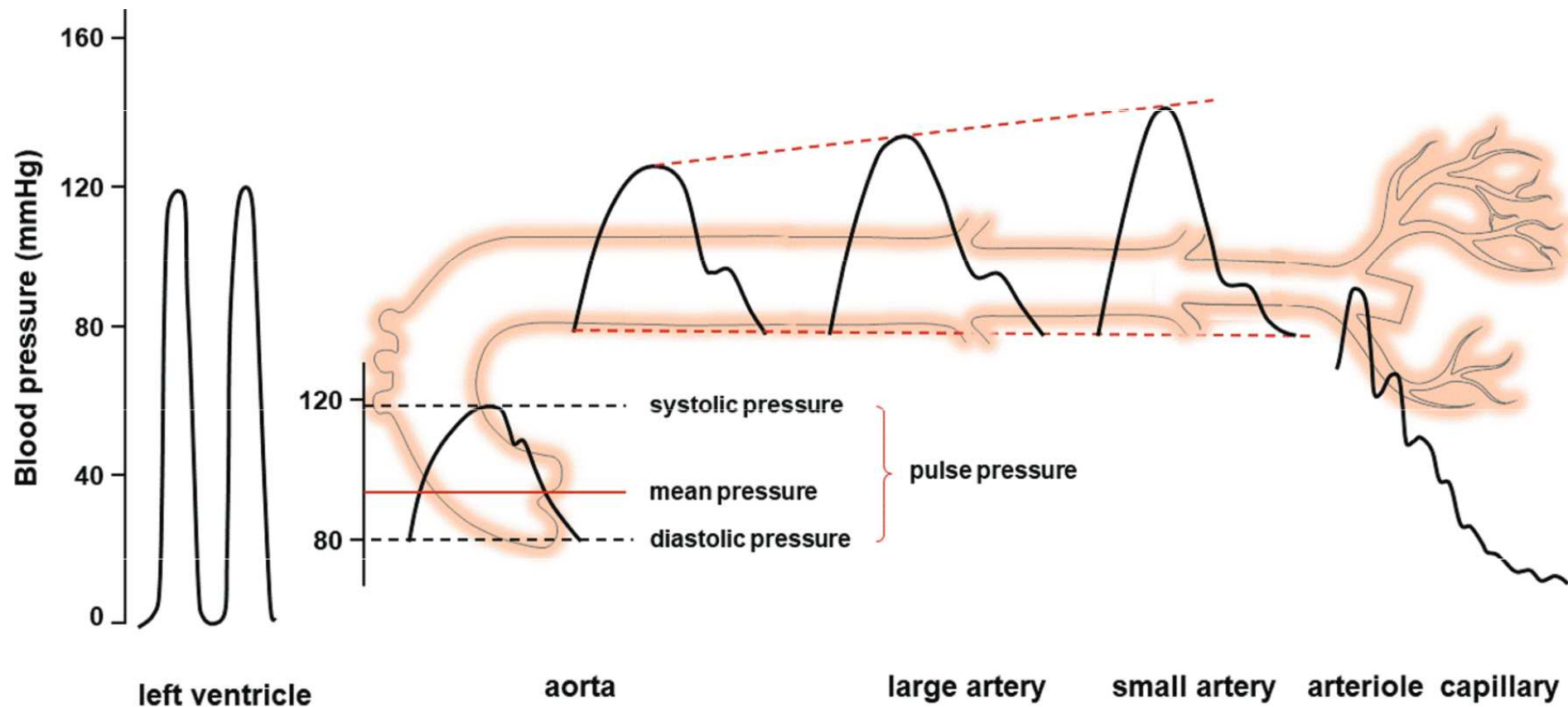
$$PTK = STK - DTK$$

$$\text{stř. TK} = DTK + 1/3PTK$$

$$AP = P_2 - P_1$$

- Odražená vlna zvyšuje = **augmentuje** krevní tlak v aortě
- Fyziologicky: u mladých lidí se odražená vlna projeví hlavně na diastolickém tlaku, který zvyšuje – a tak přispívá k lepšímu plnění koronárního řečiště
- U starších lidí – tepny tužší a periferní odpor vyšší, se odražená vlna dostává do aorty dříve, ještě v čase systoly a chybí v diastole
 - proto mají vysoký systolický tlak a nízký tlak diastolický –
izolovaná systolická hypertenze

Pulzová vlna v různých cévních segmentech



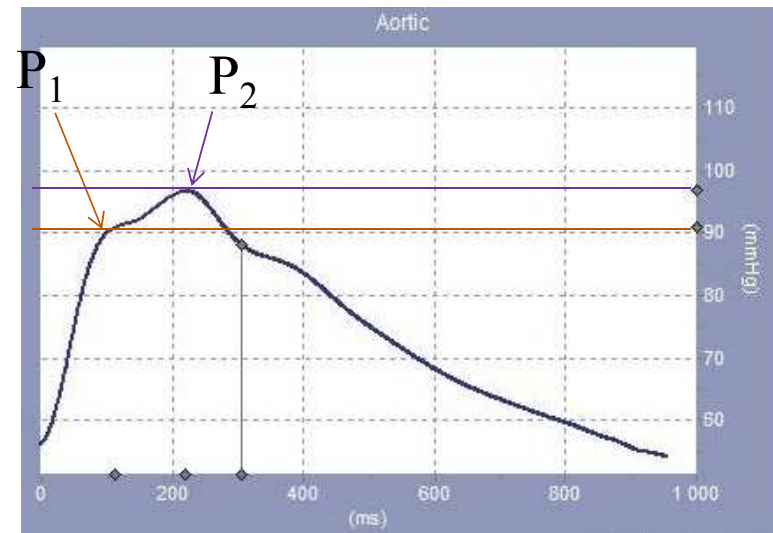
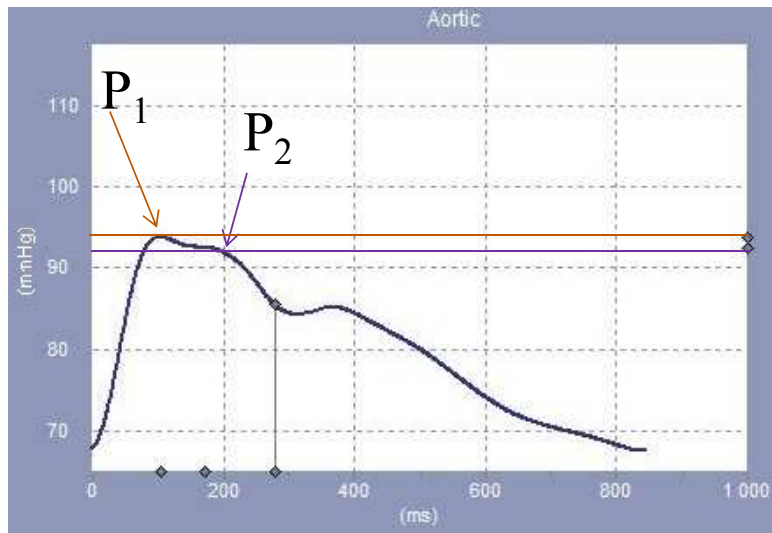
Amplifikační fenomén – systolický a pulzový tlak jsou fyziologicky na periférii vyšší

Pohlavní rozdíly v mechanismech zvýšení arteriální tuhosti

	Males	Females
Mechanism	Relevant pathways	
ECM alterations	↑ Collagen ↓ Elastin	↑ Collagen
VSMC stiffening	↑ β1-integrin ↑ Rho kinase	Unknown
Oxidative stress	↑ Superoxide ↑ Mitochondrial-derived ROS ↑ NADPH-oxidase	↑ Superoxide ↑ eNOS uncoupling via ↑ BH(4) reductions
Inflammation	↑ NF-κB ↑ T-cell activation	↑ NF-κB
RAAS signalling	↑ SMC-MR ↑ AT1R activation	↑ EC-MR ↑ ENaC

ECM - extracellular matrix; VSMC - vascular smooth muscle cell; eNOS - endothelial NOS; NADPH - NAD phosphate oxidase; BH(4) - tetrahydrobiopterin; SMC-MR - smooth muscle cell mineralocorticoid receptor; AT1R - angiotensin II type 1 receptor; EC-MR - endothelial cell mineralocorticoid receptor; ENaC - epithelial sodium channel.

