



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
Katedra biomedicínské techniky

**Krátkodobá a dlouhodobá anestezie
v softwarovém prostředí MÜSE**

**Short-term and long-term anesthesia in
software MÜSE**

Bakalářská práce

Studijní program: Biomedicínská a klinická technika

Studijní obor: Biomedicínský technik

Autor bakalářské práce: Lenka Brožáková

Vedoucí bakalářské práce: Doc. Ing. Martin Rožánek, Ph.D

Kladno 2018

Katedra biomedicínské techniky

Akademický rok: 2017/2018

Zadání bakalářské práce

Student: **Lenka Brožáková**
Obor: Biomedicínský technik
Téma: **Krátkodobá a dlouhodobá anestezie v softwarovém prostředí MŮSE**
Téma anglicky: Short-term and long-term anesthesia in software MŮSE

Zásady pro vypracování:

Cílem práce je navržení a ověření aktuální a dostupné kombinace léků pro zavedení anestezie v softwarovém prostředí MŮSE celotělového simulátoru HPS. Realizujte krátkodobou anestezii nitrožilní formou a dlouhodobou anestezii realizujte kombinací nitrožilních a inhalačních farmak. Analyzujte průběh vitálních funkcí během simulované anestezie a v závislosti na dávkování anestetických léčiv. Na základě výsledků připravte návod pro experimentální výukovou úlohu.

Seznam odborné literatury:

- [1] Van Meurs WL, Nikkelen E, Good ML, Pharmacokinetic-pharmacodynamic model for educational simulations, IEEE Trans Biomed Eng, ročník 45, číslo 5, 1998, 582-590 s.
- [2] Páchl J., Roubík K., Základy anesteziologie a resuscitační péče dospělých i dětí, ed. 1, Karolinum, Praha, 2003, ISBN 80-246-0479-5
- [3] Richard H. Riley, A Manual of Simulation in Healthcare, ed. 1st edition, Oxford University Press, 2008, 352 s., ISBN 019920585X

Zadání platné do: 20.09.2019
Vedoucí: doc. Ing. Martin Rožánek, Ph.D.
Konzultant: MUDr. Lenka Horáková


vedoucí katedry / pracoviště


děkan

V Kladně dne 19.02.2018

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem „Krátkodobá a dlouhodobá anestezie v softwarovém prostředí MÜSE“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu §60 Zákona č.121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Kladně 7.5.2018

.....

Lenka Brožáková

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce, panu Doc. Ing. Martinu Rožánkovi, Ph.D., za odborné vedení, cenné rady a čas strávený při tvorbě této práce. Dále bych také chtěla poděkovat MUDr. Lence Horákové za pomoc s lékařskou částí bakalářské práce.

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je navození krátkodobé a dlouhodobé anestezie v softwarovém prostředí MŮSE, dle aktuální a dostupné kombinace léků a analyzovat průběh vitálních funkcí během simulované anestezie v závislosti na dávkování anesteziologických farmak. Krátkodobá anestezie bude realizována nitrožilním podáním farmak. Dlouhodobá anestezie bude uvedena pomocí nitrožilních farmak, další vedení anestezie bude inhalační formou. Při vytváření scénáře bude brán zřetel na parametry pacienta, kombinaci léků a jejich dávku. Součástí práce budou výsledky a grafické zpracování výstupních parametrů simulace. Na základě vyhodnocení výsledků bude připraven návod pro experimentální výukovou úlohu v softwaru MŮSE se simulátorem HPS.

Klíčová slova

Celková anestezie, simulator HPS, simulace, krátkodobá anestezie, dlouhodobá anestezie, software MŮSE

ABSTRACT

The aim of the bachelor thesis is to examine the induction of a short-term and long-term anaesthesia using the MÜSE software environment according to the contemporary and available combination of drugs and to analyse the state of vital functions during simulated anaesthesia depending on dosing of anaesthesia medications. Short-term anaesthesia will be carried out an intravenous administration of medications. Long-term anaesthesia will be administered using intravenous medications; further administration of anaesthesia will be performed in the form of inhalation. Consideration will be given to the patient's characteristics, combination of drugs and their dose, when creating a scenario. Part of the thesis are the results and graphic processing of the output parameters of the simulation. The instruction manual for the experimental learning ask is prepared in the MÜSE software with the HPS simulator, based on the evaluation of the result.

Keywords

Total anaesthesia, HPS simulator, simulation, short-term anaesthesia, long-term anaesthesia, software MÜSE

Obsah

Úvod	1
1 Celková anestezie	2
1.1 Moderní doplňovaná anestezie	2
1.1.1 Opiody	2
1.1.2 Svalová relaxancia	2
1.2 Rozdělení anestezie	3
1.2.1 Nitrožilní anestezie	4
1.2.2 Inhalační anestezie	5
1.3 Farmakokinetika	7
1.3.1 Farmakokinetika v anestezii	7
1.3.2 Hloubka anestezie	7
1.4 Vedení celkové anestezie	8
1.5 Anesteziologický přístroj	10
1.5.1 Zdroj medicinálních plynů	10
1.5.2 Rotametry	10
1.5.3 Odpařovač	11
1.5.4 Dýchací ventil	11
1.5.5 Zvlhčovač	11
1.5.6 Monitorace vdechovaných a vydechovaných plynů	11
2 Celotělový simulátor	12
2.1 Řídící jednotka	12
2.2 Manekýn	12
2.3 Ovládací počítač	13
2.3.1 Software MŮSE	13
2.3.2 Scénář v softwaru MŮSE	16
2.3.3 Průběh simulace	17
3 Cíl práce	18
4 Metodika	19
4.1 Návrh modelové situace	19
4.2 Modelová situace	19

4.3	Navození anestezie	23
4.4	Tvorba scénářů	23
4.5	Změna scénáře v závislosti na dávkování	25
4.5.1	Nitrožilní anestezie – 130% dávka farmak.....	25
4.5.2	Kombinace nitrožilní a inhalační anestezie	26
5	Výsledky.....	27
5.1	Nitrožilní anestezie.....	27
5.2	Kombinovaná nitrožilní a inhalační anestezie	31
5.3	Anestezie v závislosti na dávkování farmak	34
5.3.1	Nitrožilní anestezie – 130% dávka farmak.....	34
5.3.2	Kombinovaná anestezie – zvýšený poměr N ₂ O	37
5.4	Časové shrnutí výsledků.....	40
6	Diskuse	41
7	Závěr	45
	Seznam použité literatury	46
A	Příloha	48

Seznam zkratek a symbolů

Zkratka	Význam
EEG	Elektroenceelogram
HR	Tepová frekvence (tep/min)
V_T	Dechový objem (ml)
EKG	Elektrokardiogram
PAW	Tlak v dýchacích cestách (cmH ₂ O)
RR	Dechová frekvence (dech/min)
MAN/SPON	Manuální/ spontánní nastavení ventilace
PEEP	Pozitivní tlak v dýchacích cestách na konci výdechu (cmH ₂ O)
IV	Nitrožilní podání farmak
HPS	Human patient Simulator
CAE	Emergency Care Simulator
CMV	Dechově řízená ventilace
EKG	Elektrokardiogram
Astrup	Vyšetření krevních plynů
NIBP	Neinvazivní měření krevního tlaku (mmHg)
IBP	Invazivní měření krevního tlaku (mmHg)
Symbol	Význam
N ₂ O	Oxid dusný
O ₂	Kyslík
CO ₂	Oxid uhličitý
FiO ₂	Frakce kyslíku
SpO ₂	Hodnota saturace krve kyslíkem (%)
etCO ₂	Parciální tlak CO ₂ na konci expiria (kPa)

Seznam obrázků a grafů

Obr. 1.1: anesteziologický přístroj [7].....	10
Obr. 2.1: řídicí jednotka [5].....	12
Obr. 2.2: manekýn [5].....	13
Obr. 2.3: scénář v softwaru MŮSE.....	16
Obr. 2.4: software MŮSE [5].....	17
Obr. 4.1: nastavení anesteziologického přístroje.....	22
Obr. 4.2: propojení simulátoru s anesteziologickým přístrojem.....	23
Obr. 4.3: výběr anestetik, výběr dávky anestetik v softwaru MŮSE.....	24
Graf 5.1: tepová frekvence při nitrožilní anestezii.....	29
Graf 5.2: systolický a diastolický krevní tlak při nitrožilní anestezii.....	29
Graf 5.3: dechový objem při nitrožilní anestezii.....	30
Graf 5.4: neuromuskulární blokáda při nitrožilní anestezii.....	30
Graf 5.5: tepová frekvence při kombinované anestezii.....	32
Graf 5.6: systolický a diastolický krevní tlak při kombinované anestezii.....	32
Graf 5.7: dechový objem při kombinované anestezii.....	33
Graf 5.8: neuromuskulární blokáda při kombinované anestezii.....	33
Graf 5.9: tepová frekvence při nitrožilní anestezii 130% dávka farmak.....	35
Graf 5.10: systolický a diastolický krevní tlak při nitrožilní anestezii 130% dávka farmak.....	35
Graf 5.11: dechový objem při nitrožilní anestezii 130% dávka farmak.....	36
Graf 5.12: neuromuskulární blokáda při nitrožilní anestezii 130% dávka farmak.....	36
Graf 5.13: tepová frekvence při kombinované anestezii (65 % N ₂ O).....	38

Graf 5.14: systolický a diastolický krevní tlak při kombinované anestezii (65 % N ₂ O).....	38
Graf 5.15: dechový objem při kombinované anestezii (65 % N ₂ O).....	39
Graf 5.16: neuromuskulární blokáda při kombinované anestezii (65 % N ₂ O)....	39
Příloha: Obr. 1: softwarové prostředí MŮSE.....	48

Seznam tabulek

Tabulka 4.1: farmakologický úvod anestezie.....	20
Tabulka 4.2: farmakologické vedení anestezie.....	21
Tabulka 4.3: parametry anesteziologického přístroje.....	21
Tabulka 4.4: farmakologické ukončení anestezie.....	22
Tabulka 4.5: ukázka scénáře nitrožilní anestezie	25
Tabulka 4.6: změny hodnot dávek farmak.....	26
Tabulka 4.7: změna poměru inhalačních farmak.....	26
Tabulka 5.1: scénář nitrožilní anestezie.....	28
Tabulka 5.2: scénář kombinace nitrožilních a inhalační anestezie.....	31
Tabulka 5.3: nitrožilní anestezie - 130% dávka farmak.....	34
Tabulka 5.4: kombinovaná anestezie - zvýšený poměr N ₂ O.....	37
Tabulka 5.5: Shrnutí výsledných časů.....	40
Tabulka 5.6: Shrnutí výsledných parametrů.....	40
Příloha: Tabulka 1: schéma scénáře.....	48
Příloha: Tabulka 2: nastavení parametrů ventilace.....	48

Úvod

V dnešní době je navození anestezie běžnou součástí většiny lékařských oborů. Má zásadní význam v moderní medicíně, je součástí důležitých procesů při operačních zákrocích. Anestezie navozuje ztrátu bezvědomí, amnézii, analgezii, ztrátu hybnosti, vyřazení veškerého smyslového vnímání. Při anestezii je snížena odpověď autonomního nervového systému na bolestivé podněty. Celková anestezie je farmakologicky navozený stav, kdy i po více než sto letech aktivního výzkumu zůstává mechanismus anestezie nejasný.

Z toho důvodu se již od roku 1989 anestezie simuluje na speciálních simulátorech. Hlavním důvodem simulace je vzdělávání, výcvik lékařů a dalšího nemocničního personálu. Vědci také usilovali o zlepšení bezpečnosti pacientů při celkové anestezii, a proto byla vytvořena nadace *Anesthesia Patient Safety Foundation* (nadace bezpečné anestezie), která na konci osmdesátých let financovala výzkum anesteziologických simulátorů.

Celotělový simulátor HPS prezentuje reálnou podobu živého pacienta. Pomocí simulátoru můžeme simulovat nejrůznější stavy, ať už patologické, či fyziologické. Skládá se ze tří hlavních částí, řídicí jednotky, manekýna a ovládacího počítače se softwarem MÜSE.

Cílem této práce je navození krátkodobé a dlouhodobé anestezie v softwarovém prostředí MÜSE, dle aktuální a dostupné kombinace léků a analyzovat průběh vitálních funkcí během simulované anestezie v závislosti na dávkování anesteziologických farmak. Úvodní kapitoly práce jsou věnovány popisu anestezie a anesteziologických farmak, popis anesteziologického přístroje a celotělového simulátoru HPS. Práce obsahuje jednotlivé scénáře simulace v závislosti na dávkování anesteziologických léčiv v krátkodobé, nitrožilní anestezii a dlouhodobé, nitrožilní a inhalační anestezii.

V závěrečných kapitolách jsou shrnuty výsledky všech modelových simulací. Jsou zpracovány a vyhodnoceny závislosti dávkování anesteziologických farmak. Výstupem práce je experimentální výuková úloha krátkodobé a dlouhodobé anestezie na simulátoru HPS.

1 Celková anestezie

U celkové anestezie dochází k vyřazení senzitivního i bolestivého vnímání s vyřazením vědomí. Výsledkem celkové anestezie je bezvědomí. Může dojít k neprůchodnosti dýchacích cest a k absenci ochranných reflexů [1, 2].

1.1 Moderní doplňovaná anestezie

Moderní doplňovaná anestezie je kombinací několika složek:

- Analgezie k potlačení bolesti - opioidy
- Bezvědomí a amnézie - celková anestetika
- Snížení svalové relaxace příčně pruhovaného svalstva - svalová relaxancia

1.1.1 Opiody

Opiody jsou přírodní nebo syntetické léky, které se váží na morfinové receptory. Patří k nejčastěji používaným látkám v anesteziologii. Používají se jako pooperační terapie proti bolesti. Důležitým účinkem opioidů je výrazná analgezie (odstranění vnímání bolesti). Dalšími nežádoucími účinky jsou dechová deprese, snížená motilita trávicího ústrojí, nauzea a zvracení. Pro celkovou anestezii se nejčastěji používají anilinopiperidinové deriváty- fentanyl, remifentanyl, alfentanil, sufentanil.

Nejdůležitější indikací pro použití opioidů je doplnění účinku inhalačních anestetik a pooperační terapie bolesti. Používají se samostatně nebo v kombinaci s dalšími léky. Během operačního výkonu jsou podávány spolu s anestetickými farmaky [3, 4, 8].

1.1.2 Svalová relaxancia

V historii anesteziologie bylo zavedení svalových relaxancií důležitým mezníkem. Slouží k navození imobility, lepším podmínkám pro chirurgy, jednodušší intubaci. Svalová relaxancia jsou látky vyvolávající paralýzu kosterních svalů, která vzniká blokadou vzruchu přenášeného na nervosvalové ploténce svalu. Relaxancia mají dva rozdílné mechanismy účinku. Dělí se na myorelaxancia nepolarizující a nedepolarizující.

Myorelaxancia se nejčastěji kombinují s anesteziologickými farmaky, z důvodu snížení potřeby anestetik, zlepšují svalovou paralýzu a tím usnadňují operační podmínky [3, 4, 8].

1.2 Rozdělení anestezie

a) Podle způsobu anestezie:

Nejčastěji využívaná anestezie se nazývá farmakoanestezie, kdy je využíváno anesteziologických farmak. V praxi se předpona farmako z důvodu častého využívání nepoužívá.

Dalším způsobem navození je za pomoci fyzikálních faktorů. Mezi tyto faktory patří například tlak, který může být vytvářen na nervovou soustavu, která je tlakem otupována a nedochází k přenosu vzruchu v nervových vláknech. Dalším fyzikálním faktorem může být chlad neboli kryoanestezie, která se využívá pro drobné výkony na povrchu kůže. Anestezii lze navodit i elektrickým proudem-elektroanestezie, kdy je simulován určitý typ nervových vláken elektrickým proudem, čímž se blokují bolestivé vjemy.

Anestezie může být navozená nestandardně, kdy nedochází k podání farmak, které by potlačovaly bolest. Mezi takové anestezie patří hypnoanestezie, která je vyvolána hypnózou, nebo audioanestezie, která je způsobena zvukovými podněty [1, 2, 3].

b) Podle rozsahu anestezie

Anestezie se dá rozdělit podle rozsahu působení. U celkové anestezie dochází k vyřazení nebo silnému potlačení centrální nervové soustavy. Může dojít k neprůchodnosti dýchacích cest a k absenci ochranných reflexů. U anestezie místní nebo také lokoregionální dojde k vyřazení pouze části těla.

Inhalační anestezie využívá plyných anestetik nebo par kapalných anestetik, které jsou vdechovány do plic. V intravenózní anestezii dochází k podání do žilního systému nebo do svalové soustavy a anestezie se také nazývá intramuskulární. Dalším typem je anestezie doplňovaná, kdy se různá farmaka podávají z důvodu dosažení zesílení žádoucích účinku nebo k potlačení nežádoucích. Anestezie lze navodit

nestandardními způsoby například rektálně nebo bukálně. Také lze vyvolat různými způsoby jako je chlad, tlak nebo farmakum.

Anestezie využívající více technik současně se nazývá anestezie kombinovaná [1, 2].

1.2.1 Nitrožilní anestezie

Nitrožilní anestezie je vyvolána nitrožilním podáním farmak, které je následně pomocí krve zaneseno do mozku jako cílového orgánu. Mozková tkáň je vysoce prokrvená, proto je nástup anestezie velmi rychlý. Proces probouzení je také rychlý, z důvodu redistribuce anestetika primárně do svalové tkáně a sekundárně do tukové tkáně [2, 12].

