## *II. blok*

4. *Membránový potenciál*
5. *Dýchání, spirometrické vyšetření*
6. *SIM - fyzikální vyšetření s přístroji, krev - shrnutí*

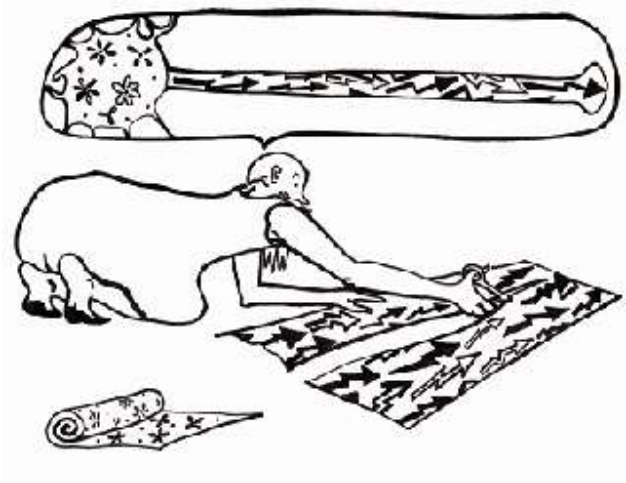
# Membránový potenciál

## Úvod

Téma napětí na membráně je nesmírně zajímavé a užitečné pro pochopení funkce mnoha tkání (zejména nervových a svalových, ale i všech ostatních).
Na popisné úrovni jste se jím zabývali na přednášce a četbou učebnice. Toto praktikum vám nabízí možnost jak proniknout ještě více do hloubky a vyzkoušet si, *„jak jsou ty membrány udělané, že to funguje*“. Nástroje, které budete používat, jsou z oblasti fyziky, což bude pro někoho nepohodlné, ale když vydržíte, budete odměněni porozuměním.

*Představte si, že máte sestrojit mozek - orgán přemýšlení a rozhodování, a dobře vodivé dráhy, aby bylo možné to rozhodnutí dopravit rychle a bez nehody odněkud - někam.*

*Velmi pravděpodobně byste záhy přišli na to, že vlastnosti membrán těl a dendritů nervových buněk musí mít některé vlastnosti odlišné od membrán axonů. Na membráně těl a dendritů končí tisíce synapsí jiných neuronů z různých center, s různými požadavky. Je potřeba rozhodnout, které signály propagovat dál, eventuelně v jaké podobě a které eliminovat. Od axonů se naopak očekává toliko vedení signálu k dalšímu neuronu nebo do cílové tkáně.*



*„Látka“, ze které bude „nastříháno“ na membrány těl a dendritů (nadaných schopností analýzy příchozích signálů) musí být tudíž jiná než „látka“, ze které byste „ušili“ axony.*

Následující cvičení je o vlastnostech membrán obou typů.
Už znáte principy, na kterých napětí na membráně stojí:

- Koncentrační gradient s proměnlivou permeabilitou membrány, které uvádí do chodu tok iontů, což způsobuje změnu potenciálu na membráně
- Selektivní a proměnlivá propustnost pro ionty (jiná pro K+, jiná pro Na+ atd.)
- Činnost iontových pump. (Na/K ATPázy)

K dispozici budete mít počítačový model neuronu. (Vznikl podrobnými měřeními skutečného neuronu sépie, podle nichž Alan Hodgkin a Andrew Huxley sestavili rovnice, za které byli odměněni Nobelovou cenou.) Budete

postupně měnit jednotlivé charakteristiky neuronu (koncentrační gradient, propustnost membrány, odpor membrány) a podnětů, které na něj působí (trvání a intenzita). Budete vidět, jaké to má důsledky. Poznáte, že úžasných schopností, jako je například spontánní rytmická elektrická aktivita pacemakerových buněk převodního systému srdce, se dá docílit celkem logicky a jednoduše.

Cílem cvičení je s pomocí počítačového modelu základních elektrických vlastností membrány axonu a neuronu ilustrovat pasivní vlastnosti membrány (*klidový membránový potenciál* a časovou konstantu membrány) a především potom zkoumat, jak proměnlivé vodivosti pro jednotlivé ionty závislé na elektrickém napětí a na čase přispívají ke vzniku *akčního potenciálu*.
Počítačová simulace membránového potenciálu na membráně axonu umožňuje přiblížit některé vlastnosti akčního potenciálu – prahový podnět, časovou sumaci, refrakterní fázi, vliv blokády kanálů na akční potenciál, spontánní vznik akčního potenciálu a spontánní rytmickou aktivitu.
Simulace si všímá pouze iontů $K^+$ a $Na^+$, vlastnosti neuronů tak zjednodušuje, čímž zvýrazňuje základní principy jejich činnosti. Zájemci o podrobnější simulace mají k disposici složitější modely (simulátory Neuron, Genesis, SONN aj.).
Model membránového potenciálu studovaný ve cvičení může představovat jednokompartmentový (bodový) model neuronu, přičemž kompartment je zde (na rozdíl od cvičení na téma kompartmentové modelování) charakterizován elektrickým napětím. Ve cvičení z kompartmentového modelování najdeme definice některých zde používaných pojmů (časová konstanta, poločas).
U stimulů můžeme měnit zpoždění (*delay*), šířku (*width*) a velikost (*amplitude*) proudového pulsu. Graficky se zobrazí membránový potenciál společně s elektrochemickými rovnovážnými potenciály pro $Na^+$ a $K^+$ a stimulem. Dále mohou být zobrazeny vodivosti membrány pro $Na^+$ a $K^+$ a transmembránové proudy iontů $Na^+$ a $K^+$.
Pro překreslení grafického výstupu do protokolového sešitu jakožto řešení jednotlivých úloh je výhodné využít schopnosti programu vykreslit sérii několika křivek do jediného grafu. V takovém případě ke každé odpovědi systému (vyjádřené křivkou) připojíme zvolené parametry. Použitý simulátor je volně dostupný (ve verzi pro Windows i Macintosh) na http://www2.neuroscience.umn.edu/eanwebsite/metaneuron.htm

## 1. Pasivní vlastnosti membrány

Model pasivních vlastností membrány ilustruje, jak pasivní propustnosti membrány pro $K^+$ a $Na^+$ přispívají ke vzniku klidového membránového potenciálu v neuronu.
Z fyzikálního hlediska je pasivní membrána představována obvodem (tzv. RC obvodem) složeným pouze z pasivních prvků: rezistorů o neproměnném odporu a kapacitorů o neproměnné kapacitě. Pasivní membrána nezahrnuje proměnné vodivosti ani negeneruje akční potenciál.
Cílem je ozřejmit pojmy: elektrochemický rovnovážný potenciál pro ionty $Na^+$, elektrochemický rovnovážný potenciál pro ionty $K^+$, rovnovážný potenciál, časová konstanta membrány, časová sumace.

### *1.1. Elektrochemický rovnovážný potenciál (equilibrium potential)*

Program vypočítá pomocí Nernstovy rovnice elektrochemický rovnovážný potenciál pro ionty $Na^+$ v závislosti na koncentracích $Na^+$ vně a uvnitř buňky; podobně pro $K^+$.

**Úkol**

1. Vyšetříme vliv koncentrací $Na^+$ a $K^+$ vně a uvnitř buňky na elektrochemický rovnovážný potenciál daného iontu. Doporučené počáteční koncentrace: $[Na^+]out$ = 100 mmol/kg, $[Na^+]in$ 10 mmol/kg, $[K^+]out$ = 10 mmol/l, $[K^+]in$ = 100 mmol/kg. Řešení znázorníme graficky.

### *1.2. Klidový membránový potenciál (resting membrane potential)*

Klidový membránový potenciál je podle Goldmanovy-Hodgkinovy-Katzovy rovnice určen koncentracemi iontů $Na^+$ a $K^+$ vně a uvnitř buňky a propustnostmi membrány pro ionty $Na^+$ a $K^+$.

**Úkol**

2. Koncentrace iontů $Na^+$ a $K^+$ nastavíme na hodnoty doporučené v úkolu 1. Vyšetříme vliv změny relativních propustností membrány pro ionty $Na^+$ a $K^+$ na klidový membránový potenciál. Řešení znázorníme graficky.

### *1.3. Časová konstanta membrány (membrane time constant)*

Časová konstanta charakterisuje časový průběh exponenciálně klesající odpovědi. Představuje čas, za který membránový potenciál poklesne na $1 - 1/e$ (přibližně 63 %) počáteční hodnoty. (Obdobný význam jako časová konstanta má poločas, který je časové konstantě přímo úměrný.) V důsledku nenulovosti časové konstanty dochází k *časové sumaci podnětů*, jevu, kdy více podnětů časově blízko sebe vyvolá větší odezvu, než každý z nich samostatně.

**Úkol**

Vyšetříme závislost časové konstanty membrány na velikosti stimulu a na odporu membrány. Řešení znázorníme graficky.

3. Závisí časová konstanta membrány na velikosti stimulu? Řešení znázorníme graficky.
3. Závisí časová konstanta membrány na odporu membrány? Řešení znázorníme graficky.
4. Demonstrujeme časovou sumaci podnětů v závislosti na časové konstantě membrány. Řešení znázorníme graficky.