Hodnocení pulzové vlny



P1 odpovídá tlaku maximálního systolického toku a je obvykle stanoven při první vlnce tlakové křivky.

P2 odpovídá maximu odražené vlny a je obvykle stanoven jako maximum tlakové křivky za první vlnkou.

Hodnocení pulzové vlny

Augmentační tlak (AP)

$$AP = P_2 - P_1$$

$P_2 > P_1$ – pozitivní AP

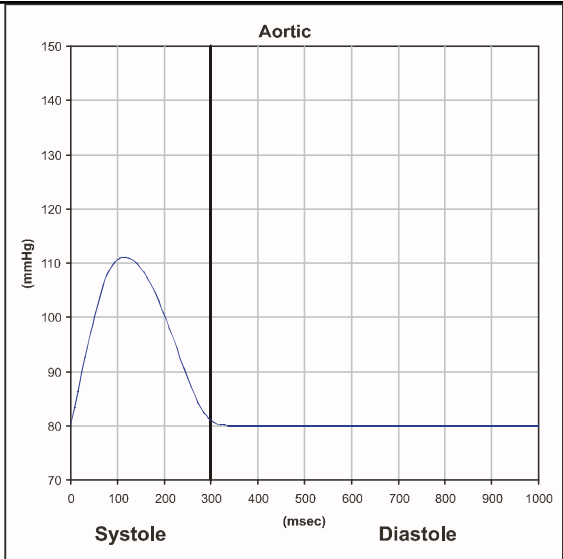
$P_2 < P_1$ – negativní AP

Augmentační index (AIx)

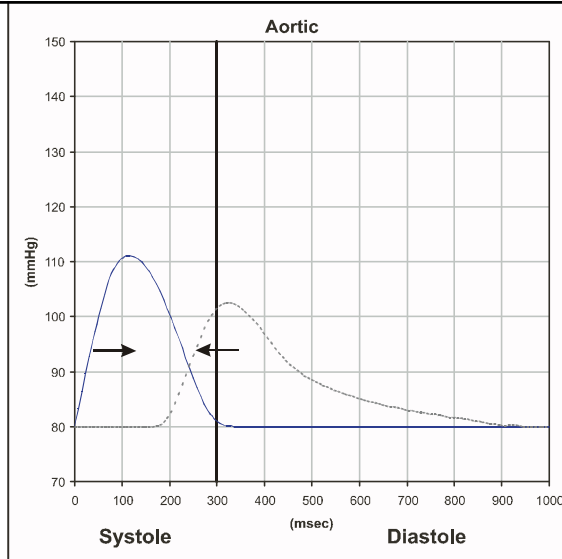
$$AIx = \frac{AP}{PP}$$

AIx je kombinované měření velikosti odražené vlny a tuhosti tepen, která ovlivňuje časování odražené vlny.

Vysoké hodnoty AIx naznačují zvýšený odraz vln z periferie a brzký návrat odražené vlny jako výsledek **zvýšené rychlosti pulzové vlny**

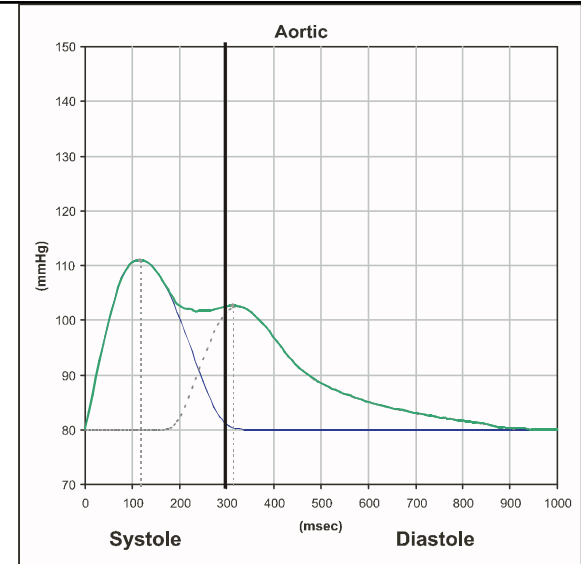


- Kdyby byla aorta dlouhou neuzavřenou trubicí poskytující jednoduchý odpor toku (neexistuje odraz vlny) pak:
- Tlaková křivka u kořenu aorty by ukazovala křivku s jediným vrcholem pro každou kontrakci.

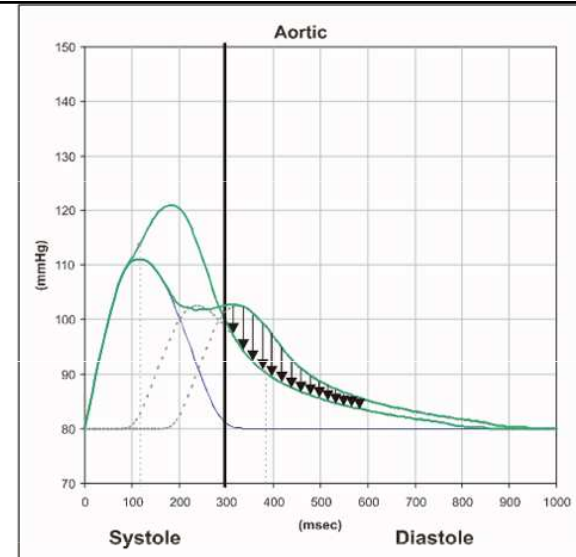
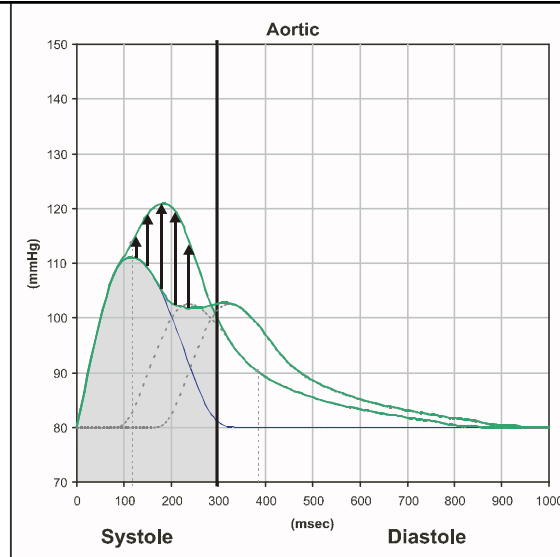
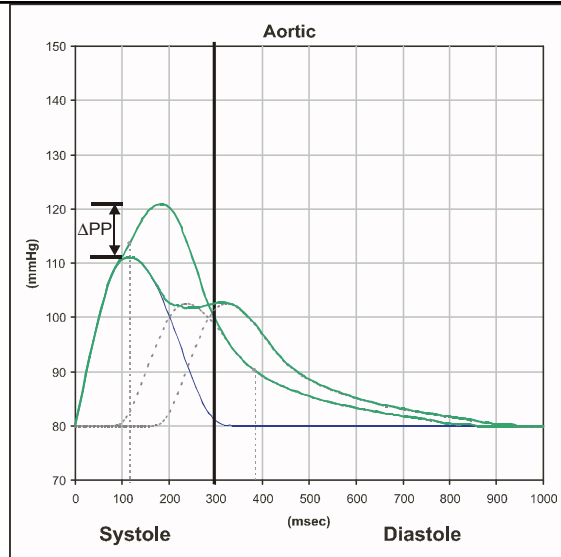


Pokud však máme síť tepen s bifurkacemi, pak ... primární vlna cestující po systému bude vytvářet **odražené vlny od každé bifurkace.**

... všechny tyto malé odražené vlnky se vrátí k srdci, sumují se **a vytvářejí odraženou vlnu,** začínající těsně před koncem systoly



- **Tlak v kořeni aorty je součet výchozí a odražené vlny (zelená křivka)**



- Pokud jsou tepny pacienta tužší....
- pak se zvyšuje rychlost pulzové vlny a odražená vlna se vrátí k srdci dříve.
- V kořeni aorty můžeme pozorovat odlišnou tlakovou křivku.
- výsledkem jsou **tři zajímavé klinické souvislosti**.