Nitrožilní anestezii často využíváme ke krátkodobému výkonu, z důvodu komfortu pacienta, kdy inhalační anestezie je časově náročnější. Rychlý nitrožilní nástup anestezie je vnímán pacientem podstatně lépe než úvod inhalační [2, 8].

Mezi nejrozšířenější nitrožilní anestetika patří Barbituráty. Nejpoužívanější po celém světě je thiopental, který se dodává ve formě prášku, ten je následně ředěn na 2,5% roztok, takový roztok může být skladován maximálně 24 hodin od nařazení. Je silným antikonvulzivem, tedy silným farmakem pro léčbu a prevenci epileptických záchvatů. Barbituráty mají silné hypnotické účinky, tlumí dýchání, srdeční kontraktilitu, vyvolávají pokles krevního tlaku, snižují nitrooční tlak [1, 13].

Dalším anestetikem patřící mezi Barbituráty je metohexital, který je účinnější než thiopental, má kratší účinek, okolo 3 minut. Používá se na velmi krátké ambulantní výkony. V České republice není k dispozici [2].

Mezi imidazolové látky patří etomidát, který je vhodný u vyšších věkových kategorií pro svůj malý kardiodepresivní účinek. Má minimální vliv na oběh. Alergické reakce jsou velmi vzácné. Používá se ke krátkým operačním výkonům a k úvodu do celkové anestezie [1, 2].

Další látky používané v anestezii jsou alkylované fenoly, kde se jako anesteziologické farmakum používá propofol. Používá se ke krátkým operačním

výkonům a k úvodu do celkové anestezie. Je podáván ve formě tukové emulze. Při podání propofolu dochází v místě vpichu k podráždění žilní stěny [1].

Ketamin je anestetické farmakum patřící do látek s názvem Fenylycyklidiny. Ketamin jako jediné anestetikum zvyšuje krevní tlak. Je vhodný jako úvod do celkové anestezie u šokových hypovolemických stavů. Velkou výhodou je podání nitrosvalově nebo rektálně v odpovídajícím dávkování. Lze ho podávat opakovaně, ve čtvrtinových nebo polovičních dávkách, ty se poté akumulují [1, 2].

1.2.2 Inhalační anestezie

Anestetikum vstupuje do organismu za pomoci dýchacích cest, kde dochází k rozdílu parciálních tlaků mezi alveolárním vzduchem a plicními kapilárami a anestetikum se dostává do krve a do centrální nervové soustavy [1].

Výhodou inhalační anestezie je snadná manipulace s hloubkou anestezie změnou koncentrací anestetika ve vdechované směsi. Nevýhodou je delší doba úvodu i probouzení z celkové anestezie, které je dáno výměnou plynů v plicích a rozpustností inhalačních anestetik [1].

Ideální inhalační anestetikum:

Ideální inhalační anestetikum je takové anestetikum, u něhož nedochází k dráždění dýchacích cest, je bez zápachu, nehořlavé a nevybušné. Má rychlý nástup a rychlé odeznění účinku, má vysokou účinnost ve vysoké koncentraci kyslíku. Nemá toxické ani teratogenní vlastnosti, nežádoucí účinky na parenchymové orgány, kardioprotekce a neuroprotekce. Je fyzikálně a chemicky stabilní [1, 13].

Oxid dusný (N_2O) se rutinně používá v současné době v anestezii. Je za laboratorních podmínek bezbarvý, nehořlavý plyn s nevýraznou vůní. Je dodáván v tlakových lahvích o tlaku 50 atm. Při tomto tlaku je částečně zkapalněn. Má analgetický účinek a je velmi bezpečný, má minimum vedlejších účinků. Oxid dusný nemůže být použit jako jediné anestetikum, protože má slabý anestetický účinek. Další nevýhodou jsou pooperační nevolnosti, kvůli kterým se od něj pomalu ustupuje [1].

Xenon je velmi vzácný plyn, u kterého však není znám způsob, jak vyvolává anestezii. Jeho velká výhoda je, že v koncentraci 70 % ve směsi s 30 % kyslíku vyvolává celkovou anestezii bez nežádoucích účinků. Jako jediné anestetikum nenarušuje ozonovou vrstvu [1].

Kapalná anestetika se také nazývají prchavá nebo volatilní anestetika, jsou těkavé kapaliny, jejichž páry jsou zaváděny do dýchacích směsí. Pro přesné dávkování par těkavých anestetik je používán odpařovač, přičemž každé anestetikum má svůj vlastní odpařovač z důvodů různých fyzikálních změn jednotlivých anestetik [1, 2].

Dietyléter (éter) má jasně definovaná stadia anestezie, což patří k jeho výhodám. Zástava dechu přichází dříve, než zástava oběhu. To znamená, že i při předávkování pacienta lze snáze resuscitovat než při použití jiných anestetik. Další výhodou je jeho bezpečnostní šíře, kdy se podával i bez odpařovače, tedy kapáním přímo na mulovou masku. Éter je hořlavý a výbušný, silně dráždí dýchací cesty, proto je od něj opuštěno [1, 2].

Isofluran má minimální vliv na srdce, přestože může způsobovat přesun krve při lokální ischemii myokardu ze zúženého místa do dobře prokrvené části srdečního svalu. Isofluran působí dilataci, tedy rozšíření koronárních tepen. Úseky, které jsou postižené zúžením, nemohou reagovat na isofluran, a dochází k přerozdělování okysličené krve do úseků, které jsou rozšíření schopné. Výhodou je netoxicitu vůči parenchymovým orgánům. Úvod do anestezie i probuzení jsou rychlé. Nepoužívá se u dětí z důvodu mírně štiplavého zápachu [1].

Sevofluran patří mezi nejnovější anestetika. Má velmi rychlý úvod přibližující se intravenózním anestetikum. Během 2 minut lze v určité koncentraci objemových procent dosáhnout hloubkového znecitlivění potřebné k chirurgickému výkonu [1].

Desfluran má výhodu v rychlém nástupu anestezie a po probuzení je velmi malé ovlivnění parenchymových orgánů a oběhu. Nevýhodou je éterový pach, kvůli kterému nelze použít u dětí [1].

Halotan je rozkládán světlem, a proto k jeho uchování jsou zapotřebí konzervační látky. Nedráždí dýchací cesty a příjemně voní. Snižuje kontraktilitu myokardu a srdeční frekvenci. Po opakovaném použití bylo zjištěno poškození jater [2].

Enfluran zvyšuje průtok mozkem. Snižuje krevní tlak, deprimuje dýchání a snižuje svalovou relaxaci [2].

1.3 Farmakokinetika

Farmakokinetika se zabývá procesem, který mění časový průběh koncentrace léčiva v organismu, tento stav popisuje vhodnými farmakokinetickými parametry. Farmakokinetika začíná s prvotním podáním léčiva a končí, pokud organismus léčivo opouští. Důsledek léčiva na organismu není pouze jednostranný účinek chemických látek, ale výsledkem vzájemné interakce mezi farmakem a organismem. Organismus ovlivňuje působení léčiva jeho absorpcí, distribucí, eliminací. Studium, těchto etap se farmakokinetika zabývá, určuje časový průběh koncentrace, na které závisí účinek farmaka, což má velký význam v klinické praxi.

1.3.1 Farmakokinetika v anestezii

Intravenózní farmaka jsou nezávislá na resorpci, protože jsou podaná nitrožilně, proto je jejich rychlost nástupu účinku často větší než u inhalačních. Koncentrace je pro účinek léčiv primárním parametrem a to hlavně ve formě biofáze, kde může přímo působit na vazebné místo. Po aplikaci se anestetikum rozděluje na jednotlivé kompartmenty, které mezi sebou navzájem komunikují. Pro intravenózní anestetika je charakteristický distribuční objem, který je po aplikaci závislý na velikosti minutového srdečního objemu a na závislosti velikosti průtoku jednotlivých orgánů. Rychlé proniknutí je do prokrvených orgánů, jako je mozek, srdce, ledviny. Intravenózní anestetikum podléhá biotransformaci, kdy je z části farmakum metabolizováno v játrech a vylučováno žlučí nebo ledvinami. Jenom malé množství látky opouští tělo v původní formě. Eliminační časy jsou u krátkodobých nitrožilních anestetik podstatně delší, než je tomu u inhalačních farmak, a to z důvodu metabolicko-enzymatických procesů, které potřebují více času, než eliminace farmak plícemi [9, 10, 11, 13].

1.3.2 Hloubka anestezie

Mechanismus účinku anesteziologických farmak doposud není zcela znám, je však spojen s reverzibilními změnami na buněčné membráně, což ovlivňuje činnost CNS, a dochází ke snížení aktivity mozku. Tato patologie je rozpoznatelná na EEG. Se stoupající rozpustností anestetik v tucích roste anestetický účinek a to především inhalačních farmak. Analgetika působí v mozku a v míše jako opioidní receptory a tlumí vnímání bolesti a odpověď na bolestivý podnět. Ve vyšších dávkách mají sedativní a hypnotický účinek. Samotná analgetika nezaručí spolehlivou anestezii - ztrátu vědomí.

Centrální nervová soustava je různě citlivá v jednotlivých částech na anesteziologická farmaka, což anestezii dělí do jednotlivých stádií. V I stadiu anestezie dochází k usínání a k útlumu kůry mozkové. Tato část je k tlumivým účinkům nejcitlivější. V II. stádiu excitace dochází ke stimulaci pacienta s motorickým neklidem. Dochází ke zvýšení zvracívého reflexu. Další fází je III. stádium tolerance, kde probíhá automatické dýchání a snížení svalového napětí, přičemž toto stádium je cílem celkové anestezie pro provedení chirurgických výkonů. V I. stadiu intoxikačním dojde k útlumu mozkového kmene a vegetativních center, důsledkem je zástava dýchání a ztráta cévního zásobení a tím nastává oběhové zhroucení [8].

Při moderní doplňované anestezii složené ze tří základních složek je průběh jednotlivých stádií odlišný. K hodnocení hloubky anestezie se využívají klinické známky ubývajícího svalového napětí pomocí myorelaxantu. Důležitá je také vegetativní odpověď. Při inhalační anestezii monitorujeme koncentraci anestetik ve vdechované a vydechované směsi. Nejspolehlivější metodou k měření hloubky anestezie je bispektrální index, který se vyhodnocuje na základně EEG křivky snímané během anestezie. Tento postup není běžný v klinické praxi [8].

Absorpci léčiva ovlivňují fyzikálně chemické faktory: Velikost molekuly léčiva, ionizace molekul léčiva, léková forma, rozpustnost léčiva, přírodní cesty léčiva do organismu, lokální podmínky, koncentrace léčiva, průtok krve v místě absorpce a velikost absorpčního povrchu [9, 10, 11].

1.4 Vedení celkové anestezie

Celková anestezie lze rozdělit do 6 etap:

1. Předoperační vyšetření:

Základem předoperačního vyšetření je celková anamnéza pacienta (celkový stav, předchozí a současné choroby), fyzikální vyšetření (vyšetření dýchacích cest, vyšetření kardiovaskulárního systému), laboratorní, pomocné a konsiliární vyšetření (EKG nad 40 let věku pacienta, vyšetření moči). Základní vyšetření provádí praktický lékař, pokud najde patologii, dochází k dalším pomocným vyšetřením. Z pohledu anesteziologie jsou komplikující onemocnění diabetes mellitus, epilepsie, svalová onemocnění a další

onemocnění, které mohou způsobit komplikace při uvedení pacienta do celkové anestezie [1, 2].

2. Premedikace:

Jedná se o farmakologické ovlivnění pacienta před operací, které má zmírnit úzkost, snížit sekreci a objem žaludečních šťáv. Účelem premedikace je klidný spánek a odpočinek před operací. Premedikace se skládá ze čtyř částí, první je medikace řešící onemocnění komplikující anestezii, dále sedativa, hypnotika a anxiolytika, které jsou podané večer před operací. Večer před operačním výkonem jsou volena taková farmaka, která mají středně dlouhý účinek. V operační den jsou podána farmaka s krátkodobým účinkem [1, 2].

3. Úvod do anestezie

Úvod do anestezie by měl být proveden mimo operační sál, aby pacient nebyl vystaven sálovému provozu. Pacientovy je zajištěn vstup do žilního systému a napojení na nitrožilní infúzi. Nejrizikovější část je úvod a probuzení z anestezie, kde dochází k nejčastějším komplikacím [1, 13].

4. Vedení anestezie

Období, kdy je vedena celková anestezie, vyžaduje sledování životních funkcí, hloubky anestezie a její doplňování. Současně je velmi důležité sledovat dění při operaci z důvodů změn stavů pacienta (krevní ztráta, odezva relaxace), a vedení záznamu o anestezii [1, 13].

5. Ukončení anestezie

Ukončení anestezie je dáno ukončením přívodu anestetika, jeho odbouráním, vyloučením a případně podáním antidot [1, 2].

6. Poanestetická péče

Pooperační anesteziologická péče zahrnuje dohled nad pacientem až po návrat obranných reflexů, plného návratu vědomí a obnovy dostatečné spontánní plicní ventilace [1, 2].

1.5 Anesteziologický přístroj

V dnešní době mluvíme o moderních anesteziologických přístrojích jako o anesteziologických pracovních stanicích, které dodávají anestetika nemocnému, viz Obr. 1.1. Stanice má tyto části: zdroj plynů, rotametry, odpařovač, anesteziologický ventilátor, monitorovací zařízení a ochranné zařízení. Ochranné zařízení je navrženo tak, aby zabránilo nebezpečí způsobené chybnou dodávkou plynů [1, 2].

Anesteziologický systém umožňuje přesné měření a dávkování průtoků plynů, zabráňuje zpětnému vdechování oxidu uhličitého [1, 2, 12].



Obr. 1.1: anesteziologický přístroj [7]

1.5.1 Zdroj medicínálních plynů

Medicínální plyny jsou do anesteziologického systému přiváděny z centrálního rozvodu plynů nebo z tlakových lahví. Při využití centrálního rozvodu medicínálních plynů se pro vyloučení záměny plynů používají na odběrových místech nezáměnné objímky, které jsou kompatibilní pouze se spojkou odpovídající přívodní hadice do anesteziologického systému. Vizually jsou odděleny i barevně. V nemocnicích bez centrálního rozvodu medicínálních plynů se využívají tlakové láhve, které jsou od sebe rozlišeny barevně [1, 2, 12].

1.5.2 Rotametry

Rotametry neboli průtokoměry jsou součástí anesteziologických systémů a slouží k měření průtoku plynů na jejich cestě ze zdroje. Plyny se liší svojí viskozitou

i hustotou, proto jsou rotametry pro kyslík, oxid dusný a vzduch nezaměnitelné. Každý plyn má svůj specifický rotametr [1, 2, 12].

1.5.3 Odpařovač

Většina inhalačních anestetik má při pokojové teplotě a atmosférickém tlaku kapalný stav. Aby mohla tato farmaka být použita k inhalační anestezii, musí být převedena do plynného stavu. Pro každé farmakum je specifický odpařovač [1, 2, 12].

1.5.4 Dýchací ventil

Dýchací ventily usměrňují proudění plynů, pomocí chlopní ze slídy, teflonu nebo nylonu. Pro anesteziologickou praxi jsou nejvýznamnější kombinované ventily, protože se využívá spontánní dýchání i umělá ventilace [1, 2, 12].

1.5.5 Zvlhčovač

Fyziologicky dochází v horních cestách dýchacích ke zvlhčování vzduchu. To je v anesteziologickém systému nahrazeno zvlhčovačem. Ve zvlhčovači dojde k filtraci, ohřátí a zvlhčení vzduchu [1, 2, 12].

1.5.6 Monitoring vdechovaných a vydechovaných plynů

V anesteziologickém okruhu musí být měřena koncentrace kyslíku a anesteziologických plynů. Kyslíková čidla jsou umístěna v inspirační větvi anesteziologického okruhu, aby bylo zajištěno, že není dodávána hypoxická směs. Důležitá je sledování hodnot etCO_2 na konci výdechu, které slouží ke zhodnocení fyziologických parametrů [1, 2, 12].

2 Celotělový simulátor

Navození celkové anestezie bude probíhat na celotělovém simulátoru, který prezentuje reálnou podobu živého pacienta. Pomocí simulátoru můžeme simulovat nejrůznější fyziologické i patologické procesy.

Celotělový simulátor se skládá ze tří základních částí:

- Řídící jednotka
- Manekýn
- Ovládací počítač se softwarem MÜSE [5, 6, 15]

2.1 Řídící jednotka

Řídící jednotka je centrum napájení, komunikace, centrální napájecí zdroj a síťový vstup na kabel k měření saturace, viz Obr. 2.1. Do řídicí jednotky vedou jednotlivé plyny jako vzduch, kyslík, oxid uhličitý, oxid dusný. Obsahuje měchýř, který simuluje reálné plíce. Horní zadní část stojanu také obsahuje systém rozpoznávání léků, který měří koncentraci daného léku a přemísťuje léky z lékového systému do sběrného vaku [5, 6, 15].