## 2. Akční potenciál na membráně axonu („axon action potential“)

Tato část demonstruje, jak iontové vodivosti závislé na elektrickém napětí a na čase přispívají ke vzniku a průběhu akčního potenciálu (sodíkového hrotového potenciálu) na membráně axonu.

Model je založen na rovnicích, které sestavili Alan Hodgkin a Andrew Huxley pro vodivosti pro ionty $Na^+$ a $K^+$ přes membránu obrovského axonu sépie. Jedná se o soustavu obyčejných diferenciálních rovnic prvního řádu. První rovnice je kombinací kondenzátorové rovnice, Kirchhoffových zákonů, Ohmova zákona a Nernstovy rovnice. Další rovnice modelu Hodgkina a Huxleyho jsou empirické povahy a popisují (nelineární) závislost vodivostí $G_{Na}$ a $G_K$ na membránovém potenciálu $V_m$ a na čase.

Z fyzikálního hlediska jsou pro generování akčního potenciálu klíčové právě tyto proměnlivé transmembránové vodivosti pro ionty $K^+$ a $Na^+$ závislé na elektrickém napětí a na čase.

Cílem je ozřejmit vlastnosti akčního potenciálu prostřednictvím demonstrace následujících jevů: prahový podnět, časová sumace, refrakterní fáze, vliv blokády kanálů na akční potenciál, spontánní vznik akčního potenciálu, spontánní rytmická aktivita.

### *2.1. Prahový podnět*

**Úkol:**

5. Vyšetříme chování membrány v závislosti na velikosti stimulu. Jaké parametry (tj. trvání v milisekundách a proud v mikroampérech) má prahový podnět pro vyvolání akčního potenciálu? Řešení znázorníme graficky.
6. Demonstrujeme chování membrány při hyperpolarizujícím stimulu, při podprahovém stimulu, při podnětech v blízkosti prahu a při podnětu zřetelně nadprahovém. Řešení znázorníme graficky.
7. Charakterizujeme prahový podnět časem a velikostí proudu. Řešení znázorníme graficky.
8. Jaká je spouštěcí úroveň membránového potenciálu (v milivoltech) pro vyvolání akčního potenciálu? Řešení znázorníme graficky.
9. Jak závisí velikost a latence akčního potenciálu na velikosti stimulu? Řešení znázorníme graficky.

### *2.2. Časová sumace*

**Úkol:**

10. Demonstrujeme časovou sumaci dvou po sobě jdoucích mírně podprahových podnětů. Řešení znázorníme graficky.

### *2.3. Refrakterní fáze*

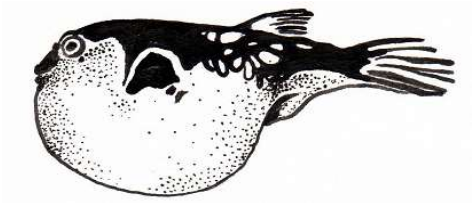
Refrakterní fáze představuje období (absolutní nebo relativní) nedráždivosti následující po hrotovém potenciálu. Simulátor umožňuje měřit časový průběh refrakterní fáze následující po akčním potenciálu pomocí dvou stimulů, z nichž oba jsou nadprahové, jsou-li aplikovány samostatně.

**Úkol:**

11. Parametry prvního (nadprahového) stimulu neměníme. Refrakterní fázi demonstrujeme pomocí druhého podnětu, který následuje po hrotovém potenciálu vyvolaném prvním stimulem. Určíme, jak se mění práh axonu v závislosti na čase uběhlého od prvního podnětu. Řešení znázorníme graficky.

### *2.4. Vliv farmakologické blokády kanálů na akční potenciál*

Vodivost membrány pro $Na^+$ ionty závislá na elektrickém napětí může být v experimentu zablokována tetrodotoxinen (TTX), v lékařské praxi lokálním anestetikem lidokainem. Vodivost pro $K^+$ ionty může být zablokována tetraethylammoniem (TEA).



*Obr.: japonská ryba fugu obsahující tetrodotoxin*

**Úkol:**

12. Vyšetříme vliv farmakologické blokády $Na^+$ iontových kanálů řízených elektrickým napětím na průběh akčního potenciálu. Řešení znázorníme graficky.
13. Vyšetříme vliv farmakologické blokády $K^+$ iontových kanálů řízených elektrickým napětím na průběh akčního potenciálu. Řešení znázorníme graficky.

### *2.5. Spontánní vznik akčního potenciálu, spontánní rytmická aktivita*

Akční potenciály může membrána generovat rovněž spontánně (bez vnější stimulace a bez synaptických vstupů). Ukážeme si jeden z možných mechanismů takových dějů.

**Úkol:**

14. Začneme s doporučenými hodnotami. Potom zvýšíme rovnovážný potenciál pro $K^+$ (v parametrech membrány) na positivnější hodnotu. S postupným růstem rovnovážného potenciálu pro $K^+$ budeme pozorovat následující posloupnost dějů: depolarizaci membrány; spontánní vznik akčních potenciálů; růst frekvence akčních potenciálů; pokles amplitudy akčních potenciálů; s pokračující depolarizací membrány vymizení akčních potenciálů. Řešení znázorníme graficky.

### *2.6. Vlastní úloha*

Úkoly doporučené k řešení uvedené výše ani zdaleka nevyčerpávají možnosti simulátoru. Počet možných kombinací hodnot parametrů (velikost prostoru parametrů) je, podobně jako v reálných experimentech, značný.

**Úkol:**

15. Navrhneme vlastní úlohu a pokusíme se ji s pomocí simulátoru vyřešit. Řešení znázorníme graficky.

Mimo rámec standardního rozsahu praktického cvičení, během něhož jsme se zabývali pasivními vlastnostmi membrány a zejména pak vlastnostmi akčního potenciálu, simulátor umožňuje experimentovat s metodou *napěťového zámku* a se *synaptickými potenciály a proudy.*

Metoda **napěťového zámku** (*axon voltage clamp*) je experimentální technika používaná pro charakterizaci elektrických vlastností iontových kanálů prostřednictvím měření proudu protékajícího při vnuceném napětí. Experimentální postup spočívá v záznamu proudu protékajícího membránou při vnuceném membránovém potenciálu udržovaném pomocí elektronického zařízení na určité úrovni a při skokově měněné úrovni. Simulace demonstruje, jak přispívají iontové vodivosti závislé na voltáži a na čase ke vzniku akčního potenciálu na axonu.

Část modelu nazvaná **synaptické potenciály a proudy** (s*ynaptic potential and current*) pak ilustruje, jak jsou

synaptické potenciály generovány prostřednictvím aktivace ionotropních receptorů pro neuropřenašeče

**Kontrolní otázky:**

1. U jakých buněk naměříme nenulový membránový potenciál?
2. Které buňky generují akční potenciál?
3. Jaký je princip metod, kterou snímáme membránový potenciál?
4. Nakreslíme elektrické schéma buněčné membrány.
5. Určete meze, v nichž se může pohybovat membránový potenciál.
6. Kolik činí podle Nernstovy rovnice rovnovážný potenciál $E_K$ pro draselné ionty, je-li extracelulární koncentrace kaliových iontů $[K^+]ext$ = 5 mmol/kg a intracelulární koncentrace $[K^+]int$ = 150 mmol/kg?
7. Určíme rovnovážný potenciál $E_{Na}$ pro natriové ionty za předpokladu $[Na^+]ext$ = 150 mmol/kg, $[Na^+]int$ = 15 mmol/kg.
8. Vyčíslete, kolik činí klidový membránový potenciál.

**Výsledky a závěry**

# *Dýchací soustava – spirometrické vyšetření*

**Úvod**

Dýchací systém má v organismu mnoho funkcí. Nejdůležitější činností je zevní respirace, zajišťující přívod kyslíku (podmínka pro oxidaci živin) a odvod oxidu uhličitého (katabolit metabolických reakcí). Z tohoto hlediska je potom možno respiraci rozdělit na čtyři funkční složky, tj.:

1. **Plicní ventilace**, která zabezpečuje výměnu vzduchu mezi atmosférou a plicními alveoly. Intenzita ventilace závisí především na hloubce jednotlivých dechů (dechových objemů) a na počtu dechů za časovou jednotku (dechové frekvenci). Hlavní metodou, kterou je možno vyšetřit plicní ventilaci, je **spirometrie.**

Úroveň ventilace je významně ovlivňována rozdělením vdechovaného vzduchu mezi jednotlivé alveoly, tedy jeho intrapulmonální distribucí do jednotlivých částí plic. **Distribuce vzduchu v plicích** není ani v klidu a za fyziologických podmínek zcela rovnoměrná. Například vstoje a vsedě jsou ventilovány dolní oblasti plic 1,3x více než oblasti horní. Distribuci významně ovlivňuje řada plicních onemocnění. Rovnoměrnost distribuce je možno stanovit měřením koncentrace uvolňovaného dusíku z plic po inhalaci čistého kyslíku. Při nerovnoměrné distribuci koncentrace dusíku ve vydechovaném vzduchu klesá pomaleji. Změny intrapulmonální distribuce je možno rovněž analyzovat tzv. inhalační scintigrafií, tj. inhalací radioaktivních izotopů inertních plynů.

Pro hodnocení úrovně ventilace plic a distribuce vzduchu v jednotlivých oblastech plic je rovněž velmi cenné fyzikální vyšetření plic.

