

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

FAKULTA TĚLESNÉ VÝCHOVY A SPORTU

Katedra anatomie a biomechaniky

**Biomechanické aspekty dynamiky intrakraniálního
tlaku při kraniocerebrálním poranění.**

AUTOREFERÁT DIZERTAČNÍ PRÁCE

Vedoucí disertační práce:
doc. PaedDr. Karel Jelen, CSc.

Vypracoval:
Ing. Martin Mayer

Praha 2014

Abstrakt

Název práce: Biomechanické aspekty dynamiky intrakraniálního tlaku při kraniocerebrálním poranění

Dizertační práce „Biomechanické aspekty dynamiky intrakraniálního tlaku při kraniocerebrálním poranění“ pojednává o problematice dynamiky intrakraniálního tlaku, zejména v souvislosti se zevními mechanickými vlivy na pacienta. Těžké poranění hlavy je hlavní příčinou úmrtí u pacientů do 35 let. Přes stále se zlepšující lékařskou a ošetrovatelskou péči, pouze jedna třetina pacientů se vrací do života schopna žít samostatně v dlouhodobém časovém horizontu. Dvě třetiny pacientů zůstávají těžce postiženi nebo zemřou. Celoživotní náklady na pacienta, který zůstává invalidní, se odhadují na čtyři miliony dolarů.

Významným projevem kraniocerebrálních poranění jsou sekundární mozkové léze, které nacházejí mimo jiné výraz i ve vzestupu nitrolebního tlaku (ICP) a které mohou dále exacerbovat vlivem intracerebrálních nebo extracerebrálních příčin. Proto je cílem léčby minimalizace sekundárních poranění, v ideálním případě na úroveň léze primární. Realizace tohoto požadavku, o kterém můžeme říci, že je *conditio sine qua non*, vede však někdy k situacím, které mají negativní dopad na průběh léčby a zejména na poměry v intrakraniu. Toto tvrzení dokládají kasuistiky, popisující změny vitálních funkcí pacientů léčených pro závažná kraniocerebrální poranění na ARO v Nemocnici Na Homolce.

Tyto klinické poznatky jsme porovnávali se změnami získaných na animálních modelech v laboratoři 1 LF UK a v biomechanické laboratoři FTVS UK. Získané výsledky obou laboratoří používáme k porovnání s daty získanými od kriticky nemocných pacientů léčených pro kraniocerebrální poranění na ARO Nemocnice Na Homolce.

Klíčová slova

Kraniocerebrální poranění (KCP), Intrakraniální tlak (ICP), Perfuzní tlak (CPP), Nitrolební hypertenze.

Abstract

Title: Biomechanical aspects of the dynamics of intracranial pressure in traumatic brain injury

This PhD thesis "Biomechanical aspects of the dynamics of intracranial pressure in traumatic brain injury" is about the dynamics of intracranial pressure, particularly in relation to the external mechanical action of the patient. Severe head injury is the leading cause of death in patients under 35 years of age. Despite constantly-improving medical and nursing care only one third of patients, after recovery, regained the ability to live independently in the long term. Two-thirds of patients were severely disabled or died. The lifetime cost of such a patient who was not completely cured has been calculated to be \$4,000,000.

A significant consequence of craniocerebral injuries are secondary brain lesions, which among other means the rise in intracranial pressure (ICP), which can further exacerbate due to intracerebral or extracerebral causes. Therefore, the objective of the treatment is minimizing secondary injury, optimally at the phase of the primary lesion.

However, realization of this requirement, about which we can say that *is a conditio sine qua non*, sometimes leads to situations that have a negative impact on the treatment, and in particular could cause problems with the ratio in the intracranium. This statement is illustrated by reports describing changes in vital signs of patients treated for severe craniocerebral injury in department of Anesthesiology and Resuscitation at Na Homolce Hospital. These clinical evidences were compared with the variations of data obtained from animal models in the First Faculty of Medicine Laboratory and Biomechanical Laboratory at Faculty of Physical Education and Sport, Charles University in Prague.

The results from both laboratories are being used back in compare to data obtained from critically ill patients treated for craniocerebral injury at the Anesthesiology and Resuscitation department of Na Homolce Hospital.

Keywords

Craniocerebral injury (KCP), Intracranial pressure (ICP), Cerebral perfusion pressure (CPP), Intracranial hypertension.

Obsah

Obsah	4
Úvod	5
1 Cíl práce	6
2 Hypotézy	7
3 Teoretická východiska.....	7
3.1 Kraniocerebrální poranění	7
3.2 Epidemiologie KCP	7
3.3 Patofyziologie KCP	8
3.4 Nitrolební tlak	8
3.5 Monitorace intrakraniálního tlaku	9
4 Naměřené hodnoty a jejich trendy u pacientů s KCP léčených na ARO.....	10
4.1 Interference patientské dechové aktivity s přístrojovými dechy umělé plicní ventilace	10
4.2 Chirurgický zákrok – tracheostomie	11
4.3 Bronchoalveolární laváž a následné odsávání	11
4.4 Celková toaleta u pacienta s nitrolební hypertenzí	12
4.5 Kardiopulmonální resuscitace.....	12
5 Experimentální část.....	15
5.1 Měření v laboratoři experimentální elektrofyziologie 1LF UK	15
5.1.1 Zástava oběhu a následná resuscitace	15
5.1.2 Plicní laváž a recruitment manévr	16
5.2 Měření v biomechanické laboratoři FTVS UK.....	17
6 Diskuze.....	18
7 Závěr	19
8 Reference	21

Úvod

Kraniocerebrální poranění a jejich následky představují v současné době významný socioekonomický problém zejména v industrializovaném světě. Z analýzy dat autonehod provedenou z CDS systému (Crashworthiness Data Systems) vyplývá, že 31 % všech zranění dopravními prostředky byla zranění hlavy a obličeje. Mnoho dalších autorů také vychází ze statistik, že nejčastější poranění je v hlavové a obličejové části nemocného (1) (2). Prevalence kraniocerebrálního poranění je nejvyšší mezi mladými lidmi v produktivním věku a jen pouhá třetina pacientů se vrací do plnohodnotného života, přičemž náklady na invalidního pacienta, se odhadují na čtyři miliony dolarů.

Zdravotní péče o nemocné s poraněním mozku, je nutno začít kvalitní přednemocniční péčí, která hlavně musí zabezpečit rychlé a správné zajištění vitálních funkcí. Pro organismus, ale zejména pro mozek, je velice důležité, aby se zabránilo vzniku hypoxie a hypotenze. Kontinuita přednemocniční neodkladné péče a péče nemocniční je dnes nezbytná. Pro další kvalitní život nemocného je důležitá také následná péče, kterou velká část pacientů s těžkým kraniocerebrálním traumatem po propuštění z nemocničního ošetřování potřebuje (3). Pacienti s těžkým poraněním mozku mají dle stupnice pro posouzení stavu vědomí - Glasgow Coma Scale (GCS) (4) skóre menší než 8. Jedná se tedy o pacienty, kteří jsou v hlubokém bezvědomí a nevyhoví výzvě. Klasické neurologické postupy k poskytnutí nezbytné informace o zdravotním stavu pacientů a jejich mozkových funkcích jsou tedy značně omezené a zužují se prakticky jen na stav vědomí a šíře zornic.

Zdravotnickému personálu poskytuje informace o stavu pacienta kontinuální multimodální monitoring parametrů o zdravotním stavu pacientů a jejich mozkových funkcích.