Obr. 2.1: řídicí jednotka [5]

2.2 Manekýn

Manekýn slouží k reálné představě a reálné simulaci pacienta, viz Obr. 2.2. Slouží k vnějším projevům nastavených v ovládacím počítači. Na místech k tomu

určených lze snímat 5 svodové EKG, které se připojí k monitoru vitálních funkcí. Na přesně dané místo lze pacienta defibrilovat. Pacientovi lze zavádět nitrožilně léky a to za pomoci čtečky čárkových kódů, kterými jsou jednotlivé léky označeny. Pacientovi reagují zornice na světlo, kdy v závislosti na intenzitě světla se stahují a roztahují. Pacienta lze propojovat s lékařskými přístroji jako s anesteziologickým přístrojem, s monitorem vitálních funkcí. Jeho výška je 180 cm a představuje váhu 70 kg ale opravdová váha je 34 kg. Manekýn může být umístěn na vozíku, lůžku i na zemi. Figurína také simuluje zvuk dýchání, srdce, lze na určitých místech nahmatat pulz [5, 6, 15].



Obr. 2.2: manekýn [5]

2.3 Ovládací počítač

Ovládací počítač obsahuje software MÜSE, který komunikuje se simulátorem. Software umožňuje uživateli tvořit scénáře, nebo využívat 60 vytvořených situací. Dále obstarává export a import dat [5, 6, 15].

2.3.1 Software MÜSE

Software je rozdělen do tří bloků – kardiovaskulární, respirační a farmakologický. Tyto kompartmenty se navzájem ovlivňují jako u reálného pacienta. V jednotlivých částech můžeme simulovat reálné stavy. Software MÜSE pracuje na platformě Apple s využitím operačního systému MAC. Po spuštění lze zvolit předprogramované scénáře, nebo si scénáře vytvořit. V softwaru se nám v reálném čase nahrávají fyziologické hodnoty pacienta, které se v závislosti na scénáři mění, zároveň si můžeme zvolit vlastní výchozí parametry pacienta. [5, 6, 15].

2.3.1.1. Parametry Software MŮSE

Software MŮSE má řadu parametrů, které řídí fyziologické vlastnosti HPS simulátoru. Parametry jsou rozděleny podle kategorií do neurologických, respiračních, kardiovaskulárních, fluidních, gastrointestinální a zvukových. Na obrazovce jsou uvedeny výchozí parametry pacienta, které jsou přednastaveny, nebo nastaveny uživatelem [3].

a) Neurologické vlastnosti

HPS simulátor může simulovat řadu neurologických indikátorů, jako jsou reaktivní oči. Oči mají pohybující se oční víčka, aktivní zornice, které reagují na intenzitu světla.

b) Respirační vlastnosti

Dýchací cesty simulátoru HPS umožňují intubaci a další zásahy do dýchacích cest. U pacienta lze identifikovat klinické příznaky, jako jsou dechové zvuky, pohyb hrudníku, průchodnost dýchacích cest a jiné. Série reproduktorů uvnitř simulátoru může generovat řadu dýchacích a hrdlových zvuků, které napomáhají při hodnocení zdravotního stavu pacienta.

c) Kardiovaskulární vlastnosti

Simulátor HPS produkuje realistické zvuky srdce, které jsou slyšitelné standardním stetoskopem. Dokáže simulovat širokou škálu patofyziologických stavů synchronizovaných s QRS komplexem EKG. Simulátor má 12 míst na měření pulzu. Impulzy jsou viditelné a mohou být kontrolovány z jakéhokoliv fyziologického pohledu. Pulzní impulzy přestávají být viditelné, pokud systolický tlak klesne pod prahovou hodnotu. Na příslušných místech je vyvedeno 5 svodové EKG, které lze poté zobrazit na monitoru vitálních funkcí. Simulátor generuje normální i patologické signály EKG. Hemodynamická odpověď na arytmiie je fyziologicky správná a kyslíková bilance myokardu automaticky ovlivňuje srdeční rytmus, což vede k realistické a automatické reakci simulátoru. Stupeň vlivu může být obsluhou ovlivněn nebo řízen. U simulátoru HPS lze provést defibrilaci, kde dojde k bezpečné absorpci energie vypuštěné z automatických defibrilátorů.

d) Vlastnosti tekutin

Oběh tekutin může být ovlivněn ztrátou krve nebo plazmy, infúzí tekutin nebo změnami kontraktility levé nebo pravé komory. Oběh tekutin ovlivňuje 6 parametrů – krevní ztráta, ztráta plazmy, příbytek nebo úbytek koloidní infúze, změna roztoku minerálů, infúze s červenými krvinkami, infúze krve.

e) Gastrointestinální vlastnosti

Simulátor HPS umožňuje diagnostiku peritoneálním výplachem

f) Zvukových vlastností

Dechové zvuky jsou nezávisle synchronizovány s ventilací levé a pravé plíce. Zvuky mohou být generovány v různých anatomických místech. Zvuky srdce jsou synchronizovány s QRS komplexem EKG. Srdeční zvuky mohou být generovány přes levý a pravý sterní okraj nebo pravý dolní okraj sternu a vrchol. Pro zvýšení reálnosti simulace je k dispozici řada simulovaných zvuků. Například střevní zvuky, které jsou rozděleny do čtyř střevních kvadrantů [3].

2.3.1.2. Anestezie v softwaru MŮSE

Systém anestezie umožňuje plicním simulátorům přijímat kyslík, produkovat oxid uhličitý a přijímat a eliminovat reálný oxid dusný, sevofluran, isofluran, enfluran a halothan. Tato možnost je proveditelná díky přímé výměně plynů v plicích, což umožňuje reálné vdechované a i vydechované koncentrace plynů. V simulátoru je analyzátor plynů, který je umístěn v HPS jednotce a je součástí řídicí jednotky anesteziologických par. Analyzátor rozpozná těkavé látky a přiřadí v systému jejich vlastnosti.

Systém pro dodávání anestezie:

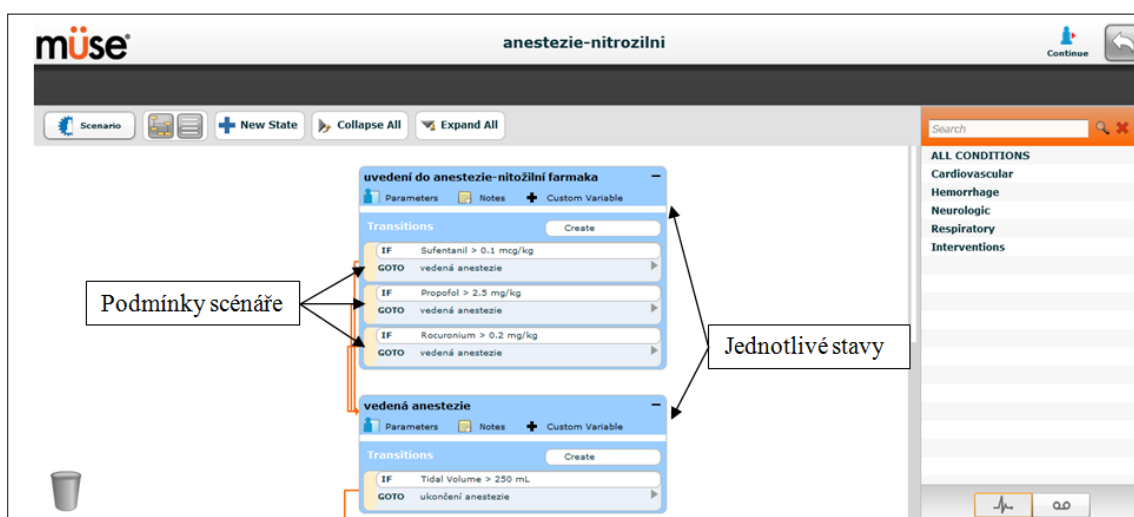
Systém pro dodávání anestezie se skládá z několika základních částí umístěných v řídicí jednotce HPS simulátoru. Zásobník pro dodávku těkavého anestetika je připraven v injekční stříkačce ve stojanu. Množství tekutého anestetika je pomocí čerpadla čerpáno z injekční stříkačky přes jemnou jehlu z nerezavějící oceli do odpařovače. Odpařovač se nachází uvnitř velkého, válcového měděného chladiče. Odpařené anestetikum je transportováno do simulovaného alveolárního objemu.

Komponenty popsané v předcházejícím odstavci jsou pro použití těžkých anestetik jako isofluran. Oxid dusný je dodáván do stojanu HPS z vnějšího zdroje pomocí vysokotlaké hadice. Tok oxidu je do systému regulován hmotnostním průtokoměrem, který je řízen základními farmakologickými modely anesteziologických farmak.

Po nakonfigurování systému pro anestezii je provoz simulátoru HPS automatický a nevyžaduje zásah uživatele. Anestezie poté probíhá jako u reálného pacienta [3].

2.3.2 Scénář v softwaru MÜSE

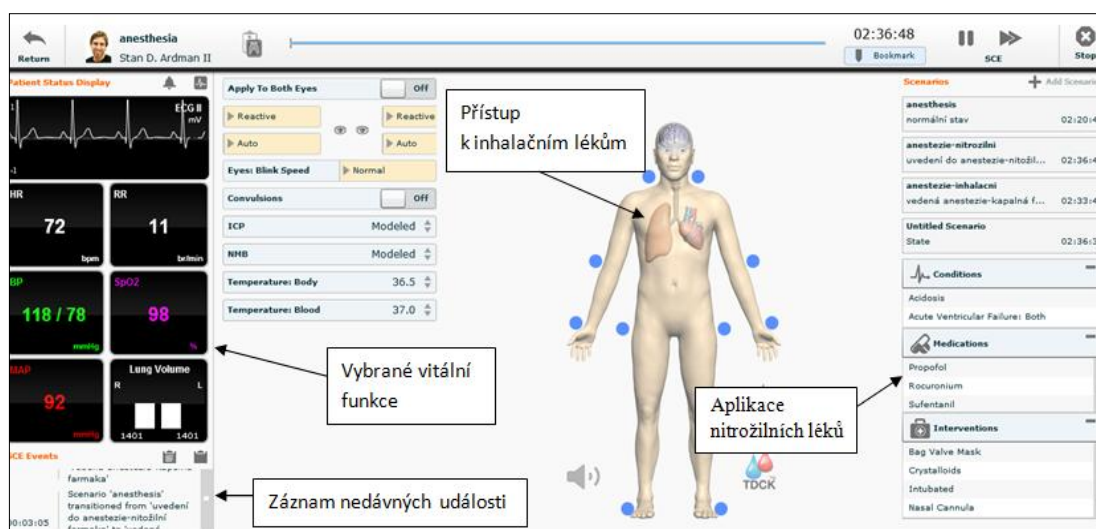
Scénář v programovém prostředí MÜSE se vytváří pomocí stavů, v nichž se zvolí podmínka, která pokud se splní, dojde k přesunu do dalšího následujícího stavu. Podmínka uživatelem zvolená může být například léčivo, kdy po zadání konkrétního léčiva, dojde k číselnému vybrání jeho dávky, která má jednotky odpovídající klinické praxi. Dalším typem podmínky může být fyziologická hodnota, které pokud bude větší nebo menší než vybraná, dojde k přesunu do dalšího stavu. Jako podmínku také můžeme zvolit čas, v kterém má jednotlivý stav setrvat, a až po jeho uplynutí se může scénář přesunout do následujícího stavu, viz Obr. 2.3.



Obr. 2.3: scénář v softwaru MÜSE

2.3.3 Průběh simulace

Před spuštěním scénáře, mohou být vybrány výchozí fyziologické funkce, včetně anamnézy pacientů, jejich váha, věk a další parametry. Celá simulace probíhá v reálném čase, může se však pozastavit. Během scénáře mohou být podány léky pacientovi, můžou se měnit sledované parametry. Na hlavní obrazovce je vidět stádium scénáře, ve kterém se právě nachází, viz Obr. 2.4. Výpis léku, který byl pacientovi podán. Sledované parametry můžou být EKG, SpO2, NIBP, IBP, dechová frekvence, tepová frekvence, dechový objem.



Obr. 2.4: software MŮSE [5]

3 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je vytvoření scénářů anestezie v softwarovém prostředí MŮSE pro krátkodobou, nitrožilní anestezii a pro dlouhodobou, kombinovanou nitrožilní a inhalační anestezii v závislosti na dávkování farmakologických léčiv. Navození anestezie bude dle aktuální a dostupné kombinace léku. Práce bude obsahovat analyzování průběhů vitálních funkcí během simulované anestezie v závislosti na množství anesteziologických farmak a bude brán zřetel na parametry pacienta.

V práci dojde ke grafickému a písemnému zpracování výsledků, a porovnání jednotlivých scénářů s odlišným dávkováním farmak. Výstupem práce bude experimentální úloha krátkodobé a dlouhodobé anestezie dle klinické praxe, určena k praktické výuce. Práce bude obsahovat shrnutí naměřených dat okomentovaných v diskuzi.

4 Metodika

4.1 Návrh modelové situace

Návrh scénáře je velmi obtížný proces. Proto, aby anesteziologický lékař mohl pacientovi vytvořit kombinaci léku, musí znát kompletní anamnézu pacienta. Nesprávnou kombinací nebo špatným množstvím farmak, může dojít ke zhoršení stavu pacienta. Navození anestezie se skládá ze tří složek. Analgetická složka, která působí jako tlumení bolesti, hypnotická část sloužící k uvedení pacienta do bezvědomí a dělí se na nitrožilní a inhalační. Myorelaxační složka slouží k uvolnění svalstva [1, 13].

Lékař standardně sleduje dýchání pacienta, barvu kůže a sliznic, pohyby hrudníku, údaje dýchacího přístroje, koncentrace inspirovaného O_2 , expirační koncentrace $etCO_2$, saturace hemoglobinu O_2 , vyšetření krevních plynů (Astrup)

Anesteziolog připravuje pro pacienta anesteziologickou premedikaci, která obsahuje zklidnění pacienta, snížení rizika alergických reakcí, snížení rizika aspirace kyselého žaludečního obsahu a další.

4.2 Modelová situace

Pro správné provedení anestezie je zapotřebí znát parametry pacienta. Pro moji modelovou simulaci byl vybrán muž středního věku, jeho váha byla 70 kg a výška 180 cm. Jeho osobní anamnéza neobsahovala žádné záznamy o nemocech nebo alergiích na anestetika.

Průběh celkové anestezie nerozděluje do tří částí:

- indukce
- vedení anestezie
- ukončení anestezie

Při modelové situaci budou hlavními sledovanými parametry:

- a) Srdeční frekvence HR
- b) Hodnota saturace krve kyslíkem SpO_2
- c) Hodnoty tlaků- diastolického DBP a systolického SBP
- d) Dechový objem V_T

e) Neuromuskulární blokáda NMB

f) Dechová frekvence RR

Indukce

První část průběhu anestezie je indukce, kde je pacient nitrožilním farmakem uveden do anestezie. Tato fáze nastává velmi rychle. V Tabulce 4.1 jsou uvedeny hodnoty farmak podané pacientovi. Po podání myorelaxantu dochází ke zkolabování dýchacích cest. Následně by byl pacient napojen na anesteziologický přístroj [1].

Tabulka 4.1: farmakologický úvod anestezie

Farmakum	dávka	dávka pro 70kg muže	způsob podání	typ farmaka
sufentanil	0,13 µg/kg	9 µg	nitrožilně	opiát
propofol	2,86 mg/kg	200 mg	nitrožilně	anestetikum
rocuronium	0,3 mg/kg	21 mg	nitrožilně	svalový relaxant

Vedení anestezie

Při nitrožilní anestezii je pacient z důvodu zkolabování dýchacího ústrojí připojen na umělou plicní ventilaci za pomoci anesteziologického přístroje.

Při inhalační anestezii dochází k intubaci pacienta pomocí endotracheální kanyly z důvodu selhání dýchání. Ventilace je ve formě anesteziologického přístroje, který zajišťuje přívod anestetik, i přívod nezbytného kyslíku, viz Tabulka 4.2. Také se v této části kontroluje hloubka a kvalita anestezie. Probíhá kontrola klinického stavu na monitoru životních funkcí. A anestetika jsou dodávány kontinuálně.

Z důvodu technické neproveditelnosti, nebyly simulátoru reálně poskytnuty anesteziologická farmaka, oxid dusný a isofluran. Sám simulátor má senzory na rozpoznávání plynů, kterými je ventilován. Hodnoty však byly nastaveny v softwaru, který má v řízení simulace nadřazenou prioritu. Reálná ventilace probíhala pouze kyslíkem, jehož nejmenší možná nastavená hodnota byla 25 %. Software pracoval s hodnotami zadanými ve scénáři, proto parametry odpovídaly podaným inhalačním farmakům, viz Tabulka 4.2 [1, 13, 14].

Tabulka 4.2: farmakologické vedení anestezie

Nastavení softwaru			Nastavení anesteziologického přístroje	
farmakum	dávka	způsob podání	Farmakum	dávka
isofluran	1 %	inhalačně	isofluran	0 %
oxid dusný	60 %	inhalačně	oxid dusný	0 %
kyslík	39 %	inhalačně	kyslík	25 %

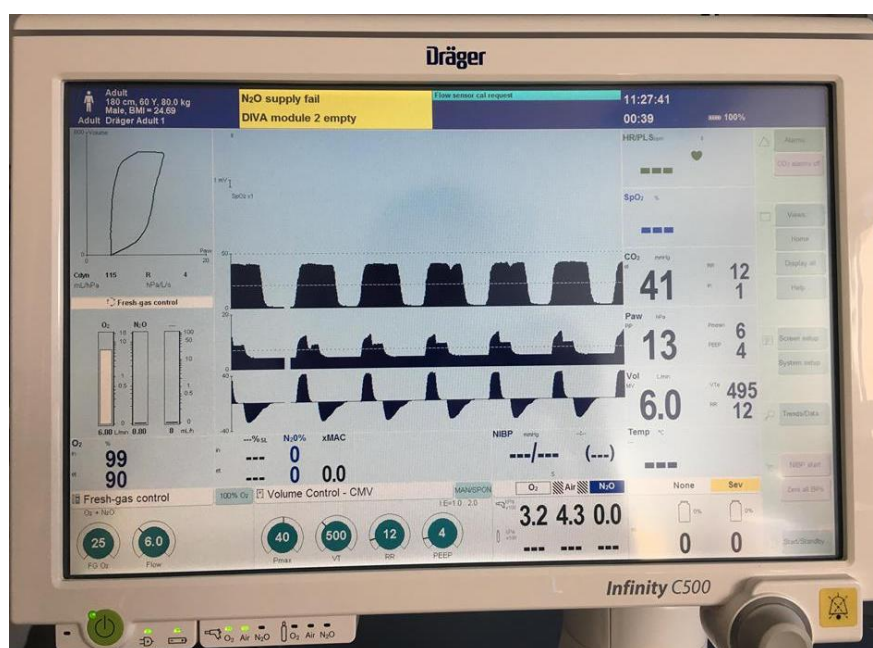
Pro správnou umělou plicní ventilaci za pomoci anesteziologického přístroje, jsou důležité dobře zvolené výchozí technické parametry ventilace, viz Obr. 4.1.