2. **Perfúze**, tj. průtok krve plicním cévním řečištěm, především kapilárami obepínajícími alveoly. Intenzita perfúze se mění v souladu s distribucí vzduchu do jednotlivých oblastí plic, ale je rozdílná i během vdechu a výdechu. Perfúzi ovlivňuje rovněž gravitace a poloha těla, akcelerace a decelerace a řada dalších faktorů. Z funkčního hlediska je především důležité dosažení optimálního poměru mezi alveolární ventilací a perfúzí, tj. **ventilačně-perfúzního kvocientu**, který má za klidových podmínek hodnotu 0,8. K vyšetření perfúze se užívá tzv. perfúzní scintigrafie, při které se radioaktivní izotop vstříkne do žíly a následně se měří aktivita nad jednotlivými oblastmi plic.

3. **Difúze**, výměna kyslíku a oxidu uhličitého mezi plicními alveoly a krví. Rozsah a rychlost difúze v plicích je určována řadou faktorů. Základní je rozdíl parciálních tlaků kyslíku a oxidu uhličitého mezi alveolárním vzduchem a krví protékající plicními kapilárami a stav alveolo-kapilární membrány (délka difúzní dráhy, tloušťka a složení struktur, přes které plyny difundují). Difúze je rovněž významně ovlivňována velikostí plochy, na které se difúze uskutečňuje, a dobou kontaktu, po kterou je krev protékající plicními kapilárami ve styku s alveolo-kapilární membránou, tedy rychlostí krevního proudu. Významné je rovněž množství krve a hemoglobinu, které proteče za časovou jednotku kapilárním řečištěm. Pro hodnocení difúze je významné vyšetření krevních plynů, tedy stanovení parciálního tlaku kyslíku a oxidu uhličitého.

4. **Regulace**, řízení ventilace a dalších faktorů respirace. Na řízení dýchání se podílí řada mechanismů. Výsledkem tohoto procesu je přizpůsobení dýchacího a oběhového systému aktuálním potřebám organismu, především pak udržování relativně konstantního parciálního tlaku krevních plynů. Vzhledem ke komplikovanosti vztahů mezi jednotlivými mechanismy regulace respiračního aparátu je vyšetřování tohoto procesu velmi obtížné. Obecnou představu o celkové funkci dýchacího systému opět podává hlavně vyšetření krevních plynů.

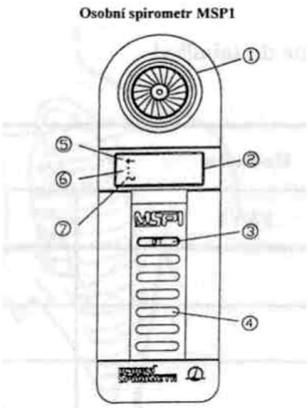
**ÚLOHY:**

## 1. ORIENTAČNÍ VYŠETŘENÍ FVC – FORSÍROVANÉ (USILOVNÉ) VITÁLNÍ KAPACITY A FEV1 – FORSÍROVANÉHO EXSPIRAČNÍHO OBJEMU ZA 1 S POMOCÍ OSOBNÍHO SPIROMETRU MSP1

**Pomůcky**: osobní spirometr, papírové náustky, nosní klip
**Provedení**:
1. Vložíme papírový náustek do držáku a zapneme přístroj do polohy FEV1.
2. Ucpeme nos nosním klipem, maximálně se nadechneme a potom co nejrychleji a nejsilněji maximálně vydechneme do přístroje. Dokončíme maximální výdech, vydechujeme minimálně 1s !
3. Zaznamenáme hodnotu FEV1.
4. Přepneme přístroj do polohy FVC a zaznamenáme indikovanou hodnotu.
5. Přepneme přístroj do polohy FEV1 – přístroj je opět připraven k měření.
6. Po ukončení měření přepneme do polohy OFF!
7. Výsledky porovnáme s kontrolními hodnotami v tabulce 1.
8. Vyšetření provede každý na sobě a výsledky svoje a dalších dvou kolegů zaznamená do tabulky
**Hodnocení**:

| **Orientační spirometrie** | **Hodnota** | | |
|---|---|---|---|
| | **FVC** | **FEV1** | **Interpretace** |
| **1.** | | | |
| **2.** | | | |
| **3.** | | | |

**Závěr**:




1. Držák náustku, 2. Displej, 3. Okénko udávající polohu přepnutí, 4. Hmatník, 5. ←Šipka, připravenost k měření, 6. : dvojtečka-ukončení měření, hodnota FEV1, 7. vlnovka – hodnota FVC

**Obr. 2**. Schéma osobního spirometru MSP1

**Tabulka 1: Kontrolní hodnoty FVC a FEV1 (pro ženy a muže) – údaje jsou v litrech**

| ŽENY (FEV1/FVC) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Věk (roky) | | Výška (m) | | | | | | | |
| | | 1.45 | 1.50 | 1.55 | 1.60 | 1.65 | 1.70 | 1.75 | 1.80 |
| 25 | FEV1 | 2.5 | 2.7 | 2.9 | 3.1 | 3.4 | 3.6 | 3.8 | 4.0 |
| | FVC | 2.9 | 3.1 | 3.3 | 3.6 | 3.8 | 4.0 | 4.2 | 4.4 |
| 30 | FEV1 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.7 | 3.9 |
| | FVC | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.6 | 3.9 | 4.1 | 4.3 |
| 35 | FEV1 | 2.3 | 2.5 | 2.7 | 2.9 | 3.1 | 3.3 | 3.5 | 3.7 |
| | FVC | 2.6 | 2.9 | 3.1 | 3.3 | 3.5 | 3.7 | 4.0 | 4.2 |
| 40 | FEV1 | 2.1 | 2.3 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.6 |
| | FVC | 2.5 | 2.7 | 2.9 | 3.2 | 3.4 | 3.6 | 3.8 | 4.0 |
| 45 | FEV1 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.9 | 3.1 | 3.3 | 3.5 |
| | FVC | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.3 | 3.5 | 3.7 | 3.9 |
| 50 | FEV1 | 1.9 | 2.1 | 2.3 | 2.5 | 2.7 | 2.9 | 3.2 | 3.4 |
| | FVC | 2.2 | 2.5 | 2.7 | 2.9 | 3.1 | 3.3 | 3.6 | 3.8 |
| 55 | FEV1 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.2 |
| | FVC | 2.1 | 2.3 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.7 |
| 60 | FEV1 | 1.6 | 1.8 | 2.1 | 2.3 | 2.5 | 2.7 | 2.9 | 3.1 |
| | FVC | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.9 | 3.1 | 3.3 | 3.5 |
| 65 | FEV1 | 1.5 | 1.7 | 1.9 | 2.1 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 |
| | FVC | 1.8 | 2.1 | 2.3 | 2.5 | 2.7 | 3.0 | 3.2 | 3.4 |
| 70 | FEV1 | 1.4 | 1.6 | 1.8 | 2.0 | 2.2 | 2.4 | 2.7 | 2.9 |
| | FVC | 1.7 | 1.9 | 2.2 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.0 | 3.2 |

| MUŽI (FEV1/FVC) | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Věk (roky) | | Výška (m) | | | | | | | |
| | | 1.55 | 1.60 | 1.65 | 1.70 | 1.75 | 1.80 | 1.85 | 1.90 |
| 25 | FEV1 | 3.4 | 3.6 | 3.8 | 4.1 | 4.3 | 4.5 | 4.7 | 5.0 |
| | FVC | 3.9 | 4.2 | 4.5 | 4.8 | 5.1 | 5.4 | 5.7 | 6.0 |
| 30 | FEV1 | 3.3 | 3.5 | 3.7 | 3.9 | 4.2 | 4.4 | 4.6 | 4.8 |
| | FVC | 3.8 | 4.1 | 4.4 | 4.7 | 5.0 | 5.3 | 5.5 | 5.8 |
| 35 | FEV1 | 3.1 | 3.3 | 3.6 | 3.8 | 4.0 | 4.2 | 4.5 | 4.7 |
| | FVC | 3.7 | 4.0 | 4.3 | 4.5 | 4.8 | 5.1 | 5.4 | 5.7 |
| 40 | FEV1 | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.6 | 3.9 | 4.1 | 4.3 | 4.5 |
| | FVC | 3.6 | 3.8 | 4.1 | 4.4 | 4.7 | 5.0 | 5.3 | 5.6 |
| 45 | FEV1 | 2.8 | 3.0 | 3.3 | 3.5 | 3.7 | 3.9 | 4.2 | 4.4 |
| | FVC | 3.4 | 3.7 | 4.0 | 4.3 | 4.6 | 4.9 | 5.2 | 5.4 |
| 50 | FEV1 | 2.7 | 2.9 | 3.1 | 3.3 | 3.6 | 3.8 | 4.0 | 4.2 |
| | FVC | 3.3 | 3.6 | 3.9 | 4.2 | 4.4 | 4.7 | 5.0 | 5.3 |
| 55 | FEV1 | 2.5 | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.7 | 3.9 | 4.1 |
| | FVC | 3.2 | 3.5 | 3.7 | 4.0 | 4.3 | 4.6 | 4.9 | 5.2 |
| 60 | FEV1 | 2.4 | 2.6 | 2.8 | 3.1 | 3.3 | 3.5 | 3.7 | 4.0 |
| | FVC | 3.0 | 3.3 | 3.6 | 3.9 | 4.2 | 4.5 | 4.8 | 5.0 |
| 65 | FEV1 | 2.2 | 2.5 | 2.7 | 2.9 | 3.1 | 3.4 | 3.6 | 3.8 |
| | FVC | 2.9 | 3.2 | 3.5 | 3.8 | 4.1 | 4.3 | 4.6 | 4.9 |
| 70 | FEV1 | 2.1 | 2.3 | 2.5 | 2.8 | 3.0 | 3.2 | 3.4 | 3.7 |
| | FVC | 2.8 | 3.1 | 3.3 | 3.6 | 3.9 | 4.2 | 4.5 | 4.8 |

## 2. SPIROMETRIE (vyšetření pomocí spirometru MINISPIR MIR)

Spirometrie je funkční vyšetření plic, kdy se stanovují jak statické (objemy), tak i dynamické (průtoky) parametry plic. Přínos vyšetření je v odhalení ventilačních poruch a jejich významnosti (kvantifikace).