Kromě běžně sledovaných parametrů v rámci intenzivní péče (EKG, krevní tlak, pulzní oxymetrie, CO₂ frakce ve vydechovaném vzduchu, tělesná teplota, laboratorní screening, bilance tekutin) je nutno v neurointenzivní péči také monitorovat specifické ukazatele zaměřené na hodnocení nitrolebních poměrů. V rámci neinvazivních metod se jedná především o zobrazovací metody (CT a MRI), elektrofyzilogické metody (EEG, evokované potenciály) a tkáňovou oxymetrii (PtiO₂) a u invazivního monitoringu pak intrakraniální tlak, a to buď pomocí komorové drenáže, nebo intraparenchymovým čidlem.

Zároveň s tím je dopočítáván i mozkový perfuzní tlak (CPP) jako rozdíl středního arteriálního a intrakraniálního tlaku.

Nové metody v neurointenzivní péči – tkáňová oxymetrie, mikrodialýza, měření perfuze mozku (tzv. multimodální monitorování) (5) mohou přispět k časné diagnostice ischemie mozkové tkáně, a tím poskytují možnost včas terapeuticky zasáhnout, tedy dříve než se rozvine sekundární postižení. V počátečních fázích po poranění je velice důležitý CT monitoring kvůli indikaci operačního výkonu.

Průběh nutného komplexního léčebného přístupu jako je denní ošetrovatelská péče, fyzioterapie na lůžku, umělá plicní ventilace atp. ovlivňuje pozitivně, ale i negativně léčbu sekundárního poranění. V textu jsou popsány kazuistiky, které jsou zaznamenány z reálných dat vitálních funkcí nasnímaných patientským monitorem na jednotce intenzivní péče. Data byla zaznamenána před, při a po nutném mechanickém působení na pacienta. Tyto situace byly nasimulovány na živých animálních modelech i v biomechanické laboratoři a jejich výsledky potvrdily data nasbíraná od kriticky nemocných pacientů s kraniocerebrálním poraněním.

1 Cíl práce

Cílem práce bylo:

- 1) Analýza zaznamenaných kazuistik pacientů léčených pro kraniocerebrální poranění na anesteziologicko-resuscitačním oddělení (ARO). Analyzovány byly vždy hodnoty před plánovaným zdravotním nebo jiným nutným výkonem, během kterého bylo nějakým způsobem mechanicky manipulovat s pacientem.
- 2) V animální laboratoři 1 LF UK na zvířecích modelech ověřit, že naměřené hodnoty reálných pacientů s kraniocerebrálním poraněním na anesteziologicko-resuscitačním oddělení jsou očekávané a opakovatelné.
- 3) V biomechanické laboratoři FTVS UK bylo cílem nastavit model převodního systému invazivního krevního tlaku na elektrické, snadno měřitelné hodnoty, které by pak posloužily ke korelaci dat získaných jak z reálných pacientů, tak ze zvířecích modelů.

2 Hypotézy

Hypotéza 1:

Mechanické vlivy působící na pacienta v průběhu léčebně preventivní péče mohou negativně ovlivňovat poměry v intrakraniu.

Hypotéza 2:

Měření krevních tlaků invazivní metodou pomocí hydrodynamického přenosu tlakové křivky (hadičkou a externím snímačem na jejím konci) je spojeno se zpoždováním tlakových signálů.

3 Teoretická východiska

3.1 Kraniocerebrální poranění

Kraniocerebrální poranění vzniká v důsledku působení kinetické energie na lebku a okolních tkání a vyznačuje se charakteristickou morfologickou a funkční dezintegrací mozku. Z hlediska dynamiky procesu rozlišujeme poranění primární a sekundární.

Primární poranění vzniká vlivem okamžitých důsledků souvisejících s mechanickým inzultem na mozek a sousedící tkáň přímo při zranění. Tento typ poranění je téměř nemožné léčit. Zde je velice důležitá prevence.

3.2 Epidemiologie KCP

Závažnost KCP vyplývá ze statistických údajů, kdy počet hospitalizací se uvádí 150-200 osob na 100 000 obyvatel za rok. Nejčastější jsou postižení mladí lidé ve věku 15 - 24 let, přičemž muži jsou postihováni dvaapůlkrát častěji než ženy. KCP jsou zároveň nejčastější příčinou úmrtí osob do 35 let. Incidence KCP se odhaduje na 36 000 osob/rok a má trvale stoupající trend (6). Nejčastější příčinou, téměř v 50%, jsou dopravní nehody. Přibližně pět milionů Američanů má v současné době nějakou formu traumatického poranění mozku (7).

3.3 Patofyziologie KCP

Kraniocerebrální poranění je dynamický proces charakterizovaný morfologickou a funkční desintegrací mozku vlivem kinetické energie působící na lebku a mozek. Jeho rozsah nelze terapeuticky ovlivnit a je téměř nemožné ho léčit, jak ukazuje praxe i zkoušky na zvířecích modelech (8). Z časového a etiologického hlediska rozlišujeme poranění na primární a sekundární.

Primární poranění vznikají bezprostředně v souvislosti s traumatem a jsou přímým důsledkem působení mechanického inzultu na mozek a okolní tkáň v prvních okamžicích po poranění. Rozsah primárního poškození je definitivní a nelze jej pozitivně terapeuticky ovlivnit. Naopak, vznik primárního poranění spouští kaskádu mechanismů, které jednak zhoršují akutní poranění mozku a současně vedou ke vzniku sekundárních lézí.

Mezi hlavní primární poranění patří:

- Fraktury lebky
- Difúzní poranění mozku
- Fokální poranění mozku

Sekundární poranění je opožděným následkem primárního mechanického poškození a může dále exacerbovat vlivem intracerebrálních nebo extracerebrálních příčin, zejména hypotenze a hypoxemie. Sekundární exacerbace sekundární léze vede ke vzestupu ICP s následným poklesem CPP a CBF.

Mezi hlavní sekundární poranění patří:

- edém mozku
- kongesce mozkových cév (turgescence)
- hypoxie mozkové tkáň

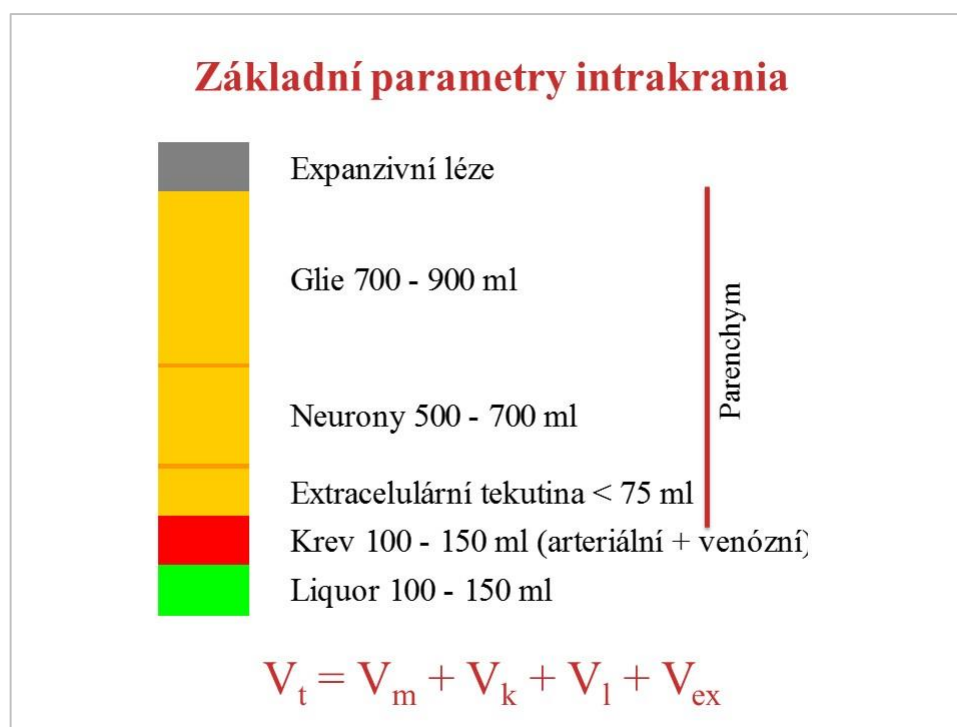
3.4 Nitrolební tlak

Problematika nitrolebních poměrů se stala předmětem zájmu již v druhé polovině 19. století, kdy Leyden E. (9) v experimentu na psech, začal s manometrickým měřením nitrolebních tlaků. V obdobných experimentech pak pokračovala řada autorů Key, A., Retzius, G. (10) von Bergmann, E. (11), Cushing, H. (12) a další, ale teprve zavedení lumbální punkce Quinckem H. (13) umožnilo kontinuální sledování tlakových změn na pacientech - Adson a Lillie (14). V r. 1952 Guillaume a Janny informují o vzniku