Při zahájení ventilace byl zvolen program Volume Control ventilation CMV, pro který je hlavním nastaveným parametrem dechový objem V_T . Tento objem je vtlačěn do dýchacích cest simulátoru, bez hledu na tlak v dýchacích cestách Paw . Další parametry jsou uvedeny v Tabulce 4.3.

Na začátku anestezie dochází k plnému nahrazení funkce plic, protože spontánní dechový objem je 0 ml. Po odeznění anestezie se dechový objem plic zvětšuje, proto už nemusí docházet k plnému nahrazení funkce plic ventilací, ale anesteziologický přístroj je přepnut do manuálního režimu MAN/SPON, který se snaží zachytit spontánní aktivitu dýchacího ústrojí a pouze napomáhat k opětovnému samovolnému dýchání. Pokud nedochází k plnému okysličení, je u anesteziologického přístroje dýchací balónek, kterým obsluha napomáhá k zachování životních funkcí [1, 12, 13, 14].

Tabulka 4.3: parametry anesteziologického přístroje

Parametry anesteziologického přístroje	
RR- dechová frekvence	12 dechů/min
Paw - tlak v dýchacích cestách	13 cmH ₂ O
MV- minutový objem	6 L/min
PEEP- hodnota přetlaku	5 cmH ₂ O
V_T - dechový objem	500 ml



Obr. 4.1: nastavení anesteziologického přístroje

Ukončení anestezie

Ukončení anestezie probíhá ukončením přívodu anestetik a tím i probuzením pacienta. Délka probuzení je závislá na množství podaných anesteziologických farmak. Samotné anesteziologické farmakum nemá antagonistu, který by mohl být pacientovi podáno. Hlavním úkolem je ukončení svalové relaxace a tím obnova samovolného dýchání. Pokud pacient nezačíná samovolně dýchat nebo pokud vyprchají anesteziologická farmaka a pacient začíná se samovolným dýcháním, jsou podáni antagonisté opiátů, viz Tabulka 4.4.

Tabulka 4.4: farmakologické ukončení anestezie

farmakum	dávka	dávka pro 70kg muže	způsob podání	typ farmaka
neostigmin	0,02 mg/kg	2,5 mg	nitrožilně	parasympatolytikum
atropin	0,006 mg/kg	0,5 mg	nitrožilně	parasympatolytikum

4.3 Navození anestezie

Navození anestezie u celotělového simulátoru bylo zrealizováno pomocí programu MŮSE, kde byl vytvořen scénář, který simuloval podání léku, a zároveň byly sledovány jejich účinky na pacienta. To vše se dělo v reálném čase s kontinuálním záznamem hodnot vitálních funkcí. Pacient byl po dobu anestezie ventilován anesteziologickým přístrojem, viz Obr. 4.2

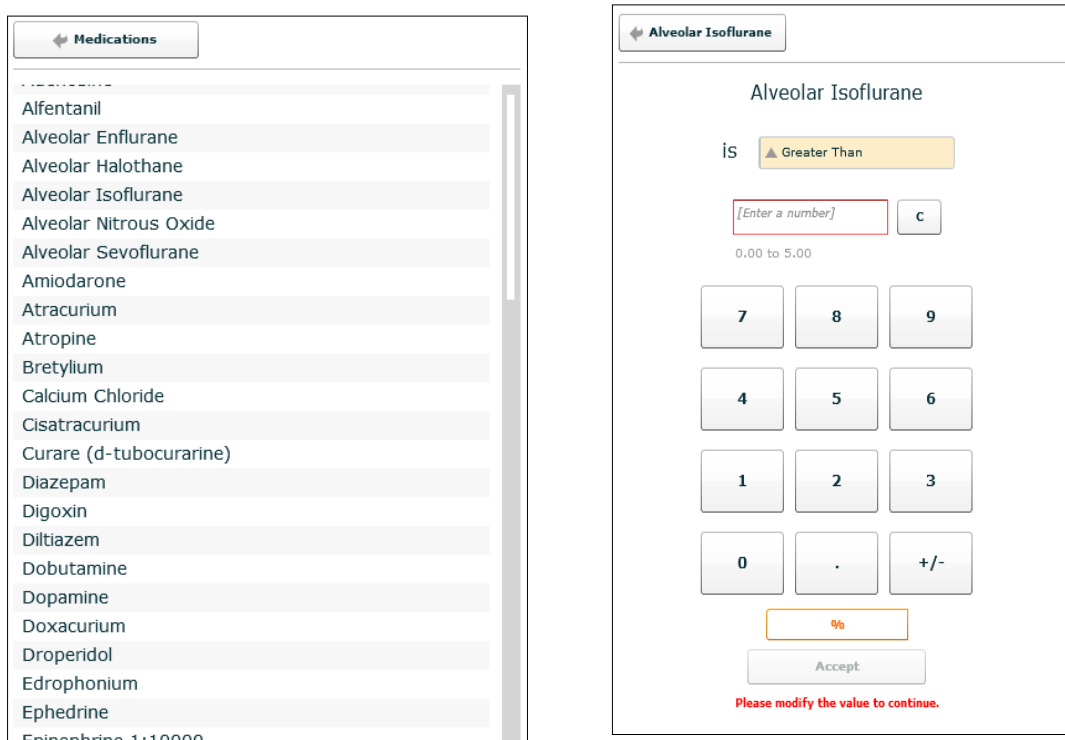


Obr. 4.2: spojení simulátoru s anesteziologickým přístrojem

4.4 Tvorba scénářů

Scénáře jsou rozděleny do jednotlivých po sobě jdoucích stavů. V každém stavu lze zvolit podmínku, pokud která bude splněna, může se stav změnit na následující zvolený. Jako podmínka může být zvolení dávky farmaka, splnění podmínky fyziologické funkce nebo může být nastaven čas, v kterém jednotlivý stav přetrvá. Při výběru dávky léčiva, je předem určena správná jednotka dávky, v které se daný lék podává, viz Obr. 4.3. Pokud podmínka není splněna, nedojde k přesunu do dalšího stavu.

Úvod do anestezie je v anestezii nitrožilní a v kombinaci nitrožilní a inhalační anestezie stejný. Jsou zvoleny tři podmínky pro tři farmaka, všechny formou “pokud je podána dávka větší než“, tak dojde ke změně stavu na další. Dávka farmak je vždy zvolena nižší, aby při simulované anestezii mohlo být podáno správné množství léčiva.



Obr. 4.3: výběr anestetik, výběr dávky anestetik v softwaru MUSE

U inhalační anestezie dochází ke stavu “vedená anestezie“, kdy jsou zvoleny podmínky, pro inhalační farmaka. Tyto dávky se volí v procentech. V nitrožilní anestezii je tento krok ve scénáři vynechán. Při probíhající anestezii nejsou tyto inhalační farmaka v klasickém rejstříku léčiv, ale při simulaci, se musí do oblasti nastavení plicních parametrů. Do toho nastavení se dostává přes obrázek plic reprezentující simulátoru pacienta, kdy po vybrání plic, se otevře nabídka nastavení, kam se zvolí procentuální zastoupení plynů v alveolárním prostoru.

Další zvolenou podmínkou shodující se u obou druhů scénářů je dechový objem V_T . Tato podmínka je zvolena z důvodu rozpoznání končící anestezie. Pokud se simulátoru začne zvedat dechový objem, znamená to, že dochází k samovolnému dýchání, které značí probouzení z anestezie. Podmínka je nastavena “pokud V_T je větší než 200 ml, přejdi do dalšího stavu“.

Po splnění podmínky dechového objemu, dochází k předposlednímu stavu, kdy jsou podáni antagonisté myorelaxantu, aby došlo k zrušení svalové relaxace. Forma podmínky se shoduje s podmínkami jiných podávaných farmak.

Posledním stavem je tzv. Normální stav, kdy už není definovaná žádná podmínka, pouze v simulaci dochází k ustálení hodnot. Ukázka celého scénáře je v tabulce 4.5.

Tabulka 4.5: ukázka scénáře nitrožilní anestezie

00:00:00	1. Začátek scénáře	Začátek scénáře, spojení simulátoru s manekýnem
00:01:30		Podání sufentanil 0.13 µg /kg IV
00:01:45	2. Nitrožilní anestezie	Podání propofol 200 mg IV
00:01:57		Podání rocuronium 300 µg/kg IV
00:02:10	3. Vedená anestezie	Scénář: '1 nitrožilní anestezie' se mění z 'nitrožilní anestezie' na 'vedená anestezie'
00:13:49	4. Probouzení z anestezie	Scénář: '1 nitrožilní anestezie' se mění z 'vedená anestezie' na 'podání neostigmin a astropin',
		Ve scénáři došlo ke změně z důvodu splnění podmínky $V_T > 200$ ml
00:14:02	5. Podání parasymptolytika	Podání neostigmine 2.5 mg IV
00:14:10		Podání atropine 0.5 mg IV
00:14:42	6. Normální stav	Scénář: '1 nitrožilní anestezie' se mění z 'podání neostigmin a astropin' na 'normální stav',
00:16:04		Scénář je zastaven

4.5 Změna scénáře v závislosti na dávkování

Ve scénářích nedošlo ke změně jednotlivých stavů a jejich posloupností. Vybraná kombinace farmaka zůstala nezměněna. Pouze ve scénáři došlo k navýšení dávky. V řízené simulaci byly zadány jiná množství dávek nebo poměru dávek vybraných farmak.

4.5.1 Nitrožilní anestezie – 130% dávka farmak

Oproti klasické nitrožilní anestezii, byla hodnota pro všechny účastníci se léčiva zvednuta o 30 %. Dávky byly přepočítány, viz Tabulka 4.6. Scénář byl stejný, jako pro

nitrožilní anestezii, viz Tabulka 4.5. Pouze při simulaci byly zadány jiné hodnoty dávek všech farmak v simulaci.

Tabulka 4.6: změny hodnot dávek farmak

kombinace nitrožilních farmak	dávka farmak - 100%	dávka farmak - 130%
sufentanil	0,13 µg/kg	0,17 µg/kg
propofol	2,86 mg/kg	3,76 mg/kg
rocuronium	0,3 mg /kg	0,39 mg /kg
parasymptatika		
neostigmin	0,02 mg/kg	0,026 mg/kg
atropin	0,006 mg/kg	0,0078 mg/kg

4.5.2 Kombinace nitrožilní a inhalační anestezie

Při kombinaci nitrožilní a inhalační anestezie došlo ke změně poměru oxidu dusného a kyslíku ve vedené anestezii. Podané dávky v úvodu nitrožilní anestezie jsou stejné jako při obvyklé nitrožilní anestezii, viz Tabulka 4.1. Změna dávkování je v poměru mezi N₂O a FiO₂, aby vyhodnocení závislosti anesteziologický farmak bylo ovlivněno pouze jedním typem léčiv a to léčivy inhalačními. Při simulaci byly změny procentuální zastoupení obou plynů, viz Tabulka 4.7, pouze dávka isofluranu 1 % zůstala konstantní v obou scénářích inhalační anestezie.

Nastavení procentuálního zastoupení farmak je softwarové. Nastavení anesteziologického přístroje zůstalo nezměněno od původního, z důvodu technické neproveditelnosti. Pacient byl reálně ventilován pouze 25 % kyslíkem a 75 % vzduchu. (viz Tabulka 4.2)

Tabulka 4.7: změna poměru inhalačních farmak

Nastavení softwaru - 1. simulace			Nastavení softwaru - změna poměru		
farmakum	dávka	způsob podání	farmakum	dávka	způsob podání
isofluran	1 %	inhalačně	isofluran	1 %	inhalačně
oxid dusný	60 %	inhalačně	oxid dusný	65 %	inhalačně
kyslík	39 %	inhalačně	kyslík	34 %	inhalačně

5 Výsledky

Výsledky simulací jsou prezentovány v grafech, které jsou rozděleny do 5 stavů, tak jako tomu je u scénáře v softwarovém prostředí MŮSE. Vyhodnoceny jsou parametry tepové frekvence, systolický a diastolický krevní tlak, dechový objem a neuromuskulární blokáda.

Scénáře jsou rozděleny do několika základních časových oblastí, ve kterých byly očekávány změny ve vitálních funkcích. Časové oblasti jsou vyznačeny v tabulkách.

V oblasti A docházelo k propojení simulátoru se softwarem, kvůli přehlednosti není tato část celá vyznačena v grafech ale pouze hodnoty, které jsou již ustálené. V oblasti B nastalo podání nitrožilních anestetik. Po podání došlo k intubaci manekýna a ventilaci pomocí anesteziologického přístroje.

U nitrožilní anestezie docházelo v oblasti C k vedené anestezii, kdy podmínkou pro uvedení do následujícího stavu bylo překročení hranice 200 ml.

U inhalační anestezie docházelo k podání inhalačních farmak a podmínka dechového objemu zůstala stejná 200 ml.

V oblasti D docházelo u obou scénářů k podání neostigminu a atropinu.

V oblasti E nastalo ustálení vitálních funkcí a ukončení anestezie.

5.1 Nitrožilní anestezie

V Tabulce 5.1 je scénář po sobě jdoucích stavů celkové nitrožilní anestezie, které na sebe navzájem navazovaly.

Tabulka 5.1: scénář nitrožilní anestezie

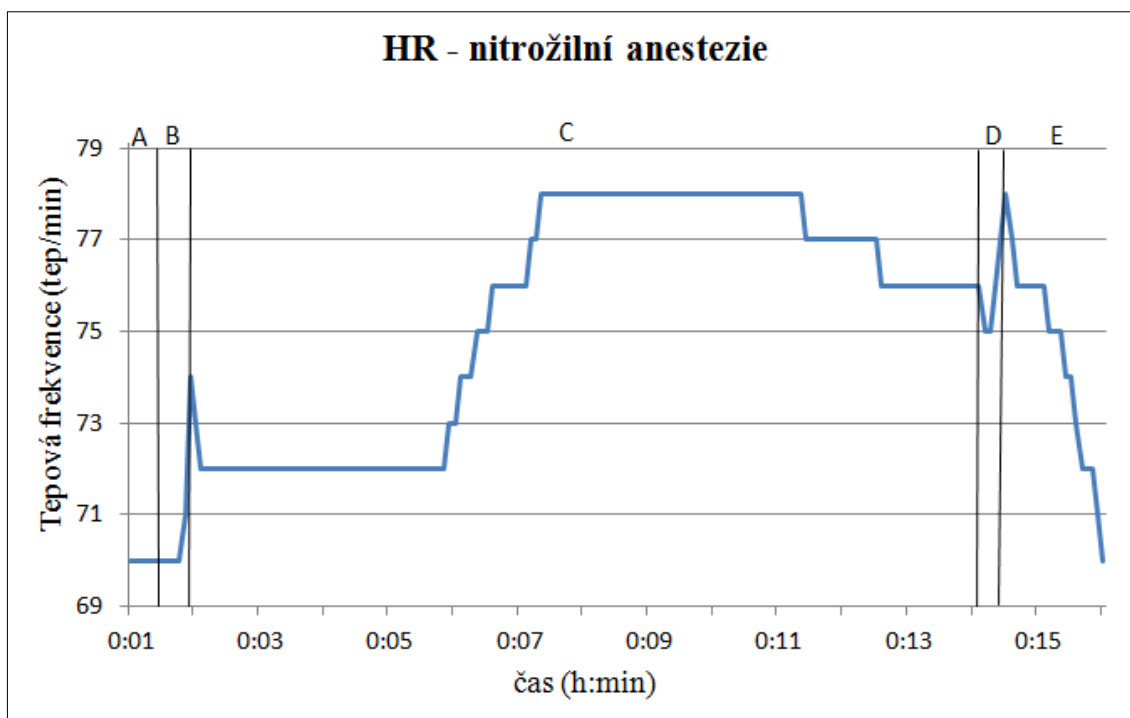
0:00:00	A	Scénář: ' nitrožilní anestezie' (Spojení simulátoru s manekýnem)
0:01:30	B	Podání: <i>sufentanil</i> 0.13 µg /kg - nitrožilně
0:01:45		Podání: <i>propofol</i> 200 mg - nitrožilně
0:01:57		Podání: <i>rocuronium</i> 300 µg /kg - nitrožilně
0:02:10	C	'nitrožilní anestezie' se mění na 'vedená anestezie'
0:13:49	D	'vedená anestezie' se mění na 'podání neostigmin a atropin',
0:14:02		Podání: <i>neostigmine</i> 2.5 mg - nitrožilně
0:14:10		Podání: <i>atropine</i> 0.5 mg - nitrožilně
0:14:42	E	'podání neostigmin a atropin' se mění na 'normální stav',
0:16:04		Scénář '1 nitrožilní anestezie' je zastaven

V grafu 5.1 nastalo v časovém úseku A ustálení hodnoty 70 tepů/min. V oblasti B došlo k nárůstu tepové frekvence. V časovém úseku C docházelo ke kontinuálnímu zvýšení tepové frekvence až do bodu, kdy se dechový objem V_T dostal nad hladinu 200 ml. Přibližně po dvou minutách se tepová frekvence ustálila na 70 tepech za minutu.