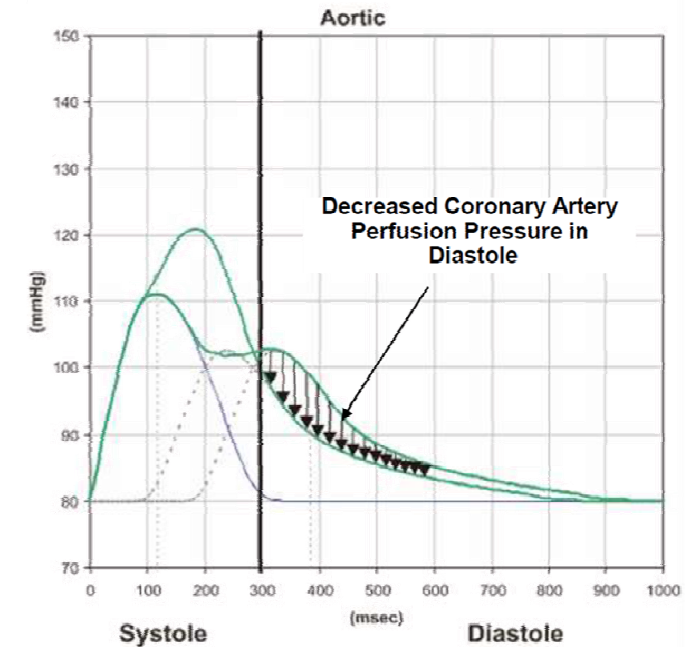
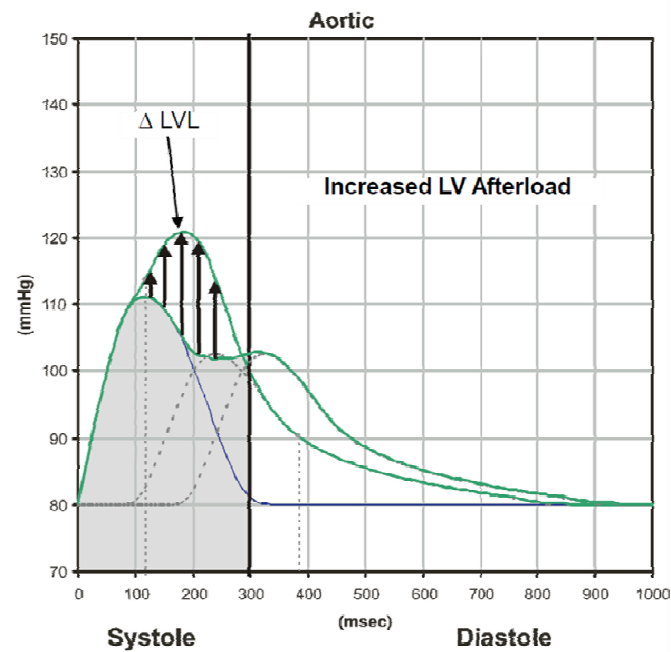
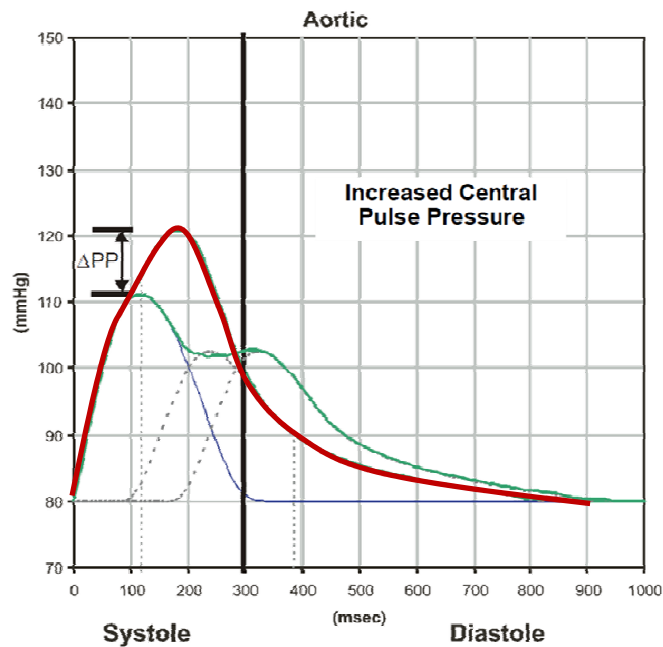
1) **centrální systolický tlak a centrální pulzový tlak je zvýšený.**

Zvýšený centrální pulzový tlak zatěžuje mozkové cévy a zvyšuje riziko mozkové příhody
POZOR: tyto změny centrálního tlaku mohou nastat bez jakýchkoliv změn periferního tlaku.

2) Je zde zvýšená **zátěž levé komory.**
 ... což vede ke zvětšování masy levé komory – hypertrofie

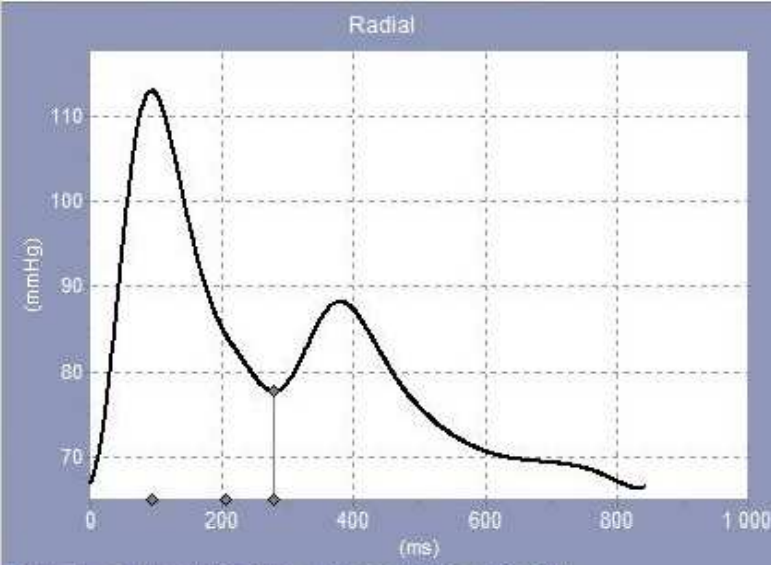
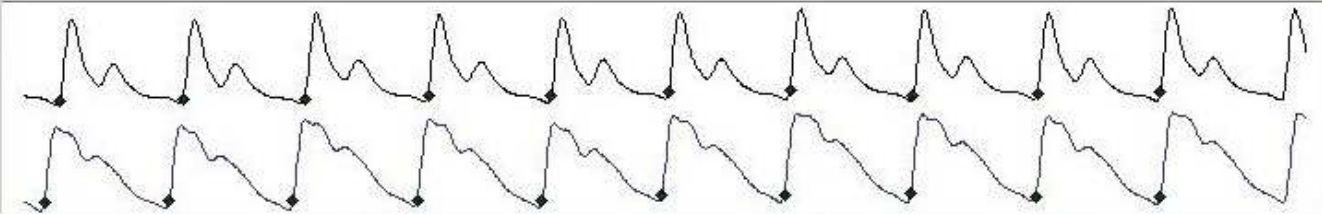
3) Perfuze tlak koronárních tepen během kritického období diastoly je redukováný – zvyšuje se riziko myokardiálních ischemií.
ZÁVĚR: Zvýšená tuhost tepen nezávisle zvyšuje riziko všech tří hlavních kardiovaskulárních příhod.