Zjednodušeně mohou plíce postihnout onemocnění, která omezí jejich:
**A: Objem** - Příklad:

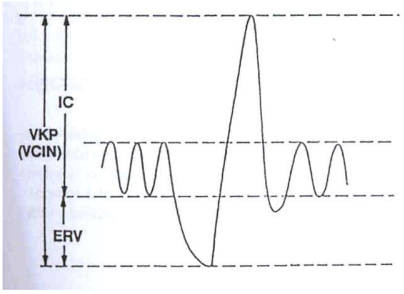
- přestavba parenchymu vazivovou tkání na méně poddajný (plíce se rozvíjí s omezením)

Ty odhalíme a kvantifikujeme statickou spirometrií (změřením objemu, který plíce pojmou).

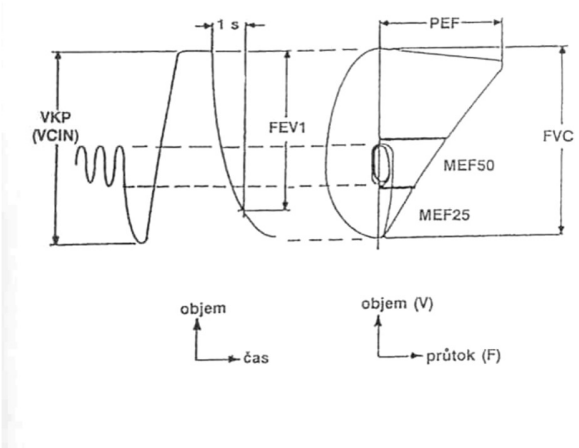
**B: Průsvit dýchacích cest, tudíž průtok vzduchu** – Příklady:

- Zánět průdušek s otokem sliznic a zvýšenou produkcí hlenu
- Astma (jedná se rovněž o zánět, který ale může být navíc komplikován spazmem bronchiální svaloviny)

Ty rozpoznáme a zhodnotíme dynamickou spirometrií (změřením maximálního průtoku vzduchu při usilovném výdechu). Opakovanými vyšetřeními můžeme sledovat úspěšnost léčby.
U obou typů vyšetření je naprosto klíčové, že pacient dobře pochopil a provedl instrukci. Jinak je vyšetření nehodnotitelné. Nemá proto smysl provádět toto vyšetření u špatně spolupracujících nemocných (malé děti, hodně staré osoby). Instruktor musí být dobře vyškolen k jasnému sdělení pokynů pacientovi. Cílem cvičení je, abyste si vyzkoušeli, že není jednoduchá ani správná instruktáž vyšetřovaného ani následování pokynů pacientem.
**<u>Úlohy:</u>**
**A) Měření vitální kapacity plic - VC** = VKP , ERV- exspiračního rezervního objemu, IC –inspirační kapacity.



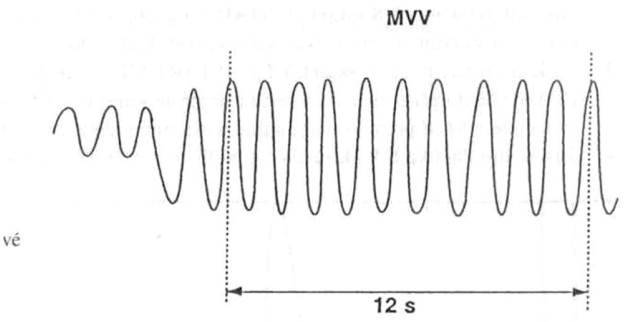

**Obr. 2**. Základní parametry spirometrie. VKP (VCIN, IVC) = vitální kapacita (inspirační), ERV = exspirační rezervní objem a IC = inspirační kapacita
**B) Křivka průtok-objem**




**Obr. 3**. Základní parametry křivky F/V (průtok-objem). VKP (VCIN, IVC) – inspirační vitální kapacita; FVC – forsírovaná (usilovná) vitální kapacita; FEV1 – forsírovaný exspirační objem za 1 s; FEV1 % VC – FEV1 v % vit. kapacity (VCIN nebo

FVC); MEF50 – max. exspirační průtok při 50% VC; MEF25 – max. exspirační průtok při 25% VC.; MEF25/75 –max. exspirační průtok mezi 25 a 75% FVC; PEF (Peak expiratory Flow) - vrcholový exspirační průtok; MIF50 – max. inspirační průtok při 50% VC max.; FIV1 – forsírovaný inspirační objem za 1 s

### C) Vyšetření maximální minutové (volní) ventilace (MVV)



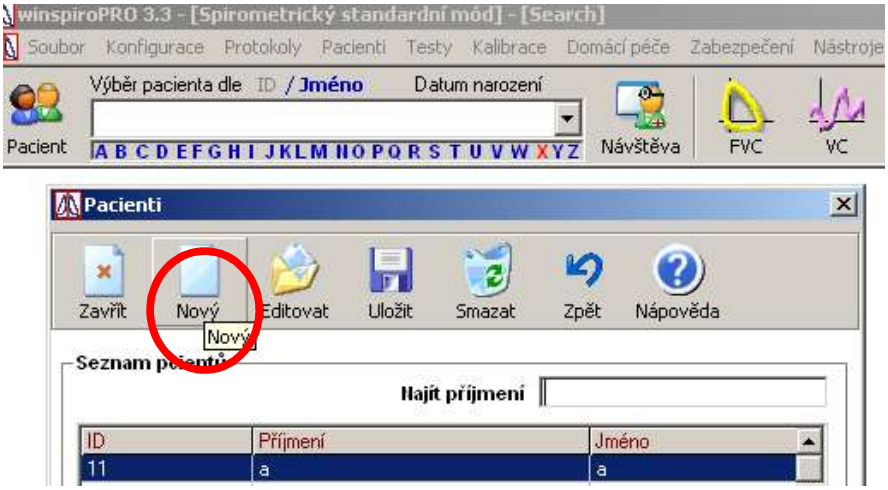

**Obr. 4.** Vyšetření MVV

**Obr. 5**. Spirometr MINISPIR MIR (včetně připojeného pulzního oxymetru, viz Úloha 3.)

**Provedení**:

1. Zapněte PC
2. Připojte spirometr k PC přes USB kabel
3. Otevřete program Winspiro PRO
4. Klikněte na položku Pacienti na liště s nástroji a vyberte Přidat nový nebo editovat

5. Vytvořte novou kartu (ikona Nový na liště otevřeného okna Pacienti)

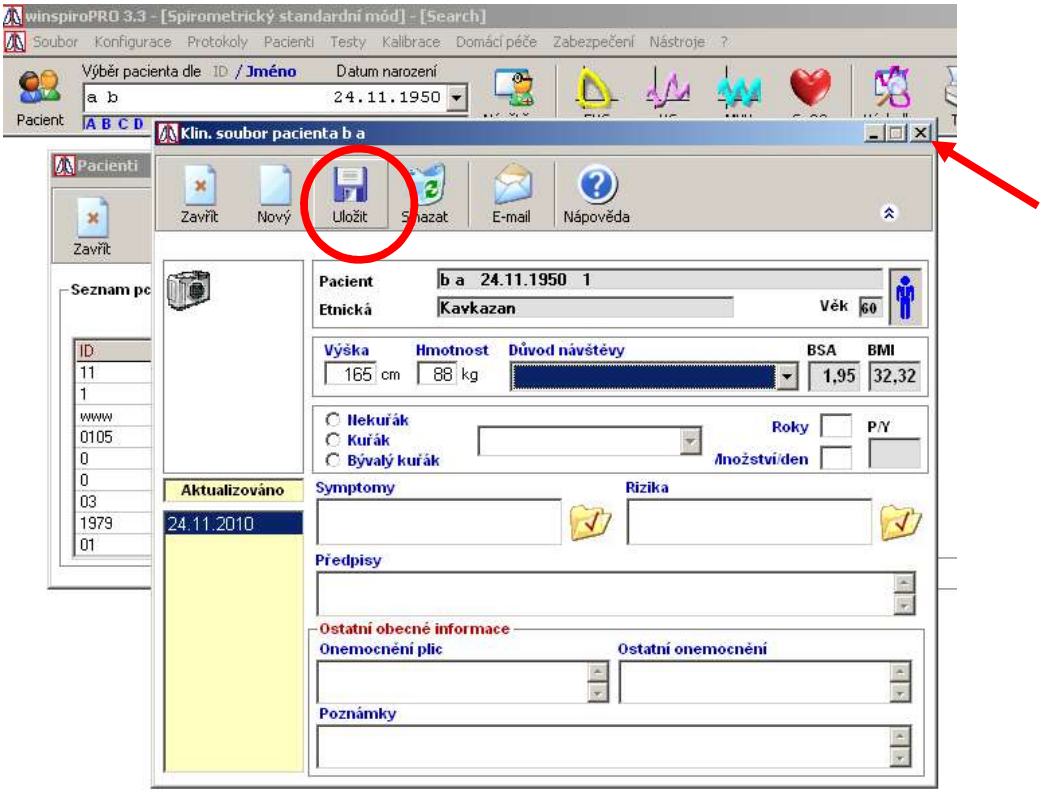



6. Otevřené okno zobrazuje povinná políčka označené hvězdičkou *, která musí být vyplněna (tedy ID, příjmení, jméno, datum narození, pohlaví, etnická skupina)

7. Klikněte dále na

a v otevřeném okně vyplňte parametry výšky a hmotnosti a údaje potvrďte ikonou OK (Potvrdit novou návštěvu).