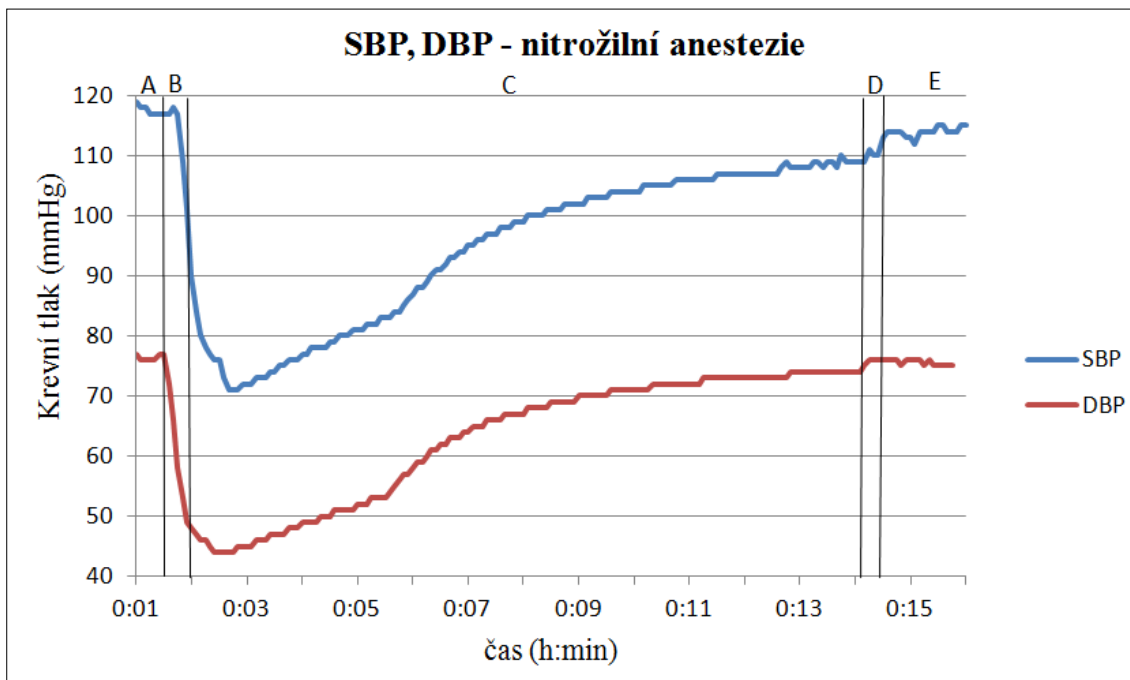
Systolický a diastolický krevní tlak v oblasti B prudce klesal, viz Graf 5.2. Při postupném odeznívání léků v oblasti C se oba tlaky pomalu zvyšovaly. Po podání neostigminu a atropinu nastalo zvýšení v oblasti D.

V grafu 5.3 je závislost dechového objemu na čase. V úseku B došlo k poklesu na 0 ml. Po přibližně 7,5 minutách došlo k postupnému zvyšování V_T . V časovém úseku D nastalo rychlé zvýšení dechového objemu, který se ustálil na 580 ml.

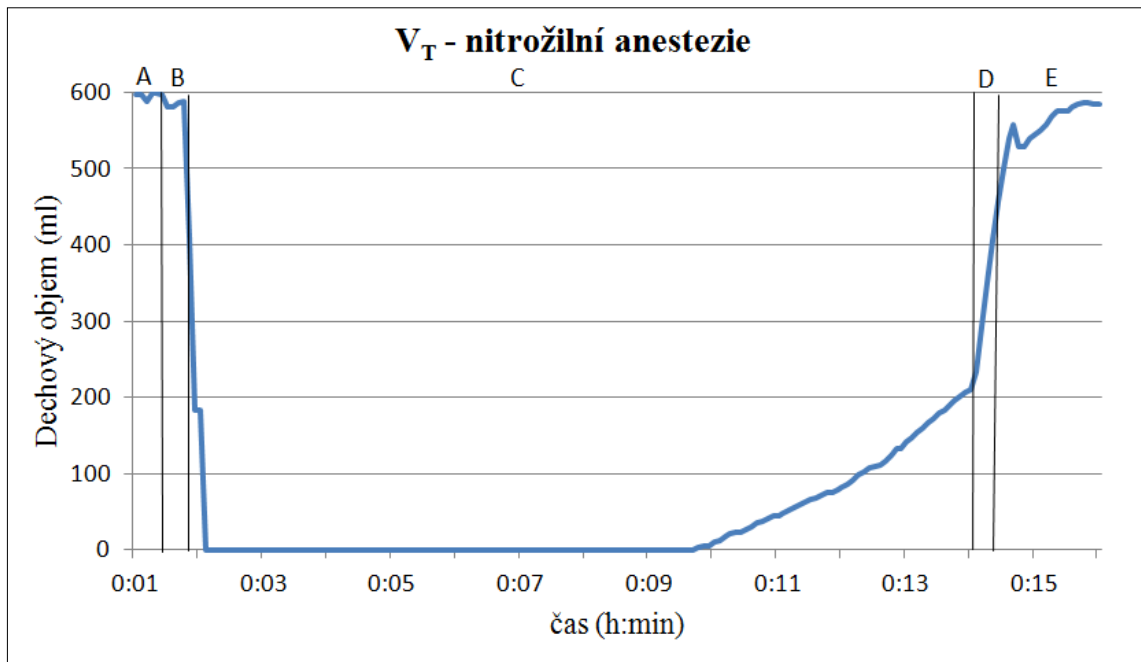
V oblasti A byl NMB na 0 %, viz Graf 5.4. V úseku B se hodnota velmi rychle zvyšovala na hodnotu 99 %. Po 4 minutách začala křivka postupně klesat. Největší změna hodnoty byla v oblasti D, kdy NMB klesalo z 65 % na 0 %. Simulace skončila na hodnotě 0 %.



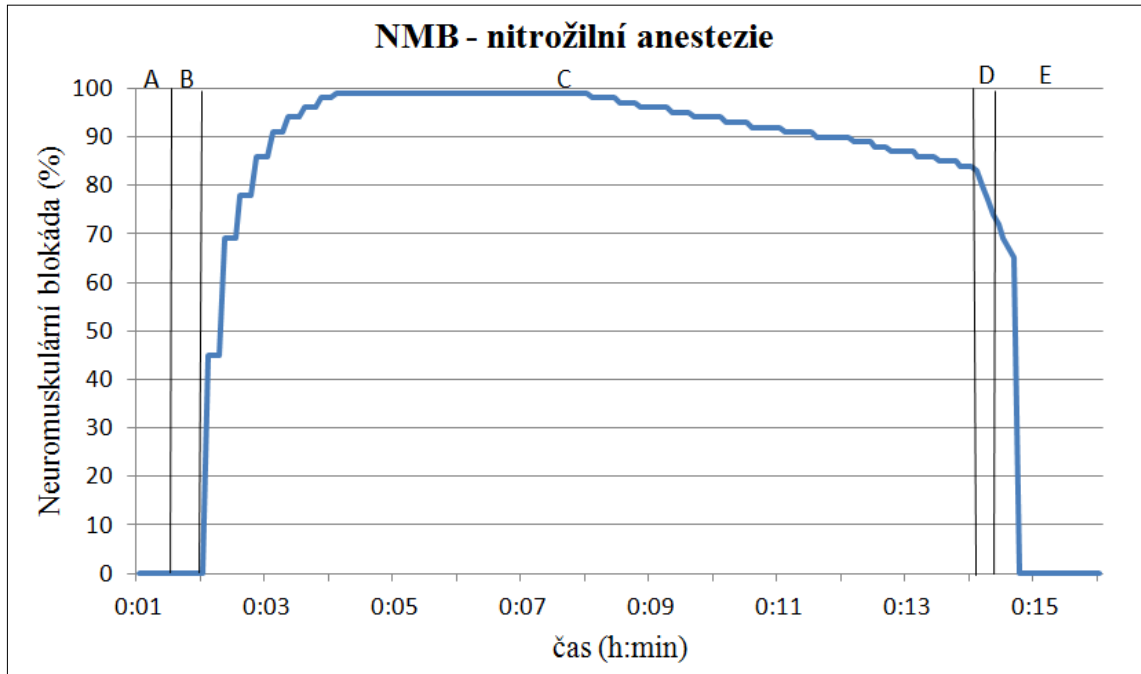
Graf 5.1: tepová frekvence při nitrožilní anestezii



Graf 5.2: systolický a diastolický krevní tlak při nitrožilní anestezii



Graf 5.3: dechový objem při nitrožilní anestezii



Graf 5.4: neuromuskulární blokáda při nitrožilní anestezii

5.2 Kombinovaná nitrožilní a inhalační anestezie

V Tabulce 5.2 je zaznamenán scénář po sobě jdoucích stavů nitrožilní a inhalační anestezie, které na sebe navzájem navazují. Scénář je rozdělen do základních časových úseků.

Tabulka 5.2: scénář kombinace nitrožilních a inhalační anestezie

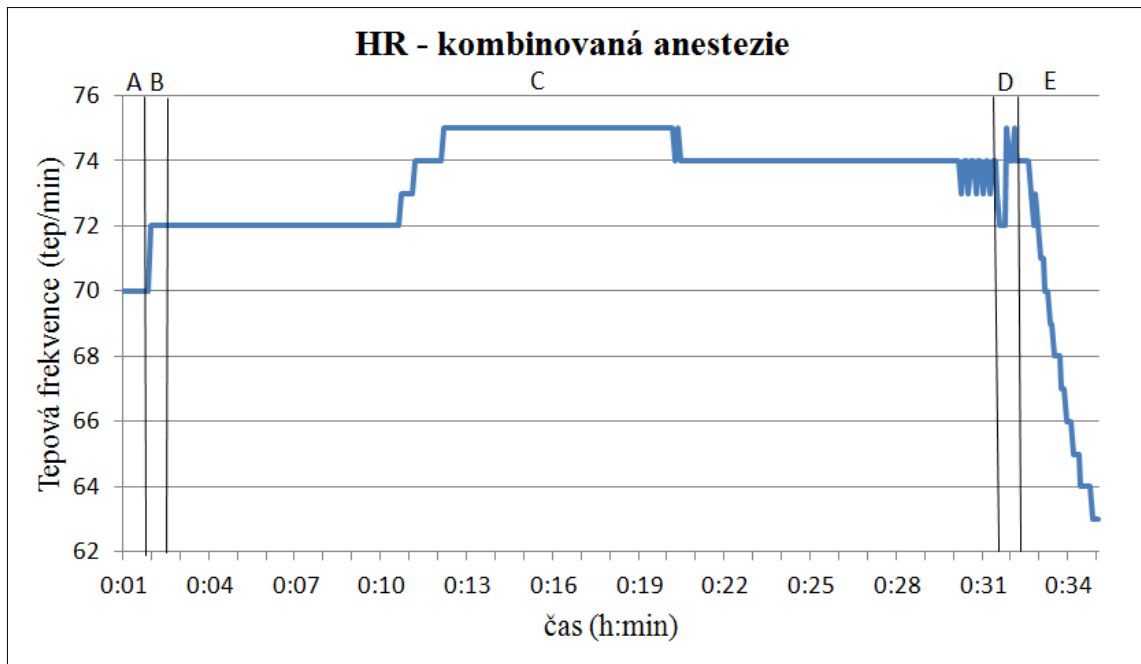
0:00:00	A	Scénář: 'inhalační anestezie' (Spojení simulátoru s manekýnem)
0:01:57	B	Podání: <i>sufentanil</i> 0.13 µg/kg - nitrožilně
0:02:16		Podání: <i>propofol</i> 200 mg - nitrožilně
0:02:32		Podání: <i>rocuronium</i> 300 µg/kg - nitrožilně
0:02:45	C	'nitrožilní anestezie' se mění na 'vedená inhalační anestezie'
0:03:06		Podání: <i>oxid dusný</i> 60 % - inhalačně
0:03:14		Podání: <i>isoflurane</i> 1.00 % - inhalačně
0:03:23		Podání: <i>kyslík</i> 39 % - inhalačně
0:31:37	D	Zrušení <i>oxid dusný</i> 0 %,
0:31:42		Zrušení <i>isoflurane</i> 0 %,
0:31:45		Podání: <i>kyslík</i> 21 % - inhalačně
0:32:07		Podání: <i>atropine</i> 0.5 mg - nitrožilně
0:32:10		Podání: <i>neostigmine</i> 2.5 mg - nitrožilně
0:35:12	E	Scénář: 'inhalační anestezie' je zastaven

V úseku A grafu 5.5 došlo k ustálení hodnot po spojení simulátoru a softwaru na hodnotě 70 tepů/min. V časové oblasti B došlo ke zvýšení tepové frekvence. V oblasti C nastal nárůst tepové frekvence. Na konci úseku došlo k oscilacím hodnot.

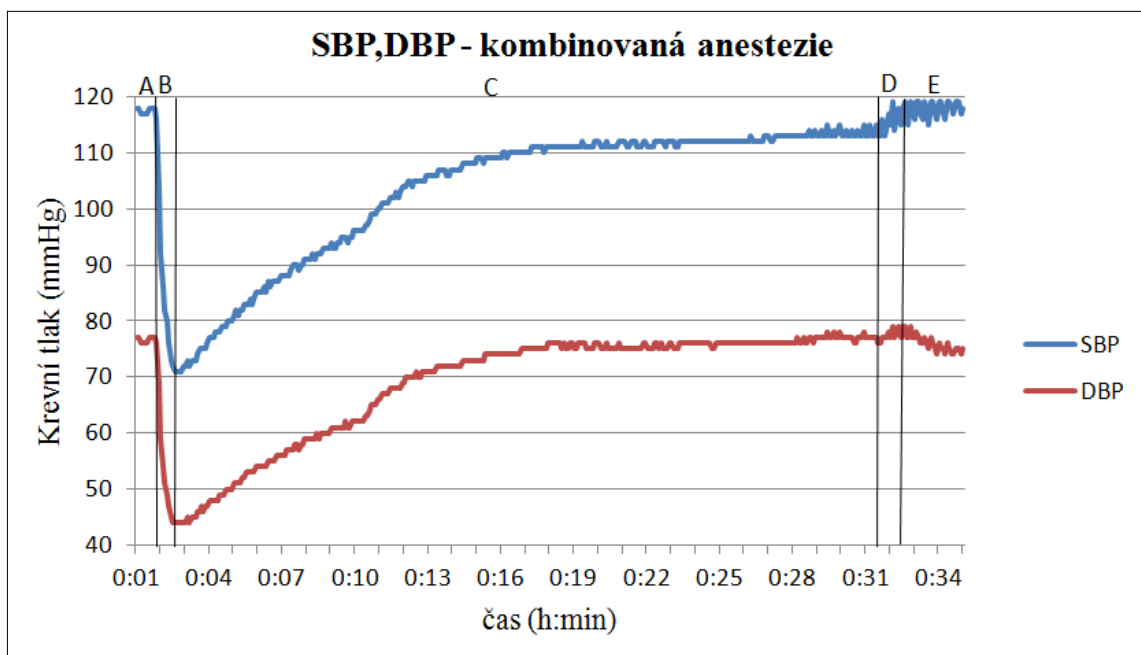
V oblasti B nastalo po podání nitrožilních farmak k prudkému poklesnutí obou krevních tlaků, viz Graf 5.6. Během časové oblasti C docházelo k téměř plynulému navyšování obou tlaků. Po 29 minutách došlo k oscilacím u obou tlaků.

V časovém úseku B v grafu 5.7 nastal pokles na 0 ml. Po 28 minutách docházelo ke zvyšování spontánního dechového objemu. V časové oblasti D nastal rychlý nárůst hodnot dechového objemu. Dechový objem se ustálil na hodnotě 639 ml.