Tlak odražené vlny

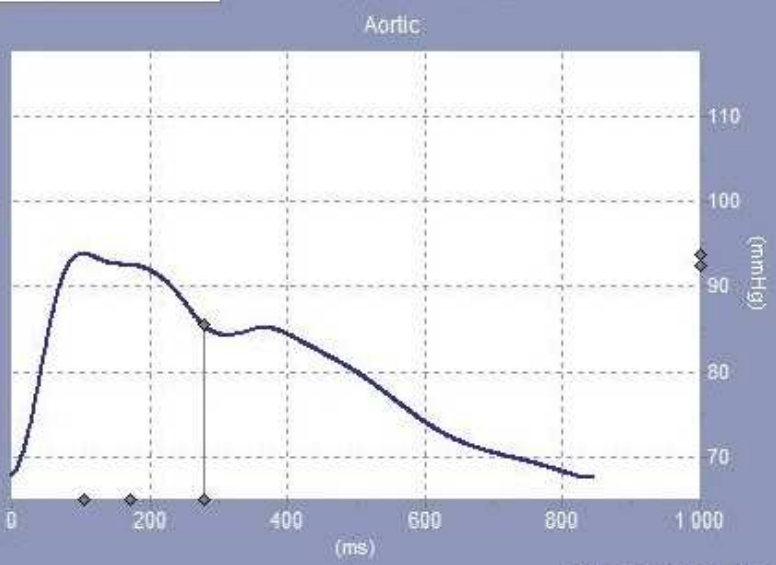


Patient Data Address:
 Patient Code:

Study Data 30 III 2016 13:50:06



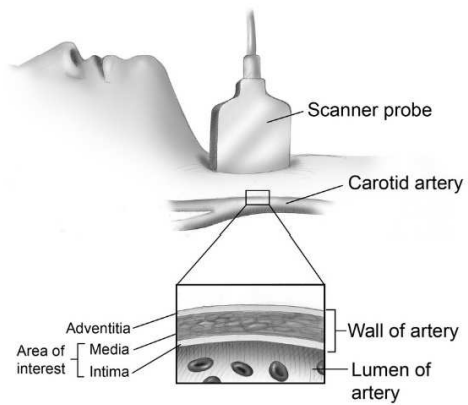
Sp	113	Sp	94
Dp	67	Dp	68
Mp	80	Mp	80
PP	46	PP	26



Periph T1, T2, Ax (AP/PP, P2/P1) 93ms, 205ms, -62%, 38% PP Amplification 177%

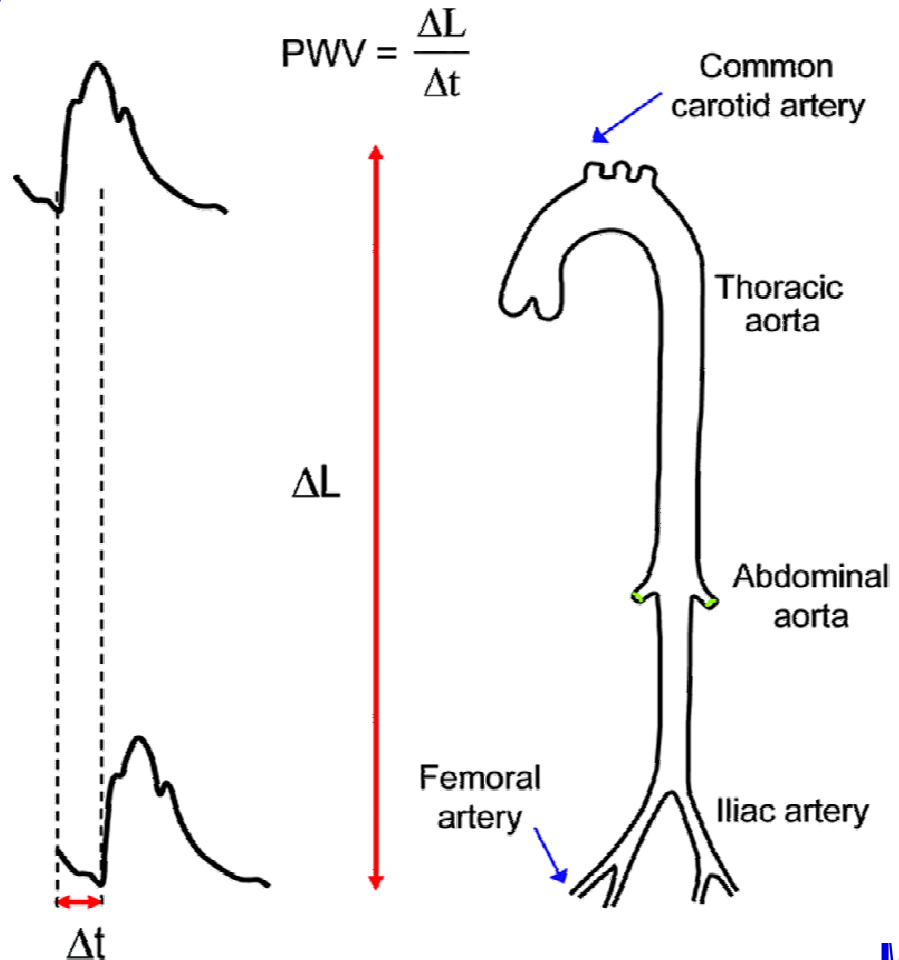
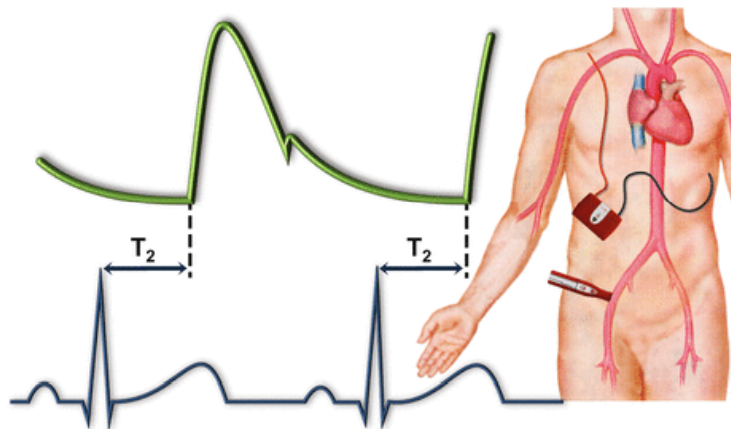
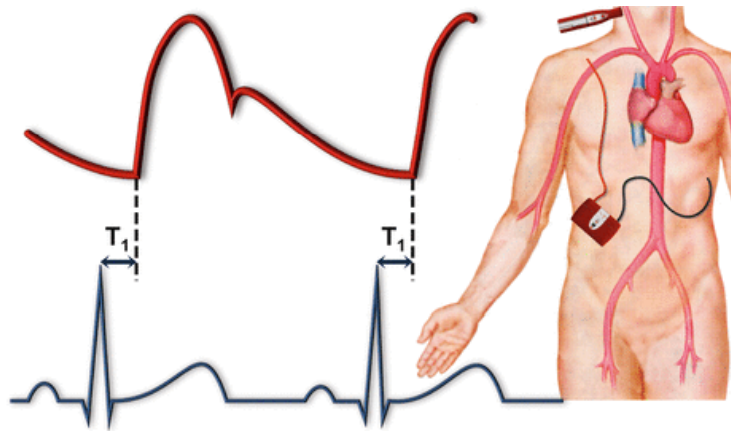
Heart Rate, Period	71 bpm, 844 ms	P1 Height (P1 - Dp)	26 mmHg	Buckberg SEVR	177%
Ejection Duration	278 ms, 33%	Aortic Augmentation (AP)	-1 mmHg	PTI (Systole, Diastole)	1741, 3083
Aortic T1, T2, Tr	104, 172, 146 ms	Aortic Ax (AP/PP, P2/P1)	-5%, 95%	End Systolic Pressure	85 mmHg
		Aortic Ax (AP/PP) @HR75	-7%	MP (Systole, Diastole)	88, 77 mmHg

Sonografie



age		IMT _R (mm)	IMT _L (mm)
25-35	Mean	0.39±0.07	0.40±0.07
	V%	18.26	17.37
	CI	0.36<x<0.42	0.38<x<0.42
35-45	Mean	0.43±0.07	0.46±0.09
	V%	15.15	18.59
	CI	0.41<x<0.45	0.43<x<0.49
45-55	Mean	0.47±0.08	0.50±0.11
	V%	17.49	21.18
	CI	0.44<x<0.50	0.47<x<0.54
55-65	Mean	0.52±0.11	0.54±0.11
	V%	21.01	20.89
	CI	0.48<x<0.56	0.50<x<0.58
65-75	Mean	0.55±0.09	0.57±0.09
	V%	16.65	14.60
	CI	0.53<x<0.59	0.55<x<0.61