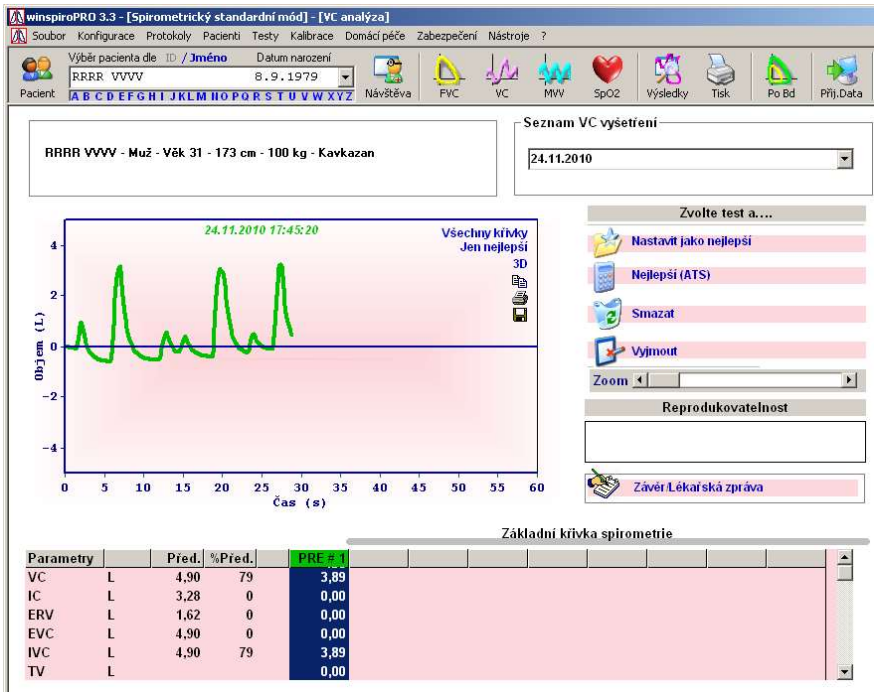
8. Údaje uložte (ikona Uložit) a zavřete toto, popř. další otevřené okno (Pacienti).




9. Do spirometru vložte plastovou turbínu, do které nasaďte papírový náustek. Nyní je přístroj připraven k provedení kontrolních 3, resp. 4 úloh: FVC, VC a MVV, resp. SpO2. Veškerá vyšetření probíhají vsedě.

## A) Měření vitální kapacity plic – VC

Na liště s nástroji klikněte na položku **VC**
Vyšetřovaný si nasadí nosní klip a začne dýchat do spirometru. Dýchá klidně do doby, než se na obrazovce objeví pokyn pro manévr maximálního nádechu po maximálním výdechu (viz Obr. 4), který **je třeba třikrát za sebou opakovat** (popř. s proloženými klidnými dechy), měření dále přijmout a výsledky zapsat do svých protokolů.




**Hodnocení:**

| SPIROMETRIE | Naměřené hodnoty | | | |
|---|---|---|---|---|
| | VKP | ERV | IC | Interpretace |
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| 3. | | | | |
| 4. | | | | |
| 5. | | | | |

**Závěr:**
Totéž vyšetření provedeme také po fyzické zátěži (30-40 dřepů ve frekvenci 1 dřep/s).

**Hodnocení:**

| SPIROMETRIE | Naměřené hodnoty | | | |
|---|---|---|---|---|
| | VKP | ERV | IC | Interpretace |
| 1. před zátěží | | | | |
| po zátěži | | | | |
| 2. před zátěží | | | | |
| po zátěži | | | | |

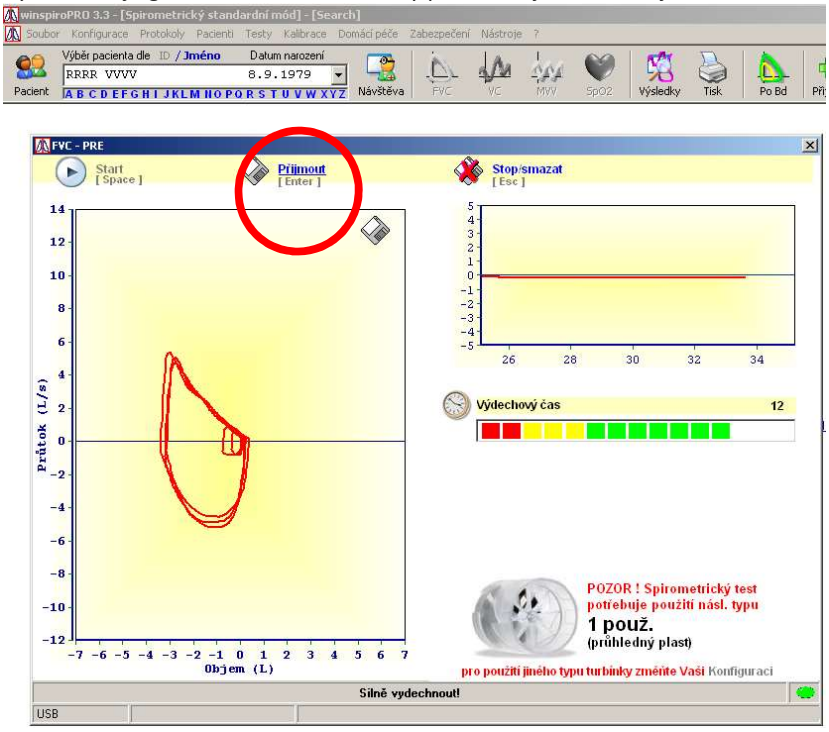
**Závěr**:

## B) Křivka průtok-objem

Na liště s nástroji klikněte na položku „**FVC“**.

Vyšetřovaný dýchá do spirometru opět s klipem na nose a náustkem pevně obemknutým rty. Po krátkém klidném dýchání (min. 3-4 klidné nádechy) provede několik manévrů, tj. po klidném výdechu vydechne maximálně (ERV- expirační rezervní objem) a následně se maximálně nadechne (IVC – inspirační vitální kapacita) a poté provede s použitím maximálního úsilí co nejrychlejší a úplný výdech (FVC- forsírovaná vitální kapacita, FEV1- forsírovaný expirační objem za 1 s) (viz Obr. 3). **Celý postup se opakuje třikrát za sebou**. Protože je vyšetření poněkud náročné, je možné mezi ně vložit několik klidných dechů.

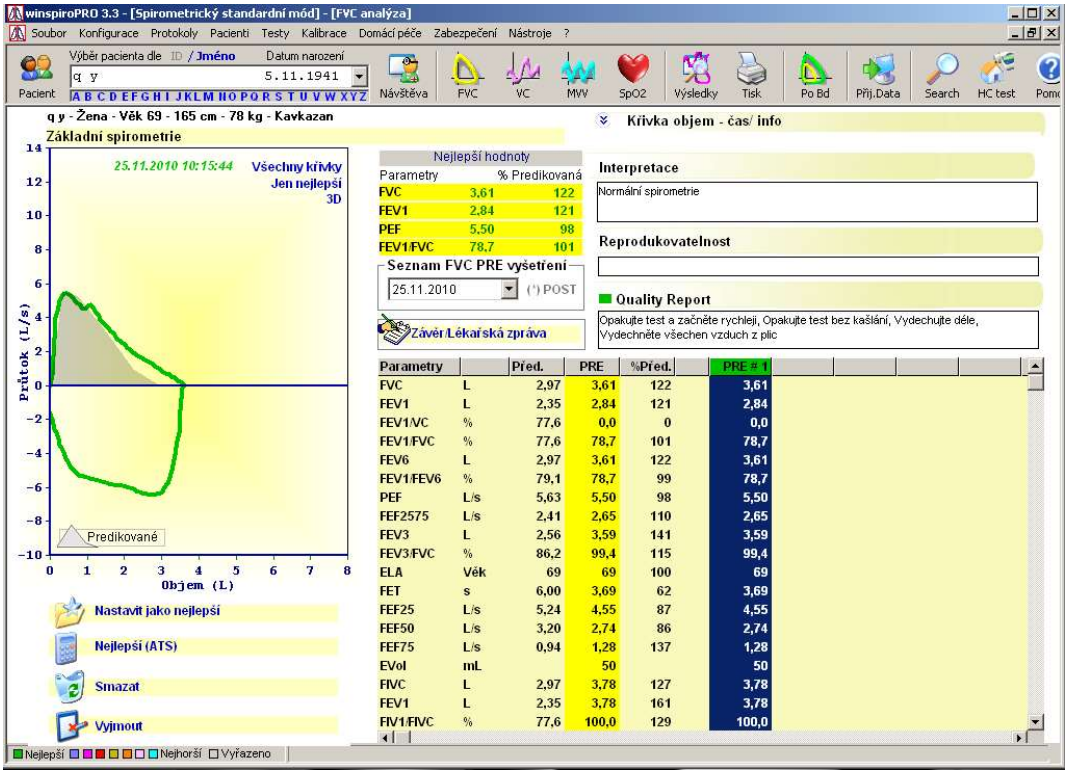
Výsledkem je grafické znázornění křivky průtok-objem, kterou je nutné uložit kliknutím na povel „ Přijmout“.




