

Univerzita Karlova

1. lékařská fakulta



UNIVERZITA KARLOVA
1. lékařská fakulta

Doktorské studijní programy v biomedicíně

Experimentální chirurgie

MUDr. Tomáš Henlín

Experimentální chirurgické přístupy do trachey za mimořádných
podmínek

Experimental surgical airway in special conditions

Disertační práce

Školitel: prof. MUDr. Pavel Michálek, Ph.D., D.E.S.A., M.Sc., FEAMS

Konzultant: MUDr. Tomáš Tyll, Ph.D.

Praha, 2020

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem řádně uvedl a citoval všechny použité prameny a literaturu. Současně prohlašuji, že práce nebyla využita k získání jiného nebo stejného titulu

Souhlasím s trvalým uložením elektronické verze mé práce v databázi systému meziuniverzitního projektu Theses.cz za účelem soustavné kontroly podobnosti kvalifikačních prací.

V Praze, 10.7.2020

Tomáš Henlín

Identifikační záznam:

HENLÍN, Tomáš. *Experimentální chirurgické přístupy do trachey za mimořádných podmínek. [Experimental surgical airway in special conditions]*. Praha, 2020. Počet stran 112. Disertační práce. Univerzita Karlova, 1. lékařská fakulta, Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny 1. lékařské fakulty a Všeobecné fakultní nemocnice v Praze. Školitel Michálek, Pavel.

Abstrakt

Práce se zabývá problematikou zajištění dýchacích cest v mimořádných podmínkách. Autor je vojenský anesteziolog, proto jsou mimořádné podmínky v této práci chápány jako situace na bojišti. V úvodní části práce je rozebrán historický vývoj pohledu na zajištění dýchacích cest, popsány jednotlivé způsoby zajištění dýchacích cest a jejich pozice v “combat airway managementu”.

Vlastní výzkumná část práce se nejdříve zabývá supraglotickým zajištěním dýchacích cest, které v dnešním pojetí algoritmů a doporučení je určeno především pro nezdravotníky a/nebo zdravotníky, kteří nemají velké zkušenosti s komplexními metodami zajišťování dýchacích cest. První část práce prokázala, že užití supraglotických pomůcek nezkušenými záchránci je bezpečné a že lze definovat a vybrat z velkého počtu pomůcek, které jsou na trhu ty nejvíce vhodné. Druhá část práce byla určena tracheální intubaci a přenosným videolaryngoskopům. Prokázala, že tyto mohou zlepšit intubační podmínky i u nezkušeného záchránce.

Hlavní výzkumné úsilí bylo upřeno na nejkritičtější část v postupech zajištění dýchacích cest, na chirurgické přístupy do dýchacích cest. Jako nejlepší model pro koniotomii se ukázalo živé velké laboratorní zvíře. Na tomto modelu jsme provedli napřed pilotní a poté srovnávací studii dvou metod, které jsou užívány nejčastěji k urgentnímu chirurgickému zajištění dýchacích cest. Jednalo se o punkční techniku, stále ještě na spoustě míst rozšířenou, metodou TracheoQuick Plus a chirurgickou techniku metodou BACT. Výsledky statisticky významně dokumentovaly, že BACT je preferenčním způsobem koniotomie na tomto modelu.

V závěrečné části práce autor, který je momentálně hlavním odborníkem v AČR v oboru urgentní medicíny a anestezie a intenzivní péče, navrhuje nejvhodnější doporučení pro zajištění dýchacích cest v poli.

Klíčová slova: *koniotomie, BACT, TracheoQuick Plus, zajištění dýchacích cest v poli, supraglotická pomůcka, videolaryngoskop*

Summary

The thesis analyzes the issue of securing the airways in special conditions. The author is a military anesthesiologist, so the special conditions in this work are understood as the situation on the battlefield. The introductory part of the thesis discusses the historical development of the view of airway management, describes the various methods of airway management and their position in "combat airway management".

The research part of the thesis first explores supraglottic airway management techniques, which in today's concept of algorithms and recommendations is intended primarily for non-medical professionals and/or health professionals who do not have much experience with complex methods of airway management. The first part has shown that the use of supraglottic devices by inexperienced rescuers is safe and that it is possible to define and choose from a large number of aids that are the most suitable on the market. The second part of the research part was focused on tracheal intubation and portable video laryngoscopes. It has shown that these can improve intubation conditions even if performed by an inexperienced rescuer.

The main research effort has been focused on the most critical part of airway management procedures, surgical airway access. A live large laboratory animal proved to be the best model for cricothyrotomy. In this model, we first performed a pilot and then a comparative study of two methods that are most often used for urgent surgical securing of the airways. It was a puncture technique, still widespread in many places, using the TracheoQuick Plus device and the surgical technique using the BACT method. The results statistically significantly documented that BACT is the preferred method of cricothyrotomy in this model.

In the final part of the work, the author, who is currently the main expert in the Czech Army in the field of emergency medicine, anesthesia and intensive care, suggests the most appropriate recommendations for securing the airways in the field.

Keywords: *cricothyrotomy, BACT, TracheoQuick Plus, airway management in the battlefield, supraglottic airway device, video laryngoscope*

Obsah

Abstrakt	4
Summary	5
Obsah	6
Seznam zkratk	7
Uvod	8
<i>Historický úvod</i>	8
<i>Základní metody zajištění průchodnosti dýchacích cest</i>	10
<i>Pokročilé metody zajištění průchodnosti dýchacích cest</i>	14
Tracheální intubace	14
Supraglotické (extraglotické) pomůcky	18
Chirurgické metody zajištění dýchacích cest	22
<i>Zajištění dýchacích cest ve válečné medicíně</i>	28
Hypotézy a cíle práce	31
<i>Supraglotické pomůcky</i>	32
<i>Možnosti použití videolaryngoskopie</i>	32
<i>Chirurgické zajištění dýchacích cest</i>	33
Metodika a výsledky	34
<i>Pozice supraglotických pomůcek v přístupu do dýchacích cest za mimořádných podmínek</i>	34
<i>Přenosné videolaryngoskopy pro přístup do trachey v terénu</i>	49
<i>Chirurgické zajištění dýchacích cest</i>	61
Diskuze	86
<i>Zajištění dýchacích cest v poli v Armádě České republiky</i>	90
<i>Pohledy do budoucna</i>	94
Závěr	96
Použitá literatura	97
Práce autora vztahující se k tématu disertační práce	110
Práce autora bez vztahu k tématu disertační práce	111

Seznam zkratek

AČR	Armáda České republiky
BACT	Bougie assisted cricothyrotomy, bužíř asistovaná koniotomie
BURP	backwards upwards rightwards pressure, manipulace s hrtanem během intubace
CLS	Combat LiveSaver
COMEDS	Committee of the Chiefs of Military Medical Services
ECMO	Extracorporeal membrane oxygenation
etCO ₂	end-tidal carbon dioxide, parciální tlak CO ₂ ve vydechované směsi
PLMA	Proseal Laryngeal Mask
LTS II (LTS-D)	Laryngeal Tube Suction-D
NATO	North Atlantic Treaty Organization
RHS	Royal Humane Societe
SLIPA	Streamlined Liner of the Pharyngeal Airway
SLMA	Supreme Laryngeal Mask
TACEVAC	Tactical Evacuation Care
TCCC	Tactical Combat Casualty Care

Úvod

Historický úvod

Dýchání s následnou výměnou kyslíku a oxidu uhličitého, jako jeden ze základních projevů života, bylo od nepaměti spojeno s křikem novorozenců. Z tohoto důvodu již v 18. století, při potřebě právní definice života, byl tento okamžik - první dech novorozence - definován počátkem lidského života. Je proto celkem logické, že jedny z nejstarších pokusů o dýchání z úst do úst byly započaty porodními asistentkami v druhé polovině 18. století. Jejich umění při ožívování asfyktických novorozenců bylo známo jako "Midwives` Secret". Porodní asistentky byly nuceny aplikovat jednoduché a intuitivní principy ventilace pozitivním přtlakem pokud dítě po narození nedýchalo a daly tak vzniknout technice, které dnes říkáme dýchání z úst do úst. Hlavním cílem těchto technik bylo dosáhnout toho, aby se novorozenec dočkal urychleného křtu a nezemřel nepokřtěný (Zaichkin a Wiswell, 2002).

Další rozvoj technik zajišťující průchodné dýchací cesty a náhradu ventilace začal až v druhé polovině 18. století, kdy začaly vznikat první humanitární spolky a společnosti, jejímž úkolem byla především péče o utonulé (Ornato, 1986). V prvních doporučeních, které se zabývaly resuscitací utonulých, bylo ohřátí, okuřování dýmem, tření, pouštění žilou a dýchání z úst do úst s aktivním výdechem - "holandská metoda". Roku 1774 byla založena britská RHS (Royal Humane Society) a metoda dýchání z úst do úst byla přizpůsobena k využití široké veřejnosti (citace). V duchu osvícenské doby jak v Británii, tak celé Evropě britská humanitární společnost vytvořila a schválila první vědecky podložené resuscitační postupy, publikovala je a finančně podporovala stavbu záchranných domů (především podél řek a jezer) vybavených resuscitačními pomůckami tehdejší doby.

RHS si dala za úkol, že společně s lékaři začne postupně přesvědčovat širokou společnost, že osoba, která nedýchá není mrtvá, ale "zdánlivě" mrtvá a lze ji zachránit aplikací nových resuscitačních úkonů. Na konci 18. století to byl skutečný sociálně medicínský experiment. V tomto kontextu byl RHS vytvářen společně akceptovatelný koncept jak odbornou tak laickou společností. Již tehdy začal skutečný boj o to, jak najít jednoduchou, efektivní a sociálně přijatelnou formu náhrady dýchání, která by byla aplikovatelná rychle, jednoduše a bez komplikací způsobených obětí srdeční zástavy. Mimochodem nejhodnější koncept hledáme dosud.

Na konci 18. století již bylo v západním světě vědecky dokázané, že resuscitace by měla být u zdánlivě mrtvých lidí zahájena. Aplikace tepla, stimulací a umělé ventilace pomocí měchů bylo jasně deklarovaným veřejným úsilím a již nebylo považováno za kontroverzní techniku. I přes to, že bylo známo, že zástava dechu je pravděpodobně způsobena asfyxií, srdeční zástavou a hypotermií (především u utonulých), neexistovalo dostupné technologické řešení této kritické situace. Empiricky poskytované dýchání z úst do úst, které praktikovaly porodní asistentky u nedýchajících novorozenců bylo odbornou veřejností zavrhnuto na základě dezinterpretace vědeckých důkazů. Kvůli sociálním, estetickým a vědeckým důvodům bylo dýchání z úst do úst u dospělých nahrazeno měchy. Dýchání z úst do úst bylo užíváno pouze u asfyktických novorozenců

a velmi sporadicky u utonulých. Tato ambivalence v umělém dýchání mezi novorozenci a dospělými přetrvávala až do padesátých let minulého století (*Zaichkin a Wiswell, 2002*).

Bohužel praktikující lékaři v té době měli minimální nebo žádný zájem a zkušenosti v resuscitaci a zajištění dýchacích cest. Měchy jako resuscitační pomůcka sloužící k umělé plicní ventilaci byly naprosto podružné. Doporučeným postupem pro laiky byla ventilace nosem, buď vlastním dechem nebo měchy. Bohužel implementace tohoto konceptu byla těžkopádná a neefektivní. Za prvních 150 let aplikace umělé plicní ventilace během resuscitace nevznikla žádná pomůcka na zajištění dýchacích cest ani postup který by přežil svou dobu.

Tak jako bylo dýchání z úst do úst a ventilace pozitivním přetlakem pomocí měchů nesprávně zavrhnuty jako techniky vhodné při provádění umělé plicní ventilace, byla na začátku 19. století veřejností široce přijata technika manuální ventilace negativním tlakem. Tyto techniky byly přijaty s širokou mezinárodní podporou a jejich popularita odolala až do padesátých let dvacátého století. V tomto období nebyla obstrukce horních cest dýchacích popsána a manévry na její uvolnění ani známy. Byly známy pouze techniky, které měly za cíl vytáhnout jazyk z dutiny ústní a někdy jazyk i s epiglottis. Obstrukce horních cest dýchacích byla překonávána usilovným vdechem pomocí měchů a aktivním expiriem vytvářeným tlakem na břicho a hrudník. Potřeba kontinuální průchodnosti dýchacích cest během celého dechového cyklu nebyla identifikována. Spolehlivé manévry a postupy, které by vedly ke zprůchodnění dýchacích cest nebyly až téměř do padesátých let 19. století popsány (*Liss, 1986*).

Zrození moderní medicíny, chirurgie a anestezie, se událo v 19. století. Velmi pomalý progres anestezie v první polovině tohoto století kontrastuje s velkým pokrokem v chirurgii. Pomalý rozvoj anestezie jde ruku v ruce s pomalým rozvojem technik zajištění průchodnosti dýchacích cest (*Matic, 2018*). Pokroky v obou těchto odvětvích poté daly vzniknout nové medicínské disciplíně - anesteziologii.

Na počátku dvacátého století existují pouze "neoficiální" (samozvaní) anesteziologové. V anestezii neexistuje vzdělávání, praktická výuka ani výzkum. Nezkušení anesteziologové a chybné zajištění dýchacích cest vede k hypoxickým, hyperkapnickým, předávkovaným a hypotermním pacientům s klinicky významnou nebo skrytou aspirací do plic. Pouze to, že operační výkony byly krátké, anestetika slabá a pacienti somatotypově vhodní nevedlo ke katastrofě.

Obstrukce dýchacích cest začíná být opravdovým problémem potom, co se chirurgické výkony časově prodlužují a vyžadují k úspěšnému dokončení svalovou relaxaci. Ventilace pozitivním přetlakem má velké stigma v očích odborné veřejnosti (ničí alveoly) a teprve až potom, co začne být v odborných knihách zmiňována jako možnost umělého dýchání se dostává do popředí. Pozorování a výzkum v oblasti obstrukce dýchacích cest je limitován dostupnými technikami. Je zaměřen na samovyšetřování, klinické pozorování a vyšetřování mrtvých těl. Jazyk byl označen jako hlavní důvod obstrukce dýchacích cest. Edinburská škola (Simpson, Syme a Lister) zpopularizovala ve své době vytahování jazyka při obstrukci dýchacích cest. Vytažení jazyka se tak stává prvním manévrem k otevření dýchacích cest v historii anesteziologie (*Liss, 1986*). Následující výzkum ukázal, že vytažení jazyka u mnoha jedinců k uvolnění dýchacích cest nevede, protože důvodem obstrukce je blok měkkým patrem nebo epiglottis.

Jednoduchý ale naprosto dominantní koncept obstrukce horních cest dýchacích jazykem zapadajícím vzad přetrval od počátečních dob začátků anestezie až do dneška. Aktivní manévry k posunu jazyka, jazyky a epiglottis pomocí přesunů a pohybů kostěných struktur (dolní čelisti a krční páteře) byly popsány v poslední čtvrtině 19. Století (citace). Z tohoto období je původní popis dvou základních manévrů na zprůchodnění dýchacích cest (předsunutí dolní čelisti a záklonu hlavy), které se provádějí oběma rukama zároveň jsou platné dodnes. Až poté se k těmto základním manévřům přidává obličejová maska (*Matioc, 2017*). Na počátku slouží pouze k doručení anestetika do plic, později ve spojení se základními manévry na zprůchodnění dýchacích cest i k zahájení umělé plicní ventilace.

Počáteční éra anestezie nepřinesla žádnou standardizovanou techniku ani pomůcku a základní manévry ke zprůchodnění dýchacích cest ani nedosáhly dostatečné známosti u odborné veřejnosti. Jediná objektivní data týkající se manévrů na zprůchodnění dýchacích cest jsou mezi jinými doporučené vzdálenosti brada-sternum a úhel záklonu hlavy, které zůstaly již od 19. století, kdy byly zkoumány na kadaverech, až do dnešní doby, kdy byly ověřeny na zdravých dobrovolnících, platné. Stejně tak jsou stále neznámé objektivní ukazatele obtížnosti ventilace pomocí obličejové masky. V tomto období (první polovina 19. století) byly také definovány faktory, které souvisejí s obtížnou ventilací pomocí obličejové masky jako jsou obezita, pletorický obličej, krátký a silný krk ("John-Bull type"), bezzubí pacienti, vousatí, pacienti s malými ústy, předkusem a nepohyblivou krční páteří (*Cattano a kol., 2014*).

Sofistikovanější techniky zajištění průchodných dýchacích cest, které zahrnovaly všechny kategorie nám známých postupů od extraglottických (dýchání z úst do úst, z kanyly do nosu a z kanyly do úst), glottických (intubace) a subglottických (otevření trachey) byly v této epoše, kdy převažovaly dogmatické medicínské teorie, velmi raritní (*Matioc, 2018*).

Základní metody zajištění průchodných dýchacích cest

Obličejová maska je jednou ze základních pomůcek k zajištění a udržení průchodnosti dýchacích cest. Různé technické modifikace masky vykreslují celkem přesvědčivě rozsáhlou škálu anesteziologických technik a přístrojů, které byly v anesteziologii používány. Obličejová maska, která původně měla sloužit k podpoře spontánního dýchání začala usnadňovat umělou plicní ventilaci pacientů během anestezie (*Matioc, 2018*). Tvar a těsnost obličejové masky se stávají základními atributy nutnými k vedení anestezie, protože ta je aplikována pomocí plyných anestetik (jako je cyklopropan a oxid dusný), která vyžadují perfektní těsnost dýchacího okruhu. Neustálé vylepšování a optimalizace těsnosti obličejové masky, ulehčení jejího držení a přidávání pomocných háčků a popruhů k upnutí na obličej vede k vedlejšímu efektu tj. uzpůsobení úchopu masky jednou rukou. Vzhled této pomůcky byl postupně modifikován především k dosažení její dokonalé těsnosti, nicméně již plně nerefletoval nutnost udržení průchodnosti dýchacích cest (*Boyd a Negus, 2011*). Tento fakt vedl k rozvoji manévru, který udržel obličejovou masku jednou rukou. Anesteziologové si osvojili pravidlo, které umožnilo provádět anestezii pomocí jedné ruky.

Toto pravidlo říkalo:” Jemně přitiskni masku na obličej a zároveň předsuň spodní čelist.” Tímto zdánlivě jednoduchým manévrem bylo možné dosáhnout obou důležitých aspektů, které byly nezbytně nutné ke správné funkčnosti masky - dokonalé těsnosti dýchacího okruhu a zároveň udržení průchodnosti dýchacích cest.

Jednou ze vzácných výjimek první poloviny minulého století byl Ombrédannův inhalátor (*Barry, 1961*). Toto zařízení pro inhalační úvod do anestezie a současně pro udržení průchodných dýchacích cest bylo primárně zkonstruované pro úchop oběma rukama. Pro palce byly vytvořeny speciální kruhy, zatímco ostatní prsty pomocí úchopu mandibuly otevíraly dýchací cesty. Toto vylepšení funkce pomůcky k podávání anestezie vedlo i k jejímu relativně dlouhému klinickému používání.

V dalším vývoji obličejové masky bylo celkem zřejmé, že je zapotřebí podporovat prvky, které i zohledňují základní manévry k zajištění průchodných dýchacích cest. Příkladem takových pomůcek byla například Jarošova maska, která byla zkonstruovaná tak, aby automaticky držela předsunutou dolní čelist a tím předcházela obstrukci dýchacích cest.

Některé pomůcky byly vytvořeny s cílem samostatně předsunout bradu vpřed nezávisle na poloze obličejové masky. Bylo to za pomoci speciálních držáků, které působily silou podélně v sagitální nebo transverzální ose dolní čelisti.

Ústní roubíky, kleště a klipy na jazyk, klíny a ústní otvírače to byly všechno pomůcky které byly široce akceptovány z předchozích let a měly sloužit k násilnému otevření dutiny ústní, při spasmu žvýkacího svalu, a přesunutí dolní čelisti nebo vytažení jazyka u bojujícího anoxického pacienta (*Matioc, 2018*). Jejich dalšímu užití zamezil vynález a používání orofaryngálního vzduchovodu a zavedení intravenózních anesteziologických technik. Tyto pomůcky byly používány ještě po dlouhou dobu i přesto, že bylo jejich použití velmi kritizováno. Příčinou oprávněné kritiky byla častá poranění zubů a jazyka způsobené špatným použitím roubíků a kleští na jazyk. Toto bylo dáno především tím, že v té době bylo velmi obtížné vést celkovou anestezii, která by neměla žádné komplikace.

V roce 1908, což bylo 56 let po té co byla představena světu inhalační anestezie, Hewitt poprvé popsal zavedení ústního vzduchovodu - “air-way” - k udržení průchodných dýchacích cest (*Acott, 2015*). Jeho uvedení do praxe vedlo k bezpečnější a méně traumatické anesteziologické péči. Hewitt věřil, že ventilace ústy je důležitější než ventilace nosní dutinou, nicméně opakovaně varoval před ignorováním obstrukce nosních průduchů. Původní Hewittovo air-way mělo kovový protizkus s cirkulárním žlábkem, na který byla připevněna krátká trubička, která odtlačovala zuby, dásně, jazyk a tvrdé patro od sebe a tím ponechávala ústa otevřená. Použití ústního vzduchovodu bylo doporučeno pouze pokud byla diagnostikována obstrukce dýchacích cest, pacient byl v Trendelenburgově pozici a u mužů, kteří měli svalnatý a krátký krk.

Rovná krátká trubička ústního vzduchovodu byla později nahrazena delší a zahnutou bez dalšího jednoznačného vysvětlení v literatuře. Konec orofaryngeálního vzduchovodu byl umístován poblíž glottis, ale nesměl se dotýkat epiglottis. Původní tubulární tvar ústního vzduchovodu byl později nahrazen úzkým rovným, který se snadněji zaváděl zejména během spasmu čelistí (*Matioc, 2018*).

Původní "air-way" - jak byl nazýván orofaryngeální vzduchovod od roku 1940 - bylo mnohokrát upravováno. Například Ferguson v roce 1913, Connell (zúžený tvar, aby se pomůcka lépe zaváděla), Lombard 1915, Waters (mnoho variant), Karn 1928, Guedel v roce 1933 (netraumatický, gumový), Shipway 1935 (první airway s nafukovací manžetou k prevenci aspirace krve při chirurgických výkonech v nosní dutině), English Divided airway v roce 1940 (pro zjednodušení intubace pokud bylo obtížné vizualizovat larynx), Berman 1951 (polyethylenový, jednorázový), Safar 1958 (ve tvaru písmene S kombinující několik předchozích).

Jakmile se přesunul zájem od základních pomůcek na zajištění dýchacích cest k přímé laryngoskopii, stal se Guedelův a Bermanův model orofaryngeálního vzduchovodu nejpoužívanějším (obr. 1). Používání orofaryngeálního vzduchovodu není standardizováno a existuje několik rozdílných doporučení (*Castro a Freeman, 2020*). Někteří autoři doporučují jeho použití pouze u pacientů, kteří nemají zuby nebo mají velký jazyk, někteří u těch, u nichž nejde dosáhnout dostatečná ventilace pomocí obličejové masky a někteří rutinně u všech případů. Faktem zůstává, že bezzubí pacienti mají při zavedení orofaryngeálního vzduchovodu lépe stabilizovanou anatomii dutiny ústní, ústa jim zůstávají otevřená a vzduchovod působí jako prevence zapadnutí rtů do úst. Zakřivená trubička vzduchovodu udržuje oddělený jazyk od tvrdého patra a zadní části hltanu.



Obr. 1. Orofaryngeální Guedelův vzduchovod (zdroj: archiv autora a školitele)

Navzdory varování, že zavedení orofaryngeálního vzduchovodu nezaručuje volné dýchací cesty, ignorují někteří fakt, že jeho rutinní použití po úvodu do anestezie může bez provedení záklonu hlavy či předsunutí čelisti vést k iatrogenní obstrukci horních cest dýchacích (*Cook a MacDougall-*

Davis, 2012). Změna chápání vzduchovodu jako “pasivní pomůcky” (tzn. bez použití základních manévrů na zprůchodnění dýchacích cest) na “aktivní” (s použitím základních manévrů na zprůchodnění dýchacích cest) neproběhla ani v době nových ventilačních postupů za pomoci pozitivního přetlaku. Mýtus, že ústní vzduchovod je efektivní pasivní pomůcka k zajištění průchodnosti dýchacích cest je znovu a znovu podporován v učebnicích, kde je vyobrazován nesprávně s hlavou v neutrální poloze bez použití přidružených manévrů k udržení průchodnosti dýchacích cest (záklon hlavy a předsunutí čelisti).

Používání vyšetřovací špachtle k snadnějšímu zavedení ústního vzduchovodu bylo doporučeno až ve čtyřicátých letech 20. století. Špachtle sloužila k tomu, že přidržovala jazyk na spodině dutiny ústní a vzduchovod se tak lépe zaváděl. Tato technika vyplynula z běžné medicínské praxe, kde sloužila k vyšetřování pacientů při vědomí, nicméně v anestezii nebylo použití této pomůcky ke kontrole jazyka dosti efektivní. Alternativním doporučením bylo použití palce.

Nosní (nazofaryngeální) vzduchovod byl od rutinní pomůckou na zajištění dýchacích cest od počátku 20. století. Vlastní nosní vzduchovod byl vyvinut ještě dříve - kdy Joseph T. Clover v roce 1881 použil tenkou trubičku z indické gumy, zavedl ji nosem do oblasti kořene jazyka a připojil k dýchacímu vaku s chloroformem (*Acott, 2015*). Největší limitací pomůcky byla vysoká četnost krvácení z nosu a nedostatečné dechové objemy. Na počátku 20. Století neexistovala ani standardní velikost nebo tvar pomůcky. Nejčastěji byly používány pomůcky z gumy, kovu nebo pevné textilie. Bylo doporučeno používat co nejdelší vzduchovody a jejich délka byla přizpůsobená individuálně po zavedení. Po otestování snadnosti dýchání byla pomůcka zkrácena na požadovanou velikost a připevněna k nosní dírce bezpečnostním špendlíkem (*Matioc, 2018*).

Anestezie stejně jako zajištění dýchacích cest si prošly svým vývojem od spontánní ventilace k umělé plicní ventilaci pozitivním přetlakem (*Matioc, 2019*). Techniky zajištění dýchacích cest spolu s pomůckami, které byly tradičně používány na operačních sálech při spontánní ventilaci byly v druhé polovině 20. století přeneseny mimo operační sály. V této době, díky rozvoji respirátoru a přístrojů na umělou plicní ventilaci, ovšem již převládá koncept umělé plicní ventilace pozitivním přetlakem. Proto dochází k dezinterpretaci některých zavedených technik a vytvoření několika mylných konceptů (*Matioc, 2018; Matioc, 2019*):

- Koncept obstrukce horních cest dýchacích pouze jazykem bez ohledu na vliv měkkého patra nosu nebo epiglottis
- Koncept obstrukce horních cest dýchacích pouze během nádechu a ignorování potencionální obstrukce dýchacích cest při expiriu (nejčastěji způsobené měkkým patrem)
- Používání postroje k udržení obličejové masky bez přijetí faktu, že zatlačením mandibuly dozadu dochází v dýchacích cestách k obstrukci.
- Koncept pasivního použití orofaryngeálního vzduchovodu bez současného provedení základních manévrů ke zprůchodnění dýchacích cest.

Předpokládané mechanismy obstrukce dýchacích cest a základní manévry k jejímu odstranění, které se krystalizovaly během počátku rozvoje anestezie nebyly vědecky podloženy. V pozdějších

dobách dochází k ověřování těchto postupů. K tomu anesteziologové využívají sebe navzájem, zdravé dobrovolníky, nebo čerstvé kadavery a radiologické studie, nicméně k jasnému vědeckému podložení těchto postupů nikdy nedošlo. Základní dovednosti v zajištění dýchacích cest vycházejí ze zkušeností anesteziologů (*Henlín, 2019*). Jednou z výjimek je Safarova práce, která validovala použití “trojitého manévru” záklon hlavy, otevření úst a předsunutí dolní čelisti při resuscitaci (*Lenzer, 2003*).

V druhé polovině 20. století dochází k velkému rozvoji anesteziologické péče, především z důvodu zlepšení technického vybavení a umělé plicní ventilace (*Matioc, 2019*). Základní manévry k udržení průchodnosti dýchacích cest byly přejaty a osvojeny bez kritického zhodnocení fyziologických a patofyziologických principů a možných obtíží při jejich užívání v souvislosti s novou technologií. Pokročilejší techniky zajištění dýchacích cest (supraglotické pomůcky a tracheální intubace) byly rozšířeny a adoptovány ještě před tím, než došlo k vědeckému ověření základních technik. Přímá laryngoskopie byla vědecky podložená metoda s ověřeným praktickým modelem, který bylo možno aplikovat jak na výuku, tak při výzkumu. Ačkoliv tracheální translaryngeální intubace byla výsledkem “duchu inovace doby”, ventilace obličejovou maskou, jako metoda použitelná nejvíce univerzálně, byla zahalena “duchem obecné shody”. Pokud se na zajištění dýchacích cest podíváme tímto pohledem můžeme konstatovat, že ventilace obličejovou maskou je empirická metoda vycházející z praxe a ze zkušeností a intubace trachey metoda vědecká.

Pokročilé metody zajištění dýchacích cest

Prvním popsaným výkonem v pokročilém zajištění dýchacích cest je bezesporu tracheostomie, která byla již tisíce let před Kristem zobrazena v egyptských kresbách. Ačkoliv existovaly tyto tisíce let staré záznamy byla tracheostomie dlouho zapomenutou metodou k zprůchodnění dýchacích cest (*Szmuk a kol., 2008*). Teprve poté, co vešla tracheostomie ve známost mezi odbornou veřejnost, se lékaři začali zabývat myšlenkou, zda existuje nějaký méně invazivní způsob zajištění dýchacích cest. Brzy nastupuje éra zajištění dýchacích cest pomocí rourek, většinou vyrobených ze železa, které udržují dýchací cesty otevřené. Nevýhodou této metody bylo zavádění naslepo. Tento nedostatek byl kompenzován vyvinutím laryngoskopu. Dalším pokrokem v pokročilém zajištění dýchacích cest byl vývoj supraglotických pomůcek pro rutinní výkony v anestezii i pro “rescue” techniky zajištění průchodných dýchacích cest (*Michálek a Miller, 2014*).

Tracheální intubace

Technika intubace trachey přes hlasové vazy byla, především díky své technické obtížnosti, popsána o mnoho století později než chirurgické přístupy do dýchacích cest. První dokumentovanou tracheální intubací je výkon anglického chirurga a porodníka Benjaminu Pughu, který v roce 1754 resuscitoval nedýchajícího novorozence. Prsty zavedl vlastnoručně vyrobenou trubici, která se skládala z ohebného drátu stočeného do spirály a obaleného měkkou kůží, skrz hlasové vazy do průdušnice (*White, 1960*). Lokalizace hlasových vazů “naslepo” byla obtížná a

často způsobovala poranění struktur dutiny ústní nebo hrtanu. Při úspěšném zavedení ale poskytla kvalitní oxygenaci asfyktického novorozence. Francois Chaussier v Paříži pro intubaci novorozence na začátku 19. století používal kovovou zahnutou trubici a podobné pomůcky byly užívány v průběhu celého tohoto století. V této době byla intubace trachey prováděna ve třech indikacích - u asfyktických novorozenců, při resuscitaci utonulých a pro překonání obstrukce dýchacích cest při záškrtu, infekčním onemocnění způsobeném *Corynebacterium diptheriae* (Szmuk a kol., 2008). Na konci 19. století se o velký pokrok tracheální intubace zasloužili skotský chirurg William Macewen and americký pediatr Joseph O'Dwyer. Zatímco O'Dwyer používal svoji metodu translaryngeální intubace především u dětí nemocných záškrtem nebo jinými chorobami, které způsobovaly obstrukci dýchacích cest, Macewen se věnoval především využití tracheální intubace v průběhu éterové anestezie. Všechny výše uvedené postupy měly velkou nevýhodu, že intubovaly tracheu "naslepo" pouze za použití speciálního tvaru rourky a pomoci prstů zavádějícího (obr. 2). To sebou přinášelo velké množství neúspěchů, nechtěného zavedení do jícnu a poranění dutiny ústní, hltanu, hlasových vazů i průdušnice. V roce 1885 sestrojil v Londýně španělský operní zpěvák a učitel zpěvu, Manuel Patricio Garcia svůj laryngoskop, skládající se ze dvou zrcátek a používající jako zdroj světla sluneční svit (obr. 3). Až teprve na konci 19. století Kirstein sestrojil "autoscope" přístroj s externím zdrojem elektrického světla, kterým bylo možné pozorovat vchod do laryngu a zavést přitom trubičku do trachey (Hirsch a kol., 1986). První přímé vyšetření hlasových vazů a vchodu do hrtanu bylo tímto přístrojem provedené v Berlíně v roce 1895. Ve Spojených státech se před první světovou válkou podíleli na vývoji nových laryngoskopů anesteziolog Henry H. Janeway a otorinolaryngolog Chevalier Jackson (Szmuk a kol., 2008). Sir Ivan Whiteside Magill (obr. 4) se významně podílel na vývoji technik tracheální intubace, včetně zkonstruování nového laryngoskopu se lžící ve tvaru "U" (McLachlan, 2008). Tento anesteziolog zkonstruoval i proslavené Magillovy kleště (obr. 5), které jsou excelentní pomůckou především při intubaci nosem k nasměrování rourky do trachey. Přes různé modifikace tohoto přístroje vznikají ve 40. letech minulého století dnešní laryngoskopické lžíce. Američan Miller sestrojil v roce 1941 rovnou laryngoskopickou lžící (obr. 6), která je používána i v současnosti k intubaci novorozenců a malých dětí (Pieters a kol., 2015). Zahnutá laryngoskopická lžíce, která se používá do současnosti a svým tvarem snižuje riziko poranění horních zubů, byla vyvinuta profesorem Robertem Macintoshem za druhé světové války, v roce 1943, a byla první, která se zaváděla do valemuly epiglottis, čímž významně snižovala riziko poranění a následného otoku záklopy hlasové (Pieters a kol., 2015). Tato lžíce se rutinně používá dodnes (obr. 7).



Obr. 2. Souprava kovových intubačních kanyl podle Josepha O'Dwyera (copyright: Wood Library Museum, Schaumburg, USA)



Obr. 3. Manuel Garcia provádí vyšetření hlasových vazů svým laryngoskopem (zdroj: veřejně přístupná doména)



Obr. 4. Sir Ivan Whiteside Magill (1888-1986) (zdroj: veřejně přístupná doména)



Obr. 5. Magillovy kleště, pomůcka pro nasměrování tracheální rourky mezi hlasové vazy (zdroj: archiv autora a školitele)

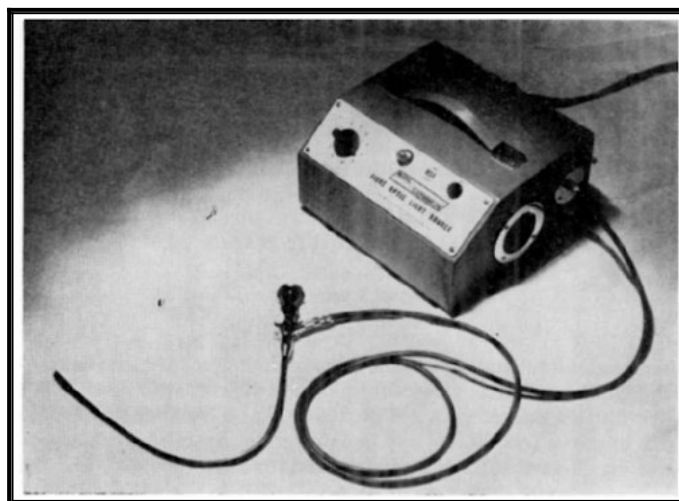


Obr. 6. Millerovy rovné lžíce používané k tracheální intubaci novorozenců a kojenců (zdroj: archiv autora a školitele)



Obr. 7. Macintoshova laryngoskopická lžíce (zdroj: archiv autora a školitele)

Na konci 60. let minulého století byl pro intubaci trachey u obtížného případu s úspěchem použit flexibilní endoskop. Britský anesteziolog Peter Murphy, který v té době ještě neměl ukončenou specializaci, v roce 1967 zavedl nosní dutinou do trachey ohebný choledoskop, určený k vyšetřování žlučových cest (obr. 8) (Murphy, 1967). Flexibilní fibrooptická intubace se díky kvalitnějšímu technickému vybavení flexibilních fibroskopů stala postupně standardní metodou zajištění obtížných dýchacích cest při anestezii a je uvedena ve všech doporučených postupech národních i mezinárodních společností. Přesto není technika použitelná za mimořádných podmínek jako je válečná medicína, především z důvodu časové náročnosti a časté sekrece v dutině ústní, která způsobí nepřehledné operační pole a časté selhání metody (Wong a kol., 2019).