Rychlost Pulzové Vlny

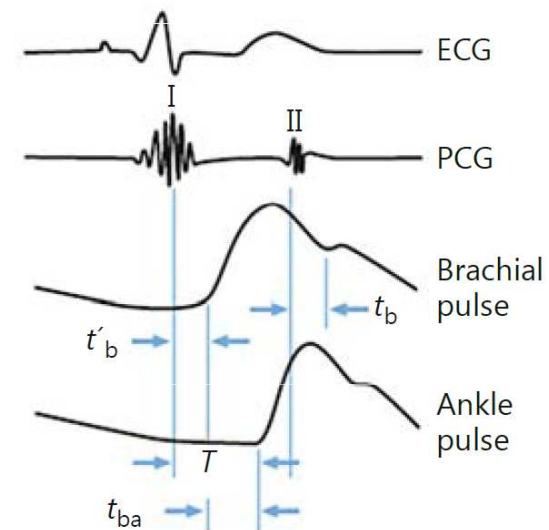
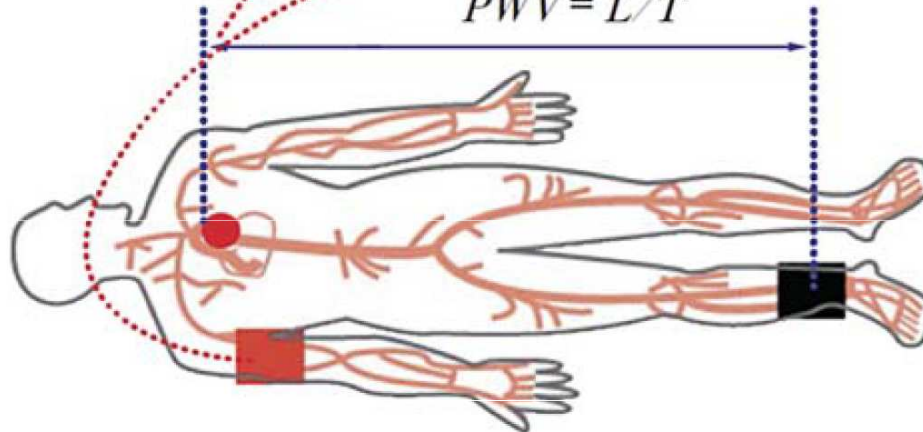


Vysoce poddajná aorta má relativně nízkou RPV (<6 m/s)

CAVI měření

$$CAVI = a \left[\frac{2\rho}{\Delta P} \left[\ln \frac{Ps}{Pd} \right] PWV^2 \right] + b$$

$PWV = L/T$



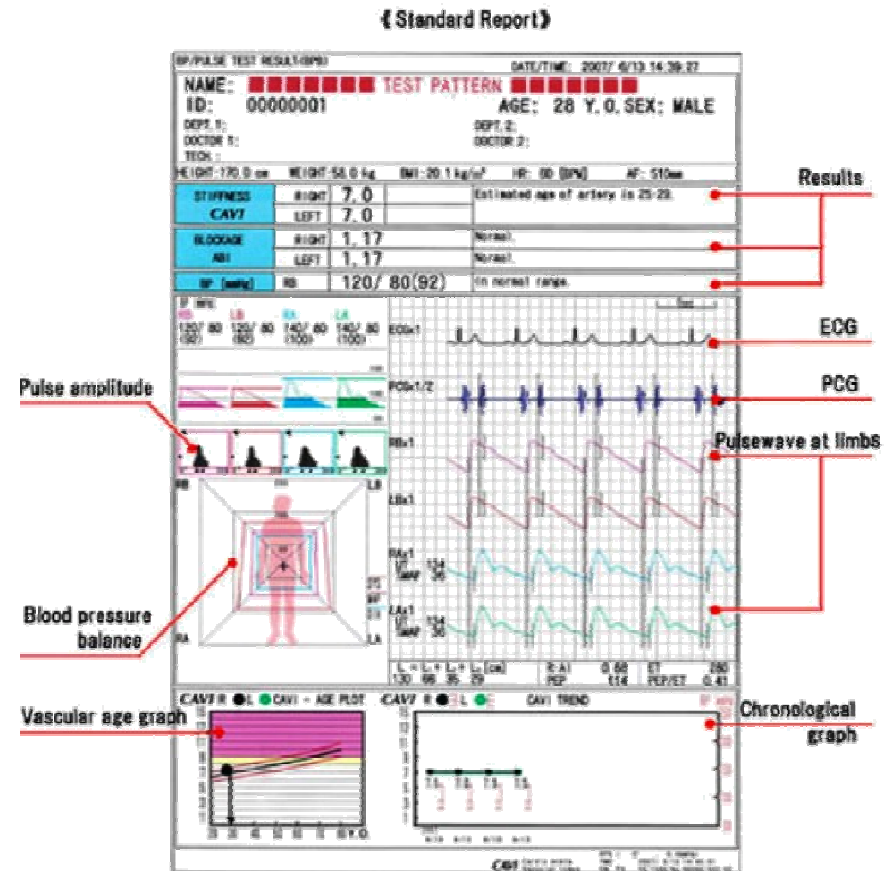
● Reference value of CAVI

CAVI < 8.0	Normal range
$8.0 \leq CAVI < 9.0$	Borderline
$9.0 \leq CAVI$	Arteriosclerosis suspected

CAVI měření



23 Physiology department



M U N I
M E D

Index kotník – paže ankle-brachial index (ABI)

Klíčová slova: krevní tlak, definice systolického a diastolického tlaku, princip oscilometrického měření

Fyziologický předpoklad: V poloze vleže má krevní tlak ve všech arteriích stejnou hodnotu

Princip měření: oscilometricky

Postup práce:

Přiložíme manžetu jednoho přístroje na pravou paži, druhého přístroje na levou nohu nad kotníkem (zelený proužek či šipku na manžetě orientovat směrem k a.tibialis posterior za vnitřním kotníkem) – a pokud možno ve stejný čas provedeme měření – zaznamenáme výsledky

Totéž provedeme v následujících místech: pravá paže – pravý kotník, levá paže – pravý kotník, levá paže – levý kotník

Výpočet indexu: dáváme vždy do poměru systolický krevní tlak naměřený na paži (ten vyšší ze dvou měření) a systolický krevní tlak naměřený v oblasti kotníků (ten vyšší z obou měření), zvlášť pro pravou i levou končetinu

Klinická poznámka: v praxi se stanovení tohoto indexu určuje mnohem přesněji ultrazvukovou metodou.