patologických vln a následně Lundberg (15), který použil metody popsané Jannym klasifikuje ICP vlny a popisuje klinické změny v souvislosti se změnami ICP. V 60. letech se skupina kolem Langfitta zabývala tlakovými změnami v jednotlivých kompartmentech se zřetelem na průtok mozkom (16).

Intrakraniální tlak (ICP) je tlak uvnitř dutiny lební. Podle Monro-Kellyho doktríny (17), je objem dutiny lební tvořen mozkem, objemem krve v mozku a množstvím mozkomíšního moku. Intrakraniální tlak je závislý na interakci objemu těchto tří součástí s objemem dutiny lební.

Základní parametry intrakrania zobrazuje **Obrázek 1** *Základní parametry intrakrania* (18).



Obrázek 1 Základní parametry intrakrania

3.5 Monitorace intrakraniálního tlaku

Monitorování ICP je důležitým faktorem léčby nitrolební hypertenze. Čidla mohou být epidurální, subdurální, intracerebrální nebo ventrikulární a jejich užití, které musí být nutně invazivní, je vzhledem k možným komplikacím používáno jen u pacientů v těžkém stavu. Velkým přínosem monitorování ICP je přesná informace v reálném čase a tedy i možnost

velice rychle ordinovat terapii. Rozhodující pro výsledné poškození je především CPP, protože ten na rozdíl od ICP lze relativně dobře léčebně ovlivnit regulací krevního tlaku. Indikací k plné terapii intrakraniální hypertenze je trvalý ICP nad 15 mmHg nebo CPP mezi 50–60 mmHg a nižší.

Monitorace ICP se uplatňuje jako zpětná vazba při hodnocení a léčbě nitrolební hypertenze a mozkové perfuze, která je významná také pro diagnózu a prognózu (19). Monitorace se provádí úzkým čidlem, které je po návrtu lebeční kosti zavedeno do subdurálního nebo epidurálního prostoru. ICP křivka i s číselným vyjádřením tlaku je pak monitorována na patientském monitoru vitálních funkcí.

4 Naměřené hodnoty a jejich trendy u pacientů s KCP léčených na ARO.

Pacienti s kranio cerebrálním poraněním jsou obvykle hospitalizováni na resuscitační stanici ARO, případně na oborových jednotkách intenzivní péče, které umožňují adekvátní resuscitační a intenzivní péči, tedy podporu, případně substituci základních vitálních funkcí za průběhu kontinuální monitorace, intenzivní terapie a léčení. Data, která byla anonymizována a ukládána do specifických souborů jsou graficky zobrazována formou printscreenu obrazovky patientského monitoru vitálních funkcí, ke kterému je pacient po celou dobu hospitalizace napojen. Tento způsob byl zvolen z důvodu co nejvěrnějšího zobrazení reálných situací. V několika málo případech, kdy nebylo možno z časových důvodů registrovat aktuální data on-line (například při resuscitaci), byly použity trendy, které patientský monitor vitálních funkcí zpětně vytváří. Data získaná touto cestou jsou ale stejně přesná, jako data pozorovaná on-line na obrazovce patientského monitoru.

Jednotlivé kazuistiky byly vybrány tak, aby bylo možné tyto situace nasimulovat na zvířecím modelu v animální laboratoři.

4.1 Interference patientské dechové aktivity s přístrojovými dechy umělé plicní ventilace

Hlavním cílem umělé plicní ventilace je podpora nebo substituce respiračního úsilí pacienta. Přesto není vzácností, že během umělé plicní ventilace dochází k interferenci mezi ventilační aktivitou pacienta a funkcí ventilátoru. Příčina tkví, jednak v rychlosti se kterou se mění ventilační aktivita pacienta, ať již v souvislosti se změnou funkčního stavu

plic nebo se změnou vigility a reaktivity, nebo v nastavení ventilátoru, které plně nerespektuje schopnost pacienta uplatnit vlastní ventilační práci. Řešením je optimalizace ventilačního modu a jednotlivých parametrů. Nelze opomenout ani uplatnění direktivního psychologického vlivu na pacienta, zejména ve fázi „odvykání od ventilátoru“. A teprve poté je možné přistoupit k farmakologické podpoře (20).

4.2 Chirurgický zákrok – tracheostomie

Tracheotomie je chirurgický výkon zaměřený k zajištění průchodnosti dýchacích cest umělým vyústěním trachey – tracheostomatu na přední stranu krku. Tracheostoma může být trvalé (např. po totální laryngektomii) nebo dočasné. Představuje optimální řešení při dlouhodobé umělé plicní ventilaci a je častým přístupem užívaným při resuscitační péči o pacienty s kraniotramaty. Mnohé studie (21) (22) (23) řeší, zdali je pro celkový zdravotní stav pacienta výhodné tracheostomii provést dříve, či až později po kraniocerebrálním poranění. Pro dřívější provedení této procedury hovoří prokazatelné snížení doby na umělé plicní ventilaci, kratší doba na JIP a s tím i snížené finanční nároky na léčbu. Dalšími výhodami jsou i menší podráždění úst a hrtanu a snížení požadavku sedace. Také komunikace s pacientem je podstatně lepší.

4.3 Bronchoalveolární laváž a následné odsávání

Bronchoalveolární laváž je metoda umožňující na základě výplachu plic a následného odsátí instalované tekutiny získat buněčné i nebuněčné složky z dolních dýchacích cest a alveolů. Na základě vyšetření bronchoalveolární tekutiny je možné stanovit diagnózu celé řady plicních onemocnění. Intersticiální plicní procesy jsou heterogenní skupinou onemocnění, které vycházejí z distálního plicního parenchymu. Přes různé etiologie bývá zjištění pomocí klinicko-radiologických metod neprůkazné a diagnóza může být náročná. Bronchoalveolární laváž a analýza buněk patří ke standardním vyšetřením u této skupiny poruch. Metoda se osvědčuje při diagnostice difuzních parenchymových onemocnění, jmenovitě u sarkoidózy, intersticiální pneumonie a exogenní alergické alveolitidy.

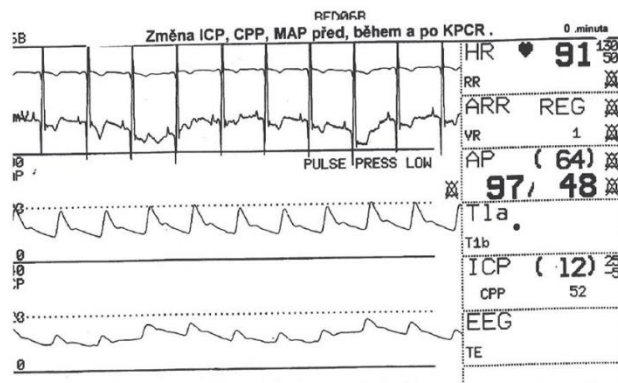
4.4 Celková toaleta u pacienta s nitrolební hypertenzí

Pacienti s kraniocerebrálním poraněním jsou obvykle ventilováni s pomocí přístroje a tedy zcela odkázáni na ošetrovatelskou péči i v oblasti týkající se hygieny. Ošetrovatelský personál musí reagovat na stavy vyprazdňování stolice a moči zvýšeným hygienickým režimem (24). Pacienta je v rámci prevence vzniku proleženin také třeba velice často polohovat. To je činnost, kdy ošetrovatelský personál mění polohu pacienta, aby se předešlo vzniku dekubitů. Dalším problémem je i to, že pacient je velice často v trendelenburgově nebo antitrendelenburgově poloze. Tyto polohy zajišťují lepší prokrvení mozku po větších ztrátách krve nebo naopak snížení nitrolebního tlaku při intrakraniální hypertenzi (25).