Obr. 8. Flexibilní choledoskop, použitý k obtížné intubaci trachey (copyright: John Wiley & Sons, číslo licence: 4864120873098)

Recentním přínosem k technice tracheální intubace jsou videolaryngoskopy, které jsou zkoumány i v této práci. Videolaryngoskopy umožňují zobrazení vchodu do hrtanu na monitoru přístroje, bez nutnosti toho, aby operátor skláněl svůj obličej k ústům intubovaného, což má především v době epidemie Covid-19 zásadní význam (Černá Pařízková a kol., 2020). Prvním videolaryngoskopem, který zkonstruoval a patentoval John Pacy v roce 1999, byl GlideScope, rok poté následoval přístroj C-MAC od německé firmy Karl Storz a v dalších letech i jednoduché přenosné videolaryngoskopy jako Airtraq nebo King Vision, které jsou použitelné i v terénu, včetně válečné medicíny (Brožek a Michálek, 2018).

Supraglotické (extraglotické) pomůcky

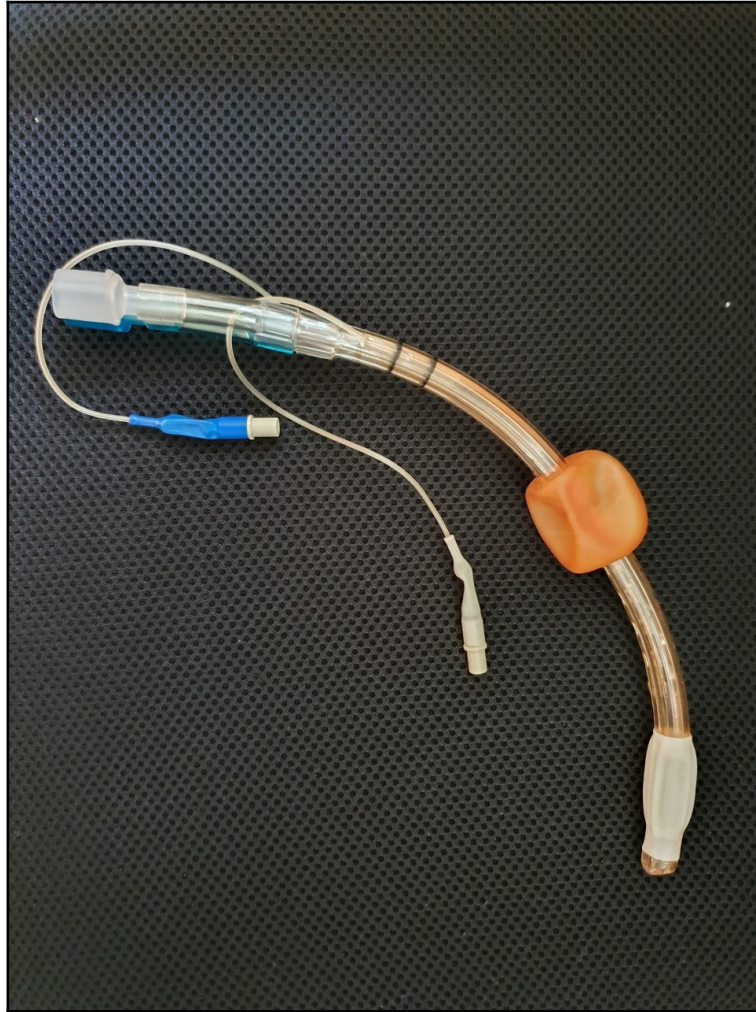
Koncept supraglotických pomůcek vychází ze tří základních předpokladů: přemostit nejkritičtější místo obstrukce horních cest dýchacích v oblasti velofaryngu (kořen jazyka, měkké patro, hypofarynx), přiblížit distální vyústění dýchací trubice co nejbližší k hlasovým vazům a zabránit potenciálním komplikacím, které mohou nastat po zavedení plastové kanyly pod hlasové vazy do průdušnice (Michálek a Miller, 2014). Za vynálezce supraglotických pomůcek bývá obvykle

považován dr. Archibald Brain, ale podobné nástroje pro zajištění dýchacích cest byly dostupné a klinicky používané již před 2. světovou válkou.

První dokumentovanou supraglotickou pomůckou je faryngeální vzduchovod, který byl zkonstruován sirem Francisem Shipwayem, který pracoval jako anesteziolog v londýnské nemocnici Guy's. Tento vzduchovod zaváděný do distálního hltanu (obr. 9) obsahoval nafukovací balónek pro prevenci aspirace krve a byl používán k udržení průchodných dýchacích cest při nosních operacích. Podobnou pomůckou byl "pharyngeal bulb gasway", vyvinutý Beverley Charlesem Leechem v roce 1937 (*Haridas, 2011*). Pomůcka obsahovala kovový preformovaný a zahnutý korpus, v oblasti faryngu vybavený gumovou manžetou, která zajišťovala těsnost okruhu v průběhu podávání cyklopropanové anestezie. K dalším supraglotickým pomůckám je možné zařadit i tracheo-ezofageální kombirourku (Combi-tube) (obr. 10), která byla patentována v roce 1987 Michaelem Frassem a kolegy (*Frass a kol., 1987*). Kombirourka byla využívána i paramediky pro zajištění dýchacích cest v terénu a patřila i do algoritmů zajištění dýchacích cest ve válečné medicíně. Bohužel zavedení naslepo je relativně často neúspěšné, velké studie v přednemocniční medicíně uvádějí až 25% četnost selhání nebo nedostatečné ventilace. Rigidita pomůcky může také přispět k traumatu struktur dutiny ústní nebo dokonce i k perforaci jícnu (*Klementová a kol., 2020*). Všechny výše zmíněné pomůcky spočívaly v zavedení nafukovací manžety do oblasti kořene jazyka. Podle terminologie rozdělení supraglotických pomůcek jsou jednou skupinou tyto ("base of tongue" sealers), zatímco druhou základní skupinou jsou perilaryngeální pomůcky ("perilaryngeal" sealers), které mají tvar manžety anatomicky přizpůsobený oblasti okolo vstupu do hrtanu (*Miller, 2004*). První perilaryngeální supraglotickou pomůckou byla laryngeální maska (LMA Classic), vynalezená dr. Archibaldem Brainem v roce 1983 (obr. 11) (*Brain, 1983*). Tato jednoduchá pomůcka umožňovala účinnou spontánní i řízenou ventilaci a oxygenaci v průběhu anestezie u více než 90% pacientů. Neposkytovala ale téměř žádnou ochranu proti aspiraci žaludečního obsahu v případě plného žaludku nebo aktivního zvracení. V dalších letech byly vyvinuty více sofistikované supraglotické pomůcky, které zvyšovaly bezpečnost pacienta a obsahovaly i přídatný kanál pro pasivní drenáž nebo aktivní odsátí žaludečního obsahu (*Gordon a kol., 2018*). Tyto pomůcky jsou používané až do současnosti, a patří kromě rutinního použití při anestezii také do vybavení pro urgentní zajištění dýchacích cest v terénu nebo ve válečné medicíně (*Sharma a kol., 2017*). Nejčastěji zaáděnými pomůckami jsou laryngeální masky ProSeal, Supreme (*Wong a kol., 2012*) a Aura Gain (*Kriege a kol., 2017*), i-gel (*Michalek a kol., 2003*) a SLIPA (*Miller a Light, 2003*). Většina z nich má nafukovatelnou manžetu umožňující dosažení těsnosti v perilaryngeální oblasti, výjimkou je i-gel, který má anatomicky vytvarovanou manžetu z měkkého elastometrického polymeru (obr. 12).



Obr. 9: Shipwayův faryngeální vzduchovod (zdroj: veřejně přístupná doména)



Obr. 10. Kombirourka má dvě lumen - jícnové a tracheální (zdroj: archiv školitele)



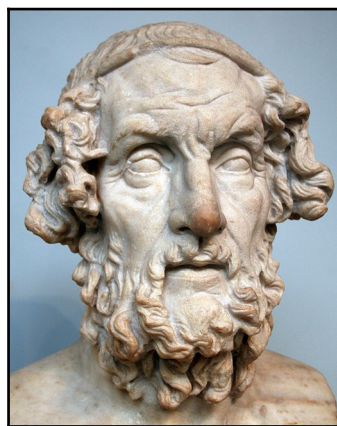
Obr. 11. První verze laryngeální masky (zdroj: archiv školitele)



Obr. 12. Supraglotická pomůcky i-gel (zdroj: archiv školitele)

Chirurgické metody zajištění dýchacích cest

Znalost lidské anatomie ve starověku nebyla dokonalá, ale fakt, že výměna plynů pokračuje z dutiny nosní a ústní do plic pomocí průdušnice (trachey) umístěné relativně povrchně na krku je znám již tisíce let. Chirurgické přístupy do průdušnice při stavu akutního dušení byly prováděny pravděpodobně již 5000 let před naším letopočtem ve starověkém Egyptě. Na nástěnných malbách, které byly v rámci archeologických vykopávek nalezeny na stěnách hrobek králů Horuse Ahy a jeho syna Džera (přibližně rok 3100 př.n.l.), jsou sugestivně vyobrazeny osoby provádějící chirurgický výkon ostrým předmětem v oblasti krku (*Pratt a kol., 2008*). Ještě před začátkem našeho letopočtu jsou podobné zákroky dokumentovány také v posvátné indické knize Rig Veda (*Carrol a Pahor, 2001*). Nejznámější řecký starověký básník, autor Iliady a Odyssey, Homér (obr. 13) popsal v osmém století před naším letopočtem chirurgické protnutí krku a průdušnice jako život zachraňující výkon u akutního dušení, které bylo způsobeno pravděpodobně vdechnutím cizího tělesa. Z období 4. století před naším letopočtem pochází první zmínka o provedení chirurgického přístupu do dýchacích cest ve válečné medicíně. Alexandr Makedonský, zvaný Veliký, podle pramenů provedl akutní otevření dýchacích cest v úrovni hrtanu nebo proximální trachey svým mečem u vojáka, který se dusil vdechnutou kostí. První elektivní chirurgické tracheostomie byly popsány okolo roku 200 před naším letopočtem. Asclepiades z Bithynie v dnešním Turecku byl lékař, který pracoval v Římě a rutinně chirurgicky prováděl vývod z trachey u různých zánětlivých onemocnění krku, hrtanu, orofaryngu, hypofaryngu a jazyka. Pro tyto nemoci se používal termín "synanche" (*Borman a Davidson, 1963*). Další velmi známí lékaři, původem také z Malé Asie, Galénos z Pergamonu a Aretaeus z Cappadocie (2. století n. l.) zmiňují ve svých knihách tracheotomii i tracheostomii jako účinnou chirurgickou léčbu neprůchodnosti dýchacích cest způsobené obstrukcí v oblasti hypofaryngu nebo hrtanu. Tito lékaři sami otevřené přístupy do trachey neprováděli, protože měli obavy z komplikací poranění tracheálních prstenců (*Pratt a kol., 2008*). Další slavný starověký lékař Hippokratés z Kósu také popisoval chirurgický přístup do trachey jako život zachraňující výkon při dušení. Řecký chirurg Antyllus, žijící v Římě v průběhu 2. století n.l., kromě metodiky operace aneuryzmat a katarakty, prováděl i tracheostomie u sedícího nemocného se zakloněnou hlavou (*Borman a Davidson, 1963*). Ze stejné doby pochází i zmínka a ovci, která utrpěla otevřené poranění trachey. Do otvorů byla zavedena dutá stébla rákosu a ovce přežila.



Obr. 13. Starověký řecký básník Homér (pravděpodobně 8. st. př. n. l.), který popsal protětí trachey u akutně se dusícího dospělého (zdroj: veřejně přístupná doména)



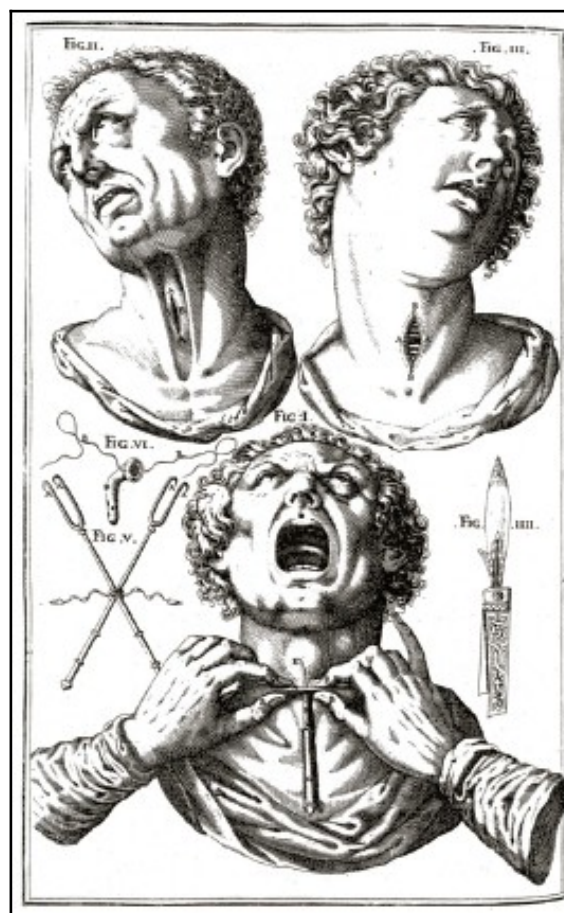
Obr. 14. Antonio Musa Brassavola (1500-1555), první chirurg který dokumentoval úspěšnou tracheotomii (zdroj: veřejně přístupná doména)

Další informace o úspěšných chirurgických přístupech do trachey pocházejí až ze středověku, i když v období mezi roky 500 a 1500 n.l. si chirurgové procvičovali otevřené chirurgické přístupy do dýchacích cest na ovcích a kozách. Andreas Vesalius popsal i ilustroval provedení tracheotomie se zavedením dutého stébla na praseti ve svém díle "De Humani Corporis Fabrica" ("O struktuře lidského těla") v roce 1543. Zvíře mělo otevřený hrudník a Vesalius popsal, že po zavedení trubice do průdušnice se plíce začaly nafukovat a srdce obnovilo svou činnost (Szmuk a kol., 2008). Ve středověku byly publikovány i úspěšné záchovné operace u poranění nebo perforace trachey (Haddad, 2004).

První bezpečně dokumentovaný případ úspěšné tracheotomie pochází z roku 1546. Italský lékař Antonio Musa Brassavola (obr. 14) z univerzity ve Ferrare léčil dusícího se pacienta s abscesem v oblasti trachey (některé jiné zdroje uvádějí, že se jednalo o peritonsilární nebo hypofaryngeální absces). Italský anatom Hieronymus Fabricius z Aquapendente nazýval tracheu artérií vzduchu ("arteria aspera") a použil ve svém spise následující formulaci:

"...ze všech operací prováděných na lidské bytosti nejpřednější je ta, při které nemocný je přenesen z rychlé smrti do náhlého obnovení života - operace spočívá v otevření vzduchové tepny, po níž pacienti ze stavu téměř dusící obstrukce dýchání náhle nabývají vědomí a vdechují tu esenci života, vzduch, tak nezbytný k žití..."

Sám Fabricius zachránil život člověku, který se dusil cizím tělesem, provedl tracheotomii pomocí vertikálního řezu a do průdušnice zavedl kovovou kanylu. Jiný Ital, Sanctorius použil v roce 1590 krátkou rovnou rigidní trubici k zavedení do otvoru v trachei, která způsobila za několik dní perforaci zadní stěny a tracheo-ozofageální píštěl. V roce 1610 byla tracheotomie opakovaně použita k záchraně života při epidemii záškrtu v Neapoli. Další italský anatom Giulio Cesare Gasseri, narozený v Piacenze a poté pracující na univerzitě v Padově, byl žákem Fabriciovým. Zdokonalil techniku tracheostomie tím, že použil zahnuté kovové kanyly zavedené do otvoru v průdušnici a kopírující její průběh (obr. 15) (Pratt a kol., 2008). První kniha o tracheotomii byla vydána v roce 1620 v Paříži a popisuje čtyři reálné případy lidí, kterým chirurgický přístup do dýchacích cest zachoval život. Její autor Nicholas Habicot popisuje například případ 14 letého chlapce, který ukradl a spolkl váček se zlatými mincemi a ten způsobil akutní obstrukci horních cest dýchacích. Další případ popisuje tracheotomii a odstranění krevní sraženiny u chlapce, který utrpěl bodnou ránu do krku (Szmuk a kol., 2008). V roce 1666 byla v díle "Armamentarium chirurgicum bipartitum", napsaném německým chirurgem vyučeným v italské Padově, dr. Johannem Scultetem, vyobrazeno provedení tracheostomie i se zavedením duté trubičky pro udržení průchodného otvoru k dýchání (obr. 16).

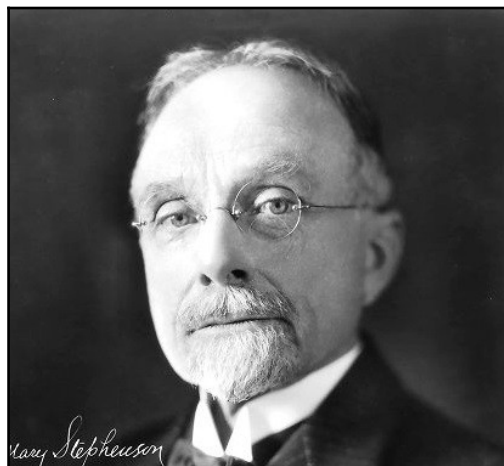


Obr. 15. Provedení tracheostomie podle Gasseriho v jeho knize "Tabulae anatomicae" (zdroj: veřejná doména)



Obr. 16. Vyobrazení tracheostomie (I-V) v díle *Armamentarium chirurgicum bipartitum* (zdroj: veřejně přístupná doména)

Ve Velké Británii byla tracheostomie demonstrována na setkání Královské lékařské společnosti v roce 1667 na psu. Do jeho průdušnice byla zavedena trubička a měchy ventilovány plíce.

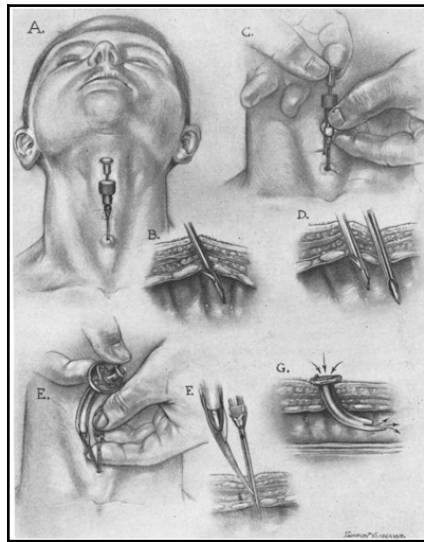


Obr. 17. Chevalier Quixote Jackson (1865-1958) - otec moderní otorinolaryngologie a intervenční bronchologie (zdroj: veřejně přístupná doména)

Moderní éra chirurgických přístupů do dýchacích cest začala na začátku 20. století. Profesor Chevalier Jackson z Pittsburghu (obr. 17), zakladatel otorinolaryngologie a endoskopických vyšetřovacích metod, publikoval své komplexní práce o chirurgických přístupech do trachey v letech 1909 a 1921 (*Jackson, 1909; Jackson, 1921*). Jednalo se o první metodický přístup k problému. Zatímco před Jacksonovými pracemi byla časná mortalita tracheostomie přibližně 50%, v souboru pacientů, který byl publikován v roce 1921, to již bylo pouze 3% (*Jackson, 1921*).

Jackson rozdělil techniku tracheotomie na dolní, která byla prováděna striktně pod isthmem štítné žlázy, a horní (vysokou), v dnešní terminologii, koniotomii, při níž byl řez veden skrz membrana cricothyroidea nebo mezi prstěncovou chrupavkou a prvním tracheálním prstencem. Jackson kritizoval techniku vysoké tracheostomie a na souboru 200 pacientů s laryngeální a tracheální stenózou prokázal, že 80% případů stenózy vzniklo následkem "vysoké tracheostomie", tedy koniotomie. Tento pohled na koniotomii jako nebezpečný výkon přetrvával až do roku 1976, kdy byl publikován velký soubor pacientů kardiologie a hrudní chirurgie, kteří prodělali koniotomii jako elektivní metodu zajištění dýchacích cest (*Brantigan a Grow, 1976*). Následně byl publikován další soubor pacientů, u nichž metoda byla rychlá a efektivní, ale četnost výskytu subglotické stenózy trachey byla extrémně vysoká - 3%, s celkovým počtem komplikací více než 30% (*Esses a Jafek, 1987*). Na základě této práce byla do budoucna koniotomie doporučena pouze jako urgentní metoda pro zajištění průchodných dýchacích cest, zatímco jako elektivní metoda by mělo být preferováno provedení tracheostomie.

Vývoj techniky perkutánní tracheostomie je dalším krokem v chirurgickém zajištění dýchacích cest. Technika je prováděna především intenzivisty u pacientů na déletrvající umělé plicní ventilaci (*Petros, 1999*). První zmínka o perkutánní technice tracheostomie pochází z roku 1955 (*Shelden a kol., 1955*). Autoři navrhli metodu souosých jehel zavedených punkcí do průdušnice (obr. 18). Přes jednu z nich je poté přetažena kovová kanyla. Metoda se příliš neujala. V roce 1969 Toye a Weinstein představili novou techniku pomocí drátěného vodiče, podobnou Seldingerově metodě kanylace centrální žíly (*Toye a Weinstein, 1969*). Do trachey byl punkčně zaveden vodič, okolo něj provedena preparace a poté zavedena po vodiči tracheostomická nebo koniotomická kanyla. Oba autoři publikovali o 17 let později retrospektivní soubor 100 tracheostomií a koniotomií jejich vlastní technikou s relativně vysokou, 14% četností komplikací (*Toye a Weinstein, 1985*). Většina modifikací perkutánní tracheostomie vychází z této techniky. Dnes nejčastěji používaná je technika postupných dilatátorů trachey podle Ciaglieri (modifikace "Blue Rhino") (obr. 19) (*Byhahn et al., 2000*). Dalšími komerčními možnostmi jsou použití Howard-Kellyho dilatačního peánu k roztažení otvoru mezi tracheálními prstenci nebo šroubovitého dilatátoru systému PercuTwist (*Frova a Quintel, 2002*). Zcela odlišný koncept představuje translaryngeální punkční dilatační tracheostomie, při níž je rigidním tracheoskopem lokalizováno uvnitř průdušnice místo punkce, obvykle mezi prvním a druhým nebo druhým a třetím tracheálním prstencem a jehla zevně zavedena do tracheoskopu (*Fantoni a Ripamonti, 1997*). Pomocí vodícího drátu je poté provedena tracheostomie.



Obr. 18. Technika perkutánní tracheotomie navržená Sheldenem v roce 1955 (zdroj: veřejně přístupná doména)



Obr. 19. Souprava na provedení perkutánní dilatační tracheostomie (zdroj: archiv školitele)

Zajištění dýchacích cest ve válečné medicíně

Podle dostupných pramenů je 1-2% úmrtí na bojišti způsobeno přímou obstrukcí dýchacích cest následkem poranění, obvykle středního nebo následkem výbuchu, v oblasti obličeje a krku (*Kelly a kol., 2008*). Na druhou stranu 8-15% fatálních případů krvácení do dýchacích cest může být zachráněno rychlou a vhodnou intervencí vedoucí ke zprůchodnění dýchacích cest (*Eastridge a kol., 2012*). Historicky se ve válečné medicíně dělí zajištění dýchacích cest podobně jako v civilní - na základní, pokročilé a chirurgické ("front of neck access"). Od roku 1993 začal projekt TCCC ("Tactical Combat Casualty Care"), který v sobě zahrnuje i algoritmy pro zajištění dýchacích cest ve válečné medicíně (*Butler a Blackbourne, 2012*).

Až do první světové války nebyly přímo na bojišti ani na obvazích prováděny systematicky žádné postupy pro zprůchodnění nebo udržení průchodnosti dýchacích cest (*Ferraro a kol., 2017*). Existují pouze anekdotické záznamy o urgentních chirurgických přístupech do dýchacích cest v podmínkách "in extremis" (*Szmuk a kol., 2008*). V průběhu první světové války byla ve Velké Británii popularizována technika endotracheální intubace u vojáků s poraněními obličeje, kteří se dožili transportu do nemocnice a rekonstrukčního chirurgického výkonu. Pionýry této metody byli sir Ivan W. Magill a Stanley Rowbotham (*Ferraro a kol., 2017*). Přímou na bojišti se tracheální intubace pro svou technickou složitost neuplatnila. Během první světové války byla úmrtnost vojáků na poranění obličeje v průběhu evakuace z bojiště více než 40%, zatímco během korejské války v 50. letech minulého století již pod 2% (*Beecher, 1951*). První postupy ohledně základního zajištění dýchacích cest v průběhu evakuace vojáků z bojiště byly stanoveny v průběhu 2. světové války (*Coates a kol., 1945*). Doporučení se skládala z:

- Polohování poraněných s maxilofaciálními traumaty. Při dostatečném spontánním dýchání měli být transportováni v poloze na břicho a s oporou hlavy. Tato poloha díky silám gravitace nejlépe umožnila drenáž krve a zvratků mimo hypofarynx a dýchací systém a snížila riziko aspirace a obstrukce dýchacích cest.
- Při známkách obstrukce měl být manuálně vytažen jazyk, protože až ve 40% případů byla příčinou asfyxie obstrukce kořene jazyka.
- Kontrola krvácení kompresí měla být aplikována pouze pokud nezvýšila riziko obstrukce dýchacích cest nebo aspirace krve.
- Jestliže byla dostupná odsávačka krve, měla být krev z proximální dutiny ústní během transportu aktivně odsávána.

Tracheální intubace nepatřila a nepatří do algoritmů zajištění dýchacích cest ve válečné medicíně a je určena pouze pro lékařské specialisty (*Walrath a kol., 2018*). Důvodů je několik - záchranáři nejsou dostatečně školení v metodě, tracheální intubace u obličejového traumatu je extrémně obtížná i pro zkušeného anesteziologa, intenzivistu nebo lékaře urgentní medicíny, podmínky v boji, světelné, časové i prostorové raritně umožňují realizaci tracheální intubace (*Cloonan, 2007*).

Orofaryngeální vzduchovody jsou ve válečné medicíně považovány za nevhodné, z toho důvodu, že pacienti, kteří jsou částečně při vědomí, je netolerují. Toto může způsobit dávení a zvýšit riziko aspirace (Cloonan, 2007). Ze stejného důvodu je jako první postup doporučeno zavedení měkkého nazofaryngeálního vzduchovodu (obr. 20), s respektováním kontraindikací, jako je suspekce na poranění baze lební a nestabilita ethmoido-maxilárního kostního komplexu.



Obr. 20. Měkký nosní vzduchovod je obvykle tolerován i u pacienta při vědomí (zdroj: archiv školitele)

Supraglotické pomůcky, které se dobře uplatňují v civilní přednemocniční péči nejsou ve válečné medicíně příliš populární (Ferraro a kol., 2017). Hlavním důvodem je nedostatečná tolerance u postižených, kteří nejsou v hlubokém bezvědomí a také nedostatečná ochrana proti aspiraci krve a žaludečního obsahu. V současných doporučeních je zavedení supraglotické pomůcky indikováno během TACEVAC (“Tactical Evacuation Care”) fáze pouze pokud není možné zprůchodnit dýchací cesty jinou metodou (Studer a kol., 2013). Není specifikována žádná supraglotická pomůcka, v těchto indikacích byla testována kombirourka a laryngeální masky.

Údajně první tracheotomii na bojišti provedl Alexandr Veliký. Dokumentovány jsou tracheotomie při poranění obličeje a krku prováděné francouzským lazebníkem a chirurgem Ambroisem Paré v první polovině 18. století. V průběhu války mezi Severem a Jihem ve Spojených státech (1861-1865) byla tracheotomie a tracheostomie relativně raritně indikována a provedena především u perforujících a krvácejících střelných poranění krku a obličeje. Celkem bylo dokumentováno 20 výkonů během tohoto válečného konfliktu (Pratt et al., 2008). Dva případy tracheostomie byly také dokumentovány v průběhu búrské války v Jižní Africe (Booth, 2000). V průběhu první světové války byly na bojištích v Evropě koniotomie i tracheotomie prováděny pouze raritně. Hlavním přelomem vedoucím k rutinnímu zavedení tracheostomie do urgentní válečné medicíny byla španělská

občanská válka mezi lety 1936-1939. Především republikánské jednotky měly mezi sebou mezinárodní i místní zkušené chirurgy. Na počátku konfliktu vojenští zdravotníci nechávali vojáky s poraněním obličeje a krku v rámci primární triáže bez ošetření dýchacích cest. Časná mortalita byla extrémně vysoká, postižení umírali v desítkách minut při čekání na definitivní ošetření z důvodu aspirace krve, obstrukce dýchacích cest koaguly nebo edému v supraglotické oblasti nebo hrtanu (*Simo, 2002*). Po bitvě u Belchita se vojenští chirurgové na republikánské straně rozhodli změnit svou metodiku a vojákům s krvácejícími poraněními obličeje a krku ihned po primární triáži provedli tracheostomii s následným odsátím krve a koagul z dýchacích cest. Tento postup významně snížil bezprostřední mortalitu a umožnil mnohým vojákům dočkat se definitivního chirurgického ošetření maxilofaciálního traumatu. Ve druhé světové válce byla tracheostomie již součástí metodiky zajištění průchodných dýchacích cest u poranění obličeje a krku (*Kotwall, 2011*). Především americká a britská armáda organizovaly pro lékaře i ostatní zdravotníky speciální kurzy anesteziologie, včetně základních a pokročilých metod zajištění dýchacích cest (*Waisel, 2001*). V poválečných konfliktech v Koreji a Vietnamu již byly trénované týmy včetně nelékařských vojenských zdravotníků, které měly přednemocniční chirurgický přístup do dýchacích cest ve svých algoritmech. V roce 2007 vyvinul MacIntyre se spolupracovníky techniku jednoduché, vysoce efektivní a rychlé koniotomie ve třech krocích - řez, zavedení bužie do průdušnice, přetažení endotracheální kanyly přes bužii - a nazval ji buží asistovaná koniotomie ("Bougie-assisted cricothyroidotomy", BACT) (*MacIntyre a kol., 2007*). Tato metoda byla postupně adoptována jako urgentní chirurgická technika zajištění dýchacích cest při stavech "nelze intubovat, nelze oxygenovat" (CICO) většinou vojenských i civilních algoritmů pro zajištění dýchacích cest, včetně České republiky (*Černý a kol., 2019*). V posledních válečných konfliktech, ve kterých se zúčastnila americká armáda a složky NATO, v Iráku a Afghanistanu byla přednemocniční koniotomie provedena u 0,7% všech poraněných (*Mabry a Frankfurt, 2012*).

Hypotézy a cíle práce

Tato práce je zaměřena na problematiku zajištění dýchacích cest v mimořádných podmínkách, které jsou v kontextu této práce vnímány jako bojiště v průběhu válečného konfliktu. Celá práce je rozdělena do několika oddílů, jež mají vytvořit rámce vlastního výzkumu. Vlastní výzkum se skládá z několika komentovaných prací, které byly zaměřeny na supraglotické zajištění dýchacích cest, na užití přenosných mobilních videolaryngoskopů při zajištění dýchacích cest v terénu a poté speciálně na chirurgické zajištění dýchacích cest, které se zdá být nejvíce technicky problematickým výkonem v celém algoritmu zajišťování průchodnosti dýchacích cest v humánní medicíně, civilní i vojenské.

Hlavní část vlastního výzkumu je zaměřena na 3 základní okruhy:

- Supraglotické zajištění dýchacích cest v algoritmech válečné medicíny
- Možnost použití videolaryngoskopie v terénu
- Chirurgické zajištění dýchacích cest v mimořádných podmínkách

Cílem práce týkající se supraglotických pomůcek bylo stanovit, zda existuje pomůcka, která je vhodná pro "Combat LifeSavery", potažmo "first respondery" v poli. Combat LifeSaver (CLS) je bojovník, který absolvuje speciální kurz poskytování první pomoci v poli. Kurz Tactical Combat Casualty Care (TCCC, Taktická péče o poranění v boji) je primárně designován pro pomoc poraněným vojákům a jeho principy vycházejí především z amerického registru traumaticky poraněných na bojišti. Analýzou těchto dat bylo zjištěno, že největší podíl zemřelých na odvratitelnou příčinu poranění - tj. takovou, kde včasným zásahem lze úmrtí zvrátit - zastupuje na prvním místě krvácení a druhé místo zaujímá obstrukce dýchacích cest. Proto byla stanovena souslednost pro záchranu zraněného písmeny C-A-B-C, kde první písmeno C vyjadřuje "kritické", my spíše říkáme život ohrožující krvácení, druhé písmeno A "airway", tedy zajištění průchodnosti dýchacích cest, třetí písmeno B "breathing" dýchání s výměnou plynů a poslední C "circulation" stav krevního oběhu respektive přítomnost šokového stavu. Zprůchodnění dýchacích cest v algoritmu TCCC bylo od počátku velmi jednoduché. Základem jsou jednoduché manévry pro zprůchodnění dýchacích cest jako je záklon hlavy a předsunutí dolní čelisti, druhým krokem aplikace nosního vzduchovodu a hned následujícím je chirurgické zajištění dýchacích cest. Mezistupeň mezi těmito kroky běžný v zdravotnické komunitě a to tracheální intubace nebo zavedení supraglotické pomůcky byl v tomto případě vzhledem k limitaci klinické praxe operátorů zcela vynechán.

Supraglotické pomůcky

Role supraglotických pomůcek ve zprůchodnění dýchacích cest v poli nebyla v době přípravy a průběhu této práce zcela zřejmá. Nicméně už před několika lety začínají členové komise zodpovídající za guidelines v TCCC poukazovat na to, že před zahájením chirurgického zajištění dýchacích cest v momentě, kdy selhává zprůchodnění dýchacích cest nosním vzduchovodem, se objevil nový prostředek k zajištění dýchacích cest, který má mnohem menší "learning curve" (což je křivka zaučení) než tracheální intubace, a to je zavedení supraglotické pomůcky (*Studer a kol., 2013*). Problémem zůstávalo, kterou pomůcku lze označit za vhodnou, neboť firmy zabývající se vývojem těchto pomůcek neustále registrují a klinicky zkoušejí nové produkty (*Shavit a kol., 2018*). Po průzkumu dostupných informací a literatury jsme zjistili, že neexistuje srovnání různých druhů supraglotických pomůcek v suboptimálním prostředí, a proto jsme se rozhodli pro designování a realizaci této studie.

Naše práce měla za cíl určit nejvhodnější pomůcku pro českého CLS, potažmo bojového záchranáře, která by se dala v podmínkách Armády České republiky použít. Zajímaly nás pouze ty pomůcky, které byly v době vzniku práce charakterizovány snahou oddělit respirační trakt od gastrointestinálního systému v horních cestách dýchacích a jsou označovány jako supraglotické pomůcky II. generace (*Miller, 2015*). Tzn. obsahují buď dva tubusy - jeden pro dýchání a jeden pro dekompresi žaludku a teoretickou možnost ochrany před aspirací u nelačných pacientů - nebo prostor pro záchyt regurgitující tekutiny (*Michalek a kol., 2015*). Proto jsme pro srovnání vybrali supraglotické pomůcky ProSeal Laryngeal mask (PLMA), Supreme laryngeal mask airway (SLMA), i-gel, Streamlined Liner of the Pharyngeal Airway (SLIPA) a Laryngeal Tube Suction-D (LTS-D) a zasadili je do podmínek podobným v přednemocniční péči v poli - ztížené světelné podmínky a velmi nezkušení operátoři.

Možnost použití videolaryngoskopie

Videolaryngoskopie je metoda nepřímého zobrazení hlasových vazů a vchodu do hrtanu a získává v posledních letech čím dál tím větší popularitu. Data z provedených prací dokazují, že oproti klasické laryngoskopii s Macintoshovou lžící má určité výhody. Je výhodnější u pacientů s malou interincizální vzdáleností, tam kde je omezena hybnost krční páteře a jistě zlepšuje přehlednost vchodu do hrtanu u traumat krční páteře (*Kill a kol., 2013; Suppan a kol., 2016*). Přenosné videolaryngoskopy zlepšily úspěšnost tracheální intubace v terénu u civilních paramediků a záchranářů (*Boehringer a kol., 2015; Jarvis a kol., 2015*), proto naše hypotéza byla, že by mohla videolaryngoskopie získat uplatnění i ve válečné medicíně.

Chirurgické zajištění dýchacích cest

Chirurgické zajištění dýchacích cest je metoda, která je indikována, pokud selžou všechny předchozí pokusy o zajištění dýchacích cest nebo z důvodu masivního poranění s krvácením nebo otokem v oblasti horních cest dýchacích. Incidence použití této invazivní metody je široce variabilní v závislosti na geografii i podmínkách zásahu (*Kwon a kol., 2019*). Míra incidence je také zřejmě závislá na charakteru pacientů, ale i vzdělání a zkušeností zachránců (*Schauer a kol., 2015*). V přednemocniční péči je to až 10 % případů. TCCC doporučuje jako metodu k provedení chirurgického zajištění dýchacích cest "chirurgickou koniotomii". Pro tuto formu zajištění dýchacích cest existuje velké množství různých komerčních nebo na míru sestavených souprav. Cílem naší práce bylo porovnat dvě různé techniky chirurgického zajištění dýchacích cest a to buží asistovanou koniotomii ("bougie assisted cricothyrotomy" - BACT), rutinně doporučovanou pro stav "nelze intubovat, nelze oxygenovat" (CICO) doporučenými postupy (*Frerk a kol., 2015*) a koniotomii provedenou pomocí TracheoQuick Plus soupravou (Teleflex Medical Ltd., Ireland) (*Henlín a kol., 2016*), která byla nejvíc používanou metodou, respektive tato souprava byla standardně ve výbavě zdravotnických záchranných služeb v České republice.