Nově otevřené okno nabídne výsledky jednotlivých parametrů, jež si studenti zaznamenají

**Hodnocení:**

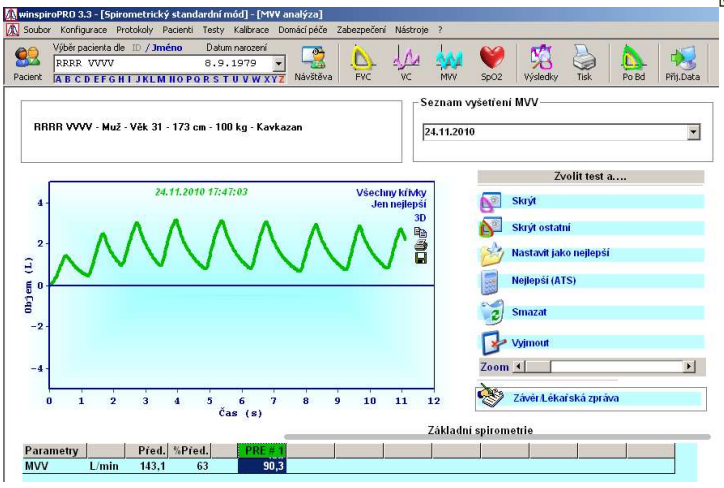
| **Křivka objem-průtok** | **Naměřené hodnoty** | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | **FVC** | **FEV1** | **FEV1%FVC** | **PEF** | **MEF2575** |
| **1.** | | | | | |
| **2.** | | | | | |
| **3.** | | | | | |
| **4.** | | | | | |




**Závěr:**

## C) Vyšetření maximální minutové (volní) ventilace (MVV)

V úloze „**MVV“** vyšetřovaný dýchá při maximální frekvenci maximálním dechovým objemem po dobu 12 s (viz Obr. 5), výsledky vyšetření se opět zaznamenají do protokolů.



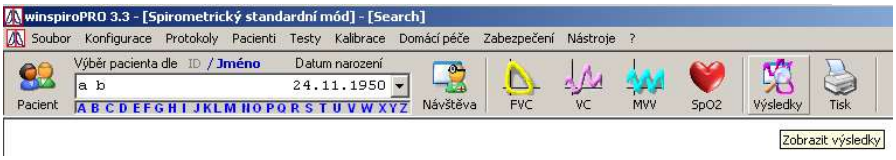
**Hodnocení:**

| MINUTOVÁ VENTILACE | Hodnota | |
|---|---|---|
| | MVV | Interpretace |
| 1. | | |
| 2. | | |
| 3. | | |
| 4. | | |
| 5. | | |

**Závěr:**

K veškerým výsledkům je možno se vracet. Je-li zvoleno jméno pacienta z políčka roletového menu,

stačí jen kliknout na ikonu „**Výsledky**“ na liště nástrojů hlavního okna a zobrazí se kompletní přehled o vyšetřovaném včetně antropometrických informací, parametrů a o provedených vyšetřeních.



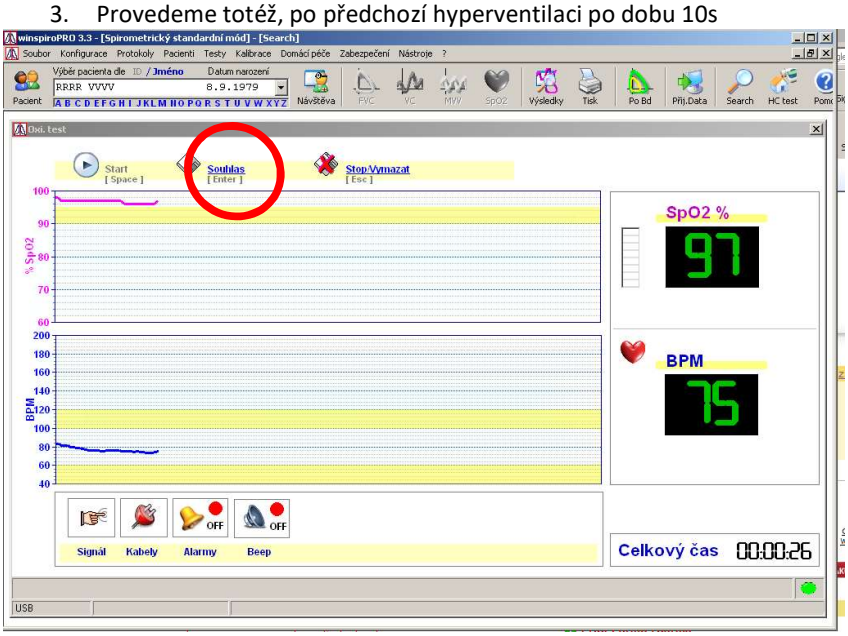

### 3. Měření saturace arteriální krve kyslíkem

K vyšetření saturace arteriální krve kyslíkem je nutné do spirometru připojit pulzní oxymetr, jenž si poté vyšetřovaný nasadí na třetí prst. Přístup do okna tohoto vyšetření je zajištěn kliknutím na ikonu „**SpO2**“.

Levá strana okna zobrazuje grafický trend parametrů SpO2 a BPM (tepová frekvence), pravá informuje o aktuálních hodnotách parametrů SpO2 a BPM. K ukončení měření využijte povelu „Souhlas“ v horní části okna.
Registraci snížené arteriální saturace můžete simulovat volní apnoickou pauzou.

**ÚKOL: Stanovení volní apnoe, vývoj saturace arteriální krve během zadržení dechu**
**Pomůcky**: stopky, pulzní oxymetr, spirometr MINISPIR MIR, PC s programem Winspiro PRO
**Provedení**:
**Úlohy provádějte vsedě, zejména modifikaci s hyperventilací!!!**

1. Nejprve zaznamenáme klidové hodnoty SpO2 a srdeční frekvence (BPM) vyšetřované osoby.
2. Poté ji vyzveme, aby se maximálně nadechla a zadržela dech, jak nejdéle vydrží. Na stopkách měříme čas, sledujeme saturaci a srdeční frekvenci. V okamžiku, kdy osoba apnoi ukončí, zaznamenáme hodnoty do tabulky.
3. Provedeme totéž, po předchozí hyperventilaci po dobu 10s




**Hodnocení:**

| | Registrované hodnoty | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Klidné dýchání | | Apnoe | | | Apnoe po 10 s trvající hyperventilaci | | |
| | SpO2 | BPM | Trvání (s) | SpO2 na konci apnoe | BPM na konci apnoe | Trvání (s) | SpO2 na konci apnoe | BPM na konci apnoe |
| **1.** | | | | | | | | |
| **2.** | | | | | | | | |

**Otázky:**
Dokázali jste zadržením dechu po období klidného dýchání snížit saturaci arteriální krve?
Pokud ano, tak o kolik?
Jak je to významné?
Proč si myslíte, že jste dospěli k těmto výsledkům?
Jak se situace lišila, předcházela-li apnoické pauze hyperventilace?
Proč?

**Závěr:**

**5. FYZIKÁLNÍ VYŠETŘENÍ PLIC**

**Pomůcky**: fonendoskop

**Provedení**:

1. **Pohled (aspekce)**: Pohledem vyšetřujeme tvar hrudníku, symetričnost, deformaci, dýchací pohyby. Ideální tvar hrudníku je klenutý a oboustranně symetrický.

**»Soudkovitý«** hrudník bývá u pykniků, ale tento tvar hrudníku nacházíme rovněž u rozedmy plic a u obstrukčních chorob (obstrukce dýchacích cest). Soudkovitý hrudník je krátký, klenutý, široký a předozadní průměr má prodloužený. Dýchací exkurze jsou malé. Při větší obstrukci především horních cest dýchacích (zejména u dětí) můžeme v inspiriu pozorovat **»zatahování«** jugulární jamky a jamek nadklíčkových, popřípadě podžebří a mezižebří. Hrudník **»dlouhý«,** plochý a úzký, s odstávajícími lopatkami a vpadlými jamkami nadklíčkovými i podklíčkovými nacházíme především u asteniků.

Deformity hrudníku mohou vznikat jako následek onemocnění plic a pohrudnice, ale i stěny hrudníku.