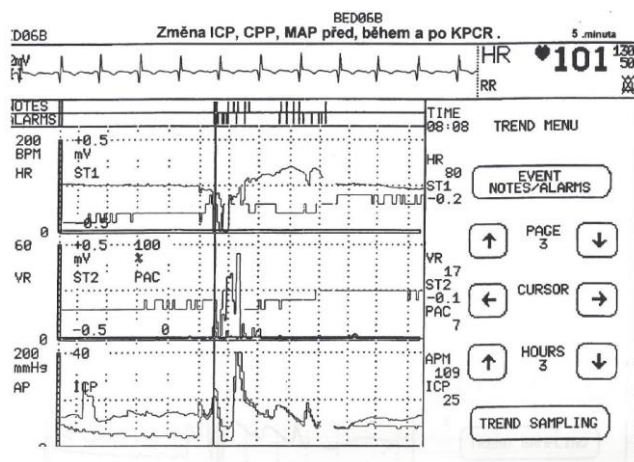
4.5 Kardiopulmonální resuscitace

Incidence zástavy oběhu se v lůžkových zdravotnických zařízeních pohybuje mezi 1 až 5 případy na 1000 přijatých pacientů. Navzdory okamžité přítomnosti kvalifikovaného zdravotnického personálu s kompletním vybavením je pravděpodobnost přežití po propuštění z nemocnice pouze 17,6 %. U pacientů, kteří mají kraniocerebrální poranění je toto procento vzhledem k závažnosti stavu nižší. U hospitalizovaných nemocných obvykle nevzniká zástava oběhu neočekávaně, ale předchází jí progresivní zhoršování zdravotního stavu pacienta. Z těchto důvodů mají nezastupitelný význam preventivní opatření a včasné zahájení léčby akutně vzniklých potíží, které mnohdy mohou vzniku srdeční zástavy zcela zabránit. Častým iniciálním příznakem zástavy oběhu je bezpulzová elektrická aktivita, při které je třeba včas rozpoznat a kausálně léčit vyvolávající příčinu zejména hypoxii, hypovolémii, metabolické příčiny, tenzní pneumotorax, srdeční tamponádu a plicní embolii. (26).

Na **Obrázcích 2 až 8** je zachycena kardiopulmonální resuscitace u pacienta léčeného na anesteziologicko-resuscitačním oddělení Nemocnice Na Homolce v Praze pro kraniocerebrální poranění

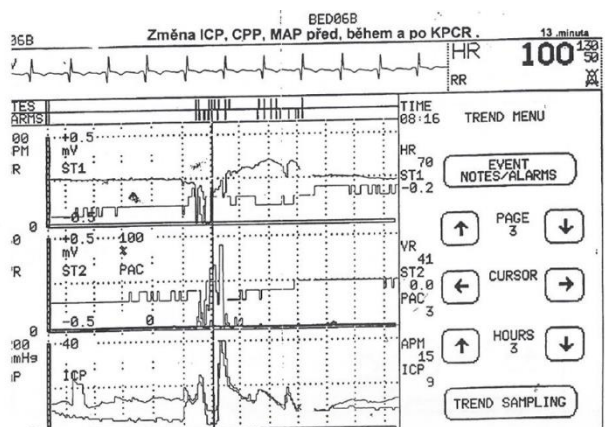


Obrázek 2 Klidový stav; 5 minut před prvými příznaky problémů. Monitor vitálních funkcí zobrazuje pacientská data v klidovém stavu před zástavou oběhu. Intrakraniální tlak a srdeční rytmus jsou v normálních hranicích. Systémový tlak mírně klesá (MAP=64 mmHg).



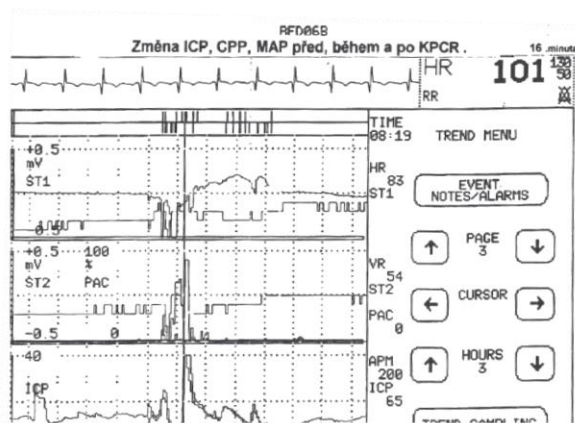
Obrázek 3 Stav 8 minut před zástavou oběhu

První varovný příznak je rychlý vzestup ICP na hodnoty 25 mmHg, za současného vzestupu středního arteriálního tlaku na hodnoty 109 mmHg. (Data odečtena z přiložených trendových křivek).



Obrázek 4 Zástava oběhu

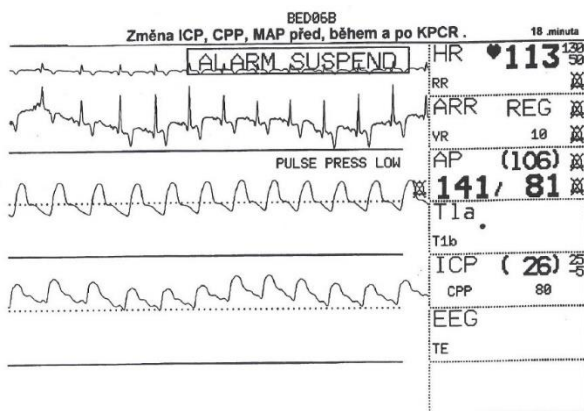
Vzápětí nato dochází k zástavě oběhu vyvolané náhlou sufokací v důsledku uzavěru tracheální kanyly bronchiálním odlitkem. Data byla získána z přiložených trendových křivek. Střední arteriální tlak je na 15 mmHg, Intrakraniální tlak klesá na 9 mmHg. Srdeční rytmus je nulový.



Obrázek 5

2 minuty po kardiopulmonální resuscitaci. Za kardiopulmonální resuscitace urgentní výměna tracheální kanyly, obnovena průchodnost dýchacích cest. Objevuje se spontánní srdeční aktivita, sinusový

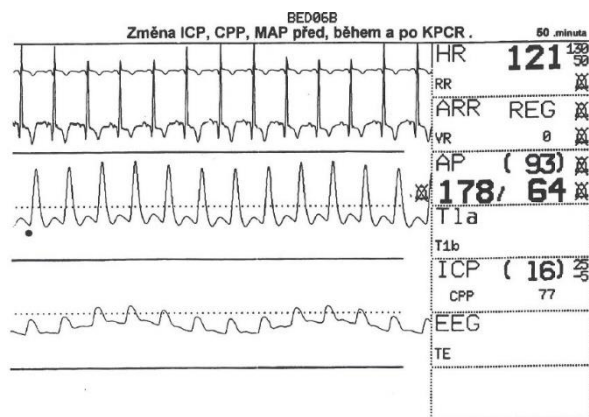
rytmus, střední arteriální tlak stoupá na 200 mmHg, ICP dosahuje kritických hodnot, 65 mmHg (Data byla získána z přiložených trendových křivek.).