Metodika a výsledky

Pozice supraglotických pomůcek v přístupu do dýchacích cest za mimořádných podmínek

Práce zabývající se supraglotickými pomůckami byla randomizovaná, prospektivní a jednostranně zaslepená studie, která měla za cíl zjistit, zda mezi vybranými pomůckami existuje nějaká, kterou lze označit jako vhodnou pro užití v mimořádných podmínkách. Testovaná populace byli pacienti, kteří přicházeli k elektivním chirurgickým výkonům do ÚVN Praha a bylo nutné u nich v rámci celkové anestezie zajistit dýchací cesty. Výběr pacientů do studie probíhal od roku 2012 do roku 2013. Protože jsme chtěli, aby se testovaná populace co nejvíce blížila populaci vojáků, kteří mohou být poraněni v poli, byli do studie zařazováni pacienti starší 18 let, kteří měli vlastní dentici a byli bez anatomických deformit v obličeji (nepřítomnost zubů stejně jako anatomické deformity obličeje mění modelaci tváře a jsou brány jako jeden z faktorů obtížného umístění respektive fixace supraglotické pomůcky). Ze studie byli vyloučeni pacienti, kteří měli jakékoliv zvýšené riziko aspirace žaludečního obsahu během anestezie, anamnézu obtížného zajištění dýchacích cest v předchozích anestéziích, předpokládanou délku anestezie delší než dvě hodiny a těhotné ženy. Randomizace proběhla podle randomizačního seznamu, který byl generován bezplatným softwarem randomizačních čísel <http://www.psychicscience.org>. Poté, co pacienti podepsali informovaný souhlas se studií, byla rozlepena příslušná obálka s randomizačním číslem, které obsahovalo druh zaváděné supraglotické pomůcky. Pro testování jsme zvolili 5 různých druhů supraglotických pomůcek: Laryngeální masku ProSeal (Laryngeal Mask Company Ltd., Mahe, Seychelles), Laryngeální masku Supreme (Laryngeal Mask Company Ltd., Mahe, Seychelles), i-gel (Intersurgical Ltd., Maidenhead, UK), Streamlined Liner of the Pharyngeal Airway (SLIPA) (Curveair Ltd., London, UK), a Laryngeální Tubus LTS II (LTS-D) (VBM Medical, Sulz, Germany).



Obr. 21.
Testované supraglotické pomůcky - zleva: LMA Supreme, LTS II (LTS-D), SLIPA, ProSeal LMA, i-gel (zdroj: archiv školitele a autora)

Pomůcky (obr. 21) byly v roce 2012 již zavedenými supraglotickými pomůckami, nicméně neexistovala žádná vědecká práce, která by je porovnávala mezi sebou. Všechny pomůcky byly supraglotické pomůcky zařazené do II. generace, tzn. mají možnost po zavedení oddělit od sebe respirační a gastrointestinální trakt a tím teoreticky snížit riziko aspirace žaludečního obsahu. Nejvhodnějšími kandidáty se zdály být I-gel, Laryngeální maska Supreme a Laryngeální tubus II (ten byl v tuto dobu používán především v USA pod názvem King LTS-D). Laryngeální maska ProSeal byla zvolena pro svoji téměř dokonalou těsnost a velmi velkou spolehlivost i při chirurgických výkonech, při kterých bylo použití supraglotických pomůcek první generace nemyslitelné. SLIPA byla zvolena jako jediná autorům známá supraglotická pomůcka v roce 2011, která společně s i-gel nepoužívala nafukovací těsnící manžetu, ale využívala pouze svého tvaru a tlaku pomůcky na hypofarynx k vytvoření těsného spojení umožňujícího umělou plicní ventilaci a oddělení respiračního a gastrického traktu v horních cestách dýchacích. Popis a charakteristika vybraných pomůcek viz tabulka 1.

Pomůcka	Místo těsnící manžety	Těsnící mechanismus	Protektce aspirace	Jednorázová verze	Lze přes pomůcku intubovat	Pediatrické velikosti
<i>Proseal LMA</i>	perilaryngeálně	nafukovací manžeta	obstrukce jícnu a drenáž	ne	ne	ano
<i>Supreme LMA</i>	perilaryngeálně	nafukovací manžeta	obstrukce jícnu a drenáž	ano	ne	ano
<i>i-gel</i>	perilaryngeálně	tlaková manžeta	obstrukce jícnu a drenáž	ano	ano	ano
<i>SLIPA</i>	kořen jazyka	tlaková manžeta	obstrukce jícnu	ano	ne	ne
<i>LTS-D</i>	kořen jazyka	nafukovací manžeta	obstrukce jícnu a drenáž	ano	ne	ano

Tabulka 1. Charakteristika supraglotických pomůcek

Primárním cílem práce bylo stanovit procento úspěšnosti prvního pokusu o zavedení pomůcky, který byl definován jako tři za sebou jdoucí úspěšné vdechy s dechovým objemem větším než 4 ml/kg. Jako kontrola efektivní ventilace byla sledována hladina (parciální tlak) vydechovaného oxidu uhličitého (etCO₂) v 1., 5. a 10. minutě od zavedení. Sekundárními cíli studie byly čas úspěšného zavedení, počet pokusů, hodnota orofaryngeálního těsnícího tlaku, obtížnost zavedení, fiberoptické zhodnocení polohy pomůcky vůči vchodu do hrtanu (důležitý parametr při potencionální intubaci přes pomůcku) a všechny komplikace spojené se zavedením nebo užitím pomůcky - především aspirace žaludečního obsahu - jako bezpečnostní parametr použité masky. Anestezie byla standardizována a vedena jako doplňovaná inhalační anestezie. Jako opioid k analgézii byl použit remifentanil kontinuálně a během anestezie nebyly používány žádná svalové relaxancia. Po úvodu do celkové anestezie propofolem a infuzí remifentanilu byla na operačním sále ztlumena světla a zavedena vybraná testovaná pomůcka. Operátoři, kteří zaváděli supraglotické pomůcky, byli nezdravotníci i zdravotníci pracující v Armádě České republiky nebo pod Ministerstvem Obrany. Combat LifeSaveři, nelékaři (zdravotní sestry, záchranáři, instrumentářky), lékaři všech odborností, kteří byli na stáži na Klinice anesteziologie, resuscitace a

intenzivní medicíny 1. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a ÚVN Praha. Společnou podmínkou pro účast v této studii bylo, že operátor musel mít žádnou nebo velmi malou zkušenost v zavádění supraglotických pomůcek, která byla definována jako pět a méně zavedení. Před zavedením absolvoval každý operátor krátkou demonstraci pomůcky od atestovaného lékaře, který byl po celou dobu přítomen během zavádění. Byly mu vysvětleny všechny výhody a nevýhody pomůcky, tipy a triky u jednotlivých laryngeálních masek a názorně provedena příprava supraglotické pomůcky. Mohl se zeptat na jakoukoliv otázku týkající se zajištění dýchacích cest a sledovat průběh zajišťování dýchacích cest pomocí konkrétní pomůcky. Potom společně s lékařem se specializovanou způsobilostí operátor vybral velikost randomizované pomůcky a to na základě doporučení výrobce - u většiny pomůcek podle váhy u Laryngeálního tubusu podle výšky pacienta. Po aplikaci úvodní dávky anestetika propofolu a opioidu remifentanilu a zjištění úrovně vědomí pacienta a také jeho reakce na předsunutí dolní čelisti a podráždění očních řas - v obou případech musela být reakce na tyto podněty zcela vymizelá - bylo dohlížejícím atestovaným lékařem odstartováno měření času zavedení. Čas zavedení jsme definovali jako dobu, která je nutná na přípravu pomůcky, její zavedení a dobu do zjištění, zda je ventilace přes ní efektivní. Po pokynu zahájení měření času vybraný operátor začal pomůcku připravovat k zavedení, poté přistoupil k pacientovi a pomůcku zavedl, připojil k dýchacímu okruhu anesteziologického přístroje a společně s dohlížejícím lékařem provedl vyhodnocení, zda je ventilace efektivní. Efektivní ventilaci jsme definovali jako dechový objem větší než 4 ml/kg a zároveň dostatečnou eliminaci oxidu uhličitého, tzn. že parciální tlak vydechovaného oxidu uhličitého nepřesahoval 6,5 kPa. Potom, co byla ventilace přes zavedenou pomůcku označena za efektivní byl čas zastaven. Dohlížející lékař nastavil ventilátor v módu tlakové ventilace tak, aby parciální tlak vydechovaného oxidu uhličitého byl v normálním rozmezí (4,7 - 5,3 kPa). Parametry ventilace byly většinou s dechovým objemem 7 ml/kg, dechovou frekvencí 12-16/min, poměr inspiria a expiria 1:2 a tlak na konci výdechu 4 mmHg. Frakce inspirovaného kyslíku byla upravena tak, aby saturace periferní žilní krve byla nad 94%. Pokud byla ventilace po zavedení pomůcky vyhodnocena jako nedostatečná byla pomůcka extrahována a učiněn další pokus o její zavedení. Pokud dosáhl počet zavedení pět a ventilace pacienta přes aplikovou pomůcku nebyla dostatečná, byla provedena dohlížejícím lékařem jako záchranná technika tracheální intubace. U pomůcek, které měly nafukovací manžetu, byla tato manžeta nafouknuta objemem podle doporučení výrobce. Po změření času zavedení a nastavení parametrů ventilace provedl prohlížející lékař testy ověřující správnou polohu pomůcky v hypofaryngu, které ovšem nemají vliv na její funkci, pouze přispívají ke snížení množství komplikací po extrakci pomůcky. Těmito testy byl u PLMA, SLMA a i-gel "suprastenal notch" a "bubble test". Tyto testy mají za úkol odhalit, zda je pomůcka ve správné pozici respektive zda není její část, nejčastěji špička této pomůcky ohnuta a nevytváří tak zbytečně velký tlak na tkáň v hypofaryngu. Princip testu je jednoduchý, pokud je maska ve správné pozici, jsou průchodné oba dva tubusy (kanály). Průchodnost toho dýchacího je ověřena správnou a dostatečnou ventilací, nicméně pro zjištění průchodnosti toho gastrického je potřeba buď využít žaludeční sondu a její volné zavedení do tubusu nebo výše zmíněné testy, které spočívají v aplikaci gelu na zevní konec gastrického kanálu a zvětšení tlaku na distálním (vnitřním) konci kanálu např. stlačením jugula. To

vede k vytvoření bubliny vzduchu nebo pohybu gelu, který byl aplikován na druhém konci. Dohlížejícím lékařem byly po zavedení ještě zjišťovány těsnící tlak supraglotické pomůcky, usazení pomůcky podle polohy vchodu do laryngu a výstupu dýchacího tubusu a zjištěna snadnost zavedení pomůcky dle operátora. Důvodem k zjišťování těsnícího tlaku supraglotické pomůcky je fakt, že při znalosti velikosti těsnícího tlaku při tlakově řízené ventilaci můžeme s velkou jistotou tvrdit, že pokud nepřesáhneme během ventilace právě tento tlak, je použití pomůcky velice bezpečné, protože i v případě regurgitace žaludečního obsahu zůstanou oba trakty odděleny. Těsnící tlak manžety supraglotické pomůcky byl zjištěn poté, co byl uzavřen dýchací okruh (bezpečnostní tlaková chlopeč byla nastavena na hodnotu 40 cmH₂O) do kterého kontinuálně přitékala čerstvá směs plynů rychlostí 3 l/min. Při této konstantní malé rychlosti postupně stoupal tlak v systému do doby, než překonal těsnící tlak manžety supraglotické pomůcky, což bylo provázeno typickým zvukovým fenoménem a detekováno fonendoskopem umístěným na krku. Hodnocení polohy pomůcky pomocí fibrobronchoskopu bylo k hodnocení supraglotických pomůcek přidáno proto, že v současné době nepovažujeme zajištění dýchacích cest supraglotickými pomůckami jako definitivní. Jako definitivní zajištění dýchacích cest je dnes odbornou veřejností vnímána rourka s těsnící manžetou v trachei. Jako velmi efektivní se jeví možnost intubace trachey rourkou přes/skrz supraglotickou pomůcku. Aby toto bylo možné, je nutné, aby dýchacím tubusem tracheální rourka prošla a dále, aby vchod do laryngu byl v ideální pozici proti výstupu z dýchacího tubusu supraglotické pomůcky. V době přípravy této studie byly stále v oblibě při zajišťování dýchacích cest intubační laryngeální masky, které umožňovaly naslepo nebo za pomoci kamery intubaci přes pomůcku do trachey. Dnes se zdá, že úlohu intubačních laryngeálních masek postupně převzaly sofistikovanější videolaryngoskopy se kterými jde intubovat i při zachovalém dýchání a intubace přes supraglotickou pomůcku je spíše záložní postup při obtížné intubaci pacienta, kterého nelze snadno ventilovat obličejovou maskou. Nicméně spousta supraglotických pomůcek nemá po zavedení dýchací tubus v ideální pozici proti vstupu do hrtanu a zavedení tracheální rourky naslepo je nemožné. S rozšířením video a fibrooptické techniky na operační sály se výbornou alternativou pro fibrooptickou intubaci stala fibrooptická intubace přes supraglotickou pomůcku. Je to daleko snazší technika jak pro manipulaci s fibroskopem, tak pro zajištění adekvátní ventilace pacienta. Learning curve této metody je jednoznačně plošší než u fibrooptické intubace pacienta při vědomí. Jediný parametr, který musí případný uživatel této techniky znát a myslet na něj již při zavádění supraglotické pomůcky je, zda dýchacím tubusem projde zvolená tracheální rourka. Proto se stává velmi oblíbenou "back-up" technikou ve schématech obtížného zajištění dýchacích cest. Fibrooptické hodnocení polohy bylo čtyř stupňové, kde jako první stupeň jsme hodnotili pomůcky, kde jsme viděli celý vchod do hrtanu, ve druhém pouze arytenoidní řasy a nebo spodní část epiglottis, třetím stupněm tam, kde byla epiglottis vidět pouze horní část a čtvrtým stupněm jsme hodnotili obraz, kde nebylo možné identifikovat ani vchod do hrtanu ani epiglottis.

Snadnost zavedení pomůcky byl parametr čistě subjektivní, který měl sloužit jako pomocný v případě, že by některé pomůcky měly ostatní sledované parametry podobné. Bezprostředně po zavedení se dohlížející lékař zeptal osoby, která pomůcku zaváděla, aby na pěti stupňové škále

(podle Likerta) ohodnotila obtížnost zavedení. Číslo jedna na škále bylo velmi snadně, dvojka snadně, trojka ani snadně ani obtížně, čtyřka obtížně, pětka velmi obtížně. Posledním sledovaným parametrem byly komplikace typu krvácení/poranění dýchacích cest a regurgitace, které jsme zjišťovali inspekcí pomůcky po vytažení z dutiny ústní.

Dle dostupné literatury byla stanovena jako baseline úspěšnosti prvního pokusu zavedení supraglottické pomůcky 65% hranice (*Pournajafian a kol., 2015*), studie s i-gel (*Michalek a kol., 2013*) a SLMA potvrdily úspěšnost kolem 90% (*Ragazzi a kol., 2012*), proto jsme při odhadu potřebného počtu probandů vzali v úvahu 20% rozdíl úspěšnosti a kalkulace pro chybu prvního řádu 0,05% byla 90 probandů v každé větvi, vzhledem k rezervě při odpadu vyhodnocovaných protokolů jsme stanovili naše skupiny pro jednotlivé supraglottické pomůcky o velikosti 100 pacientů pro každou větev. Randomizačním freeware softwarem byla vytvořena řada 520 náhodných alokačních čísel, která byla zařazena do obálek. Všechna sebraná data byla hodnocena nezávislým statistikem. Soubory dat byly vyhodnoceny statistickými testy pro jejich distribuci a podle výsledků byly použity na hodnocení buď neparametrické testy (Kruskal-Wallis a Mann-Whitney U test) nebo Fisherův test v programu SPSS 13.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). Míra spolehlivosti hodnocení dat byla stanovena směrodatnou odchylkou p 0,05.

Z 520 randomizačních čísel bylo nakonec do studie zahrnuto 505 pacientů, z nichž 15 během analýzy vypadlo pro neúplnost protokolů. V demografických ukazatelích nebyly mezi skupinami rozdíly. Primárním cílem byl počet úspěšně zavedených pomůcek na první pokus. Nejvyšší procento správně zavedených pomůcek prvním pokusem bylo ve skupině Laryngeální masky Supreme (95.1%), následující je i-gel (87%), dále Laryngeální maska Proseal (84.2%), a LTS-D (77.5%). SLIPA měla nejnižší procento úspěšného prvního pokusu a to 66%.

Pomůcka	Zavedení na první pokus			
	Úspěšné (n)	Neúspěšné (n)	Celkem (n)	n %
Proseal LMA	85	16	101	84,2
Supreme LMA	97	5	102	95,1
i-gel	87	13	100	87
SLIPA	66	34	100	66
LTS-D	79	23	102	77,5

Tabulka 2a. Úspěšné zavedení pomůcky na první pokus, *n* – počet pomůcek, *n%* - procentuální vyjádření počtu úspěšně zavedených pomůcek

	PLMA versus SLMA	PLMA versus i-gel	PLMA versus SLIPA	PLMA versus LTS-D	SLMA versus i-gel	SLMA versus SLIPA	SLMA versus LTS-D	i-gel versus SLIPA	i-gel versus LTS-D	SLIPA versus LTS-D
<i>p</i>	0.012*	0.689	0.003*	0.285	0.081	0.0001*	0.0004*	0.0007*	0.098	0.086

Tabulka 2b. Úspěšné zavedení pomůcky na první pokus, * značí statisticky významný rozdíl

Sekundárními cíli výzkumu byly celkové procento úspěšně zavedených laryngeálních masek. SLMA (99%), PLMA (97%), i-gel (99%), LTS-D (93.1%) a SLIPA pouze (90%). Statisticky

významný byl pouze rozdíl mezi SLMA, PLMA, i-gel vs SLIPA. Nejkratší čas zavedení měla SLMA a i-gel s mediánem (70.4 ± 32.5 s) versus (74.4 ± 41.1 s). Nejvyšší těsnící tlaky dosahovali PLMA a LTS-D, těsnící tlaky ostatních pomůcek byly výrazně menší a mezi sebou srovnatelné.

Pomůcka	Čas zavedení (s, +/- SD)	Těsnící tlak (cmH₂O, +/- SD)
<i>Proseal LMA</i>	109,6 (61,5)	29,2 (6,8)
<i>Supreme LMA</i>	70,4 (32,5)	24,8 (6,1)
<i>i-gel</i>	74,4 (41,1)	25,3 (6,9)
<i>SLIPA</i>	98,5 (59)	23,7 (6,1)
<i>LTS-D</i>	107,3 (67,9)	29,5 (8,9)

Tabulka 3. Časy zavedení jednotlivých pomůcek uvedené v sekundách, těsnící tlak manžety jednotlivých pomůcek uvedený v cmH₂O, SD – směrodatná odchylka

Nejlepší pozici vůči hrtanu zaujímala maska i-gel, nejhůře na tom byla potom LTS-D, kde jistě bylo i limitem hodnocení vyústění dýchacího tubusu, neb ten končil čtyřmi malými otvory, které často směřovaly do tkání hypofaryngu laterálně od vchodu do laryngu. Nejsnazší na zavedení byla SLMA nejhůře hodnocené byly SLIPA a LTS-D. Míra perioperačních komplikací jednotlivých pomůcek byla velmi nízká. Pouze 18 pacientů (3,8%) mělo krvácející poranění horních cest dýchacích, nejvíce ve větvi, kde jsme zaváděli SLIPu (10 probandů). Pouze jeden pacient prokazatelně regurgitoval přes gastrický kanál (PLMA) nicméně neaspiroval žaludeční tekutinu.

Tato studie srovnávala užití pěti rozdílných supraglotických pomůcek v zajištění dýchacích cest v mimořádných podmínkách velmi nezkušenými operátory, aby mohla zodpovědět na otázku, jaká pomůcka je pro zajištění průchodnosti dýchacích cest v poli nejvhodnější. Hlavním zjištěním bylo, že nejvhodnější pomůckou jsou laryngeální maska Supreme a i-gel - vykazují jak největší procento úspěšnosti prvního pokusu, tak celkové a nejrychlejší čas zavedení. Jejich těsnící tlaky jsou srovnatelné. SLMA je hodnocena operátory jako lépe zaveditelná, nicméně při porovnání s i-gel to není statisticky významné. PLMA má celkem přijatelné výsledky v časech, spolehlivosti a těsnosti. Nicméně má několik parametrů, které ji pro použití v poli znevýhodňují. Hůře se zavádí, zavedení je delší a hlavně není na jednorázové použití, což pro použití v polních podmínkách je značně nevýhodné.

Pokud srovnáme výsledky naší práce s dostupnými pracemi o supraglotických pomůckách respektive s pracemi srovnávající jednotlivé pomůcky mezi sebou nepotvrdily naše data výraznou superioritu SLMA proti i-gel u nezkušených operátorů (*An a kol., 2017, Chloros a kol., 2014*). Práce má samozřejmě své limity. Největším limitem zůstává prostředí, protože zajištění dýchacích cest v polních podmínkách zůstává nadále velmi náročnou činností především pro svoje specifické podmínky. Nehostinnost okolního prostředí je hlavním limitem péče o poraněné (nepřítel,

nebezpečí pro záchránce, klimatické podmínky, světelné podmínky, zákaz používání bílého světla, nemožnost poraněného otočit do supinní polohy, nedostatečný trénink záchránců, různé vybavení a vzdělanost poskytovatelů péče, časté otevřené poranění obličeje a dýchacích cest...). Vše dohromady maximalizuje prožívaný stres, a tím sníží kognitivní a praktické výkony zachraňujících. Dalším limitací práce je samozřejmě technický pokrok, protože jistě již teď jsou na trhu nové produkty, které by stály za to, aby se srovnaly s těmi nejlepšími z této skupiny a budou dále přibývat. Závěrem lze říci, že nejvhodnějšími pomůckami k zajištění dýchacích cest v poli málo zkušenými záchránci jsou Laryngeální maska Supreme a i-gel.

Clinical Study

Comparison of Five 2nd-Generation Supraglottic Airway Devices for Airway Management Performed by Novice Military Operators

Tomas Henlin,¹ Michal Sotak,¹ Petr Kovaricek,¹ Tomas Tyll,¹
Lukas Balcarek,¹ and Pavel Michalek^{2,3}

¹Department of Anesthesia and Intensive Medicine, 1st Medical Faculty and University Military Hospital, U Vojenske Nemocnice 1, 169 02 Prague, Czech Republic

²Department of Anesthesia and Intensive Medicine, 1st Medical Faculty and General University Hospital, U Nemocnice 2, 128 08 Prague, Czech Republic

³University of East Anglia, Norwich Research Park, Norwich NR4 7TJ, UK

Correspondence should be addressed to Tomas Henlin; henlitom@yahoo.co.uk

Received 23 March 2015; Revised 25 June 2015; Accepted 12 July 2015

Academic Editor: Hideo Inaba

Copyright © 2015 Tomas Henlin et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Objectives. Five different second-generation supraglottic airway devices, ProSeal LMA, Supreme LMA, i-gel, SLIPA, and Laryngeal Tube Suction-D, were studied. Operators were inexperienced users with a military background, combat lifesavers, nurses, and physicians. **Methods.** This was a prospective, randomized, single-blinded study. Devices were inserted in the operating room in low light conditions after induction of general anesthesia. Primary outcome was successful insertion on the first attempt while secondary aims were insertion time, number of attempts, oropharyngeal seal pressure, ease of insertion, fibre optic position of device, efficacy of ventilation, and intraoperative trauma or regurgitation of gastric contents. **Results.** In total, 505 patients were studied. First-attempt insertion success rate was higher in the Supreme LMA (96%), i-gel (87.9%), and ProSeal LMA (85.9%) groups than in the Laryngeal Tube Suction-D (80.6%) and SLIPA (69.4%) groups. Insertion time was shortest in the Supreme LMA (70.4 ± 32.5 s) and i-gel (74.4 ± 41.1 s) groups ($p < 0.001$). Oropharyngeal seal pressures were higher in the Laryngeal Tube Suction-D and ProSeal LMA groups than in other three devices. **Conclusions.** Most study parameters for the Supreme LMA and i-gel were found to be superior to the other three tested supraglottic airway devices when inserted by novice military operators.

1. Introduction

Combat lifesavers in the Czech Army have already been trained for several years in easy and effective airway management during practicing medicine in the field. Generally, the algorithms of the Tactical Combat Casualty Care (TCCC) are applied [1]. The role of supraglottic airway devices (SADs) in these recommendations is not completely clear. As is well known from civilian prehospital medicine, tracheal intubation is a relatively complicated and risky procedure in the hands of nonanesthetic personnel such as paramedics [2, 3]. Similar conditions apply for combat lifesavers (CLS). SADs may provide a more patent airway than the nasopharyngeal airways currently recommended by the TCCC; however,

they can be used only if they are tolerated such as in severely injured unconscious victims. In 2012, supraglottic airway devices were recommended for consideration in the TCCC [4]. Following a literature search, there currently is no comparison of currently available SADs which has been published for their use in military medicine. Theoretically, those SADs which can drain gastric contents using a separate channel or those with other aspiration protection mechanisms (compartment for storage of gastric contents), classified as 2nd-generation SADs, are more advantageous in prehospital medicine (with nonfasted patients) than the more simple 1st-generation devices, which do not possess any protective mechanism against aspiration [5]. Therefore we aimed to compare five different SADs with a protection

TABLE 1: Main features of tested supraglottic airway devices.

Device	Sealing site	Sealing mechanism	Aspiration protection	Disposable version	Conduit for intubation	Pediatric sizes
ProSeal LMA	Perilaryngeal	Inflatable cuff	H/obstruction, drainage	No	No	Yes
Supreme LMA	Perilaryngeal	Inflatable cuff	H/obstruction, drainage	Yes	No	Yes
i-gel	Perilaryngeal	Wedged sealing	H/obstruction, drainage	Yes	Yes	Yes
SLIPA	Base of tongue	Wedged sealing	Storage, H/obstruction	Yes	No	No
LTS-D	Base of tongue	Inflatable cuff	D/obstruction, drainage	Yes	No	Yes

H/obstruction: high esophageal obstruction, D/obstruction: deep esophageal obstruction.

mechanism against aspiration, ProSeal laryngeal mask airway (PLMA) [6], Supreme laryngeal mask airway (SLMA) [7], i-gel [8, 9], Streamlined Liner of the Pharyngeal Airway (SLIPA) [10], and Laryngeal Tube Suction-D (LTS-D) [11], in the settings of prospective randomized trial in simulated low light conditions performed by inexperienced military operators.

2. Methods

2.1. Study Design. This study was designed as randomized, prospective, and single-blinded (patient side). Ethical approval was obtained from the Local Ethical Committee (IRB), number 80-76/39-2012-UVN. The research was performed in full accordance with the Helsinki Declaration and the study was registered with a public database (R&D IS of the Czech Republic).

2.2. Study Setting and Population. All patients scheduled for elective procedures under general anesthesia during the study period and meeting the inclusion criteria were invited to participate in this study. The study setting was University Military Hospital in Prague, Czech Republic. Approximately 10 000 procedures under general anesthesia are performed in this hospital annually. The study period lasted from August 2012 till December 2013.

2.3. Study Protocol. All patients received the Study Information Pack and had the opportunity to discuss their participation with the researchers in advance. The inclusion criteria were elective surgery with an indication for an SAD insertion, age more than 18 years, and procedures with an expected duration of less than 2 hours. Exclusion criteria were increased risk of aspiration of gastric contents, emergency procedures, operations with an expected duration of more than 2 hours, obesity ($BMI > 40 \text{ kg/m}^2$), history or prediction of difficult laryngoscopy, pregnancy, and edentulous subjects. The randomization process was performed using a randomization list created with the freeware <http://www.psychicscience.org/> and patients were randomized after signing the informed consent with the code provided in sealed envelopes. The following SADs were used in patients, ProSeal laryngeal mask airway (Laryngeal Mask Company Ltd., Mahé, Seychelles), Supreme laryngeal mask airway (Laryngeal Mask Company Ltd., Mahé, Seychelles), i-gel (Intersurgical Ltd., Maidenhead, UK), Streamlined Liner

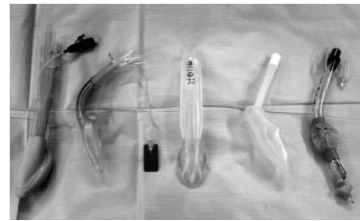


FIGURE 1: SADs used in the study. From the left: ProSeal LMA (PLMA), Supreme LMA (SLMA), i-gel, SLIPA, and LTS-D.

of the Pharyngeal Airway (SLIPA) (Curveair Ltd., London, UK), and Laryngeal Tube Suction-D (VBM Medical, Sulz, Germany) (Figure 1), known as King LTS-D device in the United States. The main features of these SADs are highlighted in Table 1.

The primary outcome of the study was to evaluate the first-attempt insertion success rates of the devices and compare these between the groups. Secondary outcomes were evaluated as follows: time needed for successful insertion, number of insertion attempts, oropharyngeal seal pressure (OSP), ease of insertion, fibre optic check of the vocal cords through the devices, and presence of perioperative oropharyngeal trauma or gastric content aspiration/regurgitation. etCO_2 was controlled at 1, 5, and 10 minutes after insertion as a marker of efficient ventilation.

2.4. Anesthesia. All patients were premedicated using oral midazolam at a dose of 7.5 mg prior to surgery. Induction of general anesthesia was performed without the use of artificial light in gloomy conditions (Figure 2), using propofol ($2\text{--}2.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) and a continuous infusion of remifentanyl ($1\text{--}2 \text{ mcg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) until the loss of verbal contact and eyelash reflexes. Anesthesia was maintained using isoflurane in an air: oxygen mixture whereas analgesia was maintained with a continuous infusion of remifentanyl at a rate of $0.2\text{--}1.0 \text{ mcg}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$. No muscle relaxants were given as part of the study protocol.

2.5. Airway Management. SADs were inserted only by inexperienced operators working or undergoing training in a military hospital. They were defined as users who have not inserted an SAD more than five times in real patients. The operators included combat lifesavers, military paramedics,



FIGURE 2: Conditions in the operating room without (a) and with (b) an artificial light.

nurses, surgical scrub nurses, or junior doctors at the beginning of their training. All participants were employed by the Czech Army and completed Basic Airway Skills Course according to their job competencies. The course agenda included bag-mask ventilation, insertion of oral/nasal airways, insertion of supraglottic airway devices, tracheal intubation, and surgical cricothyrotomy. Majority of training is performed on manikins or simulators. In regard of SADs all novice operators observed instructive insertion of these devices, had opportunity to insert them on manikins, and were apprized of each SAD prior to its insertion. A consultant anesthesiologist was always present in order to deal with failures or complications. The consultant performed a short presentation about the SAD to the operator prior to insertion, explaining its preparation, lubrication of the device, insertion technique, fixation, and evaluation of its efficacy. Size of the devices was selected according to the weight of patients and manufacturer recommendations. Level of consciousness was evaluated in all patients after induction of general anesthesia using the AVPU score and Glasgow Coma Scale. The devices were inserted only in patients who did not react to painful stimulus, forced jaw thrust. Failure to effectively insert an SAD was defined as impossibility to achieve tidal volumes of $4 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$ and to eliminate CO_2 (etCO_2 over 6.5 kPa) at 10 minutes despite repeated insertion attempts. If the operator was not able to achieve successful ventilation on five insertion attempts, tracheal intubation was performed as a rescue procedure by a supervising consultant. Insertion time was defined as time needed for SAD preparation (removal from the package, lubrication), its insertion, cuff inflation (if applicable), and confirmation of effective ventilation with a visible etCO_2 tracking on the monitor and this started immediately after finishing initial bag-mask ventilation. The cuffs of inflatable devices (PLMA, SLMA, and LTS-D) were inflated according to the manufacturer recommendations. Correct position of PLMA, SLMA, and i-gel was also confirmed using “suprasternal notch” and “bubble” tests. Patients were artificially ventilated using pressure control ventilation (PCV mode) with a target tidal volume of $7 \text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}$. Other parameters of ventilation were respiratory rate 12–16 per minute, inspiration/expiration ratio 1:2, and PEEP $4 \text{ cm H}_2\text{O}$. End-tidal CO_2 level was maintained between 4.7 and 5.3 kPa . An airway leak test was

performed at 5 min after insertion; pressure limit was set to $40 \text{ cm H}_2\text{O}$, the APL valve was fully closed, and air flow was set to $3 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. Oropharyngeal seal pressure (leak pressure) was defined as the pressure inside the system when the first sounds were audible above the larynx using a stethoscope [12].

2.6. Fibre Optic Evaluation. Fibre optic check of the SAD position was performed through the device using a flexible fibroscope. The following scoring system was used: (1) full view of glottis, (2) vocal cords, arytenoids, and inferior surface of epiglottis visible, (3) only superior surface of epiglottis visible, and (4) no part of epiglottis or larynx visible [13].

2.7. Ease of Insertion. This was a subjective evaluation performed by the operator, for which a five-point Likert scale was used ((1) very easy insertion, (2) easy insertion, (3) neither easy nor difficult insertion, (4) difficult insertion, and (5) very difficult insertion).

2.8. Airway Complications. The devices were carefully examined after removal for any signs of blood or gastric fluid. The oral cavity of patients was evaluated for bleeding or signs of regurgitation after removal of the SAD. Postoperative complaints were not evaluated.

2.9. Sample Size and Data Analysis. The sample size was calculated for an alpha-error of 0.05 and a power of 80% (beta-error of 0.2) to detect a 20% difference in insertion success rate on the first attempt. 65% success rate was considered as a baseline according to the study of Ragazzi et al. [14]. It was calculated that a minimum of ninety patients in each group should be enrolled. We have chosen to include at least one hundred patients in each group in order to compensate for patients lost to follow-up. In total 520 allocations were created using randomization freeware. Statistical analysis was performed by an independent consultant statistician. All data were first tested for their normal distribution using the Shapiro-Wilk test of normality. According to the data distribution, nonparametric (Kruskal-Wallis and Mann-Whitney tests) or Fisher’s exact tests were employed. SPSS 13.0 (SPSS Inc., Chicago, IL) statistical software was used

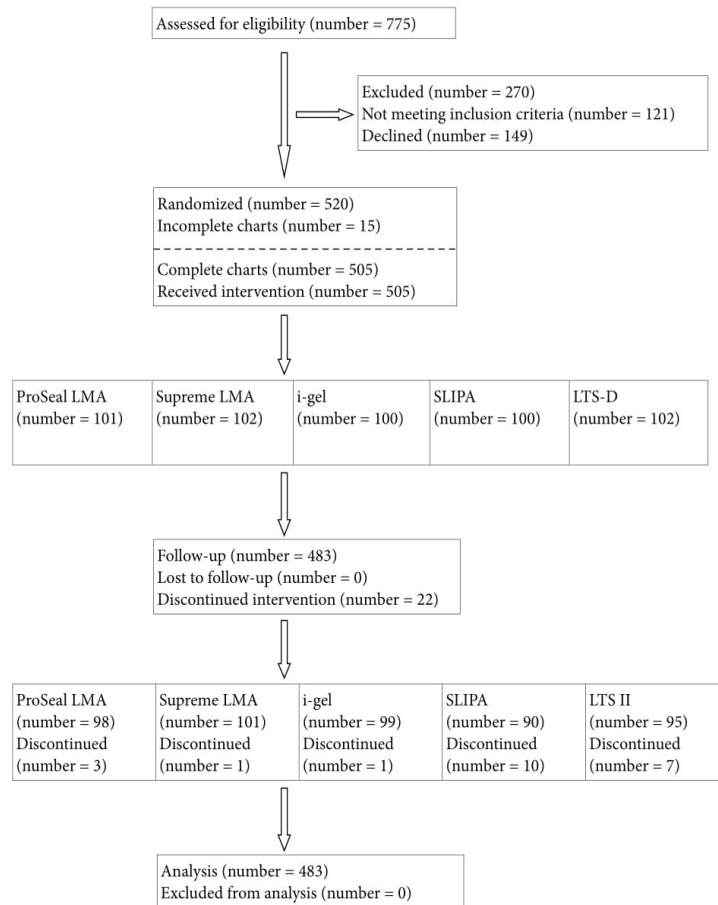


FIGURE 3: CONSORT 2010 flow diagram of the study.

for data analysis. p values less than 0.05 were considered as significant.

3. Results

3.1. Sample. In total 520 randomization codes were created and finally 505 patients were included in the study. Fifteen patients dropped out during the study period or their charts were incomplete. Figure 3 demonstrates flow of the study. There were no statistical differences in demographic parameters between the groups.