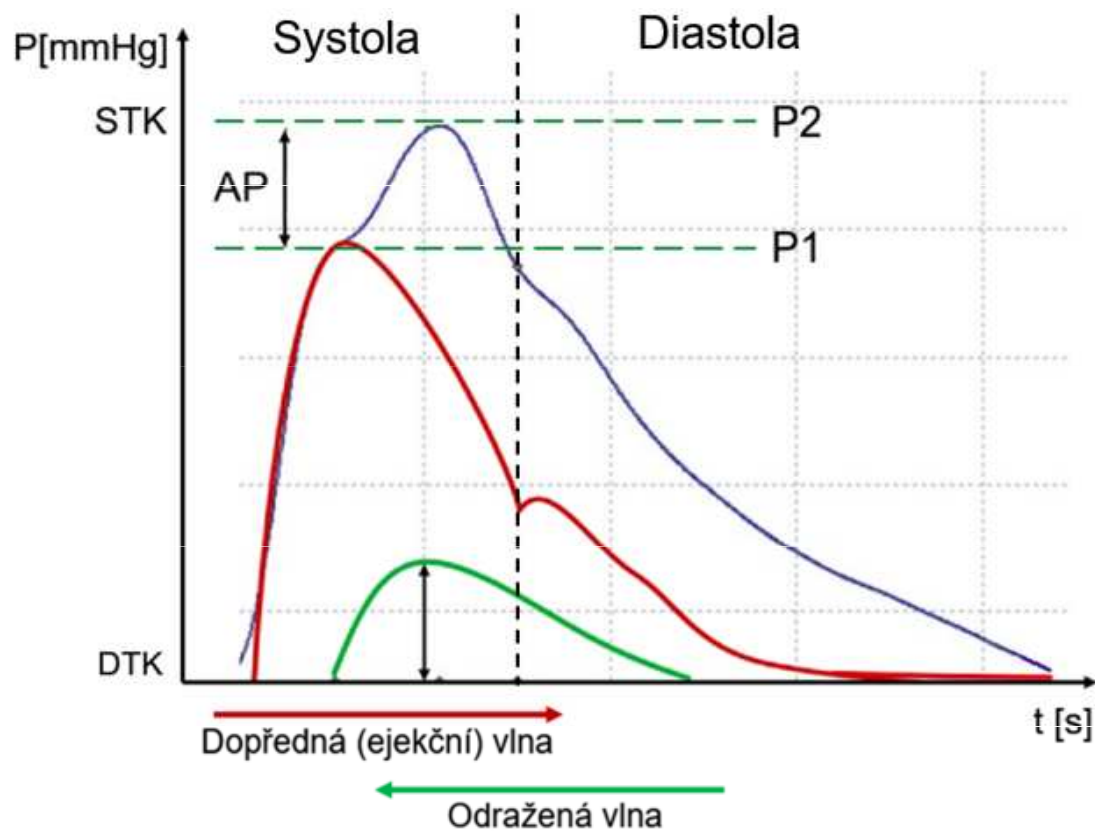
Hodnota pod 0,9 může být náznakem ischemické choroby dolních končetin, kritická je hodnota 0,6. Hodnota vyšší než 1,3 – naznačuje nekompresibilní cévy v důsledku kalcifikace.

Při interpretaci naměřených hodnot vezměte do úvahy, že krevní tlak neustále v čase kolísá a vaše metoda měření má chybu +/- 3-5 mmHg.

Děkuji za pozornost



http://www.vysetrenieciiev.sk/sites/default/files/farskeho_clanok.pdf



$$PTK = STK - DTK$$

$$\text{stř. TK} = DTK + 1/3 PTK$$

$$AP = P_2 - P_1$$

$$AIx = \frac{P_2 - P_1}{PTK} \times 100\%$$

MUNI MED

Pulse height
průměrná výška naměřeného pulzu

Pulse height variation
*Velikost odchylky přítomné ve
výšce naměřeného pulzu*

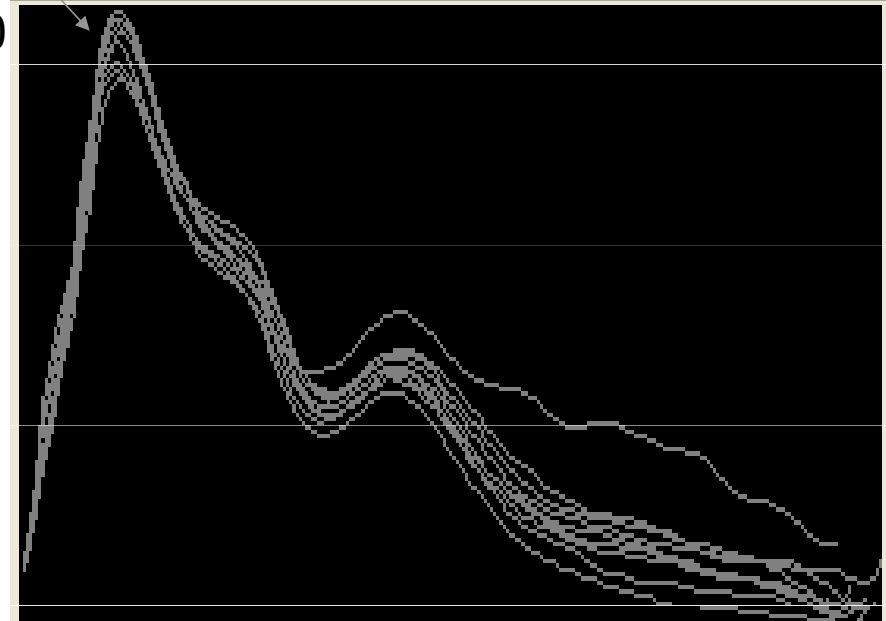
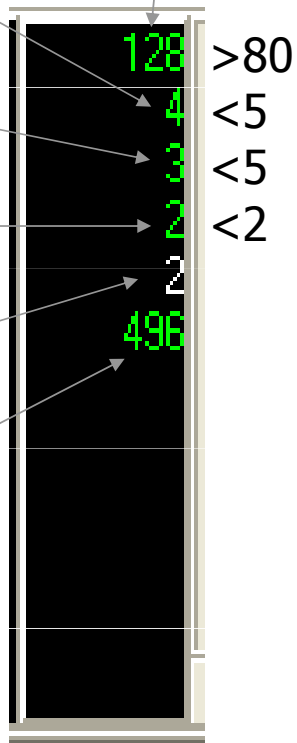
Diastolic variation
*Velikost odchylky přítomné v
diastolickém místě pulzních vln*

Shape deviation
*Velikost odchylky přítomné ve tvaru
systolické části křivek*

Pulse length variation
*Velikost odchylky přítomné ve tvaru
systolické části křivek*

dP/dt Max

QUALITY CONTROL



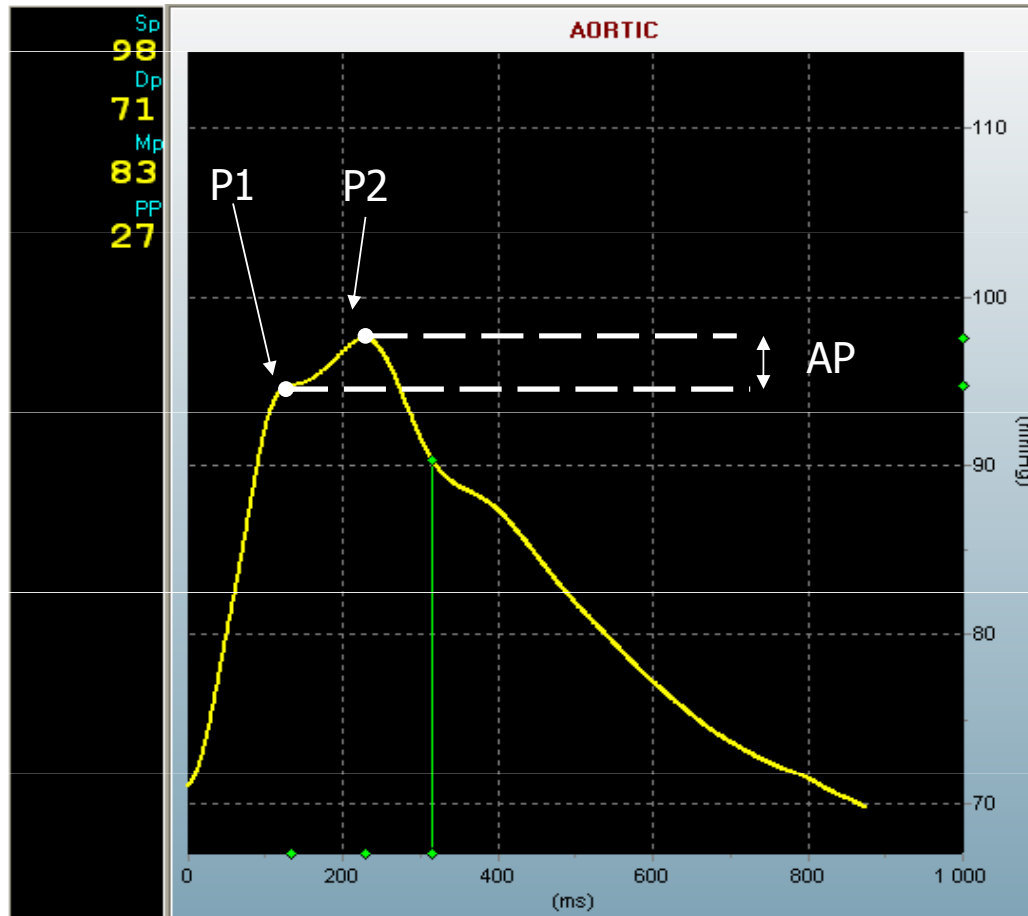
Operator Index 92

M U N T M E D

P1 odpovídá tlaku maximálního systolického toku a je obvykle stanoven při první vlnce tlakové křivky.