Obrázek 6

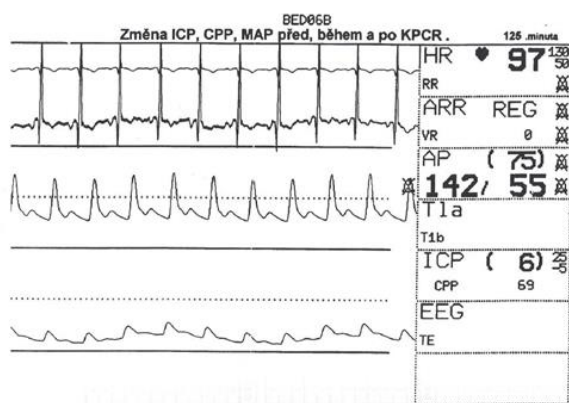
5 minut po úspěšné kardiopulmonální resuscitaci

Po úspěšné resuscitaci dochází k postupné stabilizaci stavu.



Obrázek 7 34 minut po úspěšné resuscitaci.

Vedle perzistující systémové hypertenze a sinusové tachykardie je ICP prakticky normální.



Obrázek 8 Stav po dvou hodinách od zástavy oběhu.

Hodnoty vitálních funkcí se stabilizovaly téměř na normálních hodnotách.

5 Experimentální část

5.1 Měření v laboratoři experimentální elektrofyziologie 1LF UK

Jedna z experimentálních částí dizertační práce probíhala v Laboratoři experimentální elektrofyziologie 1LF UK v Praze na Albertově. Jedná se o dokonale vybavenou laboratoř, primárně zaměřenou na výzkum a vývoj v oblasti kardiologické experimentální elektrofyziologie. Experimenty prováděné na tomto pracovišti byly schváleny institucionální Odbornou komisí pro práci s laboratorními zvířaty a probíhaly v souladu s platnou legislativou.

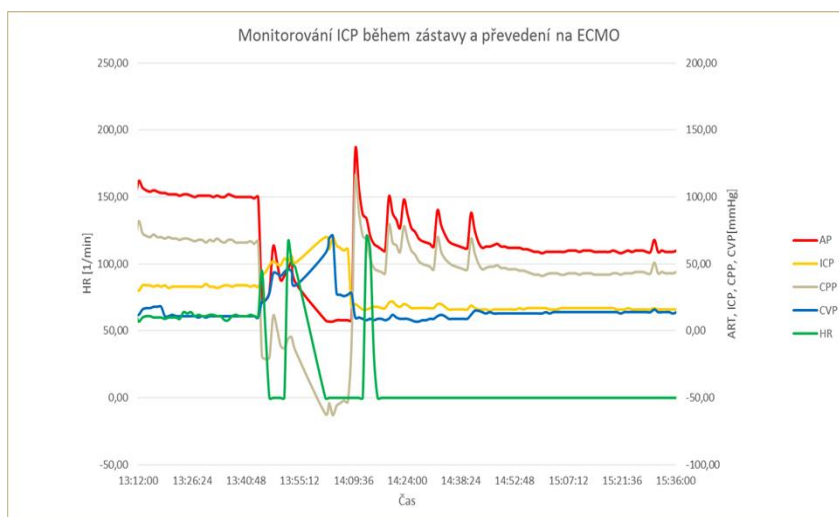
Měření byla prováděna na biomodelu prasete domácího (kříženec Bílé ušlechtilé a Landrace) v celkové intravenosní anestezii propofolem v dávce 6-12 mg.kg.h, v kombinaci s midazolamem a morfinem v dávkách 0,1 - 0,2 mg / kg.hod).

Parametry byly kontinuálně monitorovány pomocí patientského monitoru (Life Scope TR, Nihon Kohden, Japonsko) a spolu s daty z ventilátoru zaznamenány do databáze (27). V experimentální části na animálních modelech byl hodnocen ICP v souvislosti s prováděním plicní laváže, prováděním plicních otvíracích manévru (recruitment manevr) a během zástavy oběhu a kardiopulmonální resuscitace a s převedením na ECMO.

5.1.1 Zástava oběhu a následná resuscitace

Elektrická zástava oběhu srdce animálního modelu se projevuje na EKG křivce pádem srdeční frekvence (HR) na nulovou hodnotu. Podobně prudce klesá arteriální tlak (AP) do hypotenzních hodnot. Naopak intrakraniální tlak stoupá do hodnot hypertenzních. Po 3 minutách je zahájena resuscitace se srdeční masáží. I během resuscitace zůstává ICP zvýšený. Mozkový perfuzní tlak (CPP) je v tomto časovém úseku mimo fyziologické hodnoty. Pak dochází k napojení na mimotělní oběh a zahájení extrakorporální membránové oxygenace. Na

Obrázek 9 Monitorování ICP během zástavy a převedení na ECMO je vidět, že v krátké době dochází k vzestupu AP, CPP a spolu s CVP i k redukci ICP, který se vrací k téměř normálním hodnotám (16 mmHg). Vzhledem k zapojení na ECMO zůstává srdeční frekvence nulová.

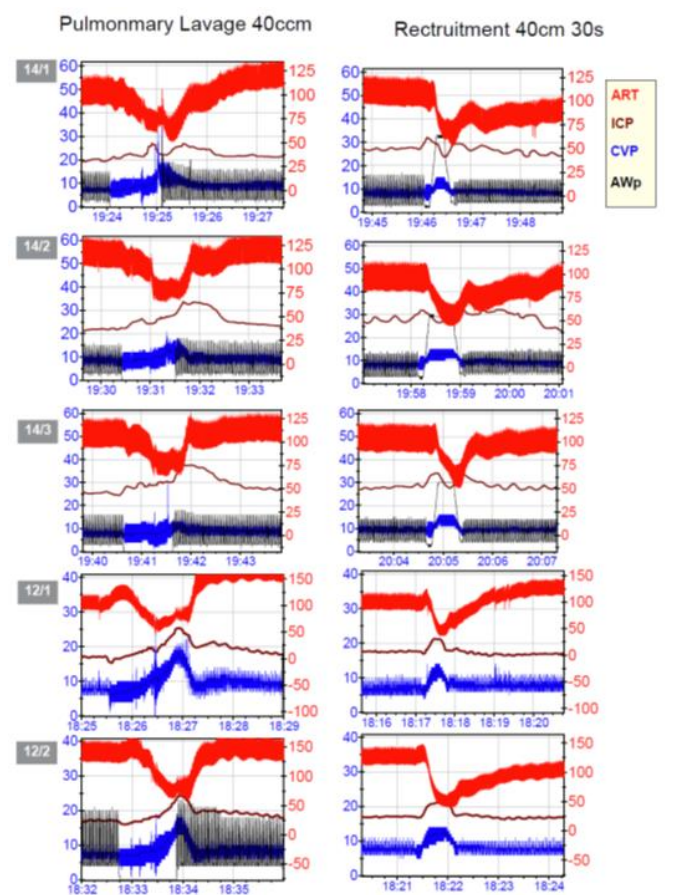


Obrázek 9 Monitorování ICP během zástavy a převedení na ECMO

AP: arteriální tlak; ICP: intrakraniální tlak; CPP: mozkový perfuzní tlak; CVP centrální žilní tlak; HR: srdeční frekvence; ECMO: extrakorporální membránová oxygenace.