3.2. Primary Outcome. Insertion success rate on the first attempt varied between the devices (Table 2). These success rates were highest in the SLMA group (95.1%), followed by i-gel (87%), PLMA (84.2%), and LTS-D (77.5%). SLIPA demonstrated the lowest first-attempt insertion success rate at 66%. First-attempt insertion success rate of the SLMA was significantly higher than in the PLMA ($p = 0.012$), SLIPA

($p = 0.0001$), or LTS-D ($p = 0.0004$) groups. Similarly, both PLMA and i-gel showed higher insertion success rate on the first attempt than SLIPA device ($p = 0.003$ and $p = 0.0007$, resp.).

3.3. Secondary Outcomes. The total insertion success rate was similarly high for the SLMA (99%), PLMA (97%), and i-gel (99%), whereas the LTS-D (93.1%) and SLIPA (90%) showed slightly lower numbers. However, statistically significant difference was achieved only between SLMA and SLIPA ($p = 0.005$), i-gel and SLIPA ($p = 0.01$), and PLMA and SLIPA ($p = 0.049$), respectively.

Time for successful insertion was shortest in the SLMA (70.4 ± 32.5 s) and i-gel (74.4 ± 41.1 s) groups in comparison with the other three devices (Table 3). Insertion of the PLMA, SLIPA, and LTS-D was significantly prolonged ($p < 0.001$) when compared with the SLMA and i-gel. The highest oropharyngeal seal pressures were achieved with the PLMA

TABLE 2: Insertion success rates on the first attempt.

(a)									
Device		First-attempt success rate							
	Successful	Unsuccessful	Total	(%)					
PLMA	85	16	101	84.2					
SLMA	97	5	102	95.1					
i-gel	87	13	100	87.0					
SLIPA	66	34	100	66.0					
LTS-D	79	23	102	77.5					

(b)										
	PLMA versus SLMA	PLMA versus i-gel	PLMA versus SLIPA	PLMA versus LTS-D	SLMA versus i-gel	SLMA versus SLIPA	SLMA versus LTS-D	i-gel versus SLIPA	i-gel versus LTS-D	SLIPA versus LTS-D
<i>p</i>	0.012*	0.689	0.003*	0.285	0.081	0.0001*	0.0004*	0.0007*	0.098	0.086

Differences marked with (*) are statistically significant.

TABLE 3: Insertion times and oropharyngeal seal pressures (OSP).

Device	Insertion time (s, ±SD)	Oropharyngeal seal pressure (cm H ₂ O, ±SD)
PLMA	109.6 (61.5)	29.2 (6.8)
SLMA	70.4 (32.5)	24.8 (6.1)
i-gel	74.4 (41.1)	25.3 (6.9)
SLIPA	98.5 (59)	23.7 (6.1)
LTS-D	107.3 (67.9)	29.5 (8.9)

Insertion time:
 SLMA versus PLMA, SLMA versus SLIPA, and SLMA versus LTS-D: *p* = 0.001.
 i-gel versus PLMA, i-gel versus LTS-D: *p* = 0.001, and i-gel versus SLIPA: *p* = 0.01.
 Oropharyngeal seal pressures:
 PLMA versus SLMA, PLMA versus i-gel, and PLMA versus SLIPA: *p* = 0.001.
 LTS-D versus SLMA, LTS-D versus i-gel, and LTS-D versus SLIPA: *p* = 0.001.

and LTS-D devices. The remaining three devices exhibited significantly lower seal pressures: *p* < 0.001 (Table 3).

Best view of the glottis, as confirmed by fibre optic evaluation, was achieved with the i-gel airway (88.7% of grade 1 or 2) while this was lowest in the LTS-D group (only 62.2% of grade 1 or 2): *p* < 0.001. Significant differences in the view of the glottis were also found between the i-gel and SLMA (*p* < 0.05) or SLIPA (*p* < 0.05) (Table 4). Fibre optic evaluation was performed in 465 patients (96.3%); the remaining 18 devices were not assessed due to unavailability of the fibrescope. The efficacy of ventilation was evaluated as better in the PLMA, SLMA, and i-gel groups as compared with the remaining two devices (*p* < 0.05).

Regarding ease of insertion, the participants reported that the SLMA was the easiest device to insert, 62% very easy and 31% easy, while the LTS-D and SLIPA were most difficult to introduce, less than 50% of very easy or easy insertions (Table 5).

TABLE 4: Coverage of the glottic opening (fibre optic assessment).

Device	Fibre optic assessment			
	1	2	3	4
PLMA	60 (64.5%)	14 (15.1%)	16 (17.2%)	3 (3.2%)
SLMA	53 (54.1%)	19 (19.4%)	22 (22.4%)	4 (4.1%)
i-gel	70 (72.2%)	16 (16.5%)	10 (10.3%)	1 (1%)
SLIPA	48 (58.5%)	9 (11%)	20 (24.4%)	5 (6.1%)
LTS-D	39 (41.1%)	20 (21.1%)	13 (13.7%)	23 (24.2%)

PLMA versus LTS-D: *p* = 0.001.
 i-gel versus SLMA: *p* = 0.05, i-gel versus SLIPA: *p* = 0.05, and i-gel versus LTS-D: *p* = 0.001.
 SLMA versus LTS-D: *p* = 0.001.
 SLIPA versus LTS-D: *p* = 0.001.

TABLE 5: Ease of insertion (1: very easy, 2: easy, 3: neither easy nor difficult, 4: difficult, and 5: very difficult).

Device	Ease of insertion				
	1	2	3	4	5
PLMA	34.3%	44.4%	15.2%	5.1%	1%
SLMA	61.4%	30.7%	7.9%	0%	0%
i-gel	37.4%	48.5%	6.1%	6.1%	2%
SLIPA	7.1%	38.8%	24.5%	17.3%	12.2%
LTS-D	16.3%	43.9%	23.5%	13.3%	3.1%

SLMA versus PLMA, SLMA versus SLIPA, and SLMA versus LTS-D: *p* = 0.001, and SLMA versus i-gel: *p* = 0.01.
 PLMA versus SLIPA: *p* = 0.001, PLMA versus LTS-D: *p* = 0.05.
 i-gel versus SLIPA, i-gel versus LTS-D: *p* = 0.001, and SLIPA versus LTS-D: *p* = 0.05.

Perioperative complications such as blood on the device on removal or regurgitation/aspiration of gastric contents occurred only in 18 patients (3.8%). Blood on the device after removal was found in one patient in the PLMA (1%), SLMA (1%), and i-gel (1%) groups, in five patients managed with the LTS-D (4.9%), and in ten patients in the SLIPA group (10%). One patient significantly regurgitated through the gastric lumen of the PLMA but did not aspirate. Insertion

of the i-gel was associated with one case of soft palate trauma which presented as minor bleed lasting for four hours. There was no significant difference between the PLMA, SLMA, i-gel, and LTS-D groups in the incidence of blood traces on the device. SLIPA was associated with significantly higher airway morbidity than PLMA, SLMA, and i-gel ($p = 0.005$).

4. Discussion

This study compared the performance of five different supraglottic airway devices with an additional mechanism for drainage/storage of gastric contents (2nd-generation SADs) in simulated field scenario when all devices were inserted by nonexperienced military personnel. The main findings are that the most suitable devices for use in this scenario are the Supreme LMA and i-gel airway and that the LTS-D and SLIPA have less favorable insertion parameters as well as other features. Important parameters for use in the field are the insertion success rate and speed of insertion. Both the SLMA and i-gel airway not only showed a high first-attempt insertion success rate and faster insertion times than other SADs but also were evaluated by the participants as most "easy to insert." PLMA has a reasonable insertion profile but it possesses significant disadvantage compared to the other studied devices. The device is not available as a disposable version and the use of reusable device in the field is difficult. The i-gel may offer another potential advantage against the rest of these SADs. It can be used as a conduit for a tracheal tube placement such as with an intubating LMA [15].

The results of our study may be compared with other evidence related to 2nd-generation SADs. Ragazzi et al. compared insertion success rates and other parameters between the SLMA and i-gel when inserted by novice operators [14]. They found a significantly higher first-attempt insertion success rate in the SLMA group as well as a shorter insertion time and higher oropharyngeal seal pressures. They recommended the SLMA as the first-choice device in emergency situations. SLMA also showed faster insertion times than the classical LMA during a simulated CPR scenario [16]. Our results did not confirm this superiority of the SLMA over the i-gel, which is similar to the results of another study comparing these two devices in gynecological laparoscopies [17]. There is no data available comparing the LTS-D device with other supraglottic airways inserted by novices. One case series considered the LTS-D as a promising device for out-of-hospital emergency management when the operators were inexperienced in tracheal intubation [11]. These same authors reported a 96.8% total success rate when using this device in the prehospital setting, with a first-attempt insertion success rate of 78.3% [18]. LTS II showed significantly lower first-attempt success rate than the ProSeal LMA in anesthetized and paralyzed patients [19]. A manikin study compared performance and skill retention of airway management using various supraglottic airway devices versus tracheal intubation [20]. The novice operators showed better performance and retention of insertion skills at 3 months with the i-gel, laryngeal tube device (LT-D) than with the tracheal intubation. However, the results of manikin studies cannot be extrapolated to humans because they do not accurately reflect human anatomy.

SLIPA showed similar insertion parameters when inserted by inexperienced operators to the 1st-generation SADs [21]. However, in another study, the SLIPA showed a significantly lower insertion success rate on the first attempt than those for the PLMA [22].

ERC guidelines [23] recommend that airway should be secured within 30 sec but this interval would be probably significantly longer in the field due to various factors such as single-handed lifesaver, difficult combat conditions, ban on the using of artificial light, or other unpredictable factors.

5. Limitations

This study has several limitations related mainly to its emphasis on military medicine. Simulated conditions differ significantly from real situations in the field. Field conditions are very stressful for military paramedics, unconscious victims may struggle, and there is often orofacial or neck trauma with bleeding present, causing airway management to be more difficult. The victims are also often found in various positions although they are subsequently moved to supine position for airway management procedures.

Furthermore other factors such as light conditions, neck immobilization, quality of training, or device insertion technique affect success rate significantly in out-of-hospital scenarios. Gastric tubes were also not inserted through the devices to drain gastric contents. We have decided against their insertion because one of the devices (SLIPA) does not allow gastric tube insertion and also because gastric tubes are not part of the emergency equipment carried by combat lifesavers. We also allowed participants to perform more than usual three attempts on the placement of device. Other limitations of the study include that postoperative airway morbidity and other patient complaints were not assessed. However, there has been no study to date published comparing these 2nd-generation supraglottic airway devices, with supposed lower incidence of gastric content aspiration in relation to airway management in the field, and the results of this study could become a starting point for further research projects evaluating the role of these devices in military medicine. Finally, few new devices, such as the 3gLM airway [24] or CPV Guardian Laryngeal Mask [25], have been invented in the last years and they may be used for similar comparative studies in the future.

6. Conclusions

The Supreme LMA and i-gel supraglottic airway seem to be the most convenient of the 2nd-generation supraglottic airway devices for insertion by relatively inexperienced military healthcare providers in a simulated low light scenario. Other devices tested showed either lower success rates of insertion or a significantly longer insertion time.

Abbreviations

APL valve: Adjustable pressure limiting valve
 BMI: Body mass index
 CLS: Combat lifesaver

CPR: Cardiopulmonary resuscitation
 ERC: European Resuscitation Council
 etCO₂: End-tidal carbon dioxide
 GCS: Glasgow Coma Scale
 LTS-D: Laryngeal Tube Suction-Disposable
 OSP: Oropharyngeal seal pressure
 PCV: Pressure controlled ventilation
 PEEP: Positive end-expiratory pressure
 PLMA: ProSeal laryngeal mask airway
 SAD: Supraglottic airway device
 SLIPA: Streamlined Liner of the Pharyngeal Airway
 SLMA: Supreme laryngeal mask airway
 TCCC: Tactical Combat Casualty Care.

Disclosure

Pavel Michalek has lectured for several companies manufacturing supraglottic airway devices including Intersurgical Ltd., AMBU Ltd., and Intavent Orthofix Ltd. This study was presented as a free paper on the LIVES 2014, ESICM's 27th Annual Congress, Barcelona, Spain, 29 September 2014.

Conflict of Interests

Tomas Henlin, Michal Sotak, Petr Kovaricek, Tomas Tyll, and Lukas Balcarek declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

Acknowledgments

This study was funded by a grant from the Czech Ministry of Defense, Project no. OFUVN20110001. The authors would like to thank Dr. William Donaldson for language editing of the paper and Alena Dohnalova for her statistical advice.

References

- [1] F. K. Butler Jr. and L. H. Blackburne, "Battlefield trauma care then and now: a decade of Tactical Combat Casualty Care," *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, vol. 73, no. 6, supplement 5, pp. S395-S402, 2012.
- [2] T. Henlin, P. Michalek, T. Tyll, J. D. Hinds, and M. Dobias, "Oxygenation, ventilation, and airway management in out-of-hospital cardiac arrest: a review," *BioMed Research International*, vol. 2014, Article ID 376871, 11 pages, 2014.
- [3] X. Combes, P. Jabre, C. Jbeili et al., "Prehospital standardization of medical airway management: incidence and risk factors of difficult airway," *Academic Emergency Medicine*, vol. 13, no. 8, pp. 828-834, 2006.
- [4] M. Otten, "Proposed change: supraglottic airways CoTCCC recommendation paper," *Journal of Special Operations Medicine*, vol. 13, no. 1, pp. 77-85, 2013.
- [5] T. M. Cook, N. Woodall, and C. Frerk, "Major complications of airway management in the UK: results of the Fourth National Audit Project of the Royal College of Anaesthetists and the Difficult Airway Society. Part 1: anaesthesia," *British Journal of Anaesthesia*, vol. 106, no. 5, pp. 617-631, 2011.
- [6] A. Coulson, J. Brimacombe, C. Keller et al., "A comparison of the ProSeal and classic laryngeal mask airways for airway management by inexperienced personnel after manikin-only training," *Anaesthesia and Intensive Care*, vol. 31, no. 3, pp. 286-289, 2003.
- [7] B. W. Howes, N. M. Wharton, B. Gibbison, and T. M. Cook, "LMA Supreme™ insertion by novices in manikins and patients," *Anaesthesia*, vol. 65, no. 4, pp. 343-347, 2010.
- [8] W. Donaldson, A. Abraham, M. Deighan, and P. Michalek, "I-gel vs. AuraOnce laryngeal mask for general anaesthesia with controlled ventilation in paralyzed patients," *Biomedical Papers*, vol. 155, no. 2, pp. 155-164, 2011.
- [9] N. M. Wharton, B. Gibbison, D. A. Gabbott, G. M. Haslam, N. Muchatuta, and T. M. Cook, "I-gel insertion by novices in manikins and patients," *Anaesthesia*, vol. 63, no. 9, pp. 991-995, 2008.
- [10] D. M. Miller and D. Light, "Laboratory and clinical comparisons of the Streamlined Liner of the Pharynx Airway (SLIPA) with the laryngeal mask airway," *Anaesthesia*, vol. 58, no. 2, pp. 136-142, 2003.
- [11] R. Schalk, C. Byhahn, F. Fausel et al., "Out-of-hospital airway management by paramedics and emergency physicians using laryngeal tubes," *Resuscitation*, vol. 81, no. 3, pp. 323-326, 2010.
- [12] C. Keller, J. R. Brimacombe, K. Keller, and R. Morris, "Comparison of four methods for assessing airway sealing pressure with the laryngeal mask airway in adult patients," *British Journal of Anaesthesia*, vol. 82, no. 2, pp. 286-287, 1999.
- [13] A. Kapila, E. V. Addy, C. Verghese, and A. I. J. Brain, "The intubating laryngeal mask airway: an initial assessment of performance," *British Journal of Anaesthesia*, vol. 79, no. 6, pp. 710-713, 1997.
- [14] R. Ragazzi, L. Finessi, I. Farinelli, R. Alvisi, and C. A. Volta, "LMA Supreme vs i-gel—a comparison of insertion success in novices," *Anaesthesia*, vol. 67, no. 4, pp. 384-388, 2012.
- [15] P. Michalek, P. Hodgkinson, and W. Donaldson, "Fiberoptic intubation through an i-gel supraglottic airway in two patients with predicted difficult airway and intellectual disability," *Anesthesia & Analgesia*, vol. 106, no. 5, pp. 1501-1504, 2008.
- [16] T. Chloros, T. Xanthos, N. Iacovidou, and E. Bassiakou, "Supreme laryngeal mask airway achieves faster insertion times than classic LMA during chest compressions in manikins," *The American Journal of Emergency Medicine*, vol. 32, no. 2, pp. 156-159, 2014.
- [17] W. H. L. Teoh, K. M. Lee, T. Suhitharan, Z. Yahaya, M. M. Teo, and A. T. H. Sia, "Comparison of the LMA Supreme vs the i-gel in paralysed patients undergoing gynaecological laparoscopic surgery with controlled ventilation," *Anaesthesia*, vol. 65, no. 12, pp. 1173-1179, 2010.
- [18] R. Schalk, D. Meininger, M. Ruesseler et al., "Emergency airway management in trauma patients using laryngeal tube suction," *Prehospital Emergency Care*, vol. 15, no. 3, pp. 347-350, 2011.
- [19] T. Kikuchi, Y. Kamiya, T. Ohtsuka, T. Miki, and T. Goto, "Randomized prospective study comparing the laryngeal tube suction II with the proSeal laryngeal mask airway in anesthetized and paralyzed patients," *Anesthesiology*, vol. 109, no. 1, pp. 54-60, 2008.
- [20] K. Ruetzler, B. Roessler, L. Potura et al., "Performance and skill retention of intubation by paramedics using seven different airway devices—a manikin study," *Resuscitation*, vol. 82, no. 5, pp. 593-597, 2011.
- [21] S.-K. Oh, B. G. Lim, H. Kim, and S. H. Lim, "Comparison of the clinical effectiveness between the streamlined liner of pharyngeal airway (SLIPA) and the laryngeal mask airway by

- novice personnel," *Korean Journal of Anesthesiology*, vol. 63, no. 2, pp. 136–141, 2012.
- [22] Y. M. Choi, S. M. Cha, H. Kang et al., "The clinical effectiveness of the streamlined liner of the pharyngeal airway (SLIPA) compared with the laryngeal mask ProSeal during general anesthesia," *Korean Journal of Anesthesiology*, vol. 58, no. 5, pp. 450–457, 2010.
- [23] J. P. Nolan, J. Soar, D. A. Zideman et al., "European Resuscitation Council guidelines for resuscitation 2010. Section 1—executive summary," *Resuscitation*, vol. 81, no. 10, pp. 1219–1276, 2010.
- [24] P. Michalek, B. Jindrova, P. Kriz, M. Stritesky, and M. Sedlar, "A pilot evaluation of the 3gLM-R—a new supraglottic airway device," *Advances in Medical Sciences*, vol. 60, no. 2, pp. 186–190, 2015.
- [25] W. Tiefenthaler, S. Eschertzhuber, J. Brimacombe, E. Fricke, C. Keller, and M. Kaufmann, "A randomised, non-crossover study of the GuardianCPV mask versus the LMA Supreme in paralysed, anaesthetised female patients," *Anaesthesia*, vol. 68, no. 6, pp. 600–604, 2013.

Přenosné videolaryngoskopy pro přístup do trachey v terénu

Videolaryngoskopie je v současnosti metodou používanou často k vizualizaci vchodu do hrtanu a k tracheální intubaci pro úvod do anestezie nebo intubaci pacienta na JIP nebo urgentních příjmech (Brožek a Michálek, 2018). Původní videolaryngoskopy, jako je Glidescope nebo Storz C-MAC byly spojeny kabelem s velkým monitorem a nebyly dobře použitelné pro práci mimo nemocnici ani v civilní, ani ve válečné medicíně (Sun a kol., 2005; Xue a kol., 2017).

Snaha o rozšíření videolaryngoskopie mimo operační sály vedla k vývoji přenosných a miniaturizovaných systémů, kdy obrazovka videolaryngoskopu byla vestavěna přímo do jeho rukojeti nebo bylo možné místo obrazovky použít vlastní smartphone, chytrý mobilní telefon (Gomez-Rios a kol., 2016).

V roce 2011 vyvinul a zavedl do klinické praxe přenosný videolaryngoskop Airtraq španělský anesteziolog Pedro Acha, a ten byl brzy používán i k tracheální intubaci mimo nemocnici (Saracoglu a kol., 2013). Dalším přenosným videolaryngoskopem byl Glidescope Ranger, který byl opakovaně testován v přednemocniční péči, především u traumat. Jeho použití bylo spojeno s určitými komplikacemi, především obtížným zavedením tracheální kanyly do průdušnice i při dobré vizualizaci hlasových vazů a také s obstrukcí kamery hlenem, slinami nebo krví (Trimmel a kol., 2016). Nicméně Glidescope Ranger byl používán i ve válečné medicíně anesteziology v polních nemocnicích. Dalšími přenosnými laryngoskopy byly Pentax AWS (Hoshijima a kol., 2014), McGrathův laryngoskop, série 3 a 5 (Liu a kol., 2016) a King Vision videolaryngoskop (Alvis a kol., 2016; Votruba a kol., 2020). První z nich je široce používán ve Velké Británii, zatímco King Vision především ve Spojených státech amerických, včetně přednemocniční péče a medicíny katastrof (Jarvis a kol., 2015).

Obecně lze videolaryngoskopické lžice rozdělit na ty se zaváděcím kanálem a lžice bez zaváděcího kanálu (Brožek a Michálek, 2018). V publikovaných pracích mají obvykle lžice se zaváděcím kanálem nižší úspěšnost tracheální intubace (Kleine-Brueggeneay a kol., 2016). Intubace lžicí se zaváděcím kanálem je teoreticky jednodušší, protože není nutnost zavedení speciálního zaváděče do endotracheální kanyly, jako tomu je u lžice bez zaváděcího kanálu.

Cílem naší práce, která se týkala použití videolaryngoskopů v urgentní i válečné medicíně bylo zjistit, jaký je rozdíl v tracheální intubaci u použití přenosného videolaryngoskopu King Vision s jednorázovou lžicí se zaváděcím kanálem versus s jednorázovou intubační lžicí bez zaváděcího kanálu. Intubující lékaři, v celkovém počtu 58, byli relativně nezkušení, jednalo se o anesteziology a intenzivisty v tréninku (v průběhu specializačního

vzdělávání). Tito lékaři po shlédnutí videoinstruktáže, seznámení s přístrojem a jedné zkoušce prováděli tracheální intubaci na figuríně (TruMan, Trucorp Ltd., Belfast, UK), za suboptimálních světelných podmínek, ležící na zemi a navíc se simulovaným traumatem krční páteře, sníženým otevřením úst díky aplikaci fixačního krčního límce (obr. 22).



Obr. 22. Intubační simulátor TruMan s vytvořením obtížných intubačních podmínek pomocí fixačního límce



Obr. 23. Lokalizace vchodu do hrtanu a intubace pomocí lžice bez zaváděcího kanálu

Sledovaným primárním cílem studie byl čas nutný k intubaci trachey. Sekundárními cíli studie byly celková úspěšnost tracheální intubace (maximum tři pokusy), počet pokusů, čas nutný k vizualizaci vchodu do hrtanu, kvalita zobrazení hlasových vazů pomocí POGO (“Percentage of Glottic Opening”) skóre a modifikovaného skóre podle Cormacka a Lehanea. Současně byl sledován i subjektivní dojem účastníka pomocí dotazníku. Sledovanými parametry byly kvalita zobrazení hlasových vazů a snadnost tracheální intubace na Likertově škále 1-5.

Nezbytný počet lékařů provádějících studii byl statisticky vypočítán pomocí výsledků předchozích studií (Akihisa a kol., 2014; Okada a kol., 2015), podle nichž jsme stanovili

průměrný čas tracheální intubace na 20 sekund. Chyba prvního řádu (alfa) byla stanovena, stejně jako statistická významnost, na hodnotě 0,05 a chyba druhého řádu (beta, síla studie) na 0,8. Výsledky byly nejprve testovány pomocí Shapiro-Wilkova testu, jestli sledují normální Gaussovo rozdělení a poté statisticky analyzovány pomocí neparametrického Mann-Whitneyho U testu pro spojitá data nebo exaktního Fisherova testu pro binomiální data v kontingenčních tabulkách (typu ano-ne).

Zjistili jsme, že čas tracheální intubace byl statisticky významně kratší (p méně než 0,0001) při intubaci pomocí lžice se zaváděcím kanálem (Tabulka 4). Celkový počet intubačních pokusů byl také nižší při použití lžice se zaváděcím kanálem, stejně tak jako celkový čas, po který nebyl virtuální pacient oxygenován (“no oxygenation time”). Ostatní parametry měřené objektivně, jako byl čas potřebný k vizualizaci vchodu do hrtanu, celková úspěšnost tracheální intubace, vizualizace vchodu do hrtanu pomocí Cormack-Lehane a POGO skóre byly bez statistického rozdílu mezi oběma sledovanými skupinami. Při hodnocení dotazníků účastníků studie jsme zjistili následující fakta: tito hodnotili kvalitu zobrazení hlasových vazů statisticky podobně u obou druhů laryngoskopických lžic, zatímco snadnost intubace výrazně lépe u videolaryngoskopických lžic se zaváděcím kanálem.

Celkově na modelu bylo použití lžice se zaváděcím kanálem výhodnější a úspěšnější.

Parametr	Lžice bez zaváděcího kanálu	Lžice se zaváděcím kanálem	p
Čas intubace (s)	23 (7-91) [14,5-37,5]	13 (5-39) [9-19]	< 0,001 *
Čas vizualizace vazů (s)	8 (3-26) [5,75-11]	9 (4-36) [6-12]	0,54
Čas ventilace (s)	29 (13-99) [21,5-45]	20 (12-46) [16,75-26]	< 0,001 *
Celková úspěšnost (%)	98,3	100	1
Množství pokusů (průměr ± SD)	1 (1-4) [1-2] /1,52 + 0,7/	1 (1-2) [1-1] /1,05 + 0,22/	< 0,001 *
POGO skóre	2 (1-5) [2-3]	2 (1-4) [1,75-2]	0,055
Cormack-Lehane skóre	1 (1-2) [1-1]	1 (1-2) [1-1]	0,42

Tabulka 4. Primární a sekundární cíle studie. Data jsou prezentována jako medián, (rozmezí), [25-75 interquartile range], SD – směrodatná odchylka. * značí statisticky významný výsledek

Hlavní limitací této studie bylo, že byla prováděna na intubační figurině a ne na živých pacientech (Khoury a kol., 2016; Ahmad a kol., 2018). Komparativní studie prokázaly, že anatomie, intubační podmínky i sledované parametry se mohou významně lišit mezi

studii prováděnými na intubačních modelech a na reálných pacientech. Další limitací byl rozdíl mezi bitevním polem a podmínkami, ve kterých byla prováděna studie. Snažili jsme se sice přiblížit realitě tím, že figuríny ležely na zemi, osvětlení místnosti nebylo umělé, ale je velice těžké simulovat situaci na bojišti s hlukem, stresem, světelnými podmínkami a případným znečištěním oběti krví, jinými sekrety, ale i blátem a povýstřelovými zplodinami (*Miller a kol., 2019*).

Article

Video Laryngoscopic Intubation Using the King Vision™ Laryngoscope in a Simulated Cervical Spine Trauma: A Comparison Between Non-Channeled and Channeled Disposable Blades

Jiri Votruba ¹, Tomas Brozek ^{2,3}, Jan Blaha ², Tomas Henlin ⁴, Tomas Vymazal ⁵, Will Donaldson ⁶ and Pavel Michalek ^{2,6,*} 

¹ First Department of Tuberculosis and Respiratory Care, 1st Medical Faculty of the Charles University and General University Hospital, 128 00 Prague, Czech Republic; jiri.votruba@vfn.cz

² Department of Anaesthesia and Intensive Medicine, 1st Medical Faculty of the Charles University and General University Hospital, 128 00 Prague, Czech Republic; tomas.brozek@vfn.cz (T.B.); jan.blaha@vfn.cz (J.B.)

³ Medical Faculty, Masaryk University, 625 00 Brno, Czech Republic

⁴ Department of Anaesthesia and Intensive Medicine, 1st Medical Faculty of the Charles University and University Military Hospital, 128 00 Prague, Czech Republic; tomas.henlin@uvn.cz

⁵ 2nd Medical Faculty of the Charles University and University Hospital Motol, 150 06 Prague, Czech Republic; tomas.vymazal@fnmotol.cz

⁶ Department of Anaesthesia, Antrim Area Hospital, Antrim BT41 2RL, UK; willdonaldson@mac.com

* Correspondence: pavel.michalek@vfn.cz; Tel.: +42-02-2496-2243

Received: 19 January 2020; Accepted: 27 February 2020; Published: 3 March 2020



Abstract: Videolaryngoscopes may reduce cervical spine movement during tracheal intubation in patients with neck trauma. This manikin study aimed to compare the performance of disposable non-channeled and channeled blades of the King Vision™ videolaryngoscope in simulated cervical spine injury. Fifty-eight anesthesiologists in training intubated the TruMan manikin with the neck immobilized using each blade in a randomized order. The primary outcome was the time needed for tracheal intubation, secondary aims included total success rate, the time required for visualization of the larynx, number of attempts, view of the vocal cords, and subjective assessment of both methods. Intubation time with the channeled blade was shorter, with a median time of 13 s (IQR 9–19) vs. 23 s (14.5–37.5), $p < 0.001$, while times to visualization of the larynx were similar in both groups ($p = 0.54$). Success rates were similar in both groups, but intubation with the non-channeled blade required more attempts (1.52 vs. 1.05; $p < 0.001$). The participants scored the intubation features of the channeled blade significantly higher, while visualization features were scored similarly in both groups. Both blades of the King Vision™ videolaryngoscope are reliable intubation devices in a simulated cervical spine injury in a manikin model when inserted by non-experienced operators. The channeled blade allowed faster intubation of the trachea.

Keywords: videolaryngoscopy; King Vision™ laryngoscope; channeled blade; non-channeled blade; cervical spine injury

1. Introduction

Videolaryngoscopy-guided tracheal intubation is gradually moving from operating rooms to emergency medicine departments and to the out-of-hospital setting [1]. Videolaryngoscopy may offer some advantages against Macintosh laryngoscopy, such as improved and easier visibility of the laryngeal inlet in normal and difficult laryngoscopy scenarios, less need of force during intubation

attempts, and visualization of the intubation process on the monitor. Patients with potential cervical spine trauma have a higher incidence of difficult intubation due to neck immobility caused by inline stabilization or the application of a cervical collar, which may also lead to restricted mouth opening [2]. The use of videolaryngoscopes may reduce cervical spine movements [3] and improve the view of the vocal cords in patients with cervical spine injury [4]. Various videolaryngoscopes are currently available on the market. Non-channeled devices require insertion of a stylet into the tracheal tube prior to intubation or the use of a bougie, whereas channeled videolaryngoscopes possess a dedicated channel for tracheal tube insertion [5]. The first generation of King Vision™ laryngoscope (King Systems, Noblesville, IN, USA) was invented in 2013 and incorporated into clinical practice in 2014 [6]. The most recent, second generation of the device (Ambu, Ballerup, Denmark) is characterized by the reusable body (containing the monitor and flexible optical stylet) and by its use of interchangeable disposable plastic channeled and non-channeled blades [7]. Recently, paramedic services in the United States have been trained using this device in prehospital tracheal intubation [8]. Several studies have compared the performance of King Vision™ videolaryngoscopes with standard blades, however, data comparing the performance of disposable non-channeled versus channeled videolaryngoscope blades are not available. The aim of this simulation study was to compare the performance of single-use non-channeled standard aBlade™ and channeled aBlade™ blades of the KingVision™ videolaryngoscope in a simulated cervical spine injury when inserted by relatively inexperienced operators.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design

The design of this simulation study was prospective, non-blinded, randomized, and cross-over. Study participants were anesthesiology and intensive medicine residents (years 1–5 in training) from four different teaching hospitals. The study protocol was reviewed and approved by the Ethical Committee of the General University Hospital (No. 89/15 S-IV VFN, 19 February 2015, Ethics Committee of the General University Hospital, Prague). All participants signed informed consent for their voluntary participation in the study. In total, 58 participants completed the study. One type of airway simulation manikin, TruMan (Trucorp Ltd., Belfast, UK) was used for all interventions. The participants had no previous experience with the King Vision™ videolaryngoscope before commencement of the study, however, most of them were familiar with other types of videolaryngoscopes. Video demonstration of both blades was provided to the participants, as well as a brief live demonstration. Participants each performed one trial of intubation with each blade before the start of the study.

2.2. Experimental Procedures

The manikin had its neck immobilized using a cervical collar (Figure 1), which led to a laryngeal view consistent with a Cormack–Lehane grade of 3 (only epiglottis visible) using a standard Macintosh laryngoscope blade. This was confirmed by two independent consultant anesthesiologists who were not participating in the study. The manikin was placed in the supine position, and no artificial light was used in the study room. Participants intubated the manikin with each blade in a randomized order. The two currently available disposable blades of the King Vision™ videolaryngoscope were used in this study. The non-channeled standard aBlade™ (Figure 2) has a maximum anteroposterior diameter of 11 mm, whilst the diameter of the channeled aBlade™ (Figure 2) is 17 mm. Randomization codes were created by using randomization software (www.graphpad.com) and sealed envelopes. All participants initiated their scenario with bag-mask ventilation, then intubated the manikin, and finally connected the endotracheal tube to the self-inflatable bag and confirmed the position of the endotracheal tube with a stethoscope. Endotracheal tubes were inserted directly through the leading channel in the channeled blade, whereas for intubation with the non-channeled blade, a preformed semirigid stylet was used to guide the tube through the vocal cords. A maximum of three attempts for tracheal intubation was allowed.



Figure 1. Truman manikin with the neck immobilized using the cervical collar.



Figure 2. Interchangeable channeled (right) and non-channeled (left) blades of the King Vision™ video laryngoscope. A tracheal tube is preloaded to the guiding channel of the channeled blade, while for tracheal intubation with the non-channeled blade, a curved stylet is inserted into the tube and the vocal cords are approached from the lateral side of the blade.

2.3. Study Outcomes

The primary outcome measure was the time required for tracheal intubation. This interval started when the participant first held the videolaryngoscope (this was in the standing position) and ended when the tracheal tube entered the trachea. An independent observer confirmed the correct position of the tube between the vocal cords on the monitor of the videolaryngoscope. We evaluated several secondary outcomes. The total success rate was recorded as well as the number of attempts. The time required for visualization of the larynx was measured from first holding the videolaryngoscope until the first view of the vocal cords was obtained. The total time required for initiation of artificial ventilation (“no oxygenation time”) was measured from first holding the videolaryngoscope until the first successful breath, as confirmed by chest movements. The quality of visualization of the vocal cords was recorded using the “Percentage of Glottic Opening” (POGO) score [9,10] and Cormack–Lehane grading [11] (Supplementary Materials).

The participants filled in a feedback questionnaire immediately after completion of the study. Subjective assessment was undertaken of the quality of the glottic view and comparative ease of

intubation between the blades. The Likert scale (1–5 points; 1—very good, 2—good, 3—neutral, 4—poor, 5—very poor) was used for these assessments.

2.4. Statistics

Sample size calculation was performed prior to the commencement of the study. Based on the results of previous studies [6,12], we chose a time of 20 s for successful tracheal intubation, with a meaningful difference between the groups of 4 s (20%). With an alpha error of 0.05 and a beta error (power) of 0.8, the minimum sample size was calculated to be 49 participants. A total number of 58 participants was chosen to compensate for potential dropouts. The data was checked for a normal distribution (Shapiro–Wilk test) and subsequently analyzed using the non-parametric Mann–Whitney U test for continuous data or Fisher’s exact test for categorical data. Statistical software InStat (GraphPad Inc., La Jolla, CA, USA) was used for all comparisons. In this study, p values lower than 0.05 were considered statistically significant.

3. Results

All 58 physicians in training completed the study. Their demographic data are summarized in Table 1. The participants inserted tracheal tubes below the vocal cords significantly faster through the channelled aBlade—median 13 s (25–75 interquartile range (IQR) 9–19)—than with the non-channelled blade—median time of 23 s (IQR 14.5–37.5) (Table 2, Figure 3). Time to visualize the laryngeal inlet in both groups was close to 10 s and did not reach statistical difference between the groups. The total time between starting the process of tracheal intubation and initiation of artificial ventilation was significantly longer with the use of the non-channelled blade—median, 29 s *vs.* 20 s; $p < 0.001$. The total success rate of tracheal intubation was similar in both groups, while for tracheal intubation with the non-channelled blade, the total success rate did not differ between the blades, although intubation with non-channelled blade required significantly more attempts (1.52 *vs.* 1.05; $p = 0.0007$). There was one failure to intubate the manikin with the non-channelled blade. The participant was able to achieve quite a good visualization of the larynx but could not pass the endotracheal tube into the trachea. Laryngoscopic scores were similar in the groups using both POGO and Cormack–Lehane assessments. The ease of tracheal intubation was evaluated by the participants as significantly better for the channelled aBlade in comparison with the non-channelled aBlade, while visualization features were marked as similar in both groups (Table 3).