Při aspekci si rovněž všímáme dýchacích pohybů. Fyziologicky se obě poloviny hrudníku pohybují současně a souměrně. Při některých onemocněních plic bývají pohyby na postižené straně hrudníku snížené až vymizelé (pneumotorax).

Dechovou frekvenci určujeme aspekcí nebo palpací.

**Hodnocení:**

Vyšetření provedeme u 3 osob a výsledky zaznamenáme do tabulky!

Do první kolonky, tj. vždy za pořadové číslo (u všech následujících úloh) zaznamenáme věk, pohlaví, výšku a hmotnost vyšetřované osoby!

| **ASPEKCE** | **Tvar hrudníku** | **Dýchací pohyby** | **Dechová frekvence** | **Typ dýchání** |
|---|---|---|---|---|
| 1. | | | | |
| 2. | | | | |
| 3. | | | | |

**Závěr:**

2. **Pohmat (palpace)**: Pohmatem vyšetřujeme především **hrudní chvění (fremitus pectoralis),** popřípadě pleurální tření. Hrudní chvění vyšetřujeme palpováním hrudní stěny při fonaci nebo při zakašlání. Vyšetřovaná osoba vyslovuje hlasitě některá slova. Zvuk vzniklý rozechvěním hlasových vazů se šíří průdušnicí a průduškami až do tkáně plic a vyvolává chvění, které se přenáší na hrudní stěnu. Při vyšetřování tohoto fenoménu přikládáme dlaně na stejná místa obou polovin hrudníku a srovnáváme chvění na obou stranách. Pro vznik hrudního chvění je nutná správná funkce hlasivek, volná průdušnice a průdušky a pružný hrudník.

Hrudní chvění je zesíleno nad infiltrovanou nebo stlačenou plicní tkání. Naopak zeslabené až vymizelé hrudní chvění zaznamenáváme např. při pneumotoraxu, při ucpání bronchu nebo při emfyzému.

Třecí šelest (pleurální tření) není za fyziologických podmínek přítomen. Projevy tření můžeme někdy hmatat při zánětu pohrudnice.

**Hodnocení:**

| **PALPACE** | **Hrudní chvění** | |
|---|---|---|
| | **vlevo** | **vpravo** |
| **1.** | | |
| **2.** | | |
| **3.** | | |

**Závěr:**

3. **Poklep (perkuse)**: Nejčastěji se užívá tzv. nepřímý poklep prstem na prst. Při poklepu klepeme třetím prstem jedné ruky kolmo na druhý článek třetího prstu druhé ruky, který je přiložen těsně k hrudníku vyšetřované osoby.
Začínáme na zádech v čáře paravertebrální a klepeme vždy v mezižebří směrem shora dolů, střídavě na obou stranách. Porovnáváme poklepový zvuk. Tak lze určit hranice plic.
U zdravého člověka je poklepový zvuk nad plicní tkání plný a jasný. Je výrazem vzdušnosti a napětí plic. Uslyšíme-li nad některými úseky plic jiný zvuk, snažíme se vystihnout jeho kvalitu a určit lokalizaci a rozsah. Hranice plic určuje poklepové ztemnění.
Chorobně může být poklepový zvuk změněn. Např. při plicních infiltrátech ztrácí plicní tkáň svoji vzdušnost a poklepový zvuk se stává buď částečně temným (zkráceným), nebo úplně temným (prázdným).

**Hodnocení:**

| **PERKUSE** | **Kvalita zvuku** | |
|---|---|---|
| | **vlevo** | **vpravo** |
| **1.** | | |
| **2.** | | |
| **3.** | | |

**Závěr**:

4. **Poslech (auskultace**): Membránu fonendoskopu přitlačujeme na hrudník tak, aby celá její plocha dobře přiléhala. Vyšetřovaná osoba přitom sedí nebo leží a klidně dýchá pootevřenými ústy. Zachováváme stejný postup jako při poklepu.
Nad plícemi zdravého člověka je slyšet za vdechu měkký šelest, který je projevem vnikání vzduchu do plicních sklípků. Nazývá se proto **šelest sklípkový** (alveolární). Při výdechu není u dospělého člověka zpravidla slyšet nad plícemi žádný šelest. Sklípkový šelest je dokladem, že plicní tkáň je vzdušná.
Nad průdušnicí a velkými bronchy je možno slyšet i u zdravého člověka tzv. **trubicový (bronchiální) šelest** při vdechu i výdechu. Trubicový šelest je slyšet fyziologicky tam, kde jsou velké bronchy blízko hrudní stěny (nad hrtanem a průdušnicí, v blízkosti C7, ve výši Th4 a v podpažních jamkách). Je projevem proudění vzduchu v těchto cestách a je fyziologický.

**Hodnocení:**

| **AUSKULTACE** | **Typ šelestu** | | |
|---|---|---|---|
| | **vlevo** | **nad tracheou** | **vpravo** |
| **1.** | | | |
| **2.** | | | |
| **3.** | | | |

**Závěr**:

Jméno: Příjmení: Studijní kroužek: Skupina: A, B, C, D

..... .....
datum podpis vyučujícího

# B2 SIMULACE

## Oběh, determinanty krevního tlaku, předání

### PŘEDÁNÍ

K **systematickému přístupu k nemocnému**: **vyšetření, zhodnocení (reakce) a rozvaha** patří strukturované **předání informace o nemocném.** Čím lépe je provedeno, tím více přebírajícímu lékaři usnadní orientaci v problému.

SBAR: jeden ze zavedených způsobů ústního sdělení informací o nemocném mezi zdravotníky

| | | Obsah | *Příklad SBAR* |
|---|---|---|---|
| **S** | **SITUATION**<br>**Co se stalo** | Kdo a kde jsem<br>Kdo je pacient<br>**Hlavní obtíž nemocného** | *Jsem medik na ulici Albertov*<br>*Mám tu asi 40 –letou zmatnou zpocenou paní* |
| **B** | **BACKGROUND**<br>**Co k tomu vedlo** | **Okolnosti vzniku obtíží** +<br>známé komplikující faktory (např. chronické nemoci - cukrovka) | *Jedná se o diabetčku, ráno málo jedla, měla inzulin*<br>*Nyní vypila půl litru sladké coly a snědla sušenky, stav je lepší* |
| **A** | **ASSESMENT**<br>**Výsledek vyšetření**<br>**+**<br>**Hodnocení závažnosti** | **Dr.ABC**<br>..... | *Zpočátku neklidná žena, která nevěděla přesně, kde je,*<br>*Je nyní klidnější, lépe komunikuje,*<br>*Dýchá pravidelně s frekvencí 16/minutu, kůže je opocená, růžová, pulzace na periferii dobře hmatné, HR 100/min, akce pravidelná, prokrvení periferie dobré (CRT 2s), zornice stejné, reagují na světlo přímo i nepřímo.*<br>*Obávám se rozvoje bezvědomí kvůli hypoglykémii, proto hodnotím její stav jako ohrožující.* ... |
| **R** | **RECOMMENDATION**<br>**Co potřebuji** | **Předání do péče** | *Potřebuji poradit, co dál*<br>*Potřebuji změřit glykémii a dopravit paní do nemocnice….* |
| | **Ověřte, zda jste si rozuměli !!!** | | ***Kdy přijedete?*** |

# OBĚH, TLAK KRVE, HYPOTENZE
## DETERMINANTY KREVNÍHO TLAKU

**Tlak krve je** síla krevní náplně působící na plochu cévní stěny.
Je to podstatný parametr, protože podle jeho hodnoty, měřené mechano-receptory v oběhu, organismus udržuje **průtok krve tkání** (tj. úroveň dodávek O2, energetických substrátů a odvodů odpadních produktů) v náležitém rozsahu*. Dostatečné hodnoty krevního tlaku je nutné také dosáhnout pro filtrační schopnost ledvin a výměnu látek ve tkáních (viz Starlingovy síly na glomerulokapilární membráně a na kapilární membráně systémového oběhu).

*Note: Průtok je určen nutnou dodávkou O2. Pro zajištění dodávek energetických substrátů by stačil srdeční výdej cca 0.5L/min

**Tlak krve závisí na**:

- celkové náplni řečiště (objemu krve)
- činnosti srdce (srdečním výdeji)
- odporu cévní stěny (celkovém periferním odporu)

**Registrace aktuálního krevního tlaku ve velkém oběhu**
Mechano-receptory v cévní stěně mají mechanicky řízené iontové kanály, které registrují změnu napětí cévní stěny.

- Ty, které slouží regulaci **objemu krve** (a tělesných tekutin), se nazývají **volumo-receptory** a jsou situovány v síních a velkých žilách, tedy tam, kde je stěna poddajnější, a tudíž reaguje více na změny objemu než arterie.
- Ty, které jsou zapojeny v regulaci **srdečního výdeje** a **odporu cév**, se nazývají **baro-receptory** a jsou umístěny v karotických tělíscích a oblouku aorty, tj. v místě, kde se změna čerpací funkce srdce a změna celkového periferního odporu nejvíce projeví na hodnotách tlaku.

Kromě uvedených receptorů napětí cévní stěny disponuje organismus ještě řadou dalších lokálních receptorů (např. ledviny, mozek,…).