P2 odpovídá maximu odražené vlny a je obvykle stanoven jako maximum tlakové křivky za první vlnkou

Augmentation Pressure (AP)
Augmentační tlak
se vypočte jako $P2 - P1$



Augmentation Index (AIx) **AP**
Augmentační index **PP**

(vyjadřuje se v procentech). AIx je kombinované měření velikosti odražené vlny a tuhosti tepen, která ovlivňuje časování odražené vlny.

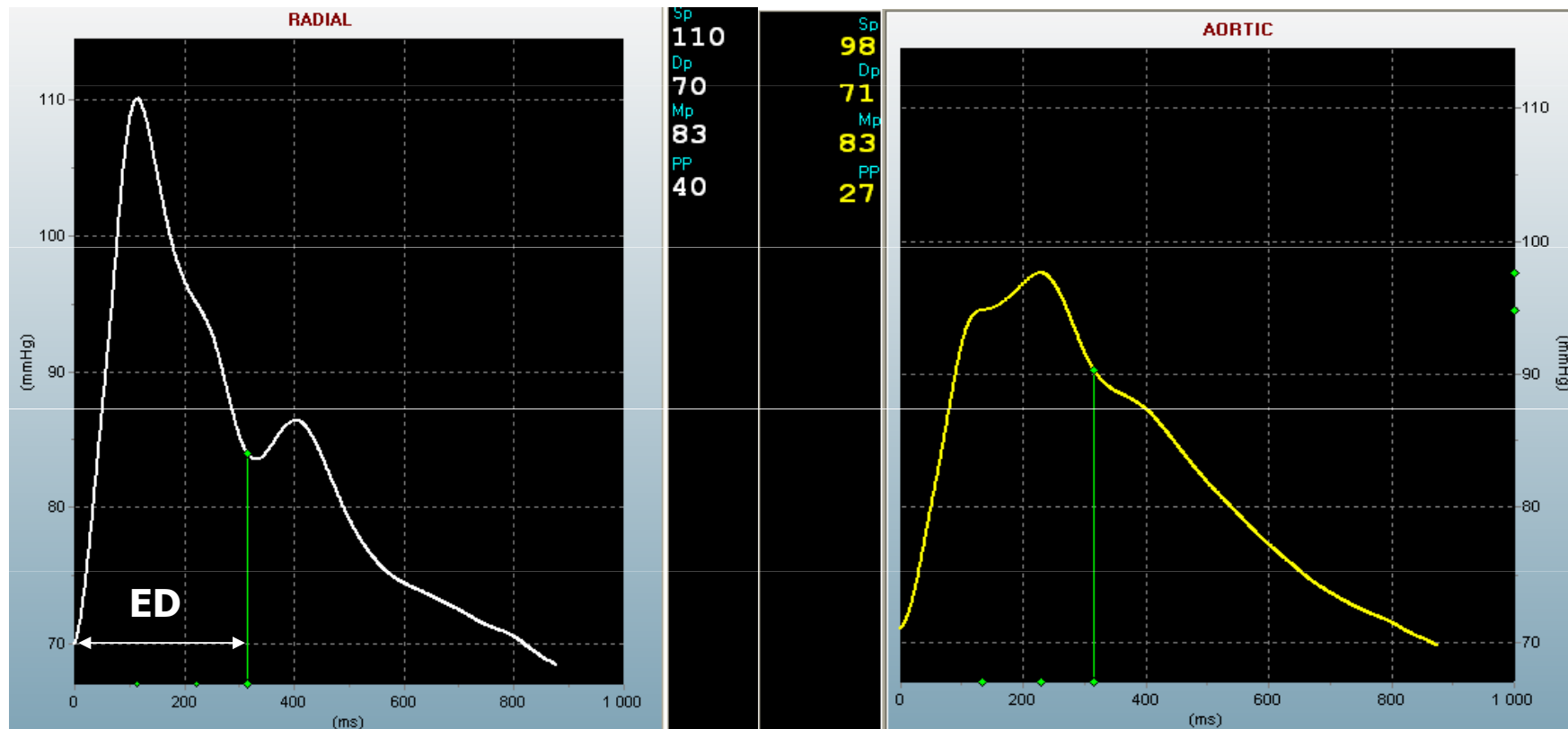
- Vysoké hodnoty AIx naznačují zvýšený odraz vln z periferie a brzký návrat odražené vlny jako výsledek **zvýšené rychlosti pulzové vlny**

Doba ejekce (ED) je trvání ejekční fáze systoly, vyjadřuje se jako procento z celkové délky srdečního cyklu

Stanovuje se z periferní tlakové křivky, od doby začátku pulsu do uzavření aortálních chlopní

ED může být použita k rozlišení mezi systolickou a diastolickou dysfunkcí při srdečním selhání.

- U **systolické dysfunkce je** kontraktilita oslabená, ejekce je extrémně citlivá na afterload a ED je **zkrácena**
 - U **diastolické dysfunkce je** aktivní diastolická relaxace zpomalena a je spojena s prodlouženou systolickou kontrakcí, ED je **prodloužena**



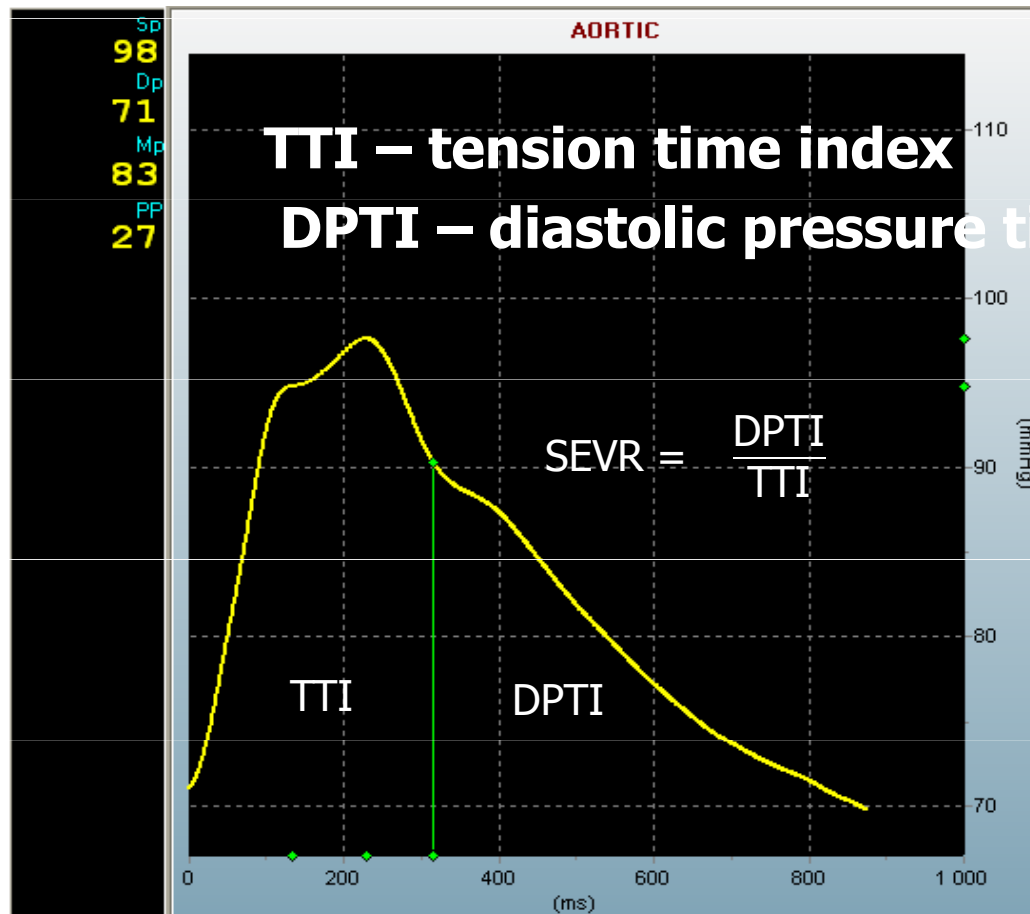
Subendocardial Viability Ratio (SEVR) *index subendokardiální životaschopnosti* (or Buckberg index) je indexem subendokardiálního zásobení a poptávky.