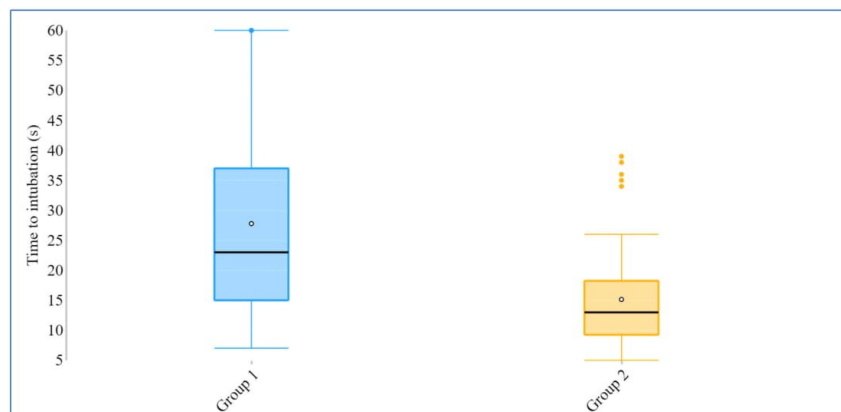


Figure 3. Box plot of the primary outcome—time to intubation. Group 1: non-channelled blade; group 2: channelled blade.

Table 1. Demographic data of the participants.

	N	%
Gender		
Males	26	55
Females	32	45
Level of training		
Less than 1 year	13	22
1–2 years	12	21
2–3 years	18	31
3–5 years	11	19
More than 5 years	4	7
Experience in videolaryngoscopy		
None	5	9
1–10 intubations	27	46
11–50 intubations	19	37
51–100 intubations	4	7
More than 100 intubations	3	5

Table 2. Primary and secondary outcomes of the study.

Parameter	Non-Channeled Blade	Channeled Blade	p
Time to intubation (s)	23 (7–91) [14.5–37.5]	13 (5–39) [9–19]	<0.001 *
Time to visualization (s)	8 (3–26) [5.75–11]	9 (4–36) [6–12]	0.54
Time to ventilation (s)	29 (13–99) [21.5–45]	20 (12–46) [16.75–26]	<0.001 *
Total success rate (%)	98.3	100	1.00
Number of attempts	1 (1–4) [1–2]	1 (1–2) [1]	<0.001 *
/Mean ± SD/	/1.52 ± 0.7/	/1.05 ± 0.22/	
Percentage of glottic opening	2 (1–5) [2–3]	2 (1–4) [1.75–2]	0.055
Cormack–Lehane score	1 (1–2) [1–1]	1 (1–2) [1–1]	0.42

Data presented as median (range) [25–75 interquartile range]. * statistically significant.

Table 3. Questionnaire assessing the feedback of participants.

Parameter	Non-Channeled Blade	Channeled Blade
p		
Quality of visualization	2 (1–4) [1–2]	2 (1–4) [1–2]
0.47		
Ease of intubation	3 (1–5) [2–4]	1 (1–4) [1–2]
<0.001 *		

Data presented as median (range) [25–75 interquartile range]. * statistically significant.

4. Discussion

Videolaryngoscopy blades may be divided into non-channeled blades and channeled blades. Each of the blades has its advantages and disadvantages [4,5]. Non-channeled blades are generally thinner, easier to insert, and provide a good quality view to the vocal cords even in the case of significantly limited mouth opening. Their main disadvantage is that insertion of the tracheal tube needs a special angulated introducer and there may be a risk of trauma to the oropharyngeal soft tissues caused by blind spots during tracheal tube insertion. The channeled blades provide a reliable direct guide for tracheal tube insertion but may be more difficult to introduce in the case of limited mouth opening, intraoral swelling, or bulky tongue.

The results of this study suggest that, in a simulated scenario, both blades of the King Vision™ videolaryngoscope may be suitable devices for airway management in cervical spine trauma. The success rates of both devices were very high and did not differ between the groups. However, tracheal intubation was faster when using the channeled blade of the device. There was no difference in

the time of visualization of the vocal cords between the blades, but there was a significant difference in duration of actual tracheal tube insertion into the trachea. This fact suggests that manipulation with the tracheal tube inside the oral cavity may be significantly more difficult when there is no guiding channel for the tracheal tube. This finding is in agreement with the subjective assessment of the performance of both blades from the participants. They did not report any difference between the blades in terms of visualization of the laryngeal inlet but found the insertion of the endotracheal tube significantly more difficult for the blade without a guiding channel.

Several studies have assessed the performance of King Vision™ laryngoscopes in both experimental and clinical settings. In one study, the reusable channeled and non-channeled blades of the first generation of King Vision™ laryngoscope were compared with the Macintosh laryngoscope blade for intubation of the manikin trachea by inexperienced operators [5]. The authors found that only the channeled blade showed a similar performance to the Macintosh laryngoscope, whilst intubation with non-channeled blades was associated with more failures and prolonged intubation times. Murphy et al. compared the channeled King Vision™ reusable blades with the Macintosh laryngoscope in simulated manikin and cadaver difficult airways [13]. Tracheal intubation with the King Vision™ was faster and more successful in cadavers than with the classical Macintosh laryngoscope. The King Vision™ videolaryngoscope was found to be equally as effective when intubating patients with suspected cervical spine injury (who had immobilization with a cervical collar) as the C-MAC or D-MAC laryngoscopes [14]. However, the authors did not report whether a channeled or non-channeled blade was used. The channeled King Vision™ blade was also compared with the Macintosh laryngoscopy in terms of cervical spine motions during tracheal intubation in patients with normal cervical spine [15] and was found to be superior to the conventional technique. The use of a channeled disposable blade shortened intubation time and improved the success rate in comparison with the Macintosh laryngoscope in patients with cervical spine immobilization and without predictors of airway difficulty [16]. No studies comparing the performance of disposable channeled and non-channeled blades in cervical spine immobilization have been published so far.

The main limitation of this study was that it was performed on simulators and not on human subjects [17]. However, the findings of this manikin trial may serve as a starting point for randomized trials performed on patients under anesthesia with a simulated cervical spine injury or on patients with actual suspected cervical spine trauma. The portable and user-friendly design of the King Vision™ laryngoscope may predispose this device for use mainly in critical airway scenarios in the prehospital emergency setting [18,19].

5. Conclusions

Both disposable blades of the KingVision™ videolaryngoscope were reliable intubation devices in a simulated cervical spine injury using an airway manikin when inserted by non-experienced operators. However, the participants placed tubes into the trachea significantly faster with the channeled blade and also rated it as being better than the non-channeled blade. This may favor channeled blades in this type of pre-hospital intubation scenario.

Supplementary Materials: Supplementary materials can be found at <http://www.mdpi.com/2075-4418/10/3/139/s1>, Cormack–Lehane and Percentage of Glottis Opening (POGO) scores. The original dataset is available online at <https://data.mendeley.com> (<http://dx.doi.org/10.17632/y877stnvgd.2>).

Author Contributions: Conceptualization: J.V., T.B., and P.M.; methodology: T.H. and T.V.; software: P.M.; validation: W.D., J.B. and P.M.; formal analysis: T.B.; investigation: T.H.; resources: J.V.; data curation, T.V.; writing—original draft preparation: T.B. and P.M.; writing—review and editing: J.V. and W.D.; visualization: J.B.; supervision: P.M.; project administration: J.B.; funding acquisition: J.B. All authors have read and agreed on the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the Czech Ministry of Health, grant number MZCZ-DRO-VFN64165.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

References

1. Boehringer, B.; Choate, M.; Hurwitz, S.; Tilney, P.V.; Judge, T. Impact of video laryngoscopy on advanced airway management by critical care transport paramedics and nurses using the CMAC pocket monitor. *BioMed. Res. Int.* **2015**, *2015*, 821302. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
2. Nolan, J.P.; Wilson, M.E. Orotracheal intubation in patients with potential cervical spine injuries. *Anaesthesia* **1993**, *48*, 630–633. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Kill, C.; Risse, J.; Wallot, P.; Seidl, P.; Steinfeldt, T.; Wulf, H. Videolaryngoscopy with glidescope reduces cervical spine movements in patients with unsecured cervical spine. *J. Emerg. Med.* **2013**, *44*, 750–756. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Suppan, L.; Tramer, M.R.; Niquille, M.; Groscurin, O.; Marti, C. Alternative intubation techniques vs Macintosh laryngoscopy in patients with cervical spine immobilization: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Br. J. Anaesth* **2016**, *116*, 27–36. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
5. Kleine-Brueggene, M.; Greif, R.; Schoettker, P.; Savoldelli, G.L.; Nabecker, S.; Theiler, L.G. Evaluation of six videolaryngoscopes in 720 patients with a simulated difficult airway: A multicentre randomized controlled trial. *Br. J. Anaesth* **2016**, *116*, 670–679. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
6. Akihisa, Y.; Maruyama, K.; Koyama, Y.; Yamada, R.; Ogura, A.; Andoh, T. Comparison of intubation performance between the King Vision and Macintosh laryngoscopes in novice personnel: A randomized, crossover manikin study. *J. Anesth.* **2014**, *28*, 51–57. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
7. Kriege, M.; Alflen, C.; Noppens, R.R. Using King Vision video laryngoscope with a channeled blade prolongs time for tracheal intubation in different training levels, compared to non-channeled blade. *PLoS ONE* **2017**, *12*, e0183382. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
8. Jarvis, J.L.; McClure, S.F.; Johns, D. EMS intubation improves with King Vision video laryngoscopy. *Prehosp. Emerg. Care* **2015**, *19*, 482–489. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
9. Bradley, W.P.; Bain, C.; Mehra, R.; Symons, J. Scoring systems for videolaryngoscopes. *Anaesth Intensive Care* **2013**, *41*, 122. [[PubMed](#)]
10. Levitan, R.M.; Ochroch, E.A.; Kush, S.; Shofer, F.S.; Hollander, J.E. Assessment of airway visualization, validation of the percentage of glottic opening (POGO) scale. *Acad. Emerg. Med.* **1998**, *5*, 919–923. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
11. Cormack, R.S.; Lehane, L. Difficult tracheal intubation in obstetrics. *Anaesthesia* **1984**, *39*, 1105–1111. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
12. Okada, D.; Komasa, N.; Fujiwara, S.; Minami, T. Comparison of tube-guided and guideless videolaryngoscope for tracheal intubation during chest compression in a manikin: A randomized crossover trial. *J. Anesth* **2015**, *29*, 331–337. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
13. Murphy, L.D.; Kovacs, G.J.; Reardon, P.M.; Law, J.A. Comparison of the king vision video laryngoscope with the macintosh laryngoscope. *J. Emerg. Med.* **2014**, *47*, 239–246. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Shrivanalakshmi, D.; Bidkar, P.U.; Narmadalakshmi, K.; Lata, S.; Mishra, S.K.; Adinarayanan, S. Comparison of intubation success and glottic visualization using King Vision and C-MAC videolaryngoscopes in patients with cervical immobilization: A randomized clinical trial. *Surg. Neurol. Int.* **2017**, *8*, 19. [[PubMed](#)]
15. El-Tahan, M.R.; El Kenany, S.; Khidr, A.M.; Al Ghamdi, A.A.; Tawfik, A.M.; Al Mulhim, A.S. Cervical spine motion during tracheal intubation with King Vision™ video laryngoscopy and conventional laryngoscopy: A crossover randomized study. *Minerva Anestesiol* **2017**, *83*, 1152–1160. [[PubMed](#)]
16. Aleksandrowicz, D.; Wiecek, A.; Gaszynski, T. Intubation with cervical spine immobilisation: A comparison between the KingVision videolaryngoscope and the Macintosh laryngoscope. *Eur. J. Anaesthesiol.* **2018**, *35*, 399–401. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
17. Reviriego-Agudo, L.; de Togo-Lopez, A.R.; Charco-Mora, P. The significance and weight of manikin studies in airway management. *Trends Anaesth. Crit. Care* **2018**, *21*, 43–46. [[CrossRef](#)]

18. Burnett, A.M.; Frascone, R.J.; Wewerka, S.S.; Kealey, S.E.; Evens, Z.N.; Griffith, K.R.; Salzman, J.G. Comparison of success rates between two video laryngoscope systems used in a prehospital clinical trial. *Prehosp. Emerg. Care* **2014**, *18*, 231–238. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
19. Escott, M.E.; Gleisberg, G.R.; Gillum, L.S.; Kasper, J.; Traynor, K.M.; Aulbert, L.; Vartanian, L.; Jenks, S.P.; Monroe, B.J. Seeing the difference. Deploying the video laryngoscope into a ground EMS system. *J. Emerg. Medic Serv.* **2014**, *39*, 34–39.



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

Chirurgické zajištění dýchacích cest

“Front of neck access” nebo infraglotické chirurgické zajištění dýchacích cest přes ligamentum cricothyroideum v našich končinách známé spíše jako koniotomie je jedním z emergentních chirurgických přístupů do dýchacích cest. Existuje mnoho různých technik a variantních setů na provedení chirurgického přístupu nicméně zatím žádná studie v době přípravy naší práce neprokázala jednoznačný benefit určitého přístupu (*Otáhal a Michálek, 2018*). Proto jsem se rozhodli porovnat dva odlišné způsoby koniotomie - bougie assisted cricothyrotomy (BACT) a koniotomii provedenou pomocí TracheoQuick Plus (Teleflex Medical Ltd., Ireland).

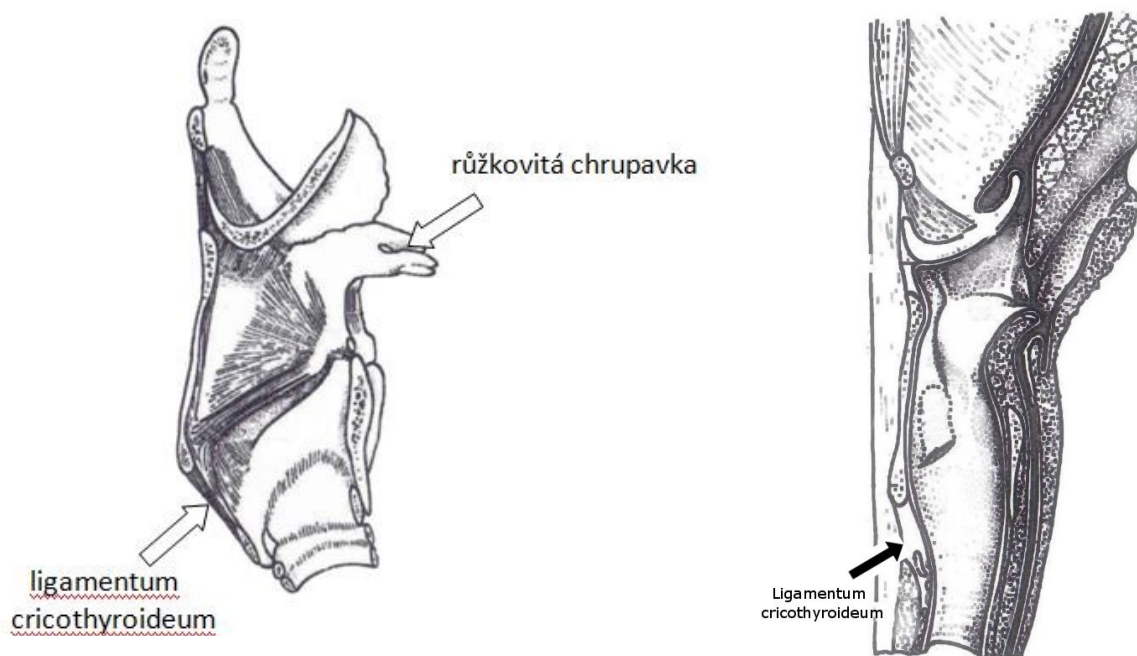
Buží asistovaná koniotomie - „bougie-assisted cricothyrotomy“ – BACT je jednoduchá a rychlá metoda popsána v roce 2007 (*McIntyre a kol., 2007*). V době přípravy studie se stalo její “know-how” známější i v Evropě a vznikly první práce dokumentující a etabloující tuto techniku mezi chirurgické neodkladné přístupy do trachey (*Dharamsi a kol., 2019*). Důvodem vzniku tohoto postupu byla nutnost změnit vybavení k provedení chirurgické koniotomie a dále zjednodušit její postup, protože z dat z vojenského amerického trauma registru vyplynulo, že více než 50% provedených koniotomií bylo provedeno špatně a v důsledku toho pacienti zmráali (*Mabry a Frankfurt, 2012*). Jako hlavní příčinu malé úspěšnosti této metody autoři identifikovali nedostatečný výcvik operátorů, kteří tuto techniku používali a dále relativní složitost techniky využívající několik chirurgických nástrojů, sloužící k fixaci trachey a dilataci ligamentum conicum tak, aby bylo možné intubační rourku/tracheostomickou kanylu zavést. BACT je metoda, která má velký potenciál stát se jedním z preferovaných postupů pro emergentní chirurgický přístup ve válečné medicíně, právě pro její jednoduchost a “stresovou” odolnost (*Hill a kol., 2010*). Koniotomie pomocí setu TracheoQuick Plus je metoda, která využívá punkční techniky k zavedení kanyly do trachey. Tato vylepšená souprava nástrojů, oproti svému předchozímu modelu, zahrnuje již skalpel a kanylu s obturačním balónkem (*Onrubia a kol., 2018*). Porovnat tuto techniku jsem se rozhodl proto, že se tento nebo podobná sada (zastaralejší verze setu bez skalpelu) vyskytovala ve většině vozů zdravotnické záchranné služby ve středočeském kraji a Praze.

Práce, které by porovnávaly jednotlivé techniky provedení chirurgického zajištění dýchacích cest v reálném prostředí na pacientech neexistují a velmi pravděpodobně existovat v brzké době nebudou. Situace, kdy se lékaři rozhodují o provedení chirurgického zajištění dýchacích cest, jsou totiž velmi emočně vypjaté, neboť v té chvíli má již pacient často asfyktickou zástavu nebo se k ní velmi rychle blíží a všechny ostatní pokusy o zajištění průchodnosti dýchacích cest selhaly. V tomto momentu by lékař měl předvést co nejlepší jak kognitivní, tak manuální výkon, který pacientovi zachrání život. Proto je jistě velmi eticky problematické v těchto situacích trénovat a zkoušet nové postupy invazivního zajištění dýchacích cest nebo randomizovat mezi několika zvolenými (*McCarthy a Cooper, 2018*). Navíc četnost těchto situací je raritní - v anesteziologické praxi přibližně 1 : 10 000-30 000 (*Heard a kol., 2008; Rosenstock a kol., 2016; Tachibana a kol., 2015*). Výcvik zdravotníků u kterých by přicházelo do úvahy, že by se mohli do těchto situací

dostat, je minimální. Z těchto důvodů jsou práce zabývající se chirurgickým zajištěním dýchacích cest prováděny na modelech.

Modelů může být několik druhů, mají své výhody a nevýhody. Jedním z možných scénářů je trénink na figurínách. Je to model bezpečný, jde provést v jakémkoliv prostředí, ale je velmi nerealistický. Materiál a podmínky jsou značně vzdáleny reálným tkáním, proto je vhodný na první seznámení s technikou provedení konkrétního způsobu chirurgického zajištění popřípadě na trénink sekvence jednotlivých kroků. Druhým možným modelem jsou kadavery. Kadavery se k tréninku život zachraňujících postupů používají již dlouhou dobu, a proto je známo, že vlastnosti tkání kadaveru jsou blízké vlastnostem tkání pacientů pouze omezenou dobu. Kadaver nemůžeme umístit do jakýchkoliv zevních podmínek simulující reálnost situace a navíc dostupnost zemřelých těl krátce po smrti je bohužel značně limitována, a proto práce na "čerstvých" kadaverech jsou obtížně proveditelné. Třetím možným modelem jsou animální modely a to živé animální modely. Tento model se v experimentu ve všech směrech - fyzikální vlastnosti tkání, dechové pohyby, krvácení - nejvíce blíží reálné situaci. Proto jsme se rozhodli provést srovnání obou metod chirurgického zajištění dýchacích cest na tomto modelu.

Jako nejvěrnější model jsme vybrali velké laboratorní zvíře anatomicky velmi podobné člověku a to prase. Přesněji se jednalo o Gottingen-Minnesota minipig. Tento model živého laboratorního zvířete je sice nejvíce realistický a nabízí spousty parametrů, které se blíží reálné situaci např. dechové exkurze s obstrukcí dýchacích cest, krvácení, obtížný přístup na krku, pohyblivé tkáně v krčním prostoru, larynx podobný lidskému, přesto existují jistá specifika, která musíme při pokusu zohlednit.



Obr. 24. Anatomie prasečího hrtanu (zdroj: archiv autora)

Prasečí larynx se skládá stejně jako lidský ze štítné, prstencové a arytenoidních chrupavek (obr. 24). Hrtan prasete obsahuje navíc pouze růžkovitou chrupavku, která zevní tvar hrtanu nemění. Ligamentum conicum leží stejně jako u lidí mezi štítnou a prstencovou chrupavkou. Největším rozdílem mezi lidským a prasečím hrtanem je u prasete přítomnost několika hrtanových výchlipek – ventriculus laryngitis medius a lateralis, které činí potíže především při intubaci.

Prvním krokem ve srovnání metod chirurgického zajištění dýchacích cest byla pilotní studie. Tato práce měla odpovědět na otázky, zda je zvolený model (živé prase) vhodný k chirurgickému zajištění dýchacích cest a zda má metoda BACT potenciál být opravdu jednoduchým a rychlým způsobem invazivního zajištění dýchacích cest.

Práce byla zahájena po schválení etickou komisí Akademie věd ČR a probíhala v Ústavu živočišné fyziologie a genetiky AV ČR, v. v. i. v Liběchově. Deseti anestetizovaným selatům rodu Gottingen-Minnesota minipig (hmotnost 35-45 kg) byla podána standardní premedikace a intravenózní anestezie. Po úvodu do celkové anestezie byla provedena bužíř asistovaná koniotomie - BACT. Bylo provedeno celkem 10 koniotomií, které provedli dva anesteziologové. Operátoři měli dostatek zkušeností s invazivním zajištěním dýchacích cest jak na modelech (model, kadaver), tak při reálných situacích u pacientů, kteří vyžadovali invazivní přístup do dýchacích cest a to i v prostředí mimonemocniční péče. Neměli však žádnou zkušenost s invazivním zajištěním dýchacích cest u prasat.

K provedení BACT byl sestaven set nástrojů skládající se ze skalpelu číslo 20, bužíř 60 cm dlouhá (Venn Reusable Tracheal Tube Introducer, Smith Medical International Ltd., UK), tracheální rourka velikosti 6,5 s obturační manžetou, 10 ml stříkačka na nafouknutí manžety a samorozpínací vak.

Během procedury jsme sledovali:

1/ Čas provedení, tzn. čas od prvního doteku prasečího krku rukou operátora do prvního úspěšného dechu do plic (zvednutí hrudníku).

2/ Úspěšnost pokusů a počet jejich provedení - správná poloha kanyly byla potvrzena poslechem a pohledem na hrudníku a přítomností proudu vzduchu při výdechu prasete (všechna prasata po navození anestezie měla obstrukci dýchacích cest s lapavými dechy, po provedení BACT začala normálně dýchat).

3/ Poškození hrtanu a místo provedení řezu. Po provedení pokusu byla zvířata usmrcena a při vypreparování hrtanu a trachey jsme zjišťovali místo průchodu kanyly skrz ligamentum conicum nebo poranění trachey a zadní stěny thyroideální chrupavky/trachey.

Pilotní studie na 10 prasatech prokázala, že metoda BACT byla ve všech případech na první pokus úspěšná. Výsledný medián času provedení byl 72,5 sekundy (nejdelší čas 160 sekund, nejkratší čas 35 sekund). Ovšem třetina výkonů byla provedena pod jednu minutu a polovina do dvou minut od zahájení. Pouze dva výkony trvaly déle než 120 vteřin. V jednom případě došlo místo protětí ligamentum conicum k protětí stěny trachey mezi prvním a druhým prstencem. Pouze v jednom případě jsme zaznamenali poranění zadní štítné chrupavky. Oba anesteziologové, kteří prováděli BACT hodnotili výkon jako jednoduchý a vhodný k invazivnímu zajištění dýchacích cest.

Prase	Čas (s)	Úspěšnost	Počet pokusů	Místo řezu	Poranění zadní stěny
1	160	ano	1	trachea	ne
2	80	ano	1	ligamentum konikum	ne
3	60	ano	1	ligamentum konikum	ne
4	65	ano	1	ligamentum konikum	ne
5	35	ano	1	ligamentum konikum	ne
6	20	ano	1	ligamentum konikum	ne
7	80	ano	1	ligamentum konikum	ano
8	120	ano	1	ligamentum konikum	ne
9	80	ano	1	ligamentum konikum	ne
10	35	ano	1	ligamentum konikum	ne

Tabulka 5. Výsledky pilotní studie BACT na praseti, s – sekundy

Pilotní studie byla důležitým krokem k finální práci. Data z pilotní studie sloužila jako “baseline” k designu finální práce, která měla zodpovědět otázku, zda lze říci, která metoda je pro invazivní chirurgické zajištění dýchacích cest lepší. Cílem bylo provést prospektivní randomizovanou studii srovnávající BACT s koniotomií se setem TracheoQuick Plus. Power analýza s parametry 72 sekund jako medián času zajištění dýchacích cest a definovaný rozdíl mezi oběma metodami minimálně 30 sekund vygenerovala skupiny po 16 probandech s 80% power a 5% alfa hladinou významnosti. Pro možný odpad probandů při hodnocení (nekompletní protokoly, ztracené záznamy.. apod.) jsme se rozhodli do každé skupiny přidat jedno zvíře. Proto bylo nakonec randomizováno 34 velkých laboratorních zvířat. Po schválení protokolu studie etickou komisí Akademie věd ČR byla studie zahájena. Opět, tak jako v pilotní studii, jsme používali zvířata, která byla z předchozích pokusů. Se všemi zvířaty bylo nakládáno podle evropské direktivy o ochraně a péči o laboratorní zvířata (86/609/EU). Zvířata byla randomizovaná pomocí obálkové metody. Operátoři byli stejní jako v pilotní studii, tzn. anesteziologové se specializovanou způsobilostí se zkušenostmi s invazivním zajištěním dýchacích cest na modelech i při reálných klinických situacích. Nicméně zkušenost a zručnost operátorů hraje jistě velkou roli. Proto abychom minimalizovali potenciální zlepšení výsledků při lepší zručnosti operátorů se zaváděcím setem oba dva prodělali nácvik obou metod - dvacetkrát na modelu používaném k tréninku invazivního zajištění dýchacích cest a pětkrát na kadaveru.

Techniky provedení obou metod jsou rozdílné. BACT jsme prováděli stejnými nástroji jako v pilotní studii tj. skalpelem číslo 20, 60 cm buží (Venn Reusable Tracheal Tube Introducer, Smith Medical International Ltd., UK), orotracheální rourkou velikosti 6,5 mm s obturační manžetou, stříkačkou o objemu 10 ml a samorozpínacím vakem.

Metoda BACT je popsána následovně:

1/ Identifikovat místo řezu - ligamentum konicum - mezi štítnou a prstencovou chrupavkou. Fixovat nedominantní rukou hrtan vůči okolním velmi pohyblivým tkáním.

2/ Projít horizontálním řezem přes všechny struktury až do trachey (tj. optimální případ). Pokud to nelze (tlustá kůže nebo podkoží, nepřesná identifikace ligamentum konicum, změněná anatomie krku...) je lépe vést řez napřed kůží a podkožím a až poté protnout ligamentum. Pokud je anatomie na krku taková, že zcela znemožňuje identifikaci místa ligamenta conica, je výhodné vést první řez vertikálně ve střední čáře a až poté identifikovat chrupavky a ligamentum, které již protnout horizontálně.

3/ Bužii zavést do trachey přes ligamentum konicum až do chvíle, kdy je cítit odpor. Bužie v tomto případě funguje jako "pátradlo" a může nastat několik scénářů. Pokud nejde do otvoru po řezu bužie zavést vůbec nebo s velkým odporem, je to nejspíše proto, že jsme vůbec neprotnuli ligamentum konicum a bužii zasouváme paratracheálně. Pokud jde bužie volně zasunout přes ligamentum dále a na žádný odpor nenarazí je nejspíše v jícnu a pokračuje do žaludku. Pokud jde zasunout volně přes ligamentum a po cca 10 cm narážíme na malý odpor jsme velmi pravděpodobně v trachee a narážíme na stěnu některého z hlavních bronchů za karinou. Někdy jsou při zasouvání cítit na bužii jednotlivé prstence trachey jako jemné nárazy, když po nich špička bužie přebíhá.

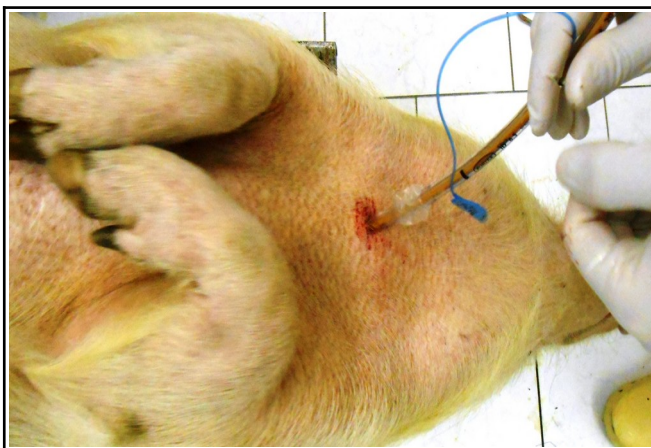
4/ Přetažení tracheální rourky přes bužii do trachey. Nafouknutí obturační manžety tracheální rourky a zahájení ventilace.



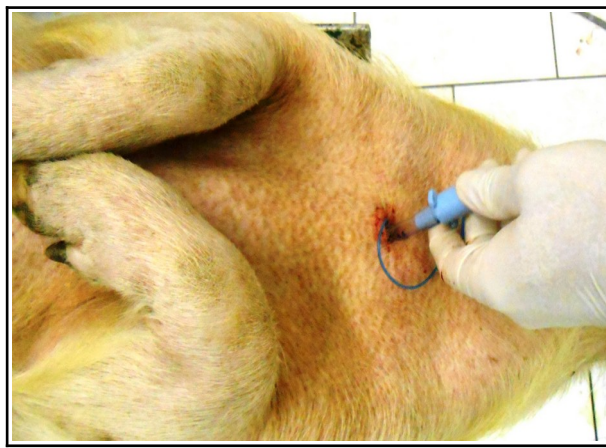
25a



25b



25c



25d



26e

- Obr. 25: Metoda BACT na praseti**
- a/ incize s protětím kůže, podkoží i ligamentum conicum
 - b/ zasunutí bužie do trachey
 - c/ převlečení tracheální rourky po bužii
 - d/ vytažení bužie
 - e/ zahájení umělé plicní ventilace

Zajištění dýchacích cest pomocí setu TracheoQuick Plus Coniotomy Rusch (Teleflex Medical Europe Ltd., Ireland) je trochu odlišné, protože kombinuje kožní řez s punkční technikou ligamenta konica. Souprava určená k punkční koniotomii se skládá z malého skalpelu (ten v první generaci soupravy vůbec nebyl), 4 mm široké krikotomické kanyly, prodlužovací vrapové hadice, 10 ml stříkačky, fixačního pásku a samorozpínacího vaku.

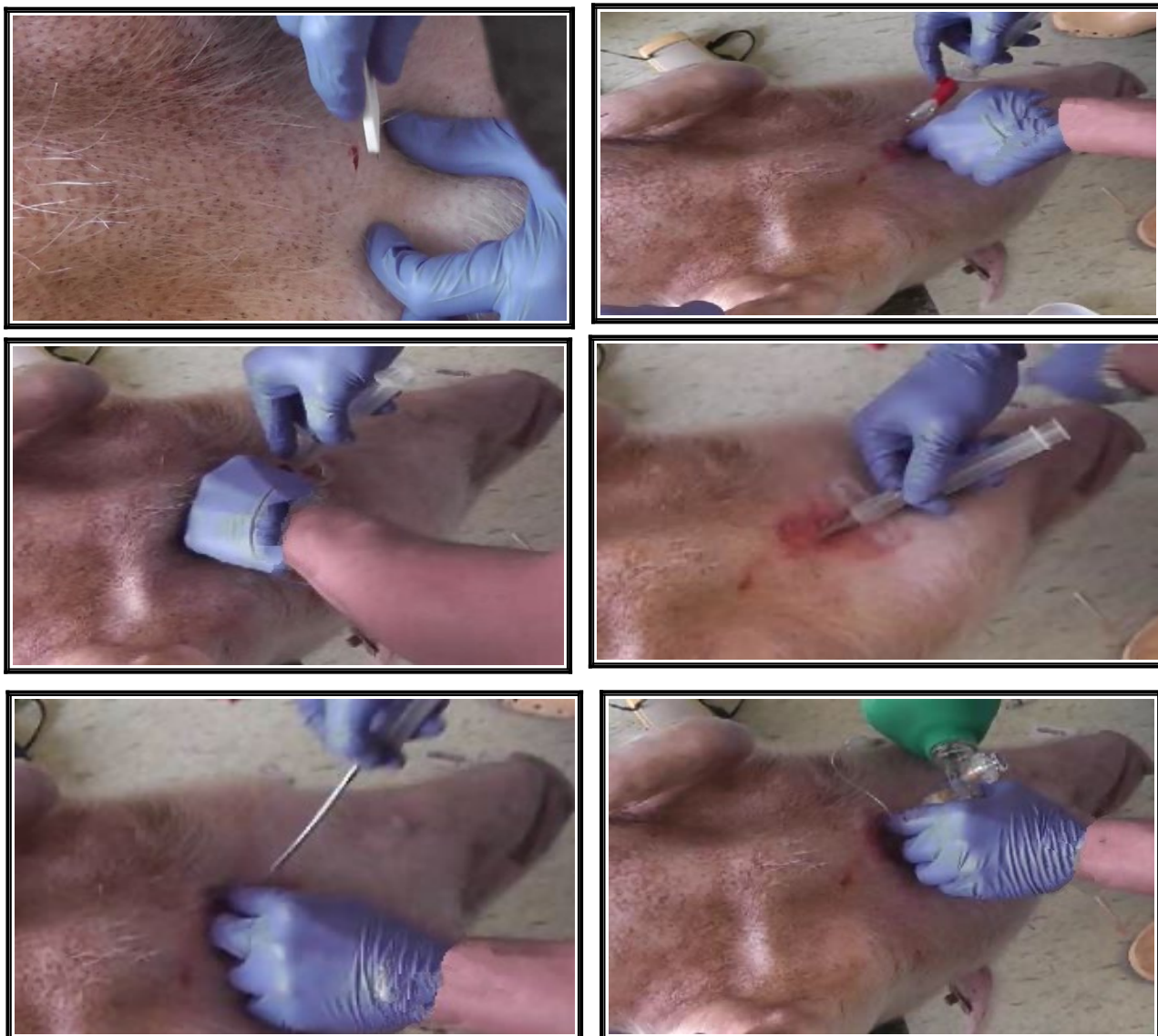
1/ Stejně jako v prvním případě (BACT) je nejdůležitější identifikovat místo ligamentum konicum a zafixovat nedominantní rukou hrtan vůči okolním pohyblivým tkáním.

2/ Provést horizontální řez kůží a podkožím.

3/ Pomocí krikotomické kanyly punktovat ligamentum konicum a zavést kanylu do trachey. Před použitím kanyly je třeba odstranit plastový kryt na konci balónku obturační manžety, nasadit na něj stříkačku a zcela ho vyfouknout. Poté je nutné nasadit stříkačku (ideálně s tekutinou, aby bylo možné snadněji detekovat bublinky vzduchu) na konec kanyly a umístit ji do pozice nad ligamentum konicum. Po projetí hrotu do trachey odstranit první (červenou) pojistku a poté zavést kanylu do trachey a zároveň s tím povytáhnout druhou (zelenou) pojistku tak, aby byl hrot mandrénu zasunut dovnitř kanyly a nemohl poškodit vnitřní stěnu trachey. Po umístění kanyly do trachey je nafouknuta obturační manžeta kanyly.

Kanyla v tomto setu má kovový mandrén zakončený ostrou špičkou, která má punktovat tkáň před tracheou. K tomu, aby se zabránilo případnému poškození zadní stěny trachey nebo štítné chrupavky slouží dvě dilatační pojistky. První pojistka (červená) je distálnější a vymezuje vzdálenost mezi špičkou hrotu mandrénu a začátkem pojistky, aby nedošlo k zasunutí hrotu/kanyly příliš hluboko. Druhá pojistka, která je na kanyle distálnější, slouží k tomu, aby kovový mandrén byl fixován ke kanyle pořád ve stejné pozici a nedocházelo k jeho vysunutí/zasunutí.

4/ Zafixovat zavedenou kanylu kolem krku pomocí fixačního pásku, napojit na prodlužovací vrapovou hadici, připojit k setu samorozpínací vak a zahájit umělou plicní ventilaci.



Obr. 26: Metoda TracheoQuick Plus na praseti, zleva – kožní incize, detekce ligamentum conicum, punkce membrány a odstranění 1. blokantu, odstranění 2. blokantu, extrakce mandrénu, zahájení ventilace samorozpínacím vakem

K provedení byly v obou randomizačních větvích povoleny 4 pokusy, pokud se nepodařilo dosáhnout úspěšného zavedení kanyly do trachey, potvrzené objevením se křivky vydechovaného oxidu uhličitého, byla prasata intubována. Procedury byly prováděny na veterinárním operačním sále bez umělého osvětlení.