5.1.2 Plicní laváž a recruitment manévr

Plicní laváž byla u animálního modelu provedena 40 ml fyziologického roztoku a otevírací plicní manévry (recruitment) inflací na hodnoty inspiračního tlaku 45 cm H₂O po dobu 35s a poté se pokračovalo v umělé plicní ventilaci. Průběhy ICP a vybraných veličin zobrazuje **Obrázek 10**.



Obrázek 10 Záznam plicní laváže a otevíracího manévru u dvou animálních modelů

ART arteriální tlak

ICP intrakraniální tlak

CVP centrální venózní tlak

5.2 Měření v biomechanické laboratoři FTVS UK.

Měření a ověřování tlakových poměrů, zjištěných na reálných pacientech hospitalizovaných na ARO a na animálních modelech probíhalo v biomechanické laboratoři FTVS UK v Praze na speciální aparatuře zvlášť pro tento účel sestavené.

Jednalo se o patientský monitor, který umožňuje i měření invazivních krevních tlaků, dále dva speciálně upravené elektrické převodníky krevního tlaku, které umožňovaly připojení externích měřících přístrojů. Tím byl digitální voltmetr a dvoukanálový osciloskop připojený k počítači. Výstupem jsou záznamy průběhu měření zpoždění signálu z digitálního osciloskopu. Data ze všech měření v biomechanické laboratoři se ukládala v csv formátu, který jsem následně transformoval do formátu xls a dále zpracovával v programu MS Excel. Celý systém byl koncipován jako otevřený a naplněn vodou, která má velmi podobné vlastnosti, jako reálně používaný fyziologický roztok. Otevřené konce na obou stranách simulují reálné patientské vnitřní prostředí. V experimentu jsem ověřoval, zda a do jaké míry může mít prodloužená hadička sloužící k hydrodynamickému převodu tlaku z krevního řečiště na elektrický převodník zásadní vliv na měření tlaku.

Takto uložená data jsme použili ke zjištění zpoždění pulzu na 1,5 metrové hadičce. Zpoždění bylo 9,2 ms se směrodatnou odchylkou 0,53 ms. Což je přepočteno na jeden metr délky patientské hadičky 6,14 ms.

Další měření byla provedena v laboratoři experimentální elektrofyziologie 1 LF UK. Zde byly k měření použity stejné přístroje a materiály jako se používají při animálních experimentech. Data byla zpracována v programu LabChart 8. V těchto pokusech byla změřena průměrná hodnota posunu křivek 7,5 ms se směrodatnou odchylkou 1,3 ms na jeden metr délky hadičky.

U dat nasnímaných z animálního modelu jsem s časovým porovnáním průběhů arteriálního a intrakraniálního tlaku a s využitím hodnot naměřených v obou laboratořích zjistil, že intrakraniální tlak zaostává za arteriálním o 2,2 ms.

6 Diskuze

Studium biomechaniky intrakraniálního systému člověka je velmi složité a to z důvodu obtížnosti získávání experimentálních opakovatelných dat. Kontinuální ICP monitoring není v klinické praxi příliš často indikován. A pokud ano, je tomu tak jen u pacientů s nejtěžšími diagnózami. V dizertační práci jsem se tedy zaměřil na nemocné s kranio cerebrálním poraněním, kteří měli zavedené intrakraniální čidlo. Významným přínosem bylo měření parametrů systému v průběhu různých klinických situací, jako jsou různé diagnostické a terapeutické zákroky. Například interference spontánního patientského dýchání s řízenými ventilační režimy, provádění tracheostomie a plicní laváže nebo patientskou hygienu.

Reálná patientská data byla pořízena na anesteziologicko-resuscitačním oddělení Nemocnice Na Homolce u pacientů s kranio cerebrálním poraněním. Anonymizovaná data jsou graficky zobrazena formou printscreenu obrazovky patientského monitoru vitálních funkcí, ke kterému je pacient po celou dobu hospitalizace napojen. Tento způsob byl zvolen z důvodu co nejvěrnějšího zobrazení reálných situací, při kterých byla data nasbívána. Několika málo případech, kdy nebylo možno z časových důvodů získat data on-line (například při resuscitaci), byly použity trendy, které patientský monitor vitálních funkcí také zpětně zaznamenává. Tato data jsou ale samozřejmě stejně přesná jako data viděná on-line na monitoru patientského monitoru.

Biomechanické působení na pacienta a jednotlivé zobrazené kazuistiky byly vybrány tak, aby bylo možné tyto situace nasimulovat na zvířecím modelu v animální laboratoři.

V experimentální části na animálním modelu byl hodnocen ICP a další vitální funkce v souvislosti s prováděním plicní laváže, plicních otvíracích manévru (recruitment manévr) a během zástavy oběhu a kardiopulmonální resuscitace.

Problematika zpoždování tlakových křivek vlivem délky, průměru a materiálu přívodní hadičky k převodníkům tlaků, které nejsou umístěny přímo v krevním řečišti, je v odborné literatuře opomíjena.

7 Závěr

Za účelem snazší a přehlednější formulace závěrů práce, byly na základě studia dostupné literatury a ostatních zdrojů a možnostem laboratoří formulovány následující hypotézy.

Hypotéza 1:

Mechanické vlivy působící na pacienta v průběhu/během léčebně preventivní péče mohou negativně ovlivňovat poměry v intrakraniu.

Pro potvrzení této hypotézy byly použity kazuistiky pacientů s kraniocerebrálním poraněním a měření na animálních modelech popsané v kapitolách 4 a 5.

Bronchoalveolární laváž (popsáno v podkapitole 4.3 z dat získaných na anesteziologicko-resuscitačním oddělení nemocnice) je výplach plic a následné odsátí tekutiny. Krátká doba během vlastního zákroku, kdy zejména ICP vystoupal do nebezpečných hypertenzních hodnot, byla následována ustálením systémového i intrakraniálního tlaku po pěti minutách od provedené laváže na hodnotách, pro pacienta příznivých. Přínosem je zpřesnění diagnózy a možnost cílené terapie. Stejná situace byla nasimulována na živém animálním modelu v laboratoři 1LF UK.

Obě situace jsou v hodnotách vitálních funkcí velice podobné a výše uvedenou hypotézu jednoznačně potvrzují.

Další situací, kterou se na anesteziologickoresuscitačních odděleních a jednotkách intenzivních péčí zdravotníci musejí často zabývat, je kardiopulmonální resuscitace. Podobná situace byla nasimulována na živém animálním modelu při testování účinnosti přístroje na mimotělní oběh a oxygenaci - ECMO (extrakorporální membránová oxygenace). Zástava srdeční frekvence u pokusného živého vepře byla provedena elektrickým působením. Po 3 minutách byla zahájena resuscitace se srdeční masáží. I během resuscitace se hodnoty vitálních funkcí popsané v podkapitole 5.1 blíží hodnotám reálných pacientů.

Uvedené případy a další kazuistiky zmiňované v kapitole 4, potvrzují hypotézu, že mechanické vlivy působící na pacienta v průběhu léčebně preventivní péče mohou negativně ovlivňovat poměry v intrakraniu.

Hypotéza 2:

Měření krevních tlaků invazivní metodou pomocí hydrodynamického přenosu tlakové křivky (hadičkou a externím snímačem) je spojeno se zpoždováním tlakových signálů.

Pro potvrzení této hypotézy byla použita měření popsaná v kapitolách 5 a 6.

Při pozorování monitoru zobrazujícího vitální funkce animálního modelu v laboratoři bylo patrné, že křivka intrakraniálního tlaku předchází křivku arteriálního tlaku. Po počítačové analýze uložených dat byl vypočteno, že časový posun obou křivek je 12 ms. Tlaková křivka intrakraniálního tlaku, měřená snímačem umístěným přímo v mozku, předchází křivku arteriálního tlaku, která byla měřena externím převodníkem spojeným 1,8 m dlouhou hadičkou, sloužící přenosu tlaku hydrodynamickým vedením a naplněnou heparizovaným fyziologickým roztokem.