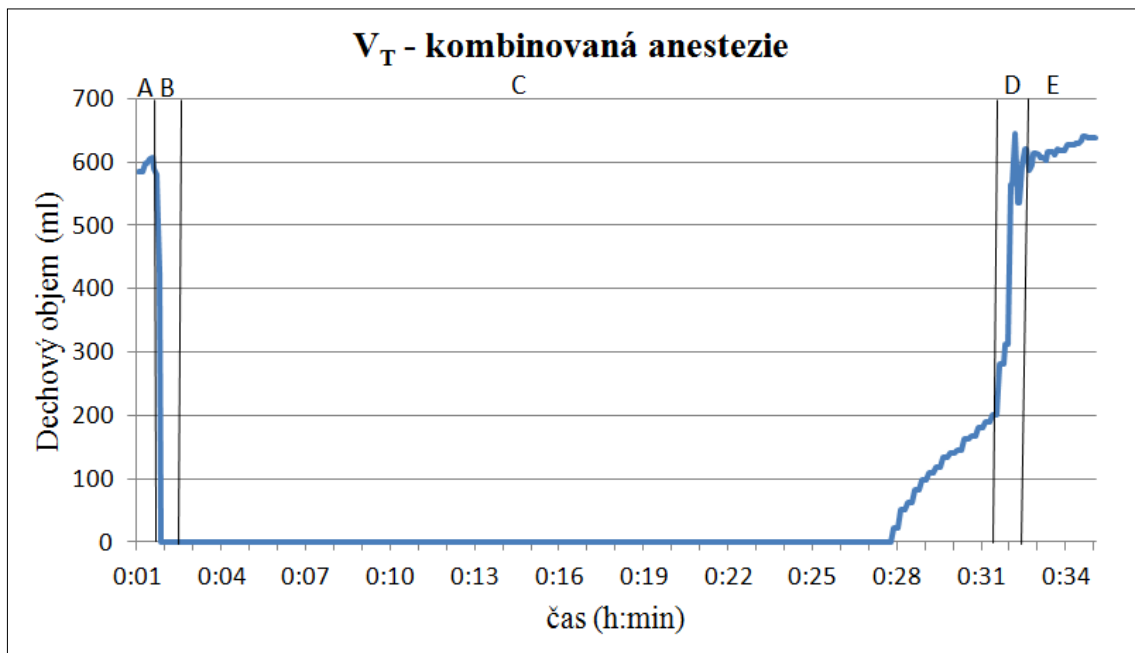
Hodnota NMB v grafu 5.8 začínala na 0 %. Po podání kombinace anesteziologický farmak došlo k rychlému nárůstu na 99 %. Maximální hodnota v oblasti C trvala přibližně 13 minut, poté začala postupně klesat. V oblasti D došlo k prudkému poklesu na nulovou hodnotu



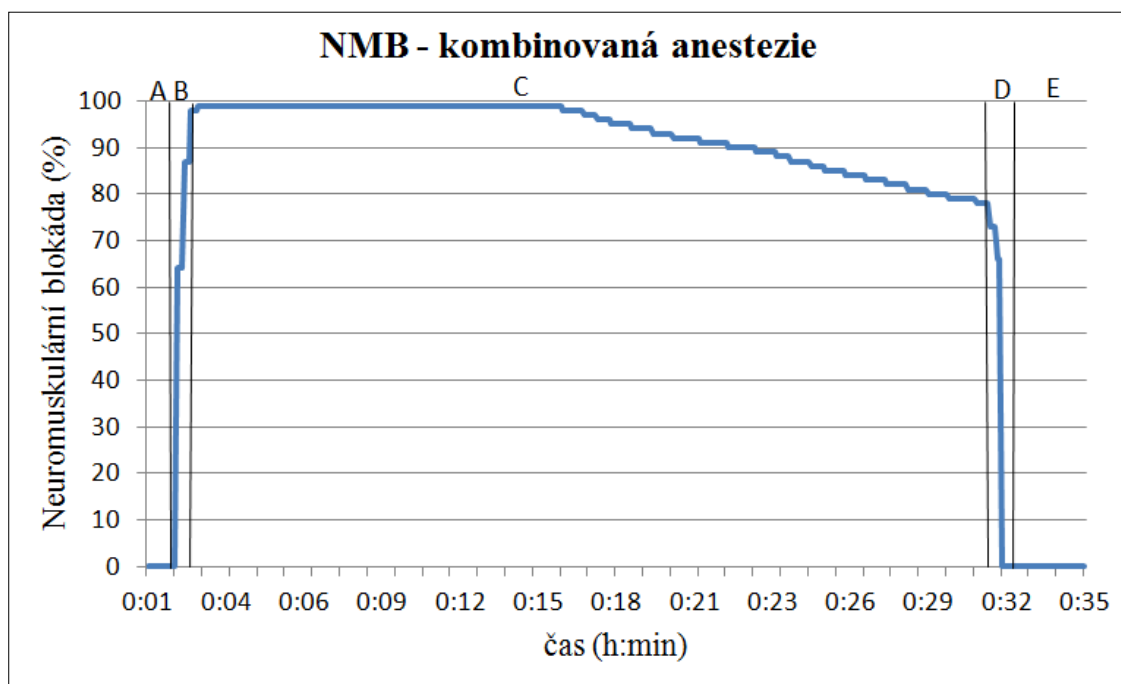
Graf 5.5: tepová frekvence při kombinované anestezii



Graf 5.6: systolický a diastolický krevní tlak při kombinované anestezii



Graf 5.7: dechový objem při kombinované anestezii



Graf 5.8: neuromuskulární blokáda při kombinované anestezii

5.3 Anestezie v závislosti na dávkování farmak

Návaznost a stavy ve scénářích simulace nebyly změněny, pouze došlo ke změnám hodnot jednotlivých farmak ve scénáři a ke změnám hodnot při řízené simulaci.

5.3.1 Nitrožilní anestezie – 130% dávka farmak

V Tabulce 5.2 je zaznamenán scénář po sobě jdoucích stavů nitrožilní anestezie. Scénář je rozdělen do základních časových úseků, stejně jako u nitrožilní anestezie klasické. Rozdíl scénáře je v úseku B a D, kde dochází k podání vyšší dávky farmak o 30 %.

Tabulka 5.3: nitrožilní anestezie – 130% dávka farmak

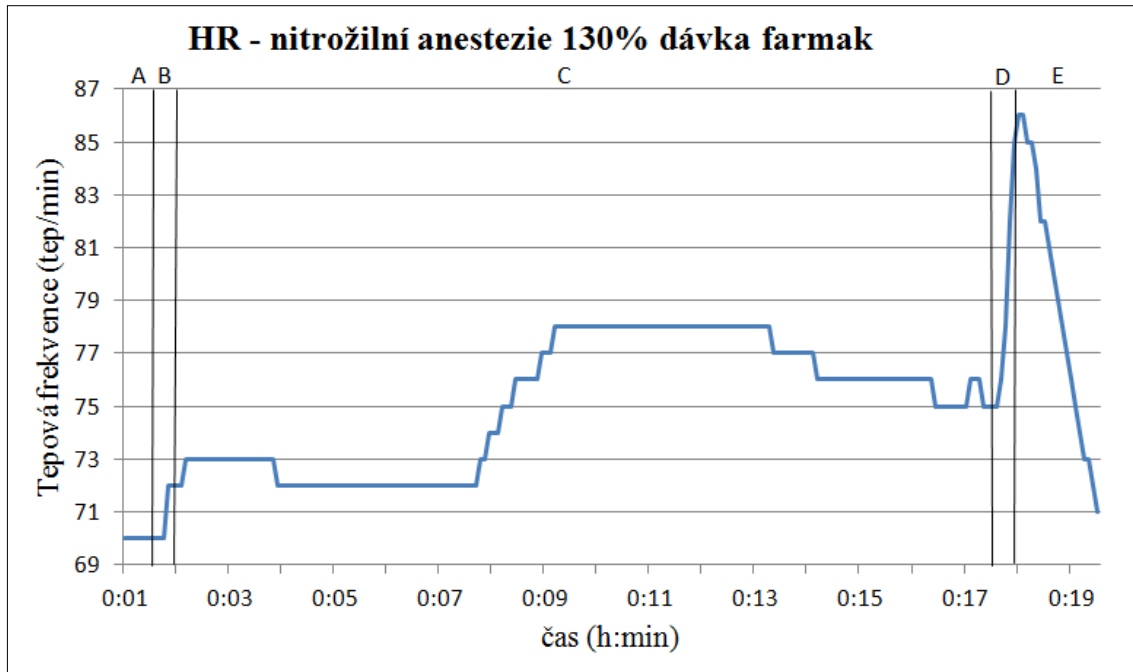
0:00:00	A	Scénář: 'nitrožilní anestezie – 130% dávka farmak' (Spojení simulátoru s manekýnem)
0:01:29	B	Podání: <i>sufentanil</i> 0.169 µg /kg - nitrožilně
0:01:42		Podání: <i>propofol</i> 260 mg - nitrožilně
0:01:56		Podání: <i>rocuronium</i> 390 µg /kg - nitrožilně
0:02:28	C	'nitrožilní anestezie – 130% anestezie' se mění na 'vedená anestezie'
0:17:36	D	'vedená anestezie' se mění na 'podání neostigmin a astropin – 130% dávka farmak',
0:17:39		Podání: <i>neostigmine</i> 3.28 mg - nitrožilně
0:17:54		Podání: <i>atropine</i> 0.65 mg - nitrožilně
0:18:13	E	'podání neostigmin a astropin' se mění na 'normální stav',
0:19:32		Scénář 'nitrožilní anestezie – 130% dávka farmak' je zastaven

V Grafu 5.9 jsou uvedeny jednotlivé oblasti simulace. Tepová frekvence na počátku simulace byla 70 tepů/min a se stejnou hodnotou byla simulace ukončena. Nejvyšší hodnota byla v oblasti D 86 tepů za minutu.

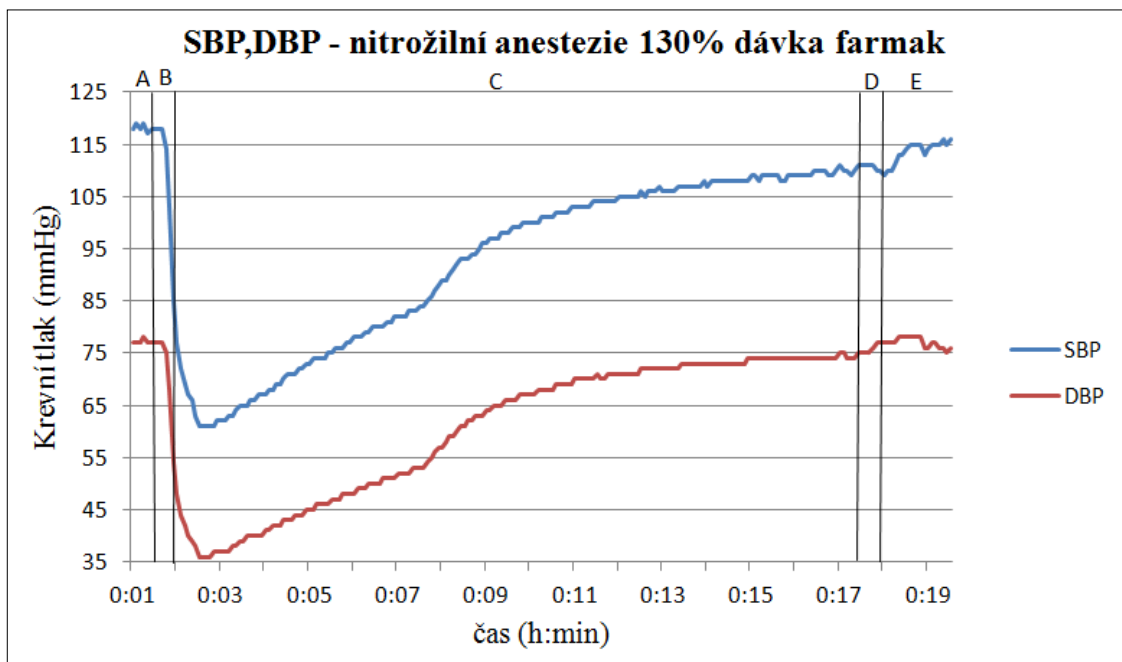
V oblasti B grafu 5.10 došlo k poklesu tlaků. Nejnižší tlak byl 61/36 mmHg. Poté se hodnota obou tlaků v oblasti C pozvolna zvedala. Simulace byla ukončena s hodnotou 116/76 mmHg.

V časové oblasti B došlo k rychlému poklesu na hodnotu 0 ml dechového objemu po dobu přibližně 10 minut, viz Graf 5.11. V oblasti D došlo k rychlému nárůstu, dechový objem se ustálil na hodnotě 600 ml.

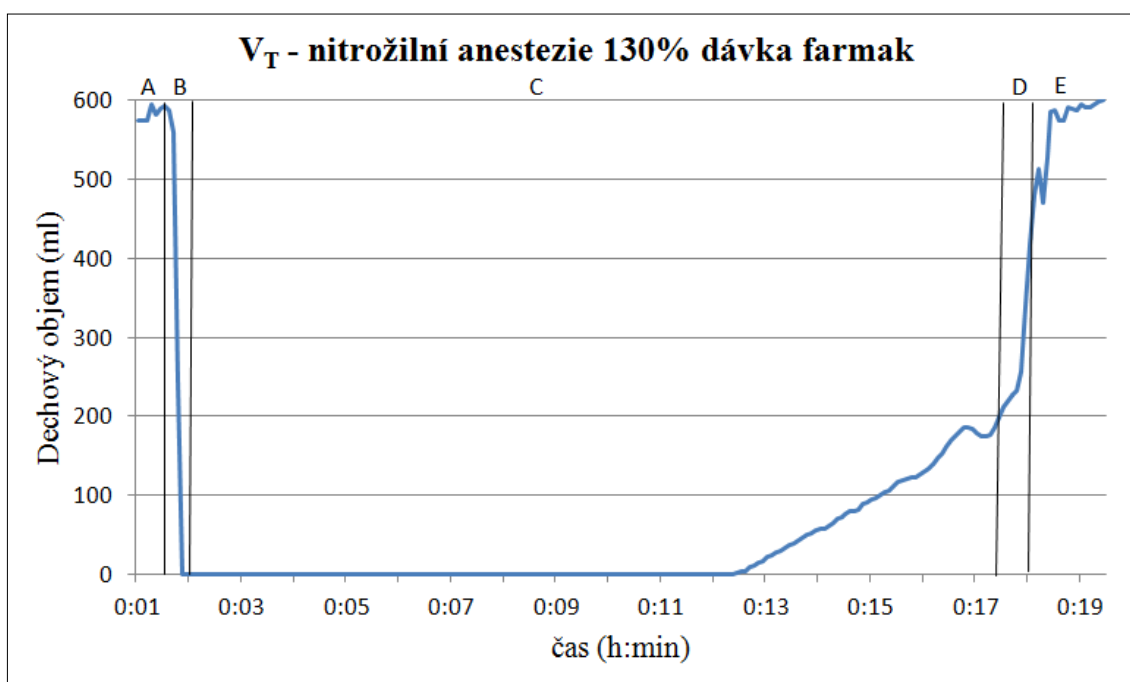
Největší zvýšení NMB v grafu 5.12 došlo v oblasti B. V oblasti C byla hodnota NMB 99 % po dobu 7 minut, poté pozvolna klesala. Simulace končila s hodnotou 0 %.



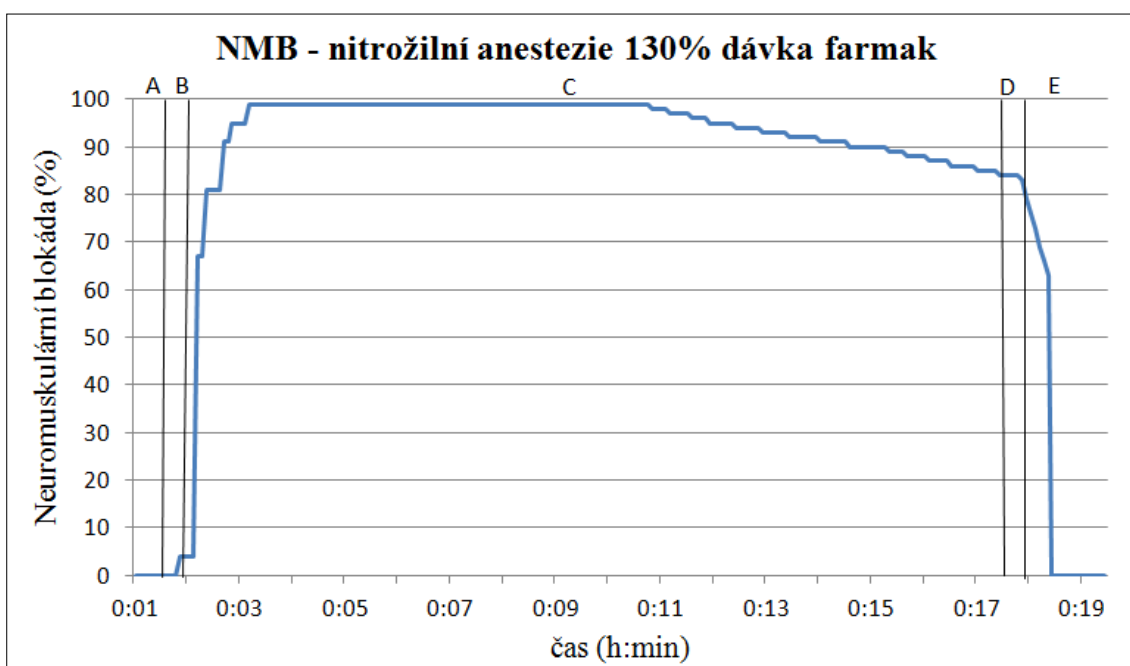
Graf 5.9: tepová frekvence při nitrožilní anestezii 130% dávka farmak



Graf 5.10: systolický a diastolický krevní tlak při nitrožilní anestezii 130% dávka farmak



Graf 5.11: dechový objem při nitrožilní anestezii 130% dávka farmak



Graf 5.12: neuromuskulární blokáda při nitrožilní anestezii 130% dávka farmak

5.3.2 Kombinovaná anestezie – zvýšený poměr N₂O

V Tabulce 5.4 je zaznamenán scénář po sobě jdoucích stavů kombinované nitrožilní a inhalační anestezie.