K premedikaci a anestezii zvířat byla použita standardní směs anestetik. Jako premedikace sloužila intramuskulární směs tiletaminu, zolazepamu a ketaminu v dávce 2 mg/kg plus xylazin 0,4 mg/kg. Po nástupu účinku anestetik byla zahájena monitorace EKG a pulsní oxymetrie a byla zavedena intravenózní kanyla. Po-té byl zvířatům titračně podáván propofol, dokud nenastala respirační insuficience při obstrukci dýchacích cest, kterou provázel nepravidelný dechový vzorec a pokles oxygenace periferní krve. V tento moment zahájil operatér výkon vyhledáním místa incize, fixací a kožním řezem. Po úspěšném zavedení kanyly do trachey bylo prase připojeno na dýchací okruh anesteziologického přístroje a tři minuty ventilováno 100% kyslíkem. Během této doby bylo stále monitorováno pomocí EKG, SpO₂ a kapnografie.

Primárním cílem této práce bylo stanovit čas úspěšného zavedení kanyly do trachey. Tento čas byl měřen od doteku ruky operátéra krku laboratorního zvířete do prvního efektivního dechu pomocí samorozpínacího vaku potvrzeném na kapnografii.

Sekundární cíle projektu zahrnovaly úspěšnost jednotlivých procedur, počet pokusů, úspěšnost prvního pokusu, změny srdeční frekvence a oxygenace periferní krve před a po výkonu a komplikace výkonu (jako velké žilní nebo arteriální krvácení, subkutánní emfyzém, problémy s anatomickou lokalizací místa řezu). Lokalizace místa incize a případná traumatická poranění tkání byla vyhodnocena při pitvě zvířat.

Před definitivní analýzou byly všechny data testována pomocí Shapiro-Wilkova testu na normální distribuci. Podle výsledků distribučního testu byly použity buď parametrické (Fisherův, Studentův T-test) nebo neparametrické (Mann-Whitney U test) statistické testy. Ke statistickému zhodnocení byl použit statistický software (GraphPad Software Inc., La Jolla, USA).

Celkem bylo provedeno 34 koniotomií (17 ve skupině BACT a 17 ve skupině TracheoQuick Plus). Demografické parametry (především hmotnost a velikost prasat) obou skupin se nelišily. Čas úspěšného zavedení kanyly do trachey (procedurální čas) byl statisticky významně kratší ve skupině BACT (medián času zavedení 68 sekund, mezikvartilové rozpětí 56,5 - 85 sekund) ve skupině TracheoQuick plus byl medián času zavedení 178 sekund a mezikvartilové rozpětí 151,5 - 272,5 sekund. Všechny koniotomie ve skupině BACT byly úspěšné na první pokus. Ve druhé skupině bylo celkem 14 (82,3%) ze 17 výkonů provedeno úspěšně, ale pouze 3 koniotomie byly provedeny na první pokus. Všechny incize provedené v BACT skupině byly lokalizovány v místě ligamentum konicum, zatímco ve skupině TracheoQuick Plus byl jeden pokus proveden mezi prvním a druhým tracheálním prstencem a další 3 byly lokalizovány paratracheálně. Nebyly zaznamenány významné změny mezi zkoumanými skupinami ve změnách tepové frekvence před a po proběhlém výkonu. Při měření saturace periferní krve byly zaznamenány výrazně vyšší hodnoty peri- a postprocedurálně ve skupině BACT ve srovnání se skupinou TracheoQuick Plus. Při zkoumání preparátů laryngu a trachey po výkonech jsem zaznamenal pouze jedno poranění zadní stěny trachey (pars membranacea v úrovni prvního tracheálního prstence). Ve druhé skupině

bylo zaznamenáno 5 (29,4%) případů s poraněním zadní stěny trachey. Nepozoroval jsem žádné velké žilní ani arteriální krvácení, během procedur nebyl zaznamenán žádný pneumothorax, pneumomediastinum ani podkožní emfyzém. V jednom případě bylo ve skupině TracheoQuick Plus zaznamenáno úmrtí zvířete na hypoxickou zástavu (5,9%), všechny ostatní laboratorní zvířata přežila.

	BACT	TracheoQuick Plus	P
<i>n</i>	17	17	
Čas výkonu (s)	69 (35-112) [56,5-85]	178 (120-539) [151,5-272,5]	<0,001*
Procento úspěšností (n, %)	17 (100)	14 (82,3)	0,22
Počet pokusů (n)	1 (1-2) [1-1]	2 (1-4) [2-3]	<0,001*
Úspěšnost prvního pokusu (n, %)	16 (94,1)	3 (17,6)	<0,001*
Počet komplikací (n, %)	1 (5,9)	8 (47,1)	0,0167*

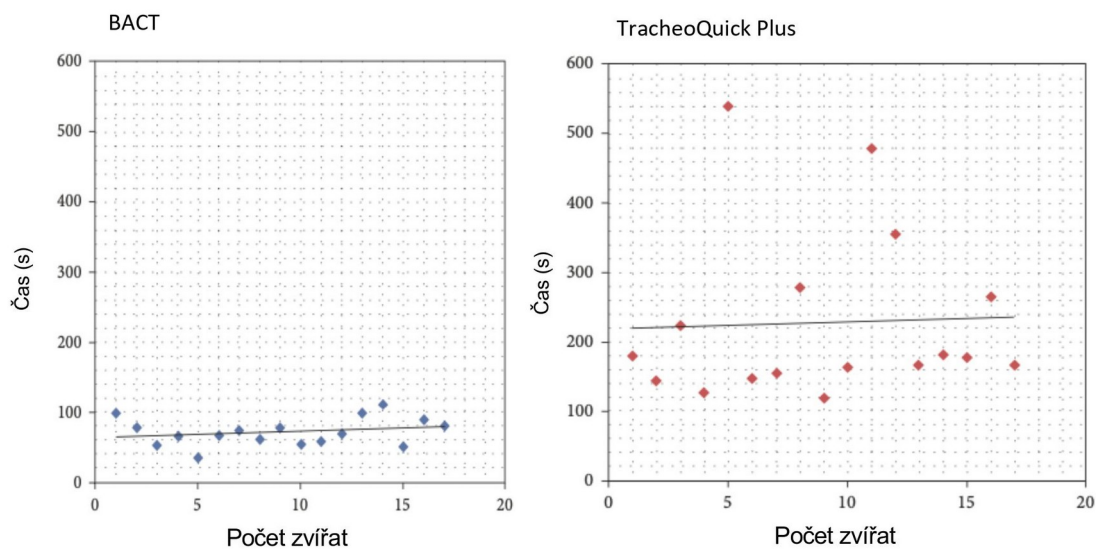
*statisticky významné

Tabulka 6. Čas výkonu, úspěšnost, počet pokusů a komplikace. Data jsou prezentována jako medián, rozpětí (), mezikvartilové rozpětí []. *n* – počet, *s* – sekunda.

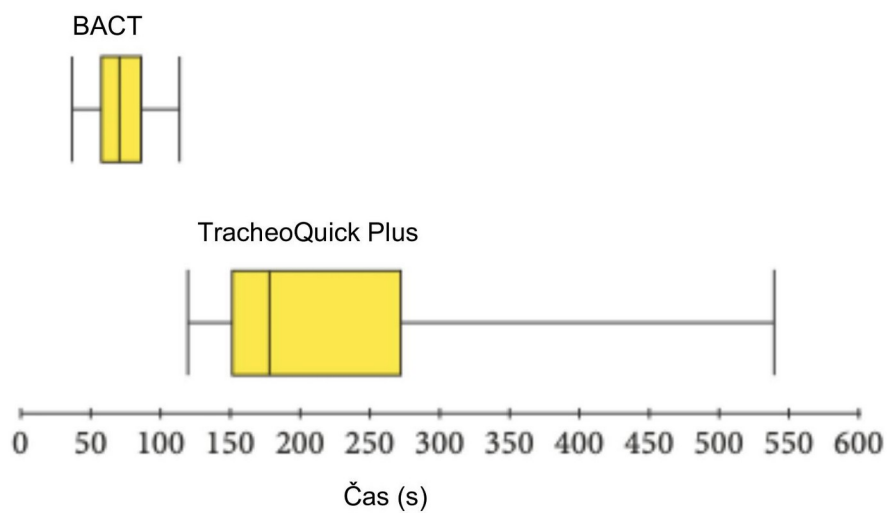
	BACT	TracheoQuick Plus	P
<i>n</i>	17	17	
Tepová frekvence (min)			
- před výkonem	58 (7,4)	57 (6,4)	0,676
- po výkonu	88 (8,5)	92 (24)	0,52
Saturace kyslíkem (SpO ₂) (%)			
- před výkonem	69 (10,9)	68 (10,6)	0,788
- po výkonu	66 (9,9)	56 (16,5)	0,039*
- 1 min po výkonu	94 (2,1)	81 (25,7)	0,046*

*statisticky významné

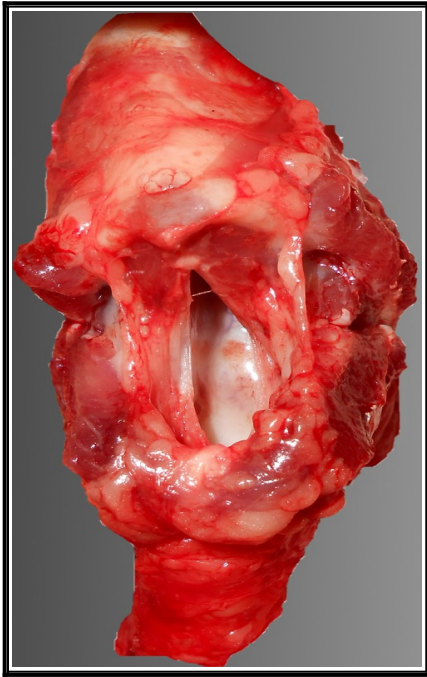
Tabulka 7. Změny v tepové frekvenci a saturaci periferní krve před a po výkonu. Data jsou prezentována jako průměr, směrodatná odchylka ().



Graf 1. Histogram distribuce času výkonu mezi skupinami



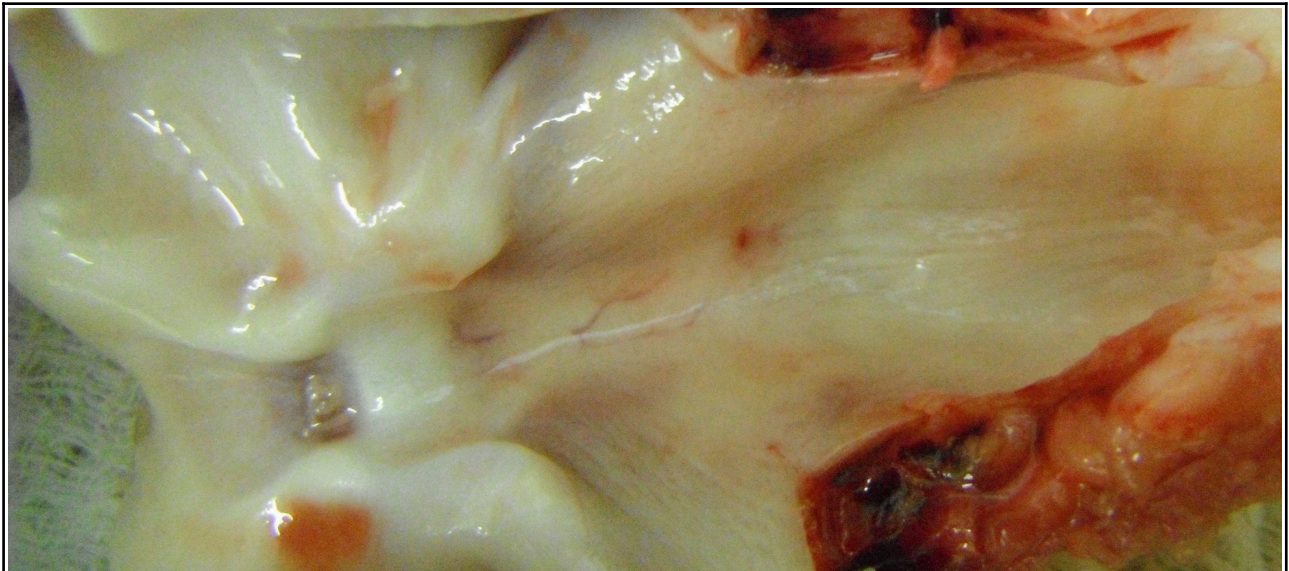
Graf 2. Krabicový diagram času výkonu (primární cíl)



Obr. 27. Koniotomie na sekčním preparátu
(zdroj: archiv autora)



Obr. 28. Koniotomie s procházející bužíí na
sekčním preparátu (zdroj: archiv autora)



Obr. 29. Poranění zadní stěny trachey na sekčním preparátu (zdroj: archiv autora)

Námi provedené prospektivní randomizované studie prokázaly, že BACT je technika vhodná a efektivní pro neodkladný chirurgický přístup do trachey. Na základě provedených prací můžeme říct, že v porovnání s punkční technikou TracheoQuick Plus je BACT signifikantně rychlejší a úspěšnější metodou.

Probíhající diskuze o tom, která technika je pro provedení koniotomie nejvhodnější naráží především na nekoherentnost studií, které jednotlivé techniky hodnotí (*Onrubia a kol., 2018*). Spousty studií je s malým populačním vzorkem a jejich kvalita je různorodá. Recentní systematický přehled o neodkladné koniotomii, který analyzoval všechny práce zabývající se chirurgickým zajištěním dýchacích cest na modelech, zvířatech nebo simulacích, dospělo k závěru, že data ze studií nelze jednoznačně interpretovat ve prospěch jakékoliv techniky (*Langvad a kol., 2013*).

BACT byl jako technika popsán MacIntyre et al. (*MacIntyre a kol., 2007*) jako rychlá a jednoduchá technika, kterou lze zvládnout i ve velmi obtížných podmínkách například s brýlemi pro noční vidění. Všechny práce, které srovnávají BACT s konvenční chirurgickou koniotomií nebo pomůckami, které využívají k zavedení kanyly do trachey punkční metodu (Quicktrach II, Portex) mají podobné výsledky. Časy zavedení jsou srovnatelné nebo kratší u pomůcek, kde je metodika jednodušší, nicméně BACT vykazuje větší procento úspěšných pokusů (*Hill a kol., 2010; Quick a kol., 2014; Nakstad a kol., 2013*). Problémem prací zůstává nejednotná metodika a hlavně modely na kterých se přístupy trénují. Mnoho prací je na modelech, vypreparovaných hrtanech laboratorních zvířat nebo na kadaverech. Největším problémem výkonů na modelech a kadaverech zůstává nereálnost situace. Odlišná realita od klinické praxe je v největší míře v biomechanických vlastnostech tkání (elasticita, mobilita, odpor, kluzkost...), které mohou celý výkon značně modifikovat a potom také nepřítomnost běžných komplikací ve smyslu krvácení a/nebo pohybu pacienta. Ukazuje se, že extrémně důležitou skutečností je, když operátor vnímá projevy života modelu (např. dechové exkurze hrudníku, tep srdce, zvukové fenomény při obstrukci dýchacích cest, zvukové fenomény monitorace....). Výrazně to totiž přibližuje realnost situace ke skutečné klinické situaci, kde stres operátora hraje velice významnou roli. Neméně významným faktem zůstává, že všichni zdravotníci, kteří mohou být vystaveni reálné klinické situaci chirurgického zajištění dýchacích cest v nepříznivých podmínkách (lékaři a záchranáři v přednemocniční péči, combat medicí, paramedici v bojových podmínkách) potřebují k úspěšnému zvládnutí tohoto scénáře předchozí trénink, bez toho to není možné (*McCarthy a Cooper, 2018*). Proto jsme pro naše studie zvolili právě model velkého živého laboratorního zvířete, myslím si totiž, že lze na něm téměř dokonale nasimulovat situaci, která se vyskytuje v reálné klinické praxi. Zdravotník je konfrontován s živým hýbajícím se, dusícím se pacientem, kterému nejdou konvenčním způsobem zajistit dýchací cesty. Je samozřejmé, že i práce na živém velkém zvířeti mají své limity. Rozdíl mezi prasečím a lidským hrtanem/krkem existuje. Největším rozdílem, majícím vliv na průběh pokusu, je pevnost, elasticita a šířka kůže. Prase je nuceno na rozdíl od lidí být dokonaleji chráněno, proto i tloušťka a vlastnosti jeho kůže jsou odlišné od lidské. Rozdíl je i ve stavbě hrtanu a fixaci v měkkých tkáních krku. Nicméně rozdíly ve stavbě hrtanu nehrají roli při provádění koniotomie (rozdíly jsou velmi patrné např. při intubaci). Při provádění koniotomie na praseti jsou tedy nejvíce rozdílné identifikace místa ligamentum konicum, nutnost pečlivé fixace

hrtanu oproti okolním strukturám, množství a pevnost tkáně ležící před ligamentum konicum. Všechny ostatní úkony i komplikace zůstávají stejné. Velkou limitací je samozřejmě počet operátorů. Tzn. pokud pouze dva jedinci dělají stejný výkon, vícekrát za sebou, na jejich dovednosti a zručnosti se to projeví. Tomuto faktu jsme se snažili vyhnout tréninkem jednotlivých metod před zahájením srovnávací práce, protože největší změny se dají očekávat na začátku křivky učení. Nicméně zůstává neoddiskutovatelným faktem, že trénink, ať je de facto jakýkoliv, výrazně zlepšuje výsledky prováděné procedury, zrychluje ji a vede k méně komplikacím. Proto je jistě správné hledat metodu, která bude mít křivku učení co nejplošší a zvládne ji co nejvíce uživatelů v co nejkratším čase.

Na základě výsledků našich prací můžeme říci, že BACT je metodou, kdy jdou chirurgicky zajistit dýchací cesty široce dostupným vybavením a pravděpodobně s malými komplikacemi. Metoda je to snadná, zapamatovatelná a aplikovatelná i v nestandardních podmínkách.

PŮVODNÍ PRÁCE

Bužíí asistovaná koniotomie (BACT) na prasečím modelu – pilotní studie

Henlín Tomáš¹, Michálek Pavel², Tyll Tomáš¹, Ryska Ondřej³, Juhas Štefan⁴, Juhasová Jana⁴

¹Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny (KARIM) 1. LF a ÚVN Praha

²Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny (KARIM) 1. LF a VFN Praha

³Chirurgická klinika 2. LF a ÚVN Praha

⁴Ústav živočišné fyziologie a genetiky AV ČR, v.v.i.

Anest. intenziv. Med., 25, 2014, č. 3, s. 184–189

SOUHRN

Cíl studie: Chirurgické zajištění průchodnosti dýchacích cest je v situaci, kdy ostatní metody selžou, život zachraňujícím výkonem. Cílem této pilotní studie bylo zhodnotit proveditelnost jedné z modifikací infraglotického zajištění dýchacích cest – bužíí asistované koniotomie (BACT) – na prasečím modelu.

Typ studie: Intervenční pilotní studie na velkém laboratorním zvířeti.

Materiál a metoda: Na 10 anestetizovaných miniprasatech byla provedena bužíí asistovaná koniotomie. Měřili jsme délku trvání koniotomie, úspěšnost a počet provedených pokusů. Po pitvě zvířat jsme dále zjišťovali lokalizaci místa řezu a případné poranění zadní stěny trachey.

Výsledky: Všechny provedené koniotomie byly úspěšné prvním pokusem s mediánem času zavedení 72,5 s (min. 35 s, max. 160 s). V jednom případě jsme zaznamenali poranění sliznice zadní stěny a v jednom případě došlo k zavedení bužie mezi první a druhý prstenec trachey místo přes ligamentum conicum.

Závěr: Podle provedené pilotní studie je BACT na prasečím modelu jednoduchá, efektivní a rychlá metoda s potenciálně nízkým počtem komplikací.

KLÍČOVÁ SLOVA

invazivní zajištění dýchacích cest – BACT

ABSTRACT

Henlín T., Michálek P., Tyll T., Ryska O., Juhas Š., Juhasová J.: Bougie-assisted cricothyrotomy on an animal model – a pilot study

Objective: Surgical securing of a patent airway is a life-saving procedure in the scenarios where other methods have failed. The aim of this study was to evaluate bougie-assisted cricothyrotomy (BACT) on a porcine model.

Design: Interventional pilot study performed on a porcine model.

Materials and methods: We performed bougie-assisted cricothyrotomy on 10 mini-pigs under general anaesthesia. The following parameters were measured: procedure duration, success rate and number of attempts needed. Other evaluated parameters included anatomical location of the incision, trauma to the posterior tracheal wall and other complications.

Results: The success rate of the procedure was 100% with a median time needed for insertion 72.5 s (min. 35 s, max. 160 s). We detected one case of trauma to the tracheal mucosa on the posterior tracheal wall. In one animal, BACT was performed incorrectly between the first and second tracheal rings.

Conclusions: BACT performed on a porcine model is a simple, effective and quick method, with a potentially low complication rate.

KEYWORDS

surgical airway – bougie-assisted cricothyrotomy

ÚVOD

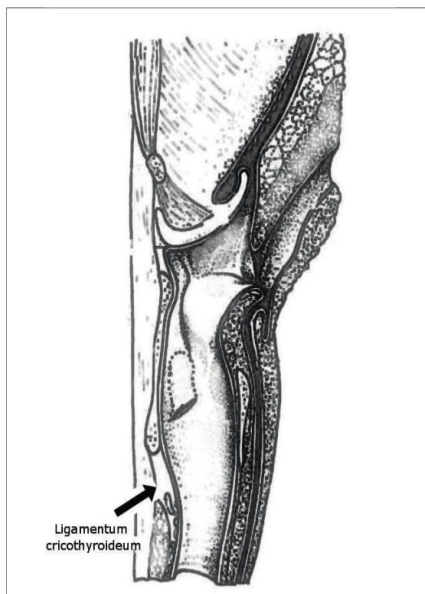
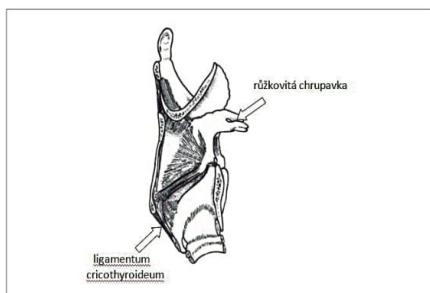
Akutní chirurgické přístupy do dýchacích cest jsou poslední možností zajištění dýchacích cest ve chvíli, kdy méně invazivní metody selžou. Je to především stav, kdy pacienta nelze intubovat, ani ventilovat, rozsáhlé maxilofaciální trauma znemožňující konvenční intubaci a také jinak neřešitelné vdechnutí a zaklínění cizího tělesa v prostoru nad nebo mezi hlasovými vazy [1, 2]. Data o incidenci chirurgického zajištění dýchacích cest nejsou v dostupných pracích jednotná. Liší se jak podle místa zasahujících týmů (nemocnice, přednemocniční péče), tak podle jejich složení (záchranáři, lékaři). Nicméně, četnost výskytu této techniky nepřekračuje 1 % případů [3]. V polních podmínkách při poskytování péče podle Tactical Combat Casualty Care je doporučeno zavolat emergentní koniotomii velmi časně, protože je prokázáno, že záchranáři většinou nejsou schopni u poraněného pacienta správně provést tracheální intubaci [4, 5]. Bužící asistovaná koniotomie – „bougie-assisted cricothyrotomy“ (BACT) – byla popsána v roce 2007 Allanem MacIntyrem [6], jako jednoduchá a rychlá technika, nenáročná na pomůcky.

Tato pilotní studie měla ověřit snadnost a rychlost metody na živém zvířecím modelu. Velké laboratorní zvíře bylo vybráno pro velkou korelaci anatomických prostorů a struktur s lidským hrta-

nem [7]. Prasečí larynx se skládá stejně jako lidský ze štítné, prstencové a arytenoidních chrupavek (obr. 1). Navíc má prase pouze růžkovitou chrupavku, která zevní tvar hrtanu vůbec nemění. Mezi štítnou a prstencovou chrupavkou leží cricothyroideální ligamentum. Největším rozdílem mezi lidským a prasečím hrtanem je přítomnost několika hrtanových výčhlípek u prasete – ventriculus laryngitis medius a lateralis, které činí obtíž především při intubaci.

MATERIÁL A METODIKA

Pilotní experimentální studie byla provedena na velkém laboratorním zvířeti – Gottingen-Minnesota minipig.



Obr. 1a, b Anatomie prasečího hrtanu – frontální a laterální pohled

ANESTEZIOLOGIE

Po souhlasu odborné komise Akademie věd ČR č. 10/2013 byla na 10 anestetizovaných selatích (hmotnost 35–45 kg) provedena buží asistovaná koniometrie (BACT). K experimentu byla využita zvířata, která byla určena k úhynu po ukončení jiného pokusu. Po intramuskulární premedikaci směsí anestetik, kterou tvoří tiletamin a zolazepam v dávce 2 mg/kg spolu s ketaminem 2 mg/kg a xylazinem 0,4 mg/kg byl prasatům zaveden intravenózní vstup a titračně aplikován thiopental do anestetické dávky. Po navození celkové anestezie zvířete byl proveden BACT. Koniometrie prováděli 2 anesteziologové se specializovanou způsobilostí, oba dva se zkušenostmi s invazivním zajišťováním dýchacích cest na kadaverech i při reálných klinických situacích včetně přednemocniční neodkladné péče. Ani jeden z nich však neměl zkušenost s BACT u prasete. K provedení BACT byl použit chirurgický skalpel číslo 20, Eschmanova bužie, standardní tracheální rourka číslo 6,5 s obturační manžetou, 10 ml stříkačka a samorozpínací vak.

Provedení výkonu probíhalo v několika krocích:

1. Nejprve jsme palpačně identifikovali spodní obloučkovitý okraj štítné chrupavky a fixovali hrtan mezi palcem a ukazováčkem nedominantní ruky (obr. 2).
2. Provedli jsme transversální řez kůží, podkožím a skrz ligamentum cricothyroideum o délce cca 2 cm. Snažili jsme se všechny struktury protnout jedním řezem.
3. Bužii jsme zavedli dvěma prsty dominantní ruky skrz řez do trachey minimálně 10–15 cm (u lidí je doporučováno zavést bužii až do pocitu mírného odporu – carina trachey) – obrázek 3.
4. Tracheální rourku jsme přetáhli po bužii do trachey (bužie byla použita jako vodič). Rourku jsme zasunuli dostatečně hluboko do trachey a nafoukli jsme její obturační manžetu (obr. 4, 5).



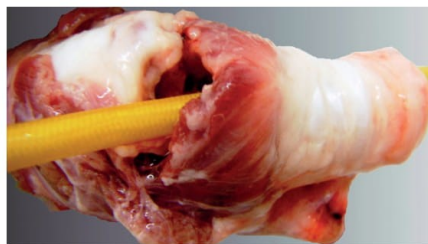
Obr. 2 Fixace prasečího hrtanu dvěma prsty a řez skrz ligamentum cricothyroideum



Obr. 3 Tracheální rourka přetažena přes bužii do trachey a připojena k samorozpínacímu vaku



Obr. 4 Zavedení gumové elastické bužie do trachey

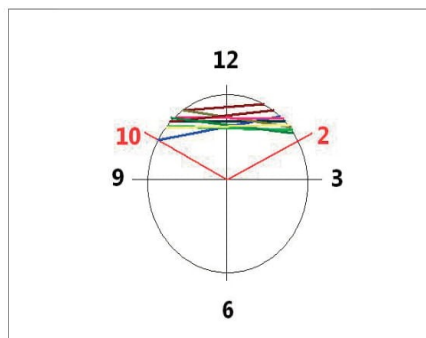


Obr. 5 Anatomická preparace trachey s řezem skrz ligamentum cricothyroideum a zavedenou buží

5. Vytáhli jsme bužii a připojili na rourku samorozpínací vak.

Sledovali jsme následující parametry:

- Čas provedení. Čas nula byl prvního dotek prasečího hrtanu operátorem a konečný čas provedení byl první úspěšný vdech do plic.
- Počet pokusů a jejich úspěšnost. Poloha kanyly byla potvrzena pohledem a poslechem hrudníku a detekcí proudu vzduchu při spontánní ventilaci.
- Místo řezu a stav zadní stěny trachey. Při pitvě jsme lokalizovali místo protěti ligamenta jak v longitudinálním, tak i v příčném řezu při využití hodinové stupnice, kde číslo 12 je vrchol ligamentum cricothyroideum a číslo 6 zadní stěna trachey. Dále jsme sledovali případné poranění zadní stěny trachey.



Graf 1 Znárodnění lokalizace řezů skrz ligamentum cricothyroideum na prasečím modelu

Legenda: 12 – nejvíce ventrální část hrtanu/ligamenta, 6 – dorzální stěna hrtanu. Barevné čáry ve výšce 10-02 vyznačují lokalizaci jednotlivých řezů.

VÝSLEDKY

Celkem jsme v této pilotní studii na prasatech provedli 10 bužíí asistovaných koniotomií, které byly ve 100 % úspěšné na první pokus. Výsledný čas úspěšného zavedení, který uvádíme jako medián, byl 72,5 s (nejkratší čas 35 s, nejdelší čas 160 s) – tabulka 1. Tři BACT (30 %) byly provedeny do jedné minuty, 5 výkonů (50 %) v čase mezi jednou a dvěma minutami a pouze dvě koniotomie (20 %) trvaly déle než 2 minuty. Devět z deseti provedených řezů (90 %) protnulo ligamentum cricothyroideum, a to mezi čísly 10 až 02, jeden řez (10 %) u prvního zvířete v pořadí byl proveden mezi prvním a druhým tracheálním prstencem na hodinové stupnici 11 až 03 (graf 1). Pouze v jednom případě došlo ke komplikaci, která se prezentovala jako slizniční poranění zadní stěny trachey bez její perforace. Ostatní možné komplikace, jako jsou závažné krvácení po poranění tepny nebo žíly, pneumotorax, pneumomediastinum, výskyt podkožního emfyzému, jsme nezaznamenali ani v jednom případě. Kromě jednoho případu (10 %)

oba operatři hodnotili výkon jako snadný a byli si jisti anatomickou lokalizací ligamentum cricothyroideum.

DISKUSE

Bužíí asistovaná koniotomie (BACT) je metoda, která byla vyvinuta a popsána americkými armádními chirurgy [6]. Hlavním důvodem pro její vývoj byla nutnost dostupnosti snadno a rychle proveditelné techniky, která by byla současně materiálově nenáročná. Původní popis McIntyry dokonce počítá s jejím provedením za nočních podmínek a s použitím brýlí pro noční vidění („night-vision goggles“) [6]. V posledních letech byly publikovány kazuistiky popisující BACT jako život zachraňující techniku i mimo válečnou medicínu [8, 9]. Tato technika má proti klasické chirurgické koniotomii i proti perkutánnímu přístupu do dýchacích cest (QuickTrach, RapidTrach) několik zásadních

Tab. 1 Čas provedení, úspěšnost, počet pokusů, místo punkce a komplikace u BACT

Prase	Čas (s)	Úspěšnost	Počet pokusů	Místo řezu	Poranění zadní stěny
1	160	ano	1	Trachea	ne
2	80	ano	1	Lig. Conicum	ne
3	60	ano	1	Lig. Conicum	ne
4	65	ano	1	Lig. Conicum	ne
5	35	ano	1	Lig. Conicum	ne
6	20	ano	1	Lig. Conicum	ne
7	80	ano	1	Lig. Conicum	ano
8	120	ano	1	Lig. Conicum	ne
9	80	ano	1	Lig. Conicum	ne
10	35	ano	1	Lig. Conicum	ne

ANESTEZIOLOGIE

výhod [10, 11]. Řez je veden skalpelem mezi fixovanými prsty buď ve tvaru „T“ nebo souběžně s průběhem ligamentum cricothyroideum, přičemž je riziko poranění zadní stěny trachey minimální. Podél prstu je do otvoru dostatečně hluboko zavedena gumová elastická bužie [12], která poskytne bezpečný vodič pro tracheální rourku. Pokud je zavedení bužie do hloubky 10 cm snadné, je téměř jisté, že je uložena v průdušnici. Tracheální rourka s manžetou o průměru 6,0–6,5 mm poskytuje v dané situaci definitivní zajištění dýchacích cest s ochranou proti aspiraci žaludečního obsahu a také krve z horních cest dýchacích [13]. Při tomto průměru a nafouknuté manžetě tracheální kanyly je navíc možné pacienta kvalitně ventilovat pozitivním tlakem s výrazně nižším rizikem obstrukce rourky cizím materiálem než u jiných technik [14].

Vzhledem k tomu, že anesteziologové, lékaři intenzivní a přednemocniční péče, váleční lékaři a paramedici ve své praxi přicházejí s chirurgickými metodami zajištění dýchacích cest do styku výrazně méně než například s tracheální intubací nebo zavedením laryngeální masky, je nutný trénink této techniky na modelech a za pomoci simulátorů. Trénink invazivních postupů sloužících k zajištění dýchacích cest se dá provádět různými způsoby. První možnosti jsou uměle vyrobené modely, které mohou být velmi jednoduché nebo i sofistikované včetně přítomnosti tracheobronchiálního stromu [15]. Tyto modely jsou vhodné pro první seznámení s „hardware“, ale nikdy nedosahují biomechanických vlastností živých tkání, a i proto práce prováděné na modelech a biologických modelech mají rozdílné výsledky. Kadavery jsou možnou alternativou k umělým modelům, ale mají také své nevýhody. Po smrti dochází ke změnám biomechanických vlastností tkáně, především obsahu vody. Kadaver také nekrváčí a nedochází u něj k hypoxémii, a proto je trénink na něm vzdálen od reality. Především z těchto důvodů jsme zvolili model velkého laboratorního zvířete, jako nejvhodnější alternativu k živé lidské tkáni.

Jak již bylo uvedeno výše, anatomie lidského a prasečího hrtanu vykazuje jisté odlišnosti. Mezi největší rozdíly humánního a prasečího hrtanu můžeme zahrnout způsob fixace laryngu v okolních tkáních a rozdílné vlastnosti kůže. Prase má larynx a především tracheu umístěny v řídkém poživu, proto je fixace hrtanu hlavně při počátečním řezu extrémně důležitá. Druhým významnějším rozdílem je tloušťka a pevnost prasečí kůže, která výrazně převyšuje lidskou a činí obtížné při palpační identifikaci ligamentum cricothyroideum [7, 16]. V porovnání s jinými pracemi, které byly prováděny na modelech [11] nebo na kadaverech [10, 17], jsou sice celkové časy zavedení v naší studii delší, což pravděpodobně souvisí s horší identifikací

místa řezu a větším odporem a tloušťkou kůže a podkoží u prasete. Nicméně i přes výše uvedené odlišnosti naše data ukazují na snadnost a proveditelnost testované techniky chirurgického zajištění dýchacích cest. V souladu s tím i data z nedávno publikovaných studií potvrzují, že chirurgické koniotomie jsou pro ventilaci a oxygenaci efektivnější než perkutánní metody a osvojení této techniky jsou schopni zvládnout i nezkušení [10, 14].

Limitací práce je jisté malý počet zvířat, ale všechny pokusy jsme prováděli v souladu s platnými právními předpisy ČR (zákony č. 246/92 Sb. a č. 311/97 Sb.), podle nichž je etické provést pokus na co nejmenším počtu zvířat k získání účinné informace. Dalším limitem naší pilotní studie je, že výkony byly prováděny pouze lékaři se zkušeností v chirurgickém zajištění dýchacích cest. V dalších experimentech bychom se chtěli zaměřit na nezkušené lékaře a záchranáře civilní i vojenské.

Koniotomie ve třech krocích je invazivním zajištěním dýchacích cest s bazálním a široce dostupným vybavením a při použití elastické bužie pravděpodobně i s minimem komplikací [8, 9].

ZÁVĚR

Uvedená data z malé pilotní studie ukazují, že BACT na prasečím modelu je jednoduchá a rychlá metoda, která by měla být i relativně bezpečná s predikovanou malou četností komplikací.

LITERATURA

1. Helm, M., Gries, A., Mutzbauer, T. Surgical approach in difficult airway management. *Best Pract. Res. Clin. Anaesthesiol.*, 2005, 19, 4, p. 623–640.
2. Hubble, M. W., Wilfong, D. A., Brown, L. H., Hertelendy, A., Benner, R. W. A meta-analysis of pre-hospital airway control techniques part II: alternative airway devices and cricothyrotomy success rates. *Prehosp. Emerg. Care*, 2010, 14, 4, p. 515–530.
3. Helm, M., Kremers, G., Lampl, L., Hossfeld, B. Incidence of transient hypoxia during pre-hospital rapid sequence intubation by anaesthesiologists. *Acta Anaesthesiol. Scand.*, 2013, 21, p. 199–205.
4. Butler, F. K. jr., Hagmann, J., Butler, E. G. Tactical combat casualty care in special operations. *Mil. Med.*, 1996, 161, S1, p. 3–16.
5. Donat, A., Petitjeans, F., Précloux, P., Puidupin, M., Escarment, J. Cricothyrotomy for airways management: current data and interest for combat casualty care. *Ann. Fr. Anesth. Reanim.*, 2012, 31, 2, p. 141–151.
6. MacIntyre, A., Markarian, M. K., Carrison, D., Coates, J., Kuhls, D., Fildes, J. J. Three-step emergency cricothyrotomy. *Mil. Med.*, 2007, 172, 12, p. 1228–1230.
7. Sack, W. O. *Essentials of pig anatomy*. Veterinary Textbooks, Ithaca, New York, 1982.
8. Reardon, R., Joing, S., Hill, C. Bougie-guided cricothyrotomy technique. *Acad. Emerg. Med.* 2010, 17, 2, p. 225.