Z tohoto důvodu byly namodelovány stejné situace jako při měření animálního modelu v biomechanické laboratoři FTVS UK. Data z tohoto experimentu byla zpracována v programu LabChart 8. I při těchto experimentech byl spočten časový posun mezi dvěma křivkami. V těchto pokusech byla změřena průměrná hodnota posunu křivek 7,5 ms se směrodatnou odchylkou 1,3 ms na jeden metr délky hadičky.

Obě nezávislá měření v laboratořích tedy potvrdila hypotézu, že měření krevních tlaků invazivní metodou pomocí hydrodynamického přenosu tlakové křivky hadičkou a externím snímačem na jejím konci způsobují zpoždování tlakových signálů.

8 Reference

1. Vesely, V. Vilimek, M. Biomechanika poranění hlavy I - Poranění hlavy a krku. *BULLETIN OF APPLIED MECHANICS*. 8, 2012, Sv. 32, stránky 65-75.
2. Cooper DJ, Rosenfeld JV. Does decompressive craniectomy improve outcomes in patients with diffuse traumatic brain injury? New results from an Australian collaborative randomised trial will change practice. *Med J Aust*. 2011, Sv. 9, 194, stránky 437-438.
3. Křihlavý, J. *Psychologie nemoci*. Praha : Grada, 2007. ISBN 80-247-0179-0.
4. Staňková, M. *České ošetrovatelství 6: Hodnocení a měřicí techniky v ošetrovatelské praxi*. 1 vyd. Brno : NCO NZO, 2001. str. 53. ISBN 80-7013-323-6.
5. Tisdall MM, Smith M. Multimodal monitoring in traumatic brain injury: current status and future directions. *Br J Anaesth*. 2007, Sv. 99, 1, stránky 61– 67.
6. ÚZIS. <http://www.uzis.cz/category/edice/publikace/zdravotnicka-statistika>. *Ústav zdravotnických informací a statistiky*. [Online] [Citace: 18. 5 2014.]
7. <http://www.braininjury.com.braininjury.com>. [Online] [Citace: 26. 5 2014.] <http://www.braininjury.com/injured.shtml>.
8. Bláha, M. Schwab, J. Vajnerová, O. Bednář, M. Pádr, R. Bittner, P. Tichý, M. Model zavřeného poranění hlavy u potkana – experimentální studie. *Cesk Slov Neurol N*. 72, 2009, Sv. 105, 3, stránky 235– 241.
9. Leyden, E. Beiträge und Untersuchungen zur Physiologie and Pathologie des Gehirnes1. Über Hirndruc und Hirnbewegungen. *Virchows Arch a Pathol. Anat*. 1866.
10. Key, A., Retzius, G. Studien in der Anatomie des Nervensystems und Bindegewebes. *Nordstedt und Söhner*. 1875.
11. von Bergmann, E. Über den Hirndruck, Langenbecks. *Arch Klin Chir*. 1885.
12. Cushing, H. Concerning a definitive regulatory mechanisms of the vasomotor centre which controls blood pressure during cerebral compression. *Bull John Hopk Hosp*. 1901.
13. Quinckem H. Die Lumbalpunktion des Hydrocephalus. *BerlKlin Wschr*. 1891.
14. Adson, L.W. Lillie, A.W. Teh relationship on intracerebral pressure choked disc, and intraocular tension, *Trans A, Acad. Ophthalmol, Otolaryngol*. 1927.
15. Lundberg, N. Cntinuous recordingand control of ventricularfluid pressure in neurosurgical practice. *Acta Psych Scand(suppl)*. 1960.
16. Langfitt, T.W. et al. Transmission of increased intracranial pressure I: Within the craniospinalis axis. *J Neurosurg*. 1964.
17. Kellie, G. An account of the appearance observed in the dissection of two of three individuals presumed to have perished in the storm of the 3D and whose bodies were discovered in the vicinity of Leith on the morning of the 4th November 1821. *Trans. Med. Chir. Sci. Edinb*. 1824, 1, stránky 84-169.
18. Pokorný, J. Učební texty pro Institut postgraduálního vzdělávání. KCP. Praha: 2014.
19. http://www.med.muni.cz/Traumatologie/Neurochirurgie/Medici_traum.htm. [Online] [Citace: 25. 4 2014.]
20. Klimešová, L. Klimeš. J. *Umělá plicní ventilace*. Brno : NCO+NZO, 2011. ISBN: 978-80-7013-538-9.
21. Grover, A. Robbins, J. Bendict, P. Gibson, M. Villalba, M. Open versus percutaneous dilatation trachostomy. *The American Journal of Surgery*. 2001, 67, stránky 297-301.
22. Möller, M,G. Slaikeu, J,D. Bonelli, P. Davis, A,T. Hoogeboom, J,E. Bonnell, B,W. Early versus late tracheostomy in the surgical intensive care unit. *The American Journal of Surgery*. 2005, 189, stránky 293-296.

23. Nieszkowska, A. Combes, A. Luyt, C.E. Ksibi, H. Trouillet, J.L. Gibert, C. Chastre, J. Impact of tracheotomy on sedative administration, sedation level, and comfort of mechanically ventilated intensive care unit patient. [editor] 2527-2533. *Critical Care Medicine*. 2005.
24. Trachtová, E. *Potřeby nemocného v ošetrovatelském procesu 2 vydání*. Brno : NCO-NZO, 2001. ISBN 80-1713-324-8.
25. VOKURKA, M, et al. *Velký lékařský slovník. 7. vydání*. Praha : Maxdorf, 2007. ISBN 978-80-7345-130-1.
26. Truhlář, A. Kasal, E. Černý, V. Přehled nejvýznamnějších změn v Doporučených postupech pro neodkladnou resuscitaci. 2011, Sv. 22, 2, stránky 115-123.
27. Mlček, M. Ošťádal, P. Bělohávek, J. Havránek, Š. Hrachovina, M. Hupčich, M. at all. Hemodynamic and Metabolic Parameters During Prolonged Cardiac Arrest and Reperfusion by Extracorporeal Circulation. *Physiol. Res*. 2012, Sv. 2, 61, stránky S57-S65.
28. Bousser MG, Russell RR. *Cerebral Venous Thrombosis*. London : WB Saunders, 1997.
29. Nortje, J. Coles, J. P. Timofeev, I. Fryer, T. D. Aigbirhio, F. I. Smielewski, P. Outtrim, at all. Effect of hyperoxia on regional oxygenation and metabolism after severe traumatic brain injury: Preliminary findings. *Critical Care Medicine*. 2008, Sv. 36, 1, stránky 273-281.
30. MAYER, M., HAVRÁNEK, A. a JELEN, K. Intrakraniální tlak a jeho identifikační možnosti při léčbě kranioencefalního poranění. *Lékař a technika*, 2012. 42, 2012, 1, stránky 10-15.
31. MAYER, M, HAVRÁNEK, A a JELEN, K. Influence of mechanical action on the intracranial pressure after craniocerebral injury. *Acta universitatis Carolinae - Kinanthropologica*. 47, 2011, 2, stránky 143-147.
32. <http://crashingpatient.com/wp-content/images/part1/icp%20monitors.jpg>. *Crashing Patient*. [Online] [Citace: 17. 5 2014.] emergency medicine, critical care, and most importantly their intersection. <http://crashingpatient.com/>.
33. Günseli Kilinç, Elif Altuğ Kolsuk. The role of bronchoalveolar lavage in diffuse parenchymal lung diseases. *Current opinion in pulmonary medicine*. 11, 10 2005, Sv. 5.
34. Skříčková, J. Kolaříková, R. Standardní postup při provádění bronchoalveolární laváže(BAL) a vyšetřování bronchoalveolární tekutiny (BAT). <http://www.pneumologie.cz/>. [Online] [Citace: 25. 4 2014.] http://www.pneumologie.cz/soubory/BAL_Standard_Studia_po_recenzi_8_2004.pdf.
35. <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Tracheostomie>. *wikiskripta*. [Online] [Citace: 28. 3 2014.] ISSN 1804-6517.
36. *ISB 2011*. MAYER, M., HAVRÁNEK, A. a JELEN, K. Brusel : ULB, 2011. Influence of mechanical action on the intracranial pressure during craniocerebral injury. str. 128. ISBN 9789090260198.
37. Smrčka, M. Přibáň, V. at al. *Vybrané kapitoly z neurochirurgie*. Brno : Masarykova Univerzita, 2005. ISBN 80-210-3788-1.
38. DM, Moore. An intrathecal catheter in a pregnant patient with idiopathic intracranial hypertension:analgesia, monitor and therapy? *International Journal of Obstetric Anesthesia*. 23, 2014, 2, stránky 175-178.
39. Náhlovský, J. *Neurochirurgie*. Praha : Galen, 2006. ISBN 82-7262-319-2.
40. http://cs.wikipedia.org/wiki/Kraniocerebr%C3%A1ln%C3%AD_trauma#cite_note-Nev.C5.A1.C3.ADmalov.C3.A1-2. *Wikipedie trauma, Kranioencefalní..* [Online] [Citace: 5. 18 2014.] <http://cs.wikipedia.org>.