SEVR je poměr mezi diastolickou a systolickou plochou aortální tlakové křivky.

Diastolická plocha je spojována s tlakem a dobou koronární perfuze – má vztah k zásobování srdce živinami a energií

Systolická plocha má vztah k práci srdce a ke spotřebě kyslíku

Bylo ukázáno, že když je SEVR pod 100%, subendokardiální vrstvy jsou špatně zásobeny krví.



- SEVR se vyjadřuje v procentech a normální hodnota je větší než 150% v klidu

- Pacienti s nižšími hodnotami are náchylnější k srdečním ischemickým epizodám, způsobujícíce dlouhodobé myokardiální změny .

- Diastolická dysfunkce může nastat u vnímavých osob s chronicky nízkou SEVR pod 100%.

Heart Rate, Period	69 bpm, 875 ms
Ejection Duration	315 ms, 36%
Aortic T1, T2, Tr	132, 228, 165 ms

P1 Height (P1 - Dp)	24 mmHg
Aortic Augmentation (AP)	3 mmHg
Aortic Alx (AP/PP, P2/P1)	11%, 112%
Aortic Alx (AP/PP) @HR75	7%

Buckberg SEVR	154%
PTI (Systole, Diastole)	1958, 3017
End Systolic Pressure	90 mmHg
MP (Systole, Diastole)	91, 79 mmHg

MUNI MED

Variabilita výšky pulzu
Velikost odchylky přítomné ve výšce naměřeného pulzu

Diastolická variabilita
Velikost odchylky přítomné v diastolickém místě pulzních vln

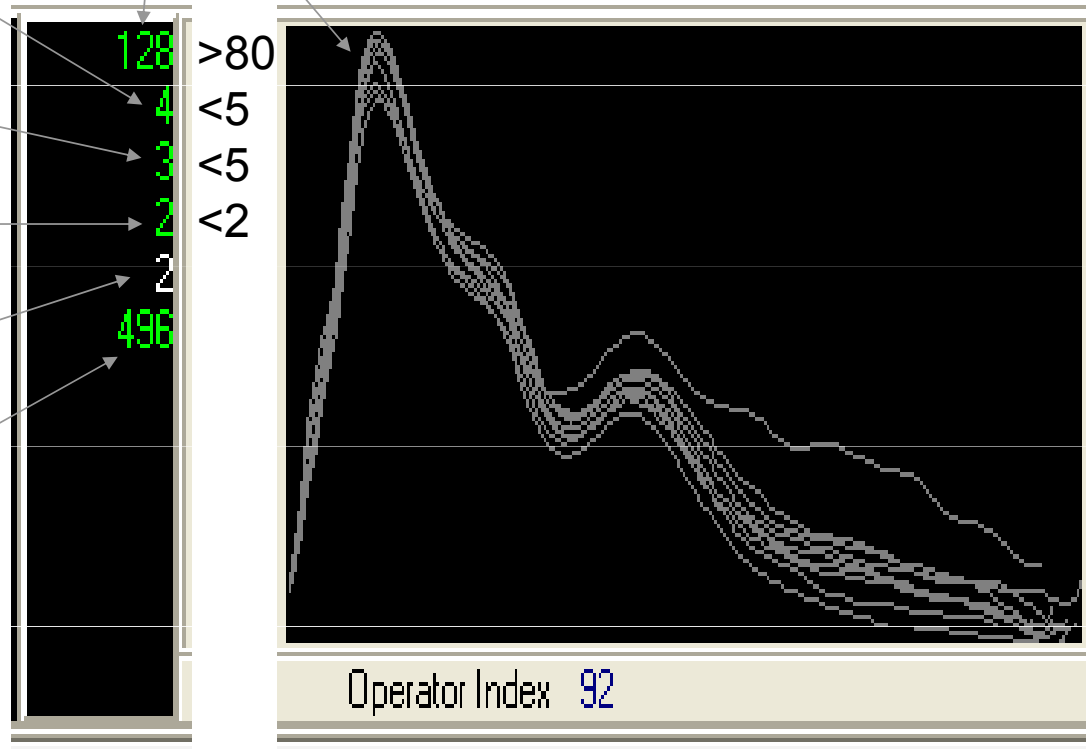
Odchylka tvaru
Velikost odchylky přítomné ve tvaru systolické části křivek

Variabilita délky
Velikost odchylky přítomné ve tvaru systolické části křivek

dP/dt Max

Výška pulzu
průměrná výška naměřeného pulzu

QUALITY CONTROL



Oscillometric method

- First demonstrated by Marey in 1876 in Paris

Oscilometrická metoda

- Poprvé předvedl Marey roku 1876 v Paříži

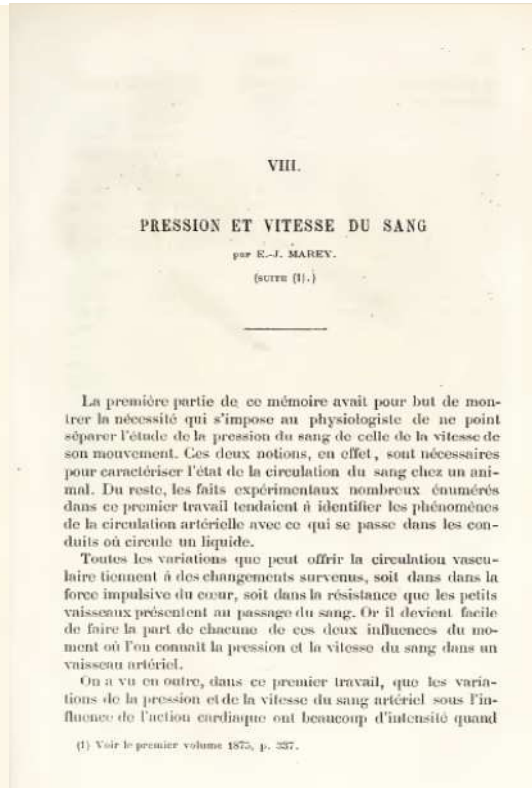
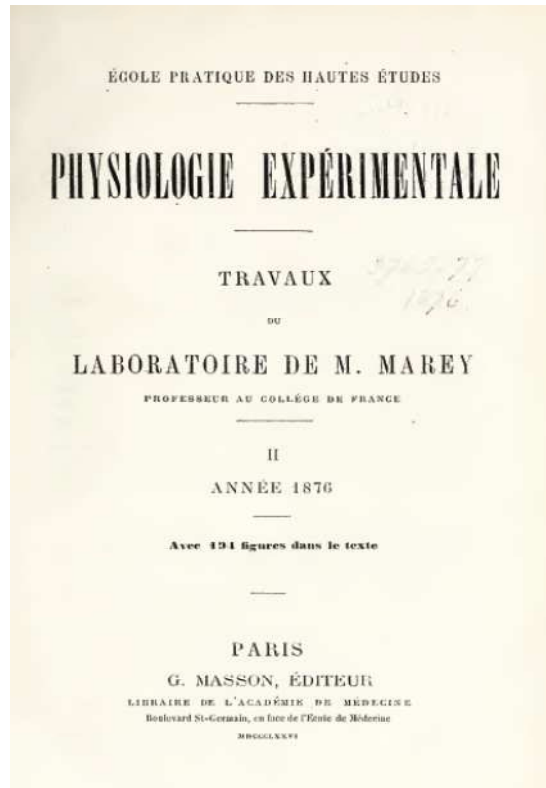


Fig. 153. — Inscription manométrique des changements de volume de l'ampoule d'un sphygmoscope soumise à des pressions extérieures variant de zéro à centimètres de mercure.