9. Braude, D., Webb, H., Stafford, J., Stulce, P., Montanez, L., Kennedy, G., Grimsley, D. The bougie-aided cricothyrotomy. *Air Med. J.*, 2009, 28, 4, p. 191-194.

10. Nakstad, A. R., Bredmose, P. P., Sandberg, M. Comparison of a percutaneous device and the bougie-assisted surgical technique for emergency cricothyrotomy: an experimental study on a porcine model performed by air ambulance anaesthesiologists. *Scand. J. Trauma Resusc. Emerg. Med.*, 2013, 21, 1, art. 59.

11. Sulaiman, L., Tighe, S. Q., Nelson, R. A. Surgical vs. wire-guided cricothyroidotomy: a randomised cross-over study of cuffed and uncuffed tracheal tube insertion. *Anaesthesia*, 2006, 61, 6, p. 565-570.

12. Hinds, J. D., Michalek, P. The gum-elastic bougie: one of anaesthesia's best kept secrets. *J. Paramedic Pract.*, 2008, 1, 1, p. 21-25.

13. Michálek, P., Otáhal, M. Punkční a chirurgické přístupy do dýchacích cest. *Anest. Intenziv. Med.*, 2011, 22, 3, p. 179-181.

14. Curtis, K., Ahern, M., Dawson, M., Mallin, M. Ultrasound-guided, bougie-assisted cricothyroidotomy: a description of a novel technique in cadaveric models. *Acad. Emerg. Med.*, 2012, 19, 7, p. 876-879.

15. O' Connor, D., Longhorn, R., Heard, A. Emergency surgical airway training in Western Australia. *Anaesthesia*, 2004, 59, 9, p. 919.

16. Wysocki, J., Kielska, E., Janiuk, I., Charuta, A. Analysis of larynx measurements and proportions in young and adult domestic pigs. *Turk. J. Vet. Anim. Sci.*, 2010, 34, 4, p. 339-347.

17. Hill, C., Reardon, R., Joing, S., Falvey, D., Miner, J. Cricothyrotomy technique using gum elastic bougie is faster than

standard technique: a study of emergency medicine residents and medical students in an animal lab. *Acad. Emerg. Med.*, 2010, 17, 6, p. 666-669.

Práce vznikla za podpory projektu MO1012.

Poděkování: Veterinářům a veterinárním technikům Ústavu živočišné fyziologie a genetiky Akademie věd České republiky, pracoviště Liběchov, za pomoc při realizaci tohoto projektu.

Deklarujeme, že tato práce ani její část nebyla publikována v žádném jiném časopise. Autoři též nemají žádný střet zájmů týkající se výše uvedeně práce.

Do redakce došlo dne 14. 11. 2013.

Do tisku přijato dne 20. 1. 2014.

Adresa pro korespondenci:

mjr. MUDr. Tomáš Henlín

KARIM 1. LF UK
a Ústřední vojenské nemocnice Praha
U Vojenské nemocnice 1200
169 02 Praha 6
email: tomas.henlin@uvn.cz

Research Article

A Randomized Comparison of Bougie-Assisted and TracheoQuick Plus Cricothyrotomies on a Live Porcine Model

Tomas Henlin,¹ Pavel Michalek,^{2,3} Tomas Tyll,¹ and Ondrej Ryska⁴

¹Department of Anesthesia and Intensive Medicine, First Medical Faculty, Charles University and University Military Hospital, U Vojenske Nemocnice 1200, 169 02 Prague, Czech Republic

²Department of Anesthesia and Intensive Medicine, First Medical Faculty, Charles University and General University Hospital, U Nemocnice 2, 128 08 Prague, Czech Republic

³Department of Anaesthesia, Antrim Area Hospital, Bush Road, Antrim BT41 2RL, UK

⁴Institute of Animal Physiology and Genetics, Academy of Sciences of the Czech Republic (AS CR), Rumburska 89, 277 21 Libechov, Czech Republic

Correspondence should be addressed to Pavel Michalek; pafkamich@yahoo.co.uk

Received 26 September 2017; Accepted 3 December 2017; Published 19 December 2017

Academic Editor: Hideo Inaba

Copyright © 2017 Tomas Henlin et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Objectives. Cricothyrotomy is a rescue procedure in “cannot intubate, cannot oxygenate” scenarios where other methods of nonsurgical airway management have failed. We compared 2 cuffed cricothyrotomy sets, bougie-assisted cricothyrotomy (BACT) and novel percutaneous TracheoQuick Plus, on a live porcine model in a simulated periarrest situation. **Methods.** Thirty-four anesthetized minipigs were randomly allocated into two groups: BACT technique ($n = 17$) and TracheoQuick Plus ($n = 17$). The primary outcome was duration of cricothyrotomy while secondary outcomes were total success rate, number of attempts, location of incision, changes in heart rate, oxygen saturation, and the incidence of complications. **Results.** BACT was significantly faster than TracheoQuick Plus cricothyrotomy, with a median time of 69 sec (IQR 56–85) versus 178 sec (IQR 152–272). The total success rate was without difference. 94% of BACT was performed successfully on the first attempt, while in the TracheoQuick Plus group, it was only 18% ($P < 0.001$). Trauma to the posterior tracheal wall was observed once in the BACT group and 5 times in the TracheoQuick Plus group. Oxygen saturation was significantly higher in the BACT group both during and after the procedure. **Conclusions.** BACT is superior to TracheoQuick Plus cricothyrotomy on a live animal model.

1. Introduction

Emergency infraglottic approach to the airway via the cricothyroid membrane is indicated in any situation where other more conventional methods either fail or are not feasible due to disturbed orofacial anatomy [1, 2]. The incidence of emergency cricothyrotomy varies widely in the literature, from 0.002% in the operating room [3] to 10.9% in the prehospital setting [4]. In some major trauma cases, an emergency cricothyrotomy may be an alternative method of emergency airway management to tracheal intubation [5]. The Tactical Combat Casualty Care (TCCC) algorithm for field trauma emergencies recommends surgical cricothyrotomy as a “second” step approach in the management of the

obstructed airway [6]. Various commercial or home-made sets are available for this procedure. Recent meta-analyses or systematic reviews do not favor one particular technique of performing cricothyrotomy over others due to insufficient data [1, 7]. Bougie-assisted cricothyrotomy (BACT) was described as a 3-step procedure in 2007 as a simple, quick, and effective procedure of emergency airway management [8]. Most randomized studies comparing different cricothyrotomy techniques were performed on human or animal cadaveric models or on simulators. In the present study, we proposed to use a live porcine model with pharmacologically induced respiratory depression presenting as irregular breathing (gaspings) in order to simulate realistic conditions of emergency airway management, including monitoring of



FIGURE 1: Equipment for BACT procedure: scalpel, cuffed 6.5 mm ID endotracheal tube, and gum-elastic bougie.

vital functions. The aim of our study was to compare BACT to a novel, cuffed, commercially available set for cricothyrotomy, TracheoQuick Plus® (Teleflex Medical Ltd., Ireland).

2. Material and Methods

The study was performed with written approval from the Ethical Committee of the Academy of Sciences of the Czech Republic (10/2013). The study was performed in accordance with the Czech legislation related to animal studies (law 10/1992) and respecting the ARRIVE protocol.

2.1. Study Design. The study was designed to be prospective and randomized. The animals were randomized 2 h prior to enrollment using sealed envelopes. Two operators with experience in emergency medicine and surgical airway management performed all of the procedures. Both operators had practiced each procedure 20 times on manikins and 5 times on cadavers prior to commencement of this study.

2.2. Laboratory Animals. In this study, live minipigs weighing 35–50 kg were used for all experiments. All the animals were properly farmed. Minipigs from other experiments (experimental model of sepsis) already intended for postmortem examination were used. Animal handling was performed in accordance with the European Directive for the Protection of Vertebrate Animals Used for Experimental and Other Scientific Purposes (86/609/EU). All experiments were closely supervised by a qualified veterinary physician.

2.3. Equipment and Procedures. Two cricothyrotomy sets were used for the purpose of this study. For the BACT technique, a surgical scalpel with a number 20 blade, a 60 cm long gum-elastic bougie (Venn Reusable Tracheal Tube Introducer, Smith Medical International Ltd., UK), and a 6.5 mm ID cuffed endotracheal tube (Smith Medical, Ashton, UK) were used (Figure 1). The procedure was performed in 3 steps: a “T” shape was stabbed through the skin, subcutaneous tissue, and cricothyroid membrane (step 1); the gum-elastic bougie was inserted through the membrane until resistance was felt (step 2); the tracheal tube was railroaded over the bougie into the trachea (step 3). Following insertion, the cuff of the endotracheal tube was inflated and the tube was connected to the breathing circuit.

The TracheoQuick Plus Coniotomy Tube Rüscher set (Teleflex Medical Europe Ltd., Ireland) (Figure 2) contains a short surgical scalpel, cuffed cricothyrotomy tube with an

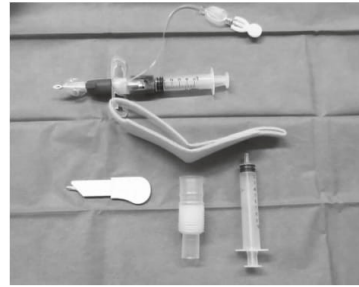


FIGURE 2: TracheoQuick Plus cricothyrotomy kit.

internal diameter of 4.0 mm, flexible tube extension, and one-way syringe. When performing cricothyrotomy with TracheoQuick Plus, the larynx was immobilized and a vertical skin incision was made with the scalpel. The cricothyroid membrane was subsequently punctured with the set. Once the tracheal lumen was reached with tip of the needle, the safety device was removed. At this point, the device was angled caudally and the cricothyrotomy tube was slid into the tracheal lumen. The cuff was then inflated and the device connected to the breathing circuit. In total, 4 attempts were allowed in each group. In the case of failure, confirmed by an absence of an etCO_2 waveform on capnography, the pigs were subsequently intubated. The procedures were performed in the operating veterinary theater without the use of artificial light.

2.4. Anesthesia and Measurements. General anesthesia was induced with an intramuscular mixture of anesthetics. A mixture of tiletamine and zolazepam at a dose of 2 mg/kg and ketamine 2 mg/kg with xylazine 0.4 mg/kg was used. Following this, monitoring of oxygen saturation and ECG was initiated, and an intravenous cannula was inserted. Propofol was given intravenously until the onset of irregular breathing. At this point, an operator commenced skin incision. Following successful cricothyrotomy and device placement, the tube was connected to the anesthetic circuit, etCO_2 was monitored, and the lungs were ventilated with 100% oxygen for 3 minutes.

2.5. Outcomes. The primary outcome measure for this study was time to successful device placement. This time was measured from the operator starting the procedure until the first effective controlled breath as seen on capnography.

Secondary outcomes involved the total success rate of the procedure (visible effective breath on capnography), number of attempts, first attempt success rate, changes in heart rate during and after the procedure as measured on the ECG monitor, and changes in oxygen saturation measured by a pulse oximeter placed on the tongue of the pig. Oxygen saturation was measured at incision time, immediately before cricothyrotomy device placement, and after 1 min of artificial ventilation with 100% O_2 through the device. Intraoperative complications such as massive venous or arterial bleeding,

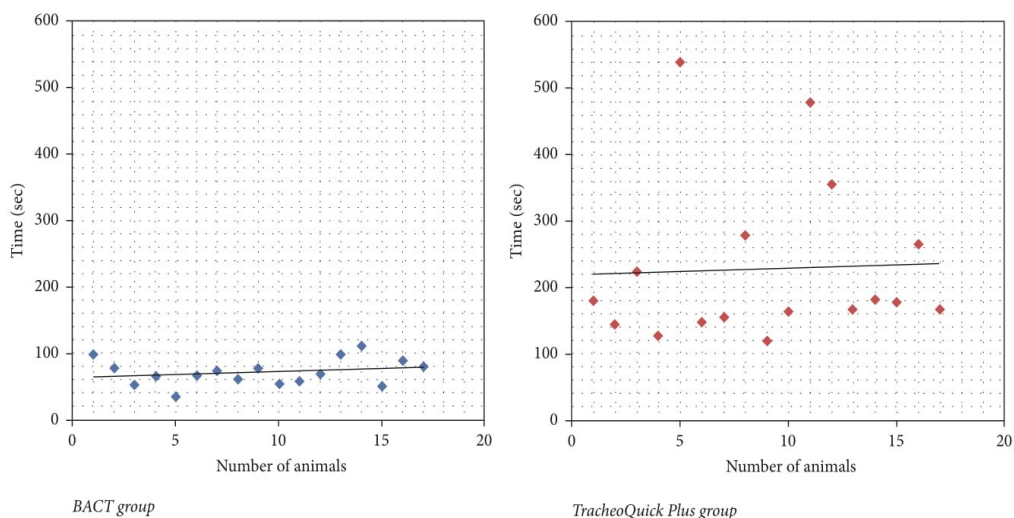


FIGURE 3: Histogram of distribution of the procedure duration between the groups.

subcutaneous emphysema, and difficulties with anatomical orientation were recorded.

The location of the incision and traumatic complications were evaluated on postmortem examination. All animals were euthanized 2 hours after their cricothyrotomies.

2.6. Sample Size and Statistical Analysis. We used the results from our previously published pilot study of BACT [9] to determine the sample size for this trial. Based on these results, a mean procedure time of 72 sec (SD ± 30) was used and a meaningful difference between the groups was chosen as 30 sec. The sample size was calculated as minimum of 16 animals in each arm with 80% power and 5% alpha using a 2-tailed test. A total number of 34 animals were finally randomized in order to compensate for potential drop-outs.

Before definitive analysis, all data were tested for normal distribution using the Shapiro–Wilk test. Based on their distribution, the results were analyzed using either parametric (Fisher’s exact test, Student’s *t*-test) or nonparametric (Mann–Whitney *U* test) statistical tests. The statistical software program InStat (GraphPad Software Inc., La Jolla, USA) was used for analysis.

3. Results

In total, 34 cricothyrotomies were performed (17 in the BACT group, 17 in the TracheoQuick Plus group). Baseline parameters, such as weight, did not differ significantly between the groups. The procedure time was significantly shorter in the BACT group (median 68 sec, IQR 56.5–85 sec) than in the TracheoQuick Plus group (median 178 sec, IQR 151.5–272.5 sec); *P* < 0.001 (Figures 3 and 4). All cricothyrotomies in the BACT group were successful, with the majority

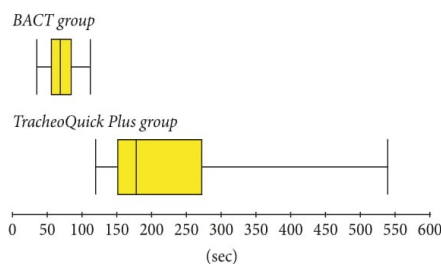


FIGURE 4: Box plot of procedure duration (primary outcome).

being performed on the first attempt (Table 1). In the TracheoQuick Plus group, 14 procedures (82.3%) were successful, with only 3 (17.6%) being performed on the first attempt (Table 1). All incisions in the BACT group were located within the cricothyroid membrane, while in the TracheoQuick Plus group, 1 puncture was located between the first and second tracheal ring and another 3 were into the paratracheal tissue. There were no significant differences in the baseline profile, postprocedural values, or intraoperative changes in heart rates between the groups (Table 2). Intraprocedural and postprocedural oxygen saturation were significantly higher in the BACT group (Table 2). There was 1 case of trauma to the posterior tracheal wall in the BACT group recorded during postmortem examination at the level of the first tracheal ring and at 5 o’clock on the pars membranacea of the trachea (Figure 5). In total, 5 cases of trauma to the posterior tracheal wall (29.4%) were observed in the TracheoQuick Plus group. We did not observe any significant venous or arterial bleeding in any animal, and we did not see any

TABLE 1: Procedure time, success rate, number of attempts, and complications. Data are presented as median, range (), and interquartile range [].

	BACT	TracheoQuick Plus	P
<i>n</i>	17	17	
Procedure time (sec)	69 (35–112) [56.5–85]	178 (120–539) [151.5–272.5]	<0.001*
Success rate (<i>n</i> , %)	17 (100)	14 (82.3)	0.22
Number of attempts (<i>n</i>)	1 (1-2) [1-1]	2 (1–4) [2-3]	<0.001*
First time success (<i>n</i> , %)	16 (94.1)	3 (17.6)	<0.001*
Complications total (<i>n</i> , %)	1 (5.9)	8 (47.1)	0.0167*
(i) Posterior wall trauma	1 (5.9)	5 (29.4)	0.175
(ii) Paratracheal puncture	-	3 (17.6)	0.227
(iii) Rupture of cartilage	-	-	
(iv) Bleeding	-	-	
(v) Pneumothorax	-	-	
(vi) Pneumomediastinum	-	-	

*Statistically significant.

TABLE 2: Changes in heart rate and oxygen saturation during and after the cricothyrotomy. Data are presented as mean (SD).

	BACT	TracheoQuick Plus	P
<i>n</i>	17	17	
Heart rate (bpm)			
(i) Prior to procedure	58 (7.4)	57 (6.4)	0.676
(ii) After device insertion	88 (8.5)	92 (24)	0.52
Oxygen saturation (spO ₂) (%)			
(i) Prior to procedure	69 (10.9)	68 (10.6)	0.788
(ii) After device insertion	66 (9.9)	56 (16.5)	0.039*
(iii) 1 min after insertion	94 (2.1)	81 (25.7)	0.046*

*Statistically significant.

case of pneumothorax, pneumomediastinum, or presence of subcutaneous emphysema. There was 1 case of hypoxic cardiac arrest in the TracheoQuick Plus group (5.9%); all other animals survived the procedure.

4. Discussion

The results of this prospective randomized trial showed that BACT is significantly faster method of emergency cricothyrotomy than the commercially available percutaneous cricothyrotomy set TracheoQuick Plus. Apart from shorter time, BACT was also significantly more successful at the first attempt.

Percutaneous or surgical cricothyrotomy is a life-saving procedure in “cannot intubate, cannot oxygenate” (CICO) situations. There have been continuing debates in the literature about the most appropriate and most successful technique of emergency front of neck access. A recent systematic review analyzed all human, animal, and simulation studies related to emergency cricothyrotomy [1]. The authors concluded that no technique of percutaneous, Seldinger, or surgical cricothyrotomy showed significant superiority over another technique, but the quality of studies varied and sample sizes were mostly low. Data obtained from NAP4 highlighted the

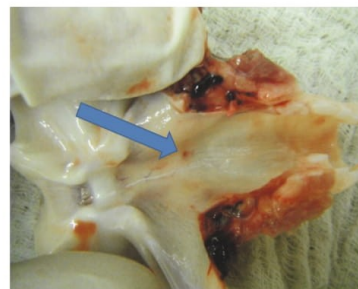


FIGURE 5: Trauma to the posterior tracheal wall (arrow) on post-mortem examination.

fact that surgical techniques are potentially more successful and effective than needle cricothyrotomies [3].

BACT was first described by MacIntyre et al. in 2007 as a quick surgical cricothyrotomy performed by military physicians under difficult conditions such as lack of light [8]. Few studies have compared BACT with other cricothyrotomy techniques. Hill et al. compared BACT with a standard

surgical cricothyrotomy on an anesthetized sheep model [10]. BACT showed a similarly low failure rate and was also significantly faster than the standard technique.

The 3-step bougie-assisted method was considered a faster, more successful, and safer method than conventional surgical cricothyrotomy using a high-fidelity airway manikin [11]. On the other hand, the Portex-cuffed percutaneous cricothyrotomy device, similar to the TracheoQuick Plus kit, was associated with a faster insertion time than BACT using a dissected porcine larynx model [12]. However, the success rate was higher and the complication rate lower in the BACT group prior to intensive training. The TracheoQuick Plus device has not been tested yet and the only data available are derived from similar cuffed devices such as Quicktrach II or the Portex cricothyrotomy kit. Noncuffed percutaneous devices showed significantly shorter insertion times than the cuffed kit Quicktrach II on a manikin [13]. Four different cricothyrotomy techniques on human unembalmed cadavers found higher success rates and fewer complications using a surgical approach when compared to puncture/percutaneous techniques [14]. Three different cuffed percutaneous kits were compared to surgical cricothyrotomy in another simulation study [15]. The Quicktrach II and Melker sets performed better than a surgical approach, and the Portex kit was associated with the highest failure rate.

Most studies comparing devices for emergency cricothyrotomies have been performed on simulators, dissected animal models, or cadavers.

The main problem during cadaveric and manikin studies of surgical cricothyrotomies is a lack of reality in regard to the biomechanical properties of the tissues, as well as an absence of potential complications, such as swelling or local bleeding from the subcutaneous or thyroid vessels [16]. Setting up a prospective randomized study comparing 2 different methods of emergency surgical airway management in humans is extremely difficult due to the low incidence of the procedure, ethical reasons, and diversity of clinical scenarios.

4.1. Study Limitations. This study has several limitations. First, the anatomy of the porcine larynx is slightly different from that of humans. While the cartilaginous structures are grossly similar, the porcine skin is significantly thicker, the distance between skin and trachea is longer in pigs, and palpation of the porcine cricothyroid membrane is more difficult than it is in humans [17, 18].

Second, the procedures were performed in almost ideal conditions. The pigs were anesthetized, with only a small reaction to the incision, lying in the supine position on the floor with the theaters illuminated by natural light. In real life, emergency cricothyrotomies are often performed under significant stress, with poor or no light and on patients who may be moving or struggling.

Third, all cricothyrotomies were performed by physicians experienced in airway management including performing a surgical airway procedure. The results may have been different using inexperienced operators, paramedics, or medical students [19].

In addition, landmark techniques have been found to be inaccurate in locating the cricothyroid membrane [19, 20],

and ultrasound guidance, even in emergency situations, might facilitate device placement [21].

5. Conclusions

Based on this animal experiment performed using a live porcine model, the bougie-assisted cricothyrotomy was shown to be a faster and less traumatic method for emergency surgical airway management than cricothyrotomy using the TracheoQuick Plus device. BACT appears to be superior to the TracheoQuick Plus device in a live porcine model. Future studies should be directed toward the use of ultrasound in emergency surgical airways [22], performance of BACT under endoscopic control [23], and the setting up of a large prospective multicenter trial comparing BACT and percutaneous methods of emergency cricothyrotomy on emergency patients.

Abbreviations

BACT: Bougie-assisted cricothyrotomy
CICO: Cannot intubate, cannot oxygenate
ECG: Electrocardiography
NAP: National Audit Project
TCCC: Tactical Combat Casualty Care.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflicts of interest regarding the publication of this manuscript.

Authors' Contributions

All authors made substantive contributions to the manuscript. Tomas Henlin and Pavel Michalek designed the study. Tomas Henlin, Pavel Michalek, and Ondrej Ryska were responsible for conducting the study. Tomas Henlin, Pavel Michalek, and Tomas Tyll analyzed the data and prepared the manuscript. All authors have seen the original data, reviewed the analysis, and approved the final version of the manuscript.

Acknowledgments

This study was supported by the ExAM-CZ.1.05./2.1.00/03.0124, Ministry of Health, Czech Republic (Projects nos. NT13634 and NT12250-4), and RVO: 67985904. The authors thank Dr. Will Donaldson for his comments and language corrections and Dr. Stefan Juhas for veterinary supervision of the study.

References

- [1] S. Langvad, P. K. Hyldmo, A. R. Nakstad, G. E. Vist, and M. Sandberg, "Emergency cricothyrotomy—a systematic review," *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, vol. 21, no. 1, article 43, 2013.
- [2] T. Henlin, P. Michalek, T. Tyll, J. D. Hinds, and M. Dobias, "Oxygenation, ventilation, and airway management in out-of-hospital cardiac arrest: a review," *BioMed Research International*, vol. 2014, Article ID 376871, 11 pages, 2014.

- [3] T. M. Cook, N. Woodall, and C. Frerk, "Major complications of airway management in the UK: results of the Fourth National Audit Project of the Royal College of Anaesthetists and the Difficult Airway Society. Part 1: anaesthesia," *British Journal of Anaesthesia*, vol. 106, no. 5, pp. 617–631, 2011.
- [4] A. E. Bair, E. A. Panacek, D. H. Wisner, R. Bales, and J. C. Sakles, "Cricothyrotomy: A 5-year experience at one institution," *The Journal of Emergency Medicine*, vol. 24, no. 2, pp. 151–156, 2003.
- [5] J. Cranshaw and J. Nolan, "Airway management after major trauma," *Continuing Education in Anaesthesia, Critical Care & Pain*, vol. 6, no. 3, pp. 124–127, 2006.
- [6] F. K. Butler Jr. and L. H. Blackbourne, "Battlefield trauma care then and now: a decade of Tactical Combat Casualty Care," *Journal of Trauma and Acute Care Surgery*, vol. 73, no. 6, supplement 5, pp. S395–S402, 2012.
- [7] M. W. Hubble, D. A. Wilfong, L. H. Brown, A. Hertelendy, and R. W. Benner, "A meta-analysis of prehospital airway control techniques—part ii: alternative airway devices and cricothyrotomy success rates," *Prehospital Emergency Care*, vol. 14, no. 4, pp. 515–530, 2010.
- [8] A. MacIntyre, M. K. Markarian, D. Carrison, J. Coates, D. Kuhls, and J. J. Fildes, "Three-step emergency cricothyroidotomy," *Military Medicine*, vol. 172, no. 12, pp. 1228–1230, 2007.
- [9] T. Henlin, P. Michalek, T. Tyll, O. Ryska, S. Juhas, and J. Juhasova, "Bougie-assisted cricothyrotomy on an animal model—a pilot study," *Anesteziology a Intenzivni Medicina*, vol. 25, pp. 184–189, 2014.
- [10] C. Hill, R. Reardon, S. Joing, D. Falvey, and J. Miner, "Cricothyrotomy technique using gum elastic bougie is faster than standard technique: A study of emergency medicine residents and medical students in an animal lab," *Academic Emergency Medicine*, vol. 17, no. 6, pp. 666–669, 2010.
- [11] J. A. Quick, A. D. Macintyre, and S. L. Barnes, "Emergent surgical airway: Comparison of the three-step method and conventional cricothyroidotomy utilizing high-fidelity simulation," *The Journal of Emergency Medicine*, vol. 46, no. 2, pp. 304–307, 2014.
- [12] A. R. Nakstad, P. P. Bredmose, and M. Sandberg, "Comparison of a percutaneous device and the bougie-assisted surgical technique for emergency cricothyrotomy: an experimental study on a porcine model performed by air ambulance anaesthesiologists," *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, vol. 21, article 59, 2013.
- [13] V. Helmstaedter, W. A. Wetsch, B. W. Böttiger, and J. Hinkelbein, "Zeitfaktorenvergleich von ready-to-use devices für emergency cricothyrotomy. Randomized and controlled feasibility study on a mannequin," *Der Anaesthetist*, vol. 61, no. 4, pp. 310–319, 2012.
- [14] P. Schober, M. C. Hegemann, L. A. Schwarte, S. A. Loer, and P. Noetges, "Emergency cricothyrotomy—a comparative study of different techniques in human cadavers," *Resuscitation*, vol. 80, no. 2, pp. 204–209, 2009.
- [15] C. Murphy, S. J. Rooney, C. H. Maharaj, J. G. Laffey, and B. H. Harte, "Comparison of three cuffed emergency percutaneous cricothyroidotomy devices to conventional surgical cricothyroidotomy in a porcine model," *British Journal of Anaesthesia*, vol. 106, no. 1, pp. 57–64, 2011.
- [16] I. S. Kodsí and D. L. Deckelbaum, "Hemorrhage from the cricothyroid artery due to cricothyrotomy: A Case report," *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, vol. 71, no. 3, pp. 571–576, 2013.
- [17] G. K. Gorti, M. A. Birchall, K. Haverson, P. Macchiarini, and M. Bailey, "A preclinical model for laryngeal transplantation: Anatomy and mucosal immunology of the porcine larynx," *Transplantation*, vol. 68, no. 11, pp. 1638–1642, 1999.
- [18] B. D. Wingerd, *Pig Anatomy and Dissection Guide*, Blue-door, Minneapolis, Minn, USA, 2006.
- [19] P. Terragni, L. Mascia, C. Faggiano et al., "A new training approach in endoscopic percutaneous tracheostomy using a simulation model based on biological tissue," *Minerva Anestesiologica*, vol. 82, no. 2, pp. 196–201, 2016.
- [20] M. Campbell, H. Shanahan, S. Ash, J. Royds, V. Husarova, and C. McCaul, "The accuracy of locating the cricothyroid membrane by palpation—an intergender study," *BMC Anesthesiology*, vol. 14, article 108, 2014.
- [21] N. Siddiqui, C. Arzola, Z. Friedman, L. Guerina, and K. E. You-Ten, "Ultrasound improves cricothyrotomy success in cadavers with poorly defined neck anatomy: A randomized control trial," *Anesthesiology*, vol. 123, no. 5, pp. 1033–1041, 2015.
- [22] K. Curtis, M. Ahern, M. Dawson, and M. Mallin, "Ultrasound-guided, bougie-assisted cricothyroidotomy: a description of a novel technique in cadaveric models," *Academic Emergency Medicine*, vol. 19, no. 7, pp. 876–879, 2012.
- [23] L. Paladino, J. DuCanto, and S. Manoach, "Development of a rapid, safe, fiber-optic guided, single-incision cricothyrotomy using a large ovine model: A pilot study," *Resuscitation*, vol. 80, no. 9, pp. 1066–1069, 2009.

Diskuze

Pokud srovnáme výsledky naší práce o supraglotických pomůckách s dostupnými pracemi, které srovnávají jednotlivé pomůcky mezi sebou nepotvrdila naše data výraznou superioritu SLMA proti i-gel u nezkušených operátorů (*An a kol., 2017, Chloros a kol., 2014*). Práce má samozřejmě své limity. Největším limitem zůstává prostředí, protože zajištění dýchacích cest v polních podmínkách zůstává nadále velmi náročnou činností především pro svoje specifické podmínky. Nehostinnost okolního prostředí je hlavním limitem péče o poraněné (nepřítel, nebezpečí pro záchránce, klimatické podmínky, světelné podmínky, zákaz používání bílého světla, nemožnost poraněného otočit do supinální polohy, nedostatečný trénink záchránců, různé vybavení a vzdělanost poskytovatelů péče, časté otevřené poranění obličeje a dýchacích cest...) (*Miller a kol., 2019*). Další limitací práce je samozřejmě technický pokrok, protože jistě již teď jsou na trhu nové produkty, které mohou být ještě lepší, než tyto srovnávané. Jedná se například o laryngeální masku Protector (*Chang a kol., 2019*) nebo laryngeální masku Ambu Aura Gain (*Hur a kol., 2020*). Závěrem lze říci, že nejvhodnějšími pomůckami k zajištění dýchacích cest v poli málo zkušenými záchránci jsou Laryngeální maska Supreme a i-gel.

Hlavní limitací studie o videolaryngoskopii bylo její provedení na intubační figurině a ne na živých pacientech (*Khoury a kol., 2016; Ahmad a kol., 2019*). Komparativní studie prokázaly, že anatomie, intubační podmínky i sledované parametry se mohou významně lišit mezi studiemi prováděnými na intubačních modelech a na reálných pacientech. Další limitací byl rozdíl mezi bitevním polem a podmínkami, ve kterých byla prováděna studie. Snažili jsme se sice přiblížit realitě tím, že figuríny ležely na zemi, osvětlení místnosti nebylo umělé, ale je velice těžké simulovat situaci na bojišti s hlukem, stresem, světelnými podmínkami a případným znečištěním oběti krví, jinými sekrety, ale i blátem a povýstřelovými zplodinami (*Miller a kol., 2019*).

Námi provedené prospektivní randomizované studie prokázaly, že BACT je technika vhodná a efektivní pro emergentní chirurgický přístup do trachey. Na základě provedených prací můžeme říct, že v porovnání s punkční technikou TracheoQuick Plus je BACT signifikantně rychlejší a úspěšnější metodou. Probíhající diskuze o tom, která technika je pro provedení koniotomie nejvhodnější naráží především na nekoherentnost studií, které jednotlivé techniky hodnotí. Velké množství studií má malý populační vzorek a jejich kvalita je různorodá (*Booth a Vidhani, 2017*). V nedávné době publikované systematické přehledy s meta-analýzou, které analyzovaly všechny práce zabývající se chirurgickým zajištěním dýchacích cest na modelech, zvířatech nebo při jiných simulacích, dospěly k závěru, že data ze studií nelze jednoznačně interpretovat ve prospěch jakékoliv techniky (*Langvad a kol. 2013, Onrubia a kol., 2018*).

Průchodnost dýchacích cest a její zajištění je stále jednou ze základních dovedností, které by měl lékař akutní medicíny ovládat. Nicméně v posledních letech se ukazuje, že zajištění dýchacích cest není vždy nezbytně prvním krokem ve všech klinických situacích (např. život ohrožující

krvácení, maligní arytmie...) (*Hegenberg a kol., 2019*). Pravdou ovšem zůstává, že především anesteziologové a také lékaři intenzivní medicíny by měli být v této disciplíně odborníky. Je totiž od nich vždy očekáváno a vyžadováno bezchybné zajištění dýchacích cest.

Dýchací cesty jsme se naučili zajišťovat většinou v celkové anestezii (pro většinu pacientů je to bezpečné a pro všechny velmi komfortní), která s sebou nese ale jisté riziko. Toto riziko se jmenuje respirační insuficience až apnoe. A tady vstupuje do hry nejdůležitější faktor - čas. Kyslík totiž potřebujeme všichni a ve všech buňkách téměř neustále. Pokud během respirační insuficience/apnoe, kterou jsme navodili uměle, nedokážeme dýchací cesty zajistit a pacienta dostatečně oxygenovat jeho mozkové buňky budou poškozeny. Chyby a komplikace, které jsou spojeny s postupy zajišťující dýchací cesty nelze z naší praxe úplně vymazat, nicméně dnes již známe postupy jak počet komplikací významně redukovat (*Cook, 2011; Timmermann a kol., 2016*). Mezi ty nejvýznamnější patří vytvoření algoritmů zajištění dýchacích cest, kontrola a příprava materiálu a pomůcek, seštrhaný tým a intenzivní trénink (*Černý a kol., 2019*).

Jeden z faktorů, které ovlivňují průběh a kvalitu poskytované zdravotní péče je i prostředí, kde se tak děje. Pokud se zaměříme na poskytování zdravotní péče ve vojenských nebo polních podmínkách narazíme na úplně jiné limitující faktory poskytované péče než na jaké jsme zvyklí v nemocnicích (*Miller a kol., 2019*). Nejvýznamnějším z nich je limitace lidských a materiálních zdrojů a dostupnost další péče. Limitace materiálních zdrojů se promítá do dostupnosti vybavení, které je v dané chvíli k dispozici. Limitace lidských zdrojů staví do různých klinických situací personál, který má velmi málo zkušeností s poskytováním odborné zdravotní péče. Trendem posledních let zůstává snaha dostat co nejbližší k poraněným stejnou péči, jaká se jim dostane na urgentních příjmech ("Accident and Emergency Unit") fakultních nemocnic (*Marklund a kol., 2010*). To je možné dvěma způsoby. Prvním způsobem je získat nábořem odborný zdravotnický personál, který je vycvičen v poskytování urgentní péče v civilních podmínkách. Dále mu dát nezbytný vojenský výcvik a poslat ho co nejbližší frontové linii, respektive místu, kde se předpokládá, že budou zranění. Druhý způsob je opačný. Vojáky, kteří mají svojí další specializaci (odbornost) poskytování zdravotnické pomoci, vyškolit v jednoduchých způsobech ošetření raněných, které zajistí přežití první fáze poranění, než se jim dostane odborné pomoci. Nejlepším modelem bude nejspíše vhodná kombinace obou výše uvedených možností (*Khorram-Manesh a kol., 2017*). Toho lze docílit, pokud systematicky pracujeme v jedné organizaci, potažmo armádě jednoho státu. Ovšem poslední roky jsou charakterizovány především multinárodními vojenskými operacemi. A zde nastává obrovský problém, neboť organizace a kvalita péče o poraněné v jednotlivých armádách je variabilní. Liší se jak jednotlivé etapy péče, tak vybavení, ale především vzdělání a zkušenosti personálu. Aby se jednotlivé rozdíly zmenšovaly a systém multinárodních operací byl funkční, vznikají v rámci aliancí definované předpisy, které určují jakou péči musí jednotlivé etapy zdravotnické služby poskytnout.

V rámci pracovních skupin pro COMEDS NATO (shromáždění vrcholných představitelů zdravotnických služeb jednotlivých států aliance) vznikly i první doporučené postupy ("guidelines")

k zajištění dýchacích cest pro poskytovatele anesteziologické péče v systému vojenské zdravotnické služby (*Committee of the Chiefs of Military Medical Services in NATO, 2020*).