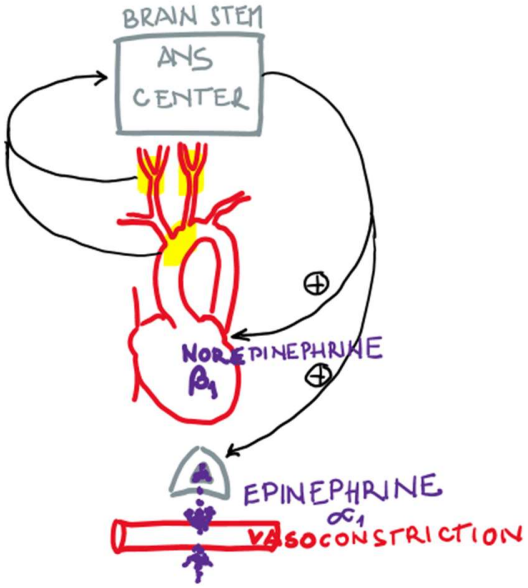
Jmenované příklady slouží k pochopení principu regulace tlaku krve ve velkém oběhu a uvědomění si nesmírné důležitosti udržení průtoku krve tkáněmi na náležité úrovni pro zachování integrity organismu.

Dále to ilustruje uzpůsobení kompenzačních mechanismů: pokles tlaku pod kritickou hodnotu je silným aktivátorem sympatiku. Jedná se totiž o život ohrožující stav.

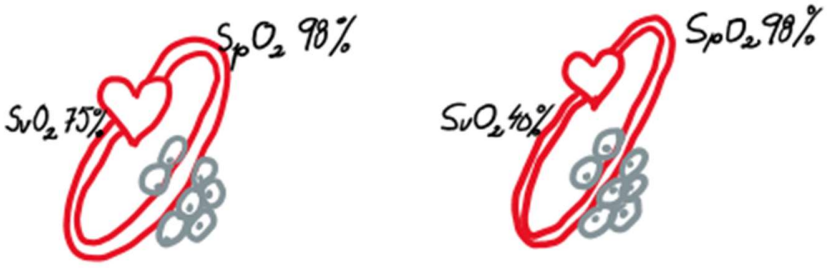
**Kompenzační mechanismy organismu při poklesu arteriálního krevního tlaku**
(podrobně viz učebnice, regulace krevního tlaku)

1. **Nervová regulace, baroreceptorový reflex**

   Klesá-li tlak krve v arteriálním řečišti, poklesne napětí v cévní stěně a mechanicky řízené iontové kanály glomus caroticum a a. aortae se uzavírají. (Sníží se tok iontů kanálem a tvorba akčních potenciálů.)
   Tím ustane inhibiční působení na kmenové centrum sympatiku, dojde ke **zvýšení srdečního výdeje** (projeví se okamžitě**).**
   Jsou stimulovány nadledviny k produkci adrenalinu a **vasokonstrikci** systémových arteriol (projeví se s latencí sekund až desítek sekund).




2. **Udržení dodávky kyslíku při sníženém průtoku krve tkání zvýšenou extrakcí O2**
   Klesne-li průtok krve tkání pod potřebnou mez a metabolické potřeby a tím i odběr O2 tkání nadále trvají (neklesají), vede to automaticky k vyšší tkáňové extrakci O2. Saturace venózní krve (opouštějící tkáň), SvO2 je pak nižší než za fyziologických poměrů.




Adekvátní průtok krve tkání  Snížený průtok krve tkání

3. **Hormonální regulace směřující k omezení ztrát objemu intravaskulární tekutiny:**
   Pokles arteriálního tlaku registrují také baroreceptory vas afferens ledvin. V důsledku toho ledviny uvolňují renin, vzniká angiotenzin a kůra nadledvin produkuje aldosteron působící zvýšenou resorpci sodíku a vody. Podrobněji viz učebnice, systém renin-angiotensin-aldosteron a B5.
   Pokles dráždění volumoreceptorů (ve stěně velkých cév, v srdečních předsíních, v plicních žilách) vede k produkci antidiuretického hormonu (ADH), který zvyšuje resorpci vody v ledvinách a k pocitu žízně. Rozvoj hormonální regulace oproti metabolické nebo nervové trvá déle (hodiny, dny).

**Redistribuce krevního toku při hypotenzi**
V podmínkách klesajícího/nízkého arteriálního tlaku krve jsou mozek, srdce a ledviny perfundovány lépe než periferní tkáně (centralizace oběhu). To je zajištěno autoregulací průtoku krve v těchto orgánech. Jinými slovy: tyto orgány mají vlastní mechanismy regulace perfuze, které jsou do jisté míry centrálnímu řízení nadřazené. Podrobněji učebnice a B5.

**Význam normalizace krevního tlaku**

**Hypotenze je kritickým stavem**, protože nerovnováha mezi potřebami tkání a možnostmi oběhu může být mimo dosah kompenzace i léčebných postupů a může vést k úmrtí.

**Kompenzační reakce** je žádoucí (udrží průtok preferovanými oblastmi (mozek, srdce+plíce, do určité míry ledviny), ale trvá-li dlouho, může vést k ireverzibilním změnám ve tkáních trpících dlouhou vazokonstrikcí (GIT, kůže, svaly…). Nežádoucí není jenom poškození tkáně hypoperfuzí, ale i ohrožení celého organismu po obnově průtoku krve periferií (pokud se podaří oběhové selhání terapeuticky zvládnout). Do oběhu se totiž vyplavují rozpadové produkty dočasně špatně zásobovaných tkání (např. fosfolipidy membrán – aktivace koagulace, draslík – změna napětí na membránách, poruchy srdečního rytmu, H+ z anaerobního metabolismu – posun pH, nefunkčnost proteinů…..).

**Terapeutické principy**
Proto je důležité vyvinout **terapeutickou snahu** k co nejčasnější obnově fyziologických oběhových poměrů. A to v souladu s příčinou rozvoje hypotenze:

- Ztráta objemu náhrada objemu
- Pokles srdečního výdeje podpora srdečního výdeje podle příčiny poruchy (porucha plnění?, elektrické aktivity?, kontraktility?)
- Ztráta periferního odporu tonizace arteriol

Jednou z podmínek úspěchu je pečlivé vyšetření, znalost hodnot oběhových parametrů a jejich vývoj v čase.
(Viz také B5, invazivní monitorování krevního tlaku a sledování hodinové diurézy).

## Ztráta intravaskulárního objemu

Fluktuace intravaskulárního objemu je fyziologická. Objem krve stoupá například resorpcí tekutin z gastrointestinálního traktu, klesá tvorbou moči nebo potu (podrobněji bilance tekutin B5). V určitém rozmezí jsou změny kompenzovány regulačními mechanismy. Dojde-li však k příliš velkému náhlému poklesu objemu krve (například masivním krvácením), regulační mechanismy ke kompenzaci nestačí, přestože jsou maximálně zapojené, a tlak krve nevyhnutelně klesá.

## Pokles srdečního výdeje

Fyziologicky se srdeční výdej mění ve velkém rozsahu (5l/min v klidu-30l/min při maximální zátěži).

Je určen součinem tepového objemu a srdeční frekvence.
K závažnému poklesu srdečního výdeje může dojít

- poklesem tepového objemu (snížením kontraktility, poruchou plnění, nekoordinovaným stahem myokardu)
- snížením tepové frekvence
- kritickým zvýšením tepové frekvence (diastolická fáze je natolik zkrácená, že se srdce nestihne naplnit)

## Pokles periferního odporu

Vasokonstrikcí stoupá periferní odpor a tím i krevní tlak, vazodilatací klesá. Samozřejmě se to týká úseků cévy před místem, jež mění svůj průsvit a také paralelních úseků přilehlých k regulující se cévě/cévám. Navíc to platí jenom pokud se průtok takto regulovaným úsekem moc nemění, protože, pokud se průtok výrazně sníží, např. z důvodu sníženého SV, pak ani generalizovaná vazokonstrikce nedokáže tlak zvýšit nebo ho vůbec udržet.
Největší vliv na celkový periferní odpor má průsvit arteriol svalového typu. Při uvolnění velkého množství látek s vasodilatačním účinkem do krve významně vzroste průsvit arteriol, klesne periferní odpor a tím i tlak krve (při relativně nezměněném SV. Pokud SV stoupne o víc než o kolik poklesne celkový odpor arteriol, pak tlak neklesá, ale naopak stoupá – viz velká fyzická zátěž).
Příkladem kriticky závažných stavů způsobených poklesem periferního odporu z důvodu neadekvátní, patologické, velké dilatace arteriálního řečiště jsou generalizované zánětlivé či alergické reakce nebo transfuze inkompatibilní krve.

### Úloha 1 – shrnutí

| | |
|---|---|
| **S**<br>Situation<br>Co se stalo | |
| **B**<br>Background<br>Co k tomu vedlo | |
| **A**<br>Assessment<br>Výsledek vyšetření<br>+<br>Hodnocení stavu | |
| **R**<br>Recommandation<br>Co potřebuji já, pacient | |

**Úloha 2 – shrnutí**

| | |
|---|---|
| **S** | |
| **B** | |
| **A** | |
| **R** | |

**Úloha 3 – shrnutí**

| | |
|---|---|
| **S** | |
| **B** | |
| **A** | |
| **R** | |

**Úloha 4 – shrnutí**

| | |
|---|---|
| **S** | |
| **B** | |
| **A** | |
| **R** | |