Tabulka 5.4: kombinovaná anestezie - zvýšený poměr N₂O

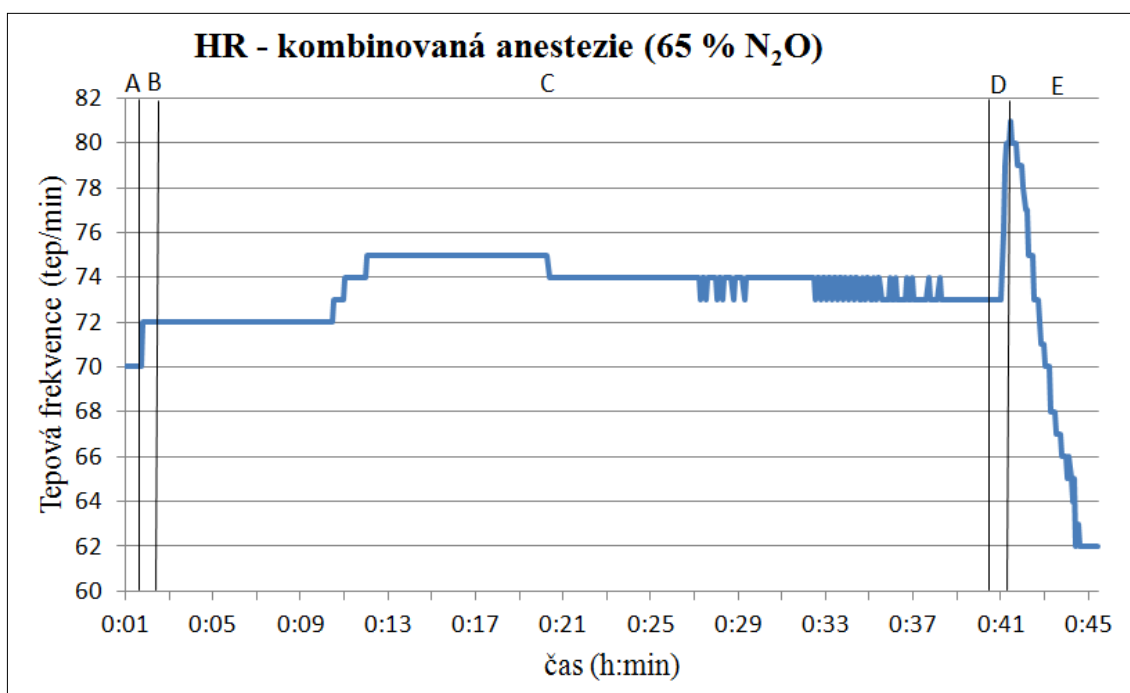
0:00:00	A	Scénář: 'inhalační anestezie – 65 % N ₂ O'
0:01:29	B	Podání: <i>sufentanil</i> 0.13 µg/kg - nitrožilně
0:01:38		Podání: <i>propofol</i> 200 mg - nitrožilně
0:01:55		Podání: <i>rocuronium</i> 300 µg/kg - nitrožilně
0:02:05	C	'nitrožilní anestezie' se mění na 'vedená inhalační anestezie – 65 % N ₂ O'
0:02:57		Podání: <i>oxid dusný</i> 65 % - inhalačně
0:03:00		Podání: <i>isoflurane</i> 1.00 % - inhalačně
0:03:07		Podání: <i>kyslíku</i> 34 % - inhalačně
0:39:34	D	Zrušení: <i>oxid dusný</i> 0 %,
0:39:39		Zrušení <i>isoflurane</i> 0 %,
0:39:46		Podání: <i>kyslíku</i> 21 % - inhalačně
0:40:58		Podání: <i>atropine</i> 0.5 mg - nitrožilně
0:41:10		Podání: <i>neostigmine</i> 2.5 mg - nitrožilně
0:45:31	E	Scénář: 'inhalační anestezie – 65 % N ₂ O' je zastaven

V úvodu simulace v oblasti A byla hodnota tepové frekvence 70 tepů za minutu. Během fáze C docházelo k oscilacím hodnot. Tepové frekvence na konci simulace v úseku E byla 62 tepů za minutu, viz Graf 5.13.

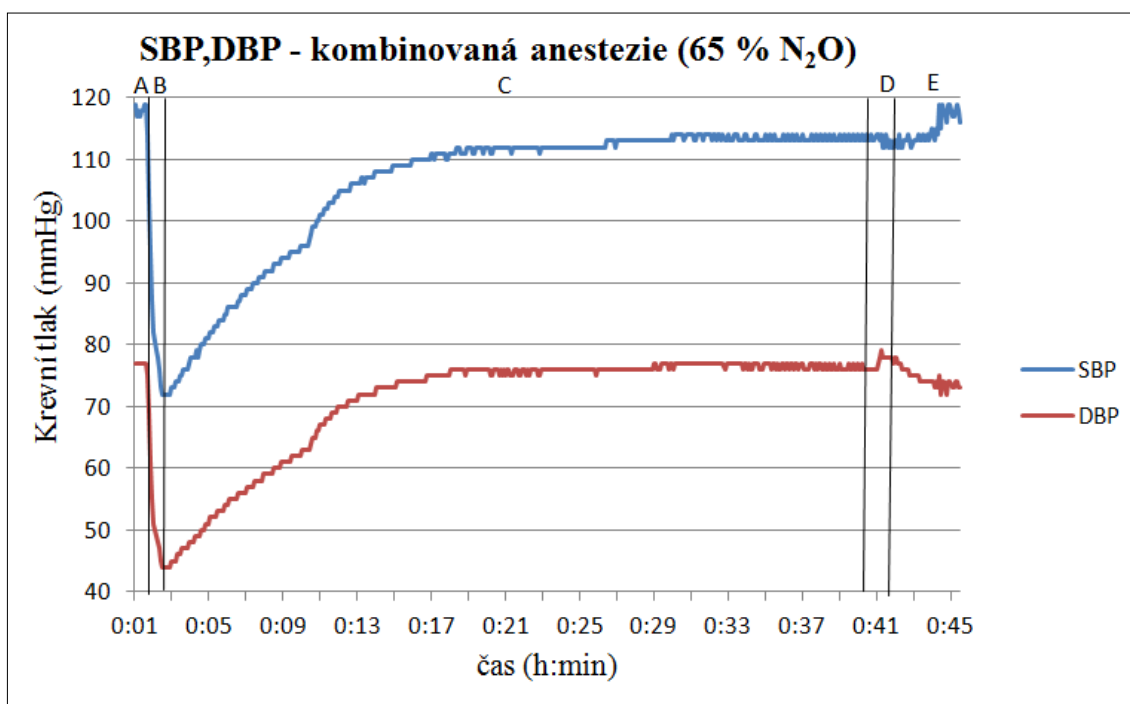
V oblasti B grafu 5.14 došlo k velkému poklesu tlaku, který poté v úseku C pomalu stoupal. V oblasti E hodnoty tlaků oscilovaly, tlak se dostal na hodnotu 105/73 mmHg.

V úseku B nastal pokles hodnoty na 0 ml, v úseku C trvala tato hodnota přibližně 24 minut, viz Graf 5.15. Poté hodnoty oscilovaly, největší vzrůst hodnot byl v úseku E.

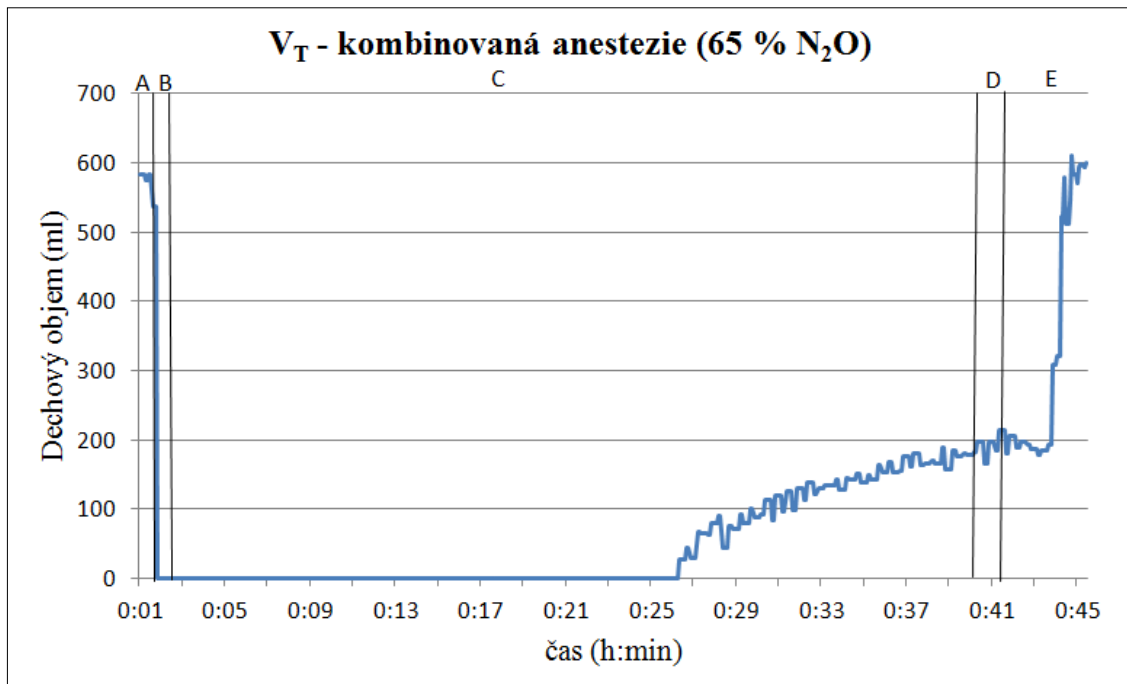
Při NMB v grafu 5.16 vzrostla hodnota během úseku B na 99 %. Tato hodnota byla po dobu 13 minut. Poté postupně klesala 25 minut. V oblasti D hodnota prudce klesla. V úseku E byla hodnota konstantně 0 %



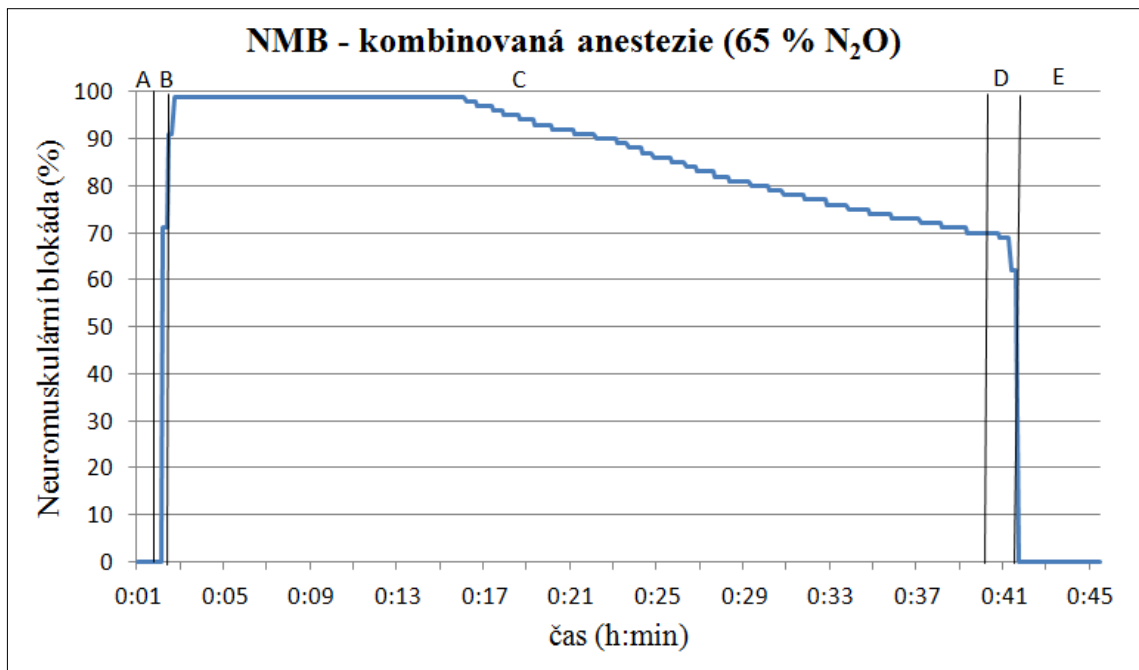
Graf 5.13: tepová frekvence při kombinované anestezii (65 % N₂O)



Graf 5.14: systolický a diastolický krevní tlak při kombinované anestezii (65 % N₂O)



Graf 5.15: dechový objem při kombinované anestezii (65 % N₂O)



Graf 5.16: neuromuskulární blokáda při kombinované anestezii (65 % N₂O)

5.4 Časové shrnutí výsledků

V Tabulce 5.5 je časové shrnutí všech naměřených simulací. Časy se týkají dechového objemu, který byl ve všech simulacích důležitý parametr, z důvodu podmínky ve scénáři, která na něj byla vázaná. V tabulce je uveden čas, kdy dechový objem měl hodnotu 0 ml a také čas, kdy se V_T pomalu zvyšoval. Dalším vyhodnoceným parametrem z hlediska času je NMB. Změřený je čas kdy NMB byla 99 % a čas kdy klesala na 0 %.

Dále jsou v tabulce 5.6 zaznamenány maximální a minimální hodnoty parametrů tepové frekvence, systolického a diastolického krevního tlaku ve všech měřených simulacích.

Tabulka 5.5: Shrnutí výsledných časů

čas	nitrožilní anestezie	nitrožilní anestezie 130% dávka farmak	kombinovaná anestezie (60 % N ₂ O)	kombinovaná anestezie (65 % N ₂ O)
celková simulace	16:03	19:32	35:12	45:28
$V_T = 0$ ml	7:35	10:35	25:55	24:30
V_T postupné zvyšování	5:40	5:40	6.45	15:11
NMB = 99%	3:55	7:35	13:02	13:25
NMB postupné zvyšování	6:40	7:40	15:55	25:31

Tabulka 5.6: Shrnutí výsledných parametrů

maximální hodnota				
HR	78	86	75	81
SBP, DBP	117/76	118/77	119/79	119/75
minimální hodnota				
HR	70	70	63	62
SBP, DBP	71/44	61/36	71/44	72/44

6 Diskuse

V průběhu simulací anestezie s dávkováním odpovídající hmotnosti pacienta došlo k minimálním odchýlkám od klasického průběhu anestezie, se kterým se můžeme setkat v klinické praxi. Na začátku simulace byly hodnoty sledovaných parametrů ve fyziologických intervalech pro “standardního“ zdravého muže. Po ukončení simulací se většina parametrů vrátila do blízkých hodnot z počátku scénáře, před zahájením samotné anestezie.

Ve všech simulacích byl manekýn intubován a připojen k anesteziologickému přístroji. Při vedení anestezie a její ukončování, kdy byl dechový objem 0 - 200 ml, byl anesteziologický přístroj v plně řízeném režimu CMV. U všech simulací byla po překročení hranice 200 ml podána farmaka neostigmin a atropin, následně se začal dechový objem rychle zvedat. Z toho důvodu byl přepnut režim na MAN/SPON, kdy bylo simulátoru dopomáháno v dýchání pomocí dýchacího vaku na anesteziologickém přístroji.

Nejdéle trvala simulace kombinované anestezie s poměrem 65 % N₂O. To bylo způsobeno zvýšenou dávkou oxidu dusného, kterým byl manekýn ventilován. Tomu odpovídal nejdéle trvajících interval ze všech simulací, kdy se dechový objem postupně zvyšoval z 0 ml. Nejdéle také trval stav 99% neuromuskulární blokády a postupné snižování procentuální hodnoty NMB, které bylo o 10 minut delší než u klasické kombinované anestezie a o 19 minut delší než u klasické nitrožilní anestezie, viz Tabulka 5.5.

Při všech simulacích muselo dojít ke snížení dávky svalového relaxantu rocuronia na 0,3 mcg/kg. Hodnota byla experimentálně zvolena na poloviční oproti hodnotě uváděné v literatuře 0,6 mcg/kg. Důvodem změny dávkování byl čas simulace, který se podáním větší dávky rocuronia neúměrně prodloužil. Pro výukovou úlohu, kde se rocuronium využívá, by byl delší čas anestezie nevhodný.

V klasické nitrožilní anestezii tepová frekvence reagovala zvýšením své hodnoty na podaná nitrožilní farmaka a na antagonisty myorelaxantu. Po snížení obou krevních tlaků a po podání tří anesteziologických farmak reagovala tepová frekvence zvýšením

na maximální hodnotu 78 tepů za minutu. Po ukončení anestezie se vrátila na fyziologickou hodnotu 70 tepů za minutu.

Na začátku nitrožilní anestezie došlo po podání správných hodnot anestetických léčiv k poklesu systolického a diastolického tlaku na hodnotu 71/44 mmHg. Snížení krevních tlaků kompenzovala simulace zvýšené tepové frekvence. Dále se hodnoty obou tlaků postupně zvyšovaly, a to až na konečnou hodnotu 117/75 mmHg.

Klinicky reálnou odezvu na podané nitrožilní léky měl dechový objem, který se na začátku simulace pohyboval okolo 590 ml, ale po podání myorelaxantu, opiátu a anestetika prudce klesal na 0 ml. Nulová hodnota dechového objemu byla po celou dobu účinku tří farmak. Při začátku odeznívání farmak docházelo k velmi pomalému navyšování dechového objemu. Při dechovém objemu nad 200 ml byla podána farmaka, která blokují účinky svalového relaxantu, proto došlo k rychlému nárůstu na hodnotu přibližně 580 ml.