41. Tausif, R. Rushna, A. Isaac, T. Howard, Y. Rapid progression of traumatic bifrontal contusions to transtentorial herniation: A case report. *Cases Journal*. [Online] [Citace: 26. 3 2014.] <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2566562/>.
42. Malta, B F. Menon, D K. Turner, J M. *Textbook of Neuroanaesthesia and Critical Care*. Cambridge : University of Cambridge, 2000. ISBN: 9781900151733.
43. UK, 1LF. **Kraniocerebrální a míšní traumata.** *Neurologická klinika 1.LF UK a VFN v Praze*. [Online] [Citace: 19. 5 2014.] <http://www.neuro.lf1.cuni.cz/vyuka/ucebnice/Stom/3.htm>.
44. Seidl, Z. Obenberger. *Neurologie pro studium i praxi*. Praha : Grada, 2004. ISBN: 80-247-0623-7.
45. MZ. Věstníky. http://www.mzcr.cz/Legislativa/obsah/vestniky_1768_11.html. [Online] MZ ČR. [Citace: 1. 4 2014.] http://www.mzcr.cz/Legislativa/obsah/vestniky_1768_11.html.
46. Kalina, M. Patofyziologie a léčebné možnosti nitrolební hypertenze. *Neurologia pro praxi*. 2009, 1, stránky 14-20.
47. Jančálek, R. Urbánek, P. Přednemocniční neodkladná péče o neurotraumata. *Urgentní medicína*. 2011, 2, stránky 12-20.
48. AG, Raumedic. Measurement of Oxygen Partial Pressure in the Brain. [Online] [Citace: 15. 1 2014.] <http://www.raumedic.com/hospital-care/neuromonitoring/oxygen-partial-pressure/>.
49. Gordon, M. Medical Pharmacology and Disease-Based Integrated Instruction. *Chapter 47: Brain Injury*. [Online] [Citace: 8. 1 2014.] <http://www.pharmacology2000.com/Head%20Injury/page1.htm>.
50. <http://what-when-how.com/neuroanaesthesia-and-neurointensive-care/intracranial-pressure-monitoring-and-imaging-part-3/>. Intracranial pressure (Monitoring and imaging) Part 3. *what-when-how In Depth Tutorials and Information*. [Online] <http://what-when-how.com/neuroanaesthesia-and-neurointensive-care/intracranial-pressure-monitoring-and-imaging-part-3/>.
51. Ryder, H,W. Espey, F,F. Kimbell, F,D., et al. The mechanism of the change in cerebrospinal fluid pressure following an induced change in volume of the fluid space. *J Lab Clin Med*. 1953, 41, stránky 428-435.
52. Stocchetti, N. Parma, A., Lamperti, M. Songa, V. Tognini, L. Neurophysiological consequences of three tracheostomy techniques: a randomised study in neurosurgical patients. *Journal of Neurosurgical Anesthesiology*. 2000, 8, stránky 307-313.
53. Kocaeli, H. Korfali, E. Taşkapılıoğlu, Ö. Özcan, T. Analysis of intracranial pressure changes during early versus late percutaneous tracheostomy in a neuro-intensive care unit. *Acta Neurochirurgica*. 2008, stránky 1263-1267.
54. David, M. Markstaller, K. Depta, A. L. at al. Initiation of high-frequency oscillatory ventilation and its effects upon cerebral circulation in pigs: an experimental study. *British Journal of Anaesthesia*. 97, 2006, 4, stránky 525-532.
55. Andersson, N. *Cerebrospinal Fluid Infusion Methods Phd thesis*,. místo neznámé : UMEÅ UNIVERSITY, 2007. ISSN 0346-6612.
56. Lakin, W. Stevens, S. Tranmer, B. Penar, P. A whole-body mathematical model for intracranial pressure dynamics. *Journal of Mathematical*. 2003, 46, stránky 317-383.
57. Ursino, M. A mathematical study of human intracranial hydrodynamics - part 1: The cerebrospinal fluid pulse pressure. *Annals of Biomedical Engineering*. 1988, 16, stránky 379-401.
58. Ursino, M. A mathematical study of human intracranial hydrodynamics - part 2: Simulation of clinical tests. *Annals of Biomedical Engineering*. 1988, 16, stránky 403-416.

59. **Stevens, S. Lakin, W.** Local compliance effects on the global pressure-volume curve relationship models of intracranial pressure dynamics. *Mathematical and Computer Modelling of Dynamical Systems*. 2000, 6, stránky 445-465.
60. **Mareš, F.** Intraaortální balonková kontrapulzace. *Wikiskripta*. [Online] [Citace: 12. 5 2014.] <http://www.wikiskripta.eu/images/9/96/IABP.png>. ISSN 1804-6517.
61. **Schreuder, J.J. Maisano, F. Donelli, A. Jansen, J. R.C. at al.** Automatic Intraaortic Balloon Pump Timing Using an Intra-beat Dicrotic Notch Prediction Algorithm. *Annals of Thoracic Surger*. 2005, 75, stránky 1017-1022.
62. **Pokorný, J. at al.** Závěrečná zpráva o řešení grantu IGA MZ ČR. Praha : Nemocnice Na Homolce. IGA grant 1685-3.
63. **Pappius, H.M.** Fundamental aspects of brain edema. *Handbook Clin. Neurol. Tumors of the brain and skull*. 1974, str. 167.
64. **Lanksch, W.R., Baethmann, A., et al.** Computed tomography of brain edema. *Brain edema Wiley*. 1981, str. 67.
65. **Klatzo, I., J.: . . 72:236, 1987.** Pathophysiological aspects of brain edema. *Acta Neuropath.* 72, 1987, 236.
66. **Mayer, M.** Archiv autora.
67. **Cyrous, A. O'Neal.** Freeman, B. W. D. New Approaches to Bedside Monitoring in Stroke. *Expert Rev Neurother.* 2012. Sv. 12, 8, stránky 915-928. ISSN: 1473-7175.
68. **Raksin, P.B Alperin, N at al.** Noninvasive Intracranial Compliance and Pressure Based on Dynamic Magnetic Resonance Imaging of Blood Flow and Cerebrospinal Fluid Flow. *Neurosurg Focus.* 4, 2003, Sv. 14, 4.