Odpovídajícím způsobem na simulaci reagovala neuromuskulární blokáda, která se na začátku fyziologicky rovnala nule. Po podání správné dávky farmak hodnota prudce vzrostla na 99 %. Tato hodnota zůstala konstantní po dobu účinku farmak, poté začala velmi pozvolna klesat. Po podání parasymptolyk došlo k prudkému poklesu na fyziologickou nulovou hodnotu

Simulace dlouhodobé kombinované anestezie za pomoci správné dávky nitrožilních a inhalačních farmak probíhala podle očekávání. Oproti krátkodobé anestezii trvala dlouhodobá anestezie o 20 minut déle. Průběhy křivek jsou velmi podobné křivkám nitrožilní anestezie až na drobné výchyly.

Tepová frekvence neměla peak při správné dávce anesteziologických farmak, ale hodnota zůstala na vyšší hodnotě. To mohl způsobit rychlý přechod na inhalační farmaka. Ke konci simulace, před podáním parasymptolyk, došlo k oscilaci hodnot, přičemž tato oscilace se objevila ve všech měřených křivkách. Hodnota tepu na konci simulace klesla na hodnotu 63 tepů/min.

Hodnoty systolického a diastolického tlaku se po podání kombinace farmak dostaly na hodnotu 71/44 mmHg, ta je stejná jako v nitrožilní anestezii. Průběh stoupání obou tlaků je stejný, jako v krátkodobé anestezii pouze časový interval stoupání se

prodloužil. Na konci dochází k oscilaci hodnot. Simulace končí s hodnotami 117/75 mmHg.

Dechový objem při správné dávce anestetik ihned klesal na 0 ml, oproti nitrožilní anestezii byla doba nulového dechového objemu delší o přibližně 18 minut. Po překročení 200 ml a podání neostigminu a atropinu došlo k rychlému nárůstu dechového objemu. Ke konci simulace došlo k oscilacím hodnot. Dechový objem se ustálil na 630 ml.

Neuromuskulární blokáda měla podobný průběh jako u nitrožilní krátkodobé anestezie. Lišila se dobou, v které byla hodnota NMB 99 %. Tato hodnota byla u dlouhodobé anestezie vyšší o 13 minut. Prodloužila se také doba postupného klesání, která byla u dlouhodobé anestezie delší o 9 minut. To mohlo být způsobené kontinuální dávkou inhalačních farmak, která prodloužila anesteziologický účinek.

Při zvýšené dávce nitrožilních farmak o 30 % se doba simulace prodloužila o 3 a půl minuty. Ve většině parametrů došlo k navýšení minimálních a maximálních hodnot oproti klasické nitrožilní anestezii.

Tepová frekvence neměla jeden peak jako reakci na podání tří anesteziologických farmak ale zvýšení tepové frekvence mělo delší průběh. Oproti klasické nitrožilní anestezii se zvýšila tepové frekvence po podání neostigminu a atropinu na 89 tepů za minutu. Tato hodnota byla výrazně větší než u předchozích simulací. To způsobilo zvýšení myorelaxantů o 30 % proti klasickému dávkování těchto farmak. Hodnota tepové frekvence skončila na hodnotě 70 tepů za minutu. Graf pro systolický a diastolický tlak měl stejný průběh jako nitrožilní anestezie, se správně zvolenou dávkou farmak. Lišila se pouze minimální hodnota simulace, která byla po podání 130% dávky anesteziologických farmak 61/36 mmHg. Simulace končila s hodnotou 116/76 mmHg. Dechový objem měl stejný průběh jako klasická nitrožilní anestezie. Pokles na nulovou hodnotu po podání anesteziologických farmak byl strmější, stejně tak návrat do fyziologických hodnot po podání neostigminu a atropinu. V grafu prezentující neuromuskulární blokádu došlo k rychlejšímu zvýšení na hodnotu 99 %. Tato hodnota byla o 4 minuty déle konstantní než v klasické nitrožilní anestezii.

Při simulaci se změněným poměrem oxidu dusného 65 % a kyslíku 34 % došlo k prodloužení simulace o 10 minut. Křivky grafů vypadají podobně jako u první kombinované simulace. Liší se pouze v oscilacích, které se u zvětšeného poměru N₂O vyskytují častěji a ve větší míře.

Tepová frekvence měla maximum 81 tepů za minutu po podání neostigminu a atropinu. Hodnota tepové frekvence skončila na 62 tepech za minutu. V klinické praxi by se takové snížení tepové frekvence řešilo podáním příslušných léčiv na zvýšení tepové frekvence. Hodnoty systolického a diastolického krevního tlaku jsou velmi podobné simulaci kombinované anestezie se 60 % N₂O. Hodnoty krevního tlaku na konci simulace byly 118/73 mmHg. Dechový objem má stejný průběh hodnot v začátku simulace. Při zvyšování dechového objemu z 0 ml byl prodloužen čas postupného zvyšování a hodnoty oscillovaly. Po podání neostigminu a atropinu došlo ke zvýšení V_T až se zpožděním minutu a půl od podání. Poté hodnoty prudce stoupaly na konečnou hodnotu 594 ml.

Při experimentálních simulacích byla provedena anestezie s dávkováním sníženým na 70 % nitrožilních farmak. Měřené parametry velmi kolísaly. Dechový objem oscilloval na hodnotách 0 ml až 20 ml. Oscillovaly také hodnoty krevních tlaků a tepová frekvence. To bylo způsobeno malou dávkou, kterou simulátor vyhodnotil jako nedostatečnou na celkovou anestezii. U simulátoru tedy nedošlo k celkové anestezii.

7 Závěr

Proces simulace je v dnešní době běžný proces, který ve zdravotnictví hraje významnou roli. Zdravotnický personál se může díky simulacím školit ve správném postupu léčby. Aby byla simulace věrohodná, musí být odpověď systému rychlá a přesná, jak je tomu i v klinické praxi. Simulace musí být komplexní a propojená, tak aby se jednotlivé části simulátoru ovlivňovaly navzájem.

Anestezie je nepostradatelnou součástí většiny zákroků ve zdravotnictví. Pro bezpečnou anestezii je důležitá správná premedikace pacienta, zjištění jeho fyzických i psychických parametrů. Velkou roli hraje správná volba anesteziologických léčiv a jejich dávkování. Po celou dobu anestezie je nezbytné monitorování vitálních funkcí pacienta, jejich vyhodnocení a následná reakce na vzniklou situaci.

Předmětem mé bakalářské práce bylo vytvoření scénáře v programovém prostředí MŮSE pro krátkodobou anestezii nitrožilní formou a dlouhodobou anestezii kombinací nitrožilních a inhalačních farmak. Vybrat kombinaci léčiv využívaných v klinické praxi s ohledem na parametry pacienta. Analyzovat průběh vitálních funkcí v závislosti na dávkách anesteziologických farmak. Připravit experimentální úlohu pro výuku na simulátoru HPS se softwarem MŮSE.

Výsledky simulace jsou shrnuty v kapitole 5. s grafy reprezentujícími naměřená data. Provedené simulace se přibližovaly reálné praxi, hlavně díky propojenosti jednotlivých kompartmentů simulátoru, které na sebe reagují a správným výběrem farmak a jejich dávky. Výsledná analýza závislosti dávkování anesteziologických farmak, prokázala podmíněnost časové náročnosti anestezie s velikostí dávek anesteziologických farmak. V příloze A je připravena experimentální úloha pro výuku na simulátoru HPS.

Seznam použité literatury

- [1] Páchl, Jan, Roubík, Karel. *Základy anesteziologie a resuscitační péče dospělých i dětí*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 2003, Učební texty Univerzity Karlovy v Praze. ISBN 80-246-0479-5.
- [2] Málek J., Dvořák A. a kol.: *Základy anesteziologie*, Praha 2009
- [3] CAE Healthcare: *HPS User Guide: (Human Patient Simulator) Software and User Guide*.
- [4] Cooper J.B., Taqueti V. R.: *A brief history of the development of mannequin simulators for clinical education and training* [online]. [cit. 2017-11-11]
- [5] Cae Healthcare: HPS USER GUIDE, 2012
- [6] Čadek, O., Grünes, R., Kudrna, P., Matějka, R., Rožánek, M., Suchomel, J.: *Experimentální úlohy v prostředí simulované JIP*, Praha 2012
- [7] DraegerZeus.[online].[cit.2018-08-01] Dostupné z:
https://www.medgadget.com/2006/04/zeus_anesthesia.html
- [8] Vrabcová, Martina. Celková anestezie. In: *Celková anestezie* [online]. [cit.2018-04-10]. Dostupné z:<http://www.lf2.cuni.cz/Projekty/mua/241.htm>
- [9] Lincová, Dagmar a kolektiv. *Základní a aplikovaná farmakologie*. 2. vydání Praha. Galén 2007, ISBN: 9788072623730
- [10] Cvachovec, Karel, Filaun, Martin. Celková anestezie. In: *Anesteziologie a nedokladná péče* [online]. [cit.2018-02-03]. Dostupné z:
<http://stary.lf2.cuni.cz/projekty/mua/217.htm>
- [11] Farmakokinetika. [online]. [cit. 2018-02-03]. Dostupné z:
<http://stary.lf2.cuni.cz/projekty/mua/223.htm>

[12] Loeb, Robert, Jeffrey, Feldman. *Anestehisa Machines*. [online]. [cit.2014-05-20].

Dostupné z:

https://predmety.fbmi.cvut.cz/sites/default/files/predmet/1903/prednasky/17BBSPT_20130826_122928_16202688e0d3b5004a0fd03debd0a8cc.pdf

[13] Čihák, Radomír, *Anatomie*. 1. vyd. Praha: Grada, 2011, ISBN 978-80-247-3817-8

[14] Endotracheální intubace, Wikiskripta. [online].[cit.2018-08-01] Dostupné z:

https://www.wikiskripta.eu/w/Endotrache%C3%A1ln%C3%AD_intubace

[15] Hozman, Jiří, Kofránek, Jiří. *Pacientské simulátory*, 1. vyd. Praha, 2013, ISBN 978-80-904326-6-6

A Příloha

ČVUT FBMI Kladno, 2017/18

Experimentální výuková úloha:

Nitrožilní a inhalační anestezie v softwarovém prostředí MÜSE se simulátorem HPS

Simulátor HPS se softwarem MÜSE

Celotělový simulátor HPS prezentuje reálnou podobu živého pacienta. Pomocí simulátoru můžeme simulovat nejrůznější stavy, ať už patologické, či fyziologické. Skládá se ze tří hlavních částí, řídicí jednotky, manekýna a ovládacího počítače se softwarem MÜSE. Řídicí jednotka je centrum napájení, komunikace, centrální napájecí zdroj a síťový vstup na kabel k měření saturace. Manekýn slouží k reálné představě a reálné simulaci pacienta. Ovládací počítač obsahuje software MÜSE, který komunikuje se simulátorem.

Úkoly:

1. Zapněte simulátor a monitor počítače. Zapojte nezbytné plyny do řídicí jednotky (kyslík, vzduch, oxid dusný, oxid uhličitý).
2. Na obrazovce zapněte software MÜSE, vyberte simulátor HPS.
3. Otevřete složku standardního, dospělého, zdravého muže a vyberte *New SCENARIO*.
4. Vytvořte scénář pomocí základní funkce: *New state*. Scénář bude obsahovat: nitrožilní úvod do anestezie, vedenou inhalační anestezii, probouzení z anestezie, podání parasympholytikum, normální stav viz *Tabulka 1*.
5. Připravte si anesteziologický přístroj, nastavte hodnoty podle *Tabulky 1* a *Tabulky 2*. Připravte si laryngoskop, endotracheální trubici a injekční stříkačku, pomocí které nafouknete balonek na endotracheální trubici.
6. V horním pravém rohu spusť simulaci tlačítkem: *RUN*.
7. Po uběhnutí 15 vteřin simulace v programu spojte software s manekýnem pomocí tlačítka: *connection* viz *Obrázek 1*.
8. Po uběhnutí minuty a půl (čas pro kalibrování manekýna se softwarem) můžeme začít aplikovat nitrožilní léky podle *Tabulky 1* viz. *Obrázek 1*.

9. Po zkolabování dýchacích cest zaintubujte pacienta a začněte s umělou plicní ventilací za pomoci anesteziologického přístroje.
10. V softwaru zadejte anesteziologická inhalační farmaka dle *Tabulky 1*
11. Při překročení dechového objemu a přesunutí do předposledního stavu aplikujte poslední sadu léčiv.
12. Vyčkejte na probuzení pacienta.

Po ukončení měření zastavte simulaci, vypněte anesteziologický přístroj, vypněte simulátor a odpojte přívodní plyn z řídicí jednotky. Zavřete redukční ventily na tlakových láhvích.

Poznámky k úloze:

- ad. 1. Před zapojením se ujistěte, že redukční ventily u takových láhví jsou v pořádku a ventil je otevřený. Simulátor zapnete pomocí kolébky na zadní straně řídicí jednotky. Tlačítkem na obrazovce monitoru, zapnete počítač řídicí jednotky.
- ad. 2. Název uživatele admin; heslo: admin.
- ad. 4. Pomocí tlačítka *Create* se otevře nabídka léků a fyziologických hodnot. Ve stavu probouzení z anestezie zvolte podmínku V_T (dechový objem) > 200 ml.
- ad. 5. Dejte pozor na jednotky, v kterých lék zadáváte. viz: mg/kg X mg. Jednotlivé stavy na sebe musejí navazovat. Pozor na zvolení podmínky větší, menší než. Podle zvolené podmínky musíte uzpůsobit zvolenou dávku ve scénáři, která musí být buď větší, nebo menší než dávka, kterou v simulaci podáte, tak aby se podmínka splnila.
- ad. 6. Před samotnou simulací si vyzkoušet pacienta zaintubovat. Po zaintubování nezapomeňte nafouknout balóněk endotracheální trubice.
- ad. 9. Při kalibraci dojde k zástavě dechu.
- ad. 11. Inhalační farmaka se zadávají pomocí obrázku plic, kdy se rozbálí nabídka plynů a procentuální zastoupení anesteziologických léčiv.
- Ad. 13. Pacient po úplném probuzení otevře oči.

Tabulky k úloze:

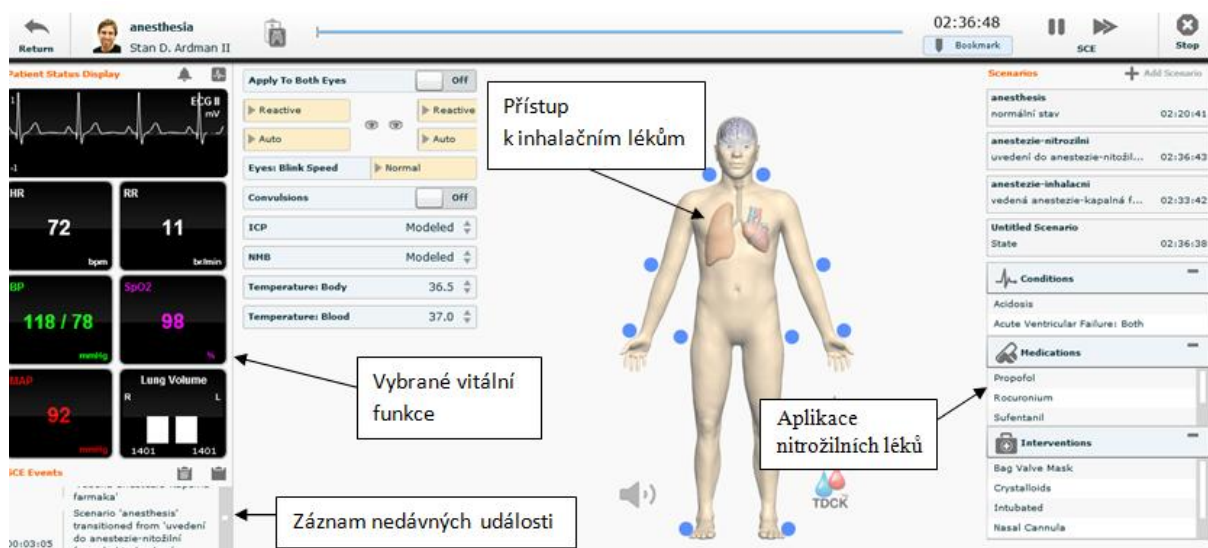
Tabulka 1: schéma scénáře

nitrožilní úvod do anestezie	Farmakum	dávka	dávka pro 70kg muže
	rocuronium	0,3 mg/kg	21 mg
	propofol	2,86 mg/kg	200 mg
	sufentanil	0,13 µg/kg	9 µg
vedená inhalační anestezie	nastavení softwaru		nastavení anestezio. přístroje
	Isofluran	1%	Isofluran
	Oxid dusný	60%	Oxid dusný
	Kyslík	39%	kyslík
probouzení z anestezie	$V_T > 200$ ml		
podání parasympatolyka	Farmakum	dávka	dávka pro 70kg muže
	Neostigmin	0,02 mg/kg	2,5 mg
	Atropin	0,006 mg/kg	0,5 mg

Tabulka 2: parametry ventilace

Nastavení parametrů ventilátoru	
RR- dechová frekvence	12 dechů/min
Paw- tlak v dýchacích cestách	13 hPa
MV- minutový objem	6 L/min
PEEP- hodnota přetlaku	5 cmH ₂ O
V_T - dechový objem	500 ml

Obr. 1: softwarové prostředí MŮSE



B Příloha: CD

Abstrakt anglicky

Abstrakt česky

Klíčová slova

Kompletní bakalářská práce

Zadání bakalářské práce