Obecně jsou doporučení (NATO zvláště) charakterizována tím, že jsou velmi generalizovaná, tak aby zasahovala všechny možnosti poskytování péče v jednotlivých armádách. První doporučené postupy, které se zabývaly zajištěním dýchacích cest v poli v NATO byly proto definovány od úrovně péče - ROLE 2, tj. od místa kde již obvykle je přítomna osoba, kterou lze označit jako "anaesthetic provider" tzn. poskytovatele anesteziologické péče. V různých národech jsou to různé osoby, např. paramedici, zdravotní sestry, záchranáři, lékaři se specializací z urgentní medicíny nebo lékaři všeobecného směru a samozřejmě anesteziologové. Skupina vytvářející tyto doporučené postupy navrhla, že před započítím práce v multinárodním týmu by bylo dobré, kdyby se jednotlivé národy dohodly na jednotném postupu, jak dýchací cesty zabezpečit tak, aby nedocházelo k porušování/překračování kompetencí jednotlivých operátorů, které jsou vždy stanoveny národní legislativou. Pracovní skupina doporučila, že všichni, kdo se budou podílet na péči o raněné, kteří vyžadují zabezpečení dýchacích cest, by vždy měli provádět třístupňové plánování. Jedná se o realizaci "krok po kroku" od plánu A do plánu C (jednotlivé kroky budou vysvětleny dále). Dále, že videolaryngoskop by měl od ROLE 2 a dále být vždy k dispozici. A že používání (tzn. vybavenost) bronchofibroskopu by mělo být na úrovni ROLE 2 a 3 vždy zvaženo. Při příjezdu raněného na vyšší etapu péče by mělo být vždy zajištění dýchacích cest přehodnoceno, protože tým na vyšší etapě je většinou zkušenější a lépe vybaven a tak se může rozhodnout, zda považuje současné zajištění dýchacích cest za dostatečné nebo ho změní. Před začátkem každého zajištění dýchacích cest má být pacient co nejlépe, jak je to v dané situaci možné, oxygenován. Mají být provedeny základní manévry zprůchodňující dýchací cesty a pokud existují důvody k zabezpečení dýchacích cest (viz. níže) mají být dýchací cesty zajištěny. Poskytovatelé péče by měli postupovat podle třístupňového plánu a během zajišťování postupovat krok po kroku podle formalizovaného protokolu 7P (viz. níže). Po zajištění dýchacích cest musí být vždy ověřena poloha pomůcky buď klinickým vyšetřením, nebo lépe pomocí detekce vydechovaného oxidu uhličitého - kapnometrie nebo kapnografie, což je jednoznačně doporučovaná a preferovaná metoda (*Duckworth, 2017*).

Důvody k zajištění dýchacích cest v poli:

- Neprůchodnost dýchacích cest (obstrukce, edém, poraněná tkáň)
- Ochrana dýchacích cest (žaludeční tekutina, krev)
- Zajištění umělé plicní ventilace
- Dle klinického vývoje pravděpodobně k nutnosti zajistit dýchací cesty dojde
- Zajištění paliativní péče

Třístupňový plán zajištění dýchacích cest doporučený pracovní skupinou má následující části.

Plán A : Orotracheální intubace

Při tracheální intubaci vždy proveďte postup RSI (Rapid Sequence Induction). Dále je doporučeno rutinní používání bužie nebo zavaděče (*Hinds a Michalek, 2008*). Dále by měly následovat pouze 3 pokusy o tracheální intubaci. Mezi každým pokusem by pacient měl být oxygenován a technika intubace změněna (např. změněná poloha hlavy nebo ramen, výměna typu laryngoskopické lžice, užití intubační bužie, “backward upward rightward pressure (BURP) /manipulace s laryngem). Pokud je k dispozici videolaryngoskop/fibroskop měl by být užit časně tzn. v prvním nebo druhém pokuse o intubaci. Pokud je i třetí pokus o intubaci trachey neúspěšný přejdi na PLÁN B.

Formalizovaný protokol - step by step 7P

- | | |
|---|---------------------|
| • Příprava (materiál, léky, lidi) | PREPARE |
| • Preoxygenace | PREOXYGENATION |
| • Premedikace | PREMEDICATION |
| • Aplikace svalového relaxans po ztrátě vědomí | PARALYSIS |
| • Tlak na štítnou chrupavku | PRESSURE CRICOID |
| • Vlastní intubace | PASS TUBE |
| • Kontrola po intubaci - napojení na ventilátor,
kontrola polohy tracheální rourky, zajištění sedace a analgesie | POSTINTUBATION CARE |

Plán B: Supraglotická pomůcka

Jako druhý krok při zajištění dýchacích cest, pokud nemůžete provést orotracheální intubaci použijte supraglotickou pomůcku pokud je k dispozici. Použijte takový typ pomůcky, který máte k dispozici. Pokud je i druhý pokus o zavedení supraglotické pomůcky neúspěšný a nemůžete zajistit oxygenaci a ventilaci pacienta přejdi na PLÁN C.

Plán C: Chirurgické zajištění dýchacích cest

Proveďte chirurgické zajištění dýchacích cest takovou metodou, kterou umíš nejlépe a máš na ní vybavení v dané situaci (je vhodné vytvořit lokální formalizovaný protokol chirurgického zajištění dýchacích cest).

Výsledky našich prací dokazují, že pokud správně porovnááme pomůcky k zajištění dýchacích cest, lze vybrat nejvhodnější pomůcku, kterou můžeme s úspěchem aplikovat v určité situaci. Proto je design případných studií porovnávací pomůcky jednou ze stěžejních záležitostí. Pravdou ovšem zůstává, že v algoritmech zajišťování dýchacích cest zůstává množství proměnných a jednou z největších je klinická zkušenost zdravotníků, která se špatně zjišťuje a měří. Nicméně výsledky soustavně zkoumaných stejných klinických situací a nedostatek doporučení v armádní metodice mě vedl k tomu, že je potřeba ze získaných poznatků vytvořit nějaký ucelený rámeček.

Zajištění dýchacích cest v poli v Armádě České republiky

Na základě všech výše uvedených skutečností jsem vytvořil doporučené postupy "guidelines" pro zajištění dýchacích cest v poli, které se dají aplikovat v Armádě České republiky (AČR). Zdravotnické zabezpečení v AČR je stejně jako v jiných armádních systémech etapové. Tzn. úroveň péče se postupně zvyšuje a je více specializovaná podle úrovně zdravotnické etapy. Oficiálně, jak bylo uvedeno výše, se zdravotnická etapa označuje jako ROLE/ECHELON a přiřazují se jí čísla 1 až 4. ROLE 1 je místo, kde se poprvé setkává pacient s lékařem a ROLE 4 je kamenná nemocnice.

Principiálně se dá poskytovaná péče rozdělit do 3 fází. První fází je první pomoc, která probíhá svépomocí, laickou nebo předlékařskou formou podle odbornosti nebo vzdělání poskytovatele první pomoci. Druhou fází je lékařská první pomoc a poslední fází potom nemocniční ošetření lhostejno v jakém prostředí je chirurgický tým umístěn (dopravní prostředky, stany, provizorní objekty, nemocniční budovy). Tak, aby byly guidelines univerzálně platné a použitelné musí být více obecné tak, aby je mohli použít všichni poskytovatelé, kteří mají někdy velice odlišné zdravotnické vzdělání.

Ústředním motivem těchto doporučení je princip vycházející z TCCC tj. odvrátit preventabilní příčiny úmrtí na bojišti (*Butler a Blackbourne, 2012*). V tomto případě udušení poraněných vojáků.

Definice poskytovatelů zdravotnické pomoci na bojišti a jejich zdravotnické vzdělání a výbava:

	Zdravotnické vzdělání	Výbava
Bojovník	První pomoc	Osobní lékárnička
Combat LiveSaver	Rozšířená první pomoc	Zdravotnický batoh
Zdravotník	Nelékař	Záchranářský batoh
Lékař	Všeobecný lékař	Lékařský batoh
Anesteziolog/ Urgentista	Specializovaná způsobilost	Operační sál/Emergency

Bojovníci jsou školeni v poskytování první pomoci na bojišti sobě nebo svým spolubojovníkům. Principy poskytování první pomoci na bojišti jsou shrnuty v systému TCCC (Tactical Combat Casualty Care) (*Butler a Blackbourne, 2012*). Zahrnují především zástavu krvácení, zajištění průchodnosti dýchacích cest a dekompresi tenzního pneumotoraxu. V osobní lékárničce mají na zajištění dýchacích cest nosní vzduchovody.

Combat LiveSaveři jsou bojovníci, kteří absolvují rozšířený kurz první pomoci. Drží se pořád stejných principů TCCC. Na zajištění dýchacích cest mají k dispozici nosní vzduchovody.

Zdravotníci, ve vojenské terminologii myšleno nelékaři s civilním zdravotnickým vzděláním, mají již kompetence záchranáře, které jsou v polním prostředí upraveny tak, aby pokrývaly všechny aspekty péče. Zdravotníci - záchranáři - v péči o dýchací cesty jsou vybaveni nosním vzduchovodem, supraglotickou pomůckou, soupravou na chirurgické zajištění dýchacích cest, odsávačkou a ručním dýchacím vakem.

Lékaři všeobecného směru se zaměřením na urgentní medicínu jsou většinou ti, kteří jsou na ROLI 1, což je první místo v řetězci péče, kde pacient narazí na lékaře. Jsou cvičeni v zajišťování dýchacích cest všemi způsoby nicméně jejich dovednosti a zkušenosti jsou omezené. K dispozici mají vzduchovody nosní a ústní, supraglotické pomůcky, pomůcky na orotracheální intubaci a chirurgické zajištění dýchacích cest, odsávačku, ruční dýchací vak a ventilátor.

Anesteziologové nebo lékaři urgentní medicíny již pracují v chirurgických týmech a mají k dispozici všechny standardní pomůcky na zajišťování dýchacích cest včetně videolaryngoskopu a fibrobronchoskopu.

Principy zajištění dýchacích cest (DC)

- Primárním cílem zajištění dýchacích cest je zajištění průchodnosti DC a oxygenace pacienta.
- Pokud zabezpečujete DC, postupujte vždy krok po kroku od plánu A po plán D.
- Pokud pacient spontánně dýchá a komunikuje s Vámi, nechte ho zaujmout takovou polohu, jaká je pro něho nejkomfortnější.
- Všechny pacienty preoxygenujte nejlépe jak můžete.
- Jako definitivní metodu k zabezpečí DC vždy použijte tu, kterou nejlépe ovládáte a je nejvhodnější.
- Vždy je cílem zabezpečit DC prvním pokusem bez alterace vitálních funkcí.
- Pokud ovládáte metodu zajištění DC bez apnoické pauzy, vždy ji preferujte
- Při zajišťování DC VŽDY použij všechny dostupné zdroje (pomůcky a personál).
- Pokud přebíráte do péče zraněné z nižší etapy, vždy přehodnoťte jejich zabezpečení dýchacích cest.

- Po každém definitivním zajištění dýchacích cest zkontrolujte polohu a funkci pomůcky. Pozici kontrolujte vždy, a to pomocí kapnografu nebo fyzikálním vyšetřením pacienta. Pokud je to možné, preferujte potvrzení správné polohy pomůcky vždy pomocí kapnografie.

Plán A - Základní manévry a vzduchovod

- Pokud má poraněný poruchu vědomí (nekomunikuje nebo nespolupracuje adekvátně), uložte ho do polohy na záda a proveďte záklon hlavy a předsunutí dolní čelisti. Pokud poté nejsou přítomny známky obstrukce DC, zaveďte mu nosní vzduchovod a zajistěte ho proti dislokaci.
- Pokud jsou po zprůchodnění DC přítomny známky obstrukce dýchacích cest (bublavé nebo chruplavé zvuky, pískání, neklid, tachypnoe), podívejte se do dutiny ústní a odstraňte nebo odsajte odsávačkou viditelné předměty, které obstrukci mohou způsobovat (kosti, tkáň, cizí tělesa, krev, zvratky...). Po vyčištění dutiny ústní zaveďte nosní vzduchovod a zajistěte ho proti dislokaci.
- Pokud jsou i poté přítomny známky obstrukce DC, přejdi na plán B, pokud toto není z jakýchkoli důvodů možné, uložte zraněného do stabilizované polohy.

Plán B - Tracheální intubace

- Pokud nemáte pro tento plán vybavení nebo kompetence, přejděte na plán C
- Tracheální intubace je VŽDY cílem definitivního zajištění DC.
- Důvodem definitivního zajištění dýchacích cest jsou:
 1. Obstrukce dýchacích cest (i hrozící)
 2. Ochrana dýchacích cest
 3. Tracheální rourka jako "interface" k zajištění umělé plicní ventilace
- Během tracheální intubace postupujte VŽDY krok po kroku.
 1. Pečlivě připravte vše potřebné (lidi, pomůcky, místo, polohu pacienta, monitoraci, "rescue" plán) - Vytvořte si checklist!
 2. Maximalizujte preoxygenaci
 3. Podle své klinické zkušenosti určete, zda intubace bude snadná nebo obtížná
 - Pokud bude snadná, proveďte RSI ("rapid sequence intubation"), bez tlaku na štítnou chrupavku
 - Pokud bude obtížná, zvolte neapnoickou techniku
 4. Doporučené léky pro farmakologickou indukci jsou Ketamin, Suxametonium (SUX) / Rocuronium v dostatečných dávkách (Ketamin 1-2 mg/kg, SUX 1-1,5 mg/kg, Rocuronium 1,2 mg/kg)
 - Pokud to klinický stav pacienta dovoluje můžete ketamin kombinovat s propofolem/midazolamem/opioidem
 5. Použijte takové vybavení, abyste intubovali prvním pokusem

6. Pokud máte k dispozici videolaryngoskop, vždy ho použijte již na první pokus (POZOR na krvácení v dutině ústní !)
7. Pokud je problémem během intubace nepřehlednost vchodu, kterou se nedaří překonat pomocí intubační bužie a máte k dispozici fibrobronchoskop, použijte jejich kombinaci
8. Po intubaci trachey nafoukněte obturační manžetou tracheální rourky a tu zajistěte proti dislokaci
9. VŽDY ke kontrole pozice tracheální rourky použijte kapnometrii/kapnografii, která musí být připravena již před intubací
10. Pokud se Vám nedaří pacienta zaintubovat ani oxygenovat, přejděte na plán C

Plán C - Supraglotická pomůcka

- Pokud nemáte pro tento plán vybavení nebo kompetence, přejděte na plán D
- Kontraindikací supraglotické pomůcky je obstrukce horních cest dýchacích a maxilofaciální trauma!
- Během zavádění supraglotické pomůcky postupujte VŽDY krok po kroku.
 1. Pečlivě připravte vše potřebné (lidi, pomůcky, místo, polohu pacienta, monitoraci, “rescue” plán) - Vytvořte si checklist!
 2. Maximalizujte preoxygenaci
 3. Doporučené léky pro farmakologickou indukci jsou Ketamin, Suxametonium (SUX)/ Rocuronium v dostatečných dávkách (Ketamin 1-2 mg/kg, SUX 1-1,5 mg/kg, Rocuronium 1,2 mg/kg)
 - Pokud to klinický stav pacienta dovoluje, můžete ketamin kombinovat s propofolem/midazolamem/opioidem
 4. Použijte takovou pomůcku, kterou zavedete napoprvé
 5. Doporučenými pomůckami jsou pomůcky II. generace, přes které je možné intubovat
 6. Pokud zavádíte supraglotickou pomůcku jako “rescue” postup při nemožnosti intubovat, mějte ji vybranou předem
 7. Pokud se Vám nedaří pacienta oxygenovat, přejděte na plán D

Plán D - Chirurgické zajištění dýchacích cest

- Pokud nemůžete zajistit DC předchozími způsoby a NEDAŘÍ se vám pacienta oxygenovat, zajistěte dýchací cesty chirurgicky máte-li k tomu vybavení a kompetence, a/nebo okamžitě uvědomte dalšího poskytovatele zdravotní péče v řetězci.
- Doporučeným způsobem pro chirurgické zajištění dýchacích cest je BACT. K BACT budete potřebovat skalpel, bužii alespoň 30 cm dlouhou a tracheální rourku nebo tracheostomickou kanylu s obturační manžetou. Po zavedení rourky do trachey ji vždy zabezpečte proti vytažení a zkontrolujte správnost polohy.

Reálně by mělo vypadat schéma zajištění dýchacích cest na bojišti v AČR následovně. Po vzniku poranění je prvotní ošetření poskytnuto "first responderem" tj. tím kdo je poraněnému nejbližší do několika minut. Většinou je to jeho spolubojovník, který u sebe má osobní lékárničku. Ten v rámci ošetření dle principů TCCC zabezpečí volné dýchací cesty, pokud je to třeba, základními manévry (záklon hlavy a předsunutí čelisti) a zavede nosní vzduchovod. Předá pacienta do péče Combat LiveSaverovi, což je bojovník s rozšířeným kurzem první pomoci. Ten znovu dle principů TCCC vyšetří zraněného a zkontroluje provedené intervence. Má ve výbavě nosní vzduchovod, ale i improvizovanou odsávačku. Dalším členem řetězce péče na bojišti je již zdravotnický záchranář. V zahraničních armádách nazýván Combat Medic. Tento záchranář je klíčovým článkem poskytování první pomoci na bojišti. Má již k zajištění dýchacích cest navíc supraglotickou pomůcku a soupravu na chirurgické zajištění DC. Někteří cvičení záchranáři, především u speciálních jednotek a v leteckých záchranných týmech mají výcvik a trénink v endotracheální intubaci. Nicméně tracheální intubaci provádějí pouze v nejnnutnějších případech a pouze pokud k ní mají veškeré pomůcky. Většinou používají k intubaci videolaryngoskopy, pokud zraněný masivně nekrváčí z dýchacích cest nebo nezvrací. Dalším ošetřujícím prvkem řetězce je lékař. Pokud se pacient nedostane přímo k chirurgickému týmu měl by projít přes etapu péče nazývanou ROLE 1, kde je přítomen lékař, nicméně většinou je to lékař všeobecného směru s urgentním zaměřením, který není zběhlý v rutinním zabezpečování dýchacích cest. Ovšem dnešním trendem v asymetrických konfliktech je již transportovat pacienty co nejrychleji k chirurgickým týmům, kde je již přítomen anesteziolog/urgentista s vybavením podobným vybavení chirurgického sálu.

Pohledy do budoucna

Jaké máme perspektivy do budoucna při zajištění dýchacích cest ve válečné medicíně? Pokud se podíváme na technický pokrok za poslední desítku nebo několik desítek let, tak je obrovský. Lze očekávat, že současné trendy menší invazivity, bezpečnější medicíny a technického pokroku budou pokračovat (*Karlik a Aziz, 2017*).

V blízké budoucnosti lze očekávat zlepšení a zdokonalení pomůcek na zajištění dýchacích cest, kdy teoreticky vrcholem snažení technického vývoje bude pomůcka, která umožní přítomnost tracheální rourky s obturační manžetou v průdušnici za kontinuální spontánní ventilace a velkého komfortu pacienta. Pokud bude postup jednoduchý a zvládnou ho i méně zkušené a trénované jedinci, bude jeho rozkvět zajištěn.

V dlouhodobější perspektivě je jisté, že se objeví intubační roboti, umožňující zajistit dýchací cesty buď s dopomocí obsluhujícího personálu nebo ovládané na dálku (*Wang a kol., 2018*). Možná tak, stejně jako chirurgové budeme pracovat z pracoven nebo obývacích našich domovů.

Pokud pohlédneme ještě dále do budoucnosti možná, že žádné doporučení, jak zajišťovat dýchací cesty nebudeme potřebovat. Protože již dnes nastává ohromný rozvoj ECMO (Extra Corporeal Membrane Oxygenation) strojů, které plně nahrazují funkci plic a srdce (*Delnoij a kol., 2016*).

Jejich užití je v současné době jistě limitováno velkými komplikacemi, proto jsou indikace značně omezené. Nicméně po překonání obtíží (stran koagulace a kanylace) a snížení rizik během jejich používání si dokážu představit spousty indikací, kdy pacienti nebudou muset být anestetizováni pro zavedení umělé plicní ventilace, ale budou napojeni na stroje, které jim oxygenaci provedou extrakorporálně.

Závěry

Provedené práce, které se podrobněji věnovaly jednotlivým částem v algoritmu zajišťování dýchacích cest, dokázaly, že pokud je design práce podrobněji zaměřen na konkrétní klinický problém, lze jednotlivé postupy zdokonalit. Nicméně je to zároveň i slabost celého výzkumu, neboť nejspíše nelze nadesignovat studii, která by postihla všechny faktory, které rozhodují při zajištění dýchací cest. Proto jsou výsledky limitovány pouze na určitou populaci, konkrétní pomůcku a vymezeného operátora. Do budoucna můžeme jistě očekávat další práce zahrnující novinky, především technické, v tak pestrém a dynamickém oboru jako je anestezie a intenzivní medicína.

Z hlediska potenciálního využití ve válečné medicíně experimentální práce zahrnuté v této dizertační práci prokázaly některá podstatná fakta:

Pro plán C zajištění dýchacích cest v algoritmech a doporučených postupech AČR je nejvhodnější zavést supraglotickou pomůcku, která má nejvyšší úspěšnost zavedení i v rukách relativně nezkušeného zdravotníka, rychlé a konstantní zavedení. Z těchto pomůcek by měly být preferovány laryngeální maska Supreme a i-gel. Pro LMA Supreme hovoří rychlejší časy zavedení v jiných studiích, pro i-gel zase absence nafukovací manžety, není tedy nutné použít injekční stříkačku.

Pro plán B jsme v simulaci prokázali, že i nezkušení záchránci mohou v simulaci dosáhnout vysokého úspěchu tracheální intubace pomocí přenosného videolaryngoskopu i u modelu obtížného zajištění dýchacích cest. Lžičce se zaváděcím kanálem se jevila v simulaci jako výhodnější varianta.

Klíčové experimentální práce byly naším týmem provedeny pro plán D - chirurgické zajištění dýchacích cest. Podobně jako v civilní medicíně, i ve válečné medicíně by měla být volena bužíř-asistovaná koniotomie (BACT) v případě nutnosti zajištění dýchacích cest. Otázkou zůstává, zdali nepoužít primárně bužíř s možností oxygenace, jako je Frova bužíř nebo Aintree katétr, které teoreticky umožní prodloužit čas bez klasické ventilace pro zavedení intubační kanyly.

Literatura

1. Acott C. **A brief history of upper airway management.** *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery* 2015; 44(S1): E1.
2. Ahmad I, Onwochei DN, Muldoon S, Keane O, El-Boghdadly K. **Airway management research: a systematic review.** *Anaesthesia* 2019; 74(2): 225-236.
3. An J, Nam SB, Lee JS, Lee J, Yoo H, Lee HM, Kim MS. **Comparison of the i-gel and other supraglottic airways in adult manikin studies: systematic review and meta-analysis.** *Medicine (Baltimore)* 2017; 96(1): e5801.
4. Akihisa Y, Maruyama K, Koyama Y, Yamada R, Ogura A, Andoh T. **Comparison of intubation performance between the King Vision and Macintosh laryngoscopes in novice personnel: a randomized crossover manikin study.** *Journal of Anesthesia* 2014; 28(1): 51-57.
5. Alvis BD, Hester D, Watson D, Higgins M, St Jacques P. **Randomized controlled trial comparing the McGrath MAC video laryngoscope with the King Vision video laryngoscope in adult patients.** *Minerva Anestesiologica* 2016; 82(1): 30-35.
6. Barry CT. **The Ombredanne inhaler.** *Anaesthesia* 1961; 16(2): 184-187.
7. Boehringer B, Choate M, Hurwitz S, Tilney PV, Judge T. **Impact of video laryngoscopy on advanced airway management by critical care transport paramedics and nurses using the CMAC pocket monitor.** *BioMed Research International* 2015; 2015: 821302.
8. Booth JB. **Tracheostomy and tracheal intubation in military history.** *Journal of the Royal Society of Medicine* 2000; 93: 380-383.
9. Booth AWG, Vidhani K. **Human factors can't intubate can't oxygenate bundle is more important than needle versus scalpel debate.** *British Journal of Anaesthesia* 2017; 118(3): 466-468.
10. Borman J, Davidson JT. **A history of tracheostomy: si spiritum ducit vivit (Cicero).** *British Journal of Anaesthesia* 1963; 35: 388-390.

11. Boyd N, Negus A. **Using a facemask during anaesthesia.** *Update in Anaesthesia* 2011; 27(1): 5-10.
12. Brain AIJ. **The laryngeal mask - a new concept in airway management.** *British Journal of Anaesthesia* 1983; 55: 801-805.
13. Brantigan CO, Grow JB Sr. **Cricothyroidotomy: elective use in respiratory problems requiring tracheotomy.** *Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery* 1976; 71(1): 72-81.
14. Brantigan CO, Grow JB. **Cricothyroidotomy revisited again.** *Ear, Nose and Throat Journal* 1980; 59(1): 26-38.
15. Brožek T, Michálek P. **Role videolaryngoskopie v perioperační medicíně.** *Anesteziologie a intenzivní medicína* 2018; 29(3): 96-106.
16. Butler FK Jr., Blackbourne LH. **Battlefield trauma care then and now: a decade of Tactical Combat Casualty Care.** *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 2012; 73(6): S395–S402.
17. Byhahn C, Wilke HJ, Halbig S, Lischke V, Westphal K. **Percutaneous tracheostomy: Ciaglia blue rhino versus the basic Ciaglia technique of percutaneous dilational tracheostomy.** *Anesthesia and Analgesia* 2000; 91: 882–886.
18. Carroll CM, Pahor A. **The history of tracheotomy.** *Journal of Irish College of Physicians and Surgeons* 2001; 30: 237-238.
19. Castro D, Freeman LA. **The oropharyngeal airway.** *StatPearls* 2020; 2020: 29261912.
20. Cattano D, Killoran PV, Cai C, Katsiampoura AD, Corso RM, Hagberg CA. **Difficult mask ventilation in general surgical population: observation of risk factors and predictors.** *F1000 Research* 2014; 3: 204.
21. Chang JE, Kim H, Lee JM, Min SW, Won D, Jun K, Hwang JY. **A prospective, randomized comparison of the LMA Protector and i-gel in paralyzed, anesthetized patients.** *BMC Anesthesiology* 2019; 19: 118.

- 22.Chloros T, Xanthos T, Iacovidou N, Bassiakou E. **Supreme laryngeal mask airway achieves faster insertion times than classic LMA during chest compressions in manikins.** *American Journal of Emergency Medicine* 2014; 32 (2): 156–159.
- 23.Cloonan C. **Immediate care of wounded.** Uniform Services University of the Health Science, 2016.
- 24.Coates JB, Carter BN, eds. **Appendix D in Medical Department United States Army in World War II - Surgery in World War II - Activities of Surgical Consultants.** Vol. II. Wasghington DC: Office of the Army Surgeon General 1945: 982.
- 25.Cook TM, MacDougall-Davis SR. **Complications and failure of airway management.** *British Journal of Anaesthesia* 2012; 109(S1): i68-i85.
- 26.Černá Pařízková R, Dostál P, Michálek P. **Zajištění dýchacích cest u pacientů s Covid-19.** *Anesteziologie a intenzivní Medicína* 2020; 31(3): 127-129.
- 27.Černý V, Chrobok V, Klučka J, Křikava I, Michálek P, Otáhal M, Škola J, Štourač P, Vymazal T. **Zajištění obtížných dýchacích cest u dospělých a dětí - doporučený postup.** *Anesteziologie a intenzivní Medicína* 2019; 30(3-4): 173-186.
- 28.Delnoij TSR, Driessen R, Sharma AS, Bouman EA, Strauch U, Roekaerts PM. **Venovenous extracorporeal membrane oxygenation in intractable pulmonary insufficiency: practical issues and future directions.** *BioMed Research International* 2016; 2016: 9367464.
- 29.Dharamsi A, Gray S, Hicks C, Sherbino J, McGowan M, Petrosioniak A. **Bougie-assisted cricothyroidotomy: Delphi-derived essential steps for the novice learner.** *Canadian Journal of Emergency Medicine* 2019; 21(2): 283-290.
- 30.Doyle DJ. **A brief history of clinical airway management.** *Revista Mexicana de Anestesiología* 2009; 32(Suppl. 1): S164-S167.
- 31.Duckworth RL. **How to read and interpret end-tidal capnography waveforms.** *Journal of Emergency Medical Services* 2017; 42: 8.

32. Eastridge BJ, Mabry RL, Seguin P, Cantrell J, Tops T, Uribe P, Mallett O, Zubko T, Oetjen-Gerdes L, Rasmussen TE, Butler FK, Kotwal RS, Holcomb JB, Wade C, Champion H, Lawnick M, Moores L, Blackburne LH. **Death on the battlefield (2001- 2011): implications for the future of combat casualty care.** *Journal of Trauma and Acute Care Surgery* 2012; 73(6 Suppl 5): S431-437.
33. Esses BA, Jafek BW. **Cricothyroidotomy: a decade of experience in Denver.** *Annals of Otolaryngology, Rhinology and Laryngology* 1987; 96: 519-524.
34. Fantoni A, Ripamonti D. **A non-derivative, non-surgical tracheostomy: the translaryngeal method.** *Intensive Care Medicine* 1997; 23: 386-392.
35. Ferraro DM, McCann ET, Bell DG. **Airway management in combat trauma.** *Current Pulmonology Reports* 2017; 6: 206-213.
36. Frass M, Frenzer R, Zdrahal R, Hoflehner G, Porges P, Lackner F. **The esophageal tracheal combitube: preliminary results with a new airway for CPR.** *Annals of Emergency Medicine* 1987; 16: 768-772.
37. Frerk C, Mitchell VS, McNarry AF, Mendoncy C, Bhagrath R, Patel A, O'Sullivan EP, Woodall NM, Ahmad I. **Difficult Airway Society 2015 guidelines for management of unanticipated difficult intubation in adults.** *British Journal of Anaesthesia* 2015; 115(6): 827-848.
38. Frova G, Quintel M. **A new simple method for percutaneous tracheostomy: controlled dilating rotation. A preliminary report.** *Intensive Care Medicine* 2002; 28: 299-303.
39. Gomez-Rios MA, Freire-Vila E, Criado-Alonzo MJ, Fernandez-Goti MC. **Airtraq laryngoscope: embracing video laryngoscopy.** *Saudi Journal of Anaesthesia* 2016; 10(2): 246-247.
40. Gordon J, Cooper RM, Parotto M. **Supraglottic airway devices: indications, contraindications and management.** *Minerva Anestesiologica* 2018; 84: 389-397.
41. Haddad FS. **Ibn Zuhr and experimental tracheostomy and tracheotomy.** *Journal of American College of Surgeons* 2004; 199: 665.

42. Haridas RP. **The Leech airway or pharyngeal bulb gasway.** *Anaesthesia and Intensive Care* 2011; 39 (Suppl): S5-S10.
43. Heard AM, Green RJ, Eakins P. **The formulation and introduction of a 'can't intubate, can't ventilate' algorithm into clinical practice.** *Anaesthesia* 2008; 64: 601-608.
44. Hegenberg K, Trentzsch H, Gross S, Pruckner S. **Use of pre-hospital emergency medical services in urban and rural municipalities over a 10 year period: an observational study based on routinely collected dispatch data.** *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* 2019; 27: 35.
45. Henlín T. **Obtížné zajištění dýchacích cest u dospělých a u dětí: nový doporučený postup ČSARIM.** *Anesteziologie a intenzivní medicína* 2019; 30(3-4): 115-116.
46. Henlin T, Michalek P, Tyll T, Ryska O. **A randomized comparison of bougie-assisted and TracheoQuick Plus cricothyrotomies on a live porcine model.** *BioMed Research International* 2017; 2017: 4215159.
47. Henlin T, Michalek P, Tyll T, Ryska O, Juhas S, Juhasova D. **Comparison of bougie-assisted cricothyrotomy with TracheoQuick Plus cricothyrotomy on a live animal model.** *British Journal of Anaesthesia* 2016; 117(S1): i106-i107.
48. Henlín T, Michálek P, Tyll T, Ryska O, Juhás Š, Juhásová D. **Bužíř asistovaná koniotomie (BACT) na prasečím modelu - pilotní studie.** *Anesteziologie a intenzivní medicína* 2014; 25(3): 184-189.
49. Henlin T, Michalek P, Tyll T, Hinds JD, Dobias M. **Oxygenation, ventilation, and airway management in out-of-hospital cardiac arrest: a review.** *BioMed Research International* 2014; 2014: 376871.
50. Henlin T, Sotak M, Kovaricek P, Tyll T, Balcarek L, Michalek P. **Comparison of five 2nd-generation supraglottic airway devices for airway management performed by novice military operators.** *BioMed Research International* 2015; 2015: 201898.
51. Henlín T, Derevjaník P, Belšan T. **Aspirace žaludečního obsahu při použití supraglottické pomůcky i-gel – tři kazuistiky.** *Anesteziologie a intenzivní medicína* 2017; 28(4): 255-259.

- 52.Hinds JD, Michalek P. **The gum elastic bougie: one of anaesthesia's best kept secrets.** *Journal of Paramedic Practice* 2008; 1(1): 21-25.
- 53.Hoshijima H, Kuratani N, Hirabayashi Y, Takeuchi R, Shiga T, Masaki E. **Pentax Airway Scope versus Macintosh laryngoscope for tracheal intubation in adult patients: a systematic review and meta-analysis.** *Anaesthesia* 2014; 69: 911-918.
- 54.Hill C, Reardon R, Joing S, Falvey D, Miner J. **Cricothyrotomy technique using gum elastic bougie is faster than standard technique: a study of emergency medicine residents and medical students in an animal lab.** *Academic Emergency Medicine* 2010; 17(6): 666–669.
- 55.Hirsch NP, Smith GB, Hirsch PO. **Alfred Kirstein - pioneer of direct laryngoscopy.** *Anaesthesia* 1986; 41(1): 42-45.
- 56.Hur M, Choi S, Row HS, Kim TK. **Comparison of the i-gel with the AuraGain laryngeal mask airways in patients with a simulated cervical immobilization: a randomized controlled trial.** *Minerva Anestesiologica* 2020; doi: 10.23736/S0375-9393.20.14237-8.
- 57.Jackson C. **Tracheotomy.** *Laryngoscope* 1909; 19: 285.
- 58.Jackson C. **High tracheotomy and other errors: the chief causes of chronic laryngeal stenosis.** *Surgery, Gynecology and Obstetrics* 1921; 32: 392-395.
- 59.Jarvis JL, McClure SF, Johns D. **EMS intubation improves with King Vision video laryngoscopy.** *Prehospital Emergency Care* 2015; 19: 482–489.
- 60.Karlik J, Aziz M. **Recent trends in airway management.** *F1000 Research* 2017; 6: 159.
- 61.Kelly JF, Ritenour AE, McLaughlin DF, Bagg KA, Apodaca AN, Mallak CT, Pearse L, Lawnick MM, Champion HR, Wade CE, Holcomb JB. **Injury severity and causes of death from Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom: 2003-2004 versus 2006.** *Journal of Trauma* 2008; 64(2 Suppl): S21-S26.
- 62.Khorram-Manesh A, Lonroth H, Rotter P, Wilhelmsson M, Aremyr J, Berner A, Nero Anderson A, Carlstrom E. **Non-medical aspects of civilian-military collaboration in management of major incidents.** *European Journal of Trauma and Emergency Surgery* 2017; 43: 595-603.

- 63.Khoury A, Sall FS, De Luca A, Pugin A, Pili-Floury S, Pazart L, Capellier G. **Evaluation of bag-valve-mask ventilation in manikin studies: what are the current limitations?** *BioMed Research International* 2016; 2016: 4521767.
- 64.Kill C, Risse J, Wallot P, Seidl P, Steinfeldt T, Wulf, H. **Videolaryngoscopy with glidescope reduces cervical spine movements in patients with unsecured cervical spine.** *Journal of Emergency Medicine* 2013; 44: 750–756.
- 65.Kleine-Brueggene M, Greif R, Schoettker P, Savoldelli GL, Nabecker S, Theiler LG. **Evaluation of six videolaryngoscopes in 720 patients with a simulated difficult airway: a multicentre randomized controlled trial.** *British Journal of Anaesthesia* 2016; 116: 670-679.
- 66.Klementová O, Henlín T, Szkorupa M, Michálek P. **Zajištění dýchacích cest v přednemocniční péči dospělých - to tube or not to tube?** *Anesteziologie a intenzivní medicína* 2020; 31(1): 28-34.
- 67.Kotwal RS. **Eliminating preventable death on the battlefield.** *Archives of Surgery* 2011; 146(12): 1350-1359.
- 68.Kriege M, Pipho T, Zanker S, Alflen C, Heid F, Noppens RR. **LMA Supreme and Ambu AuraGain in anesthetized adult patients: a prospective observational study.** *Minerva Anestesiologica* 2017; 83(2): 165-174.
- 69.Kwon YS, Lee CA, Park S, Ha SO, Sim YS, Baek MS. **Incidence and outcomes of cricothyrotomy in the “cannot intubate, cannot oxygenate” situation.** *Medicine (Baltimore)* 2019; 98(42): e17713.
- 70.Langvad S, Hyldmo PK, Nakstad AR, Vist GE, Sandberg M. **Emergency cricothyrotomy — a systematic review.** *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* 2013; 21(1), article 43.
- 71.Lenzer J. **Peter Josef Safar.** *British Medical Journal* 2003; 327(7415): 624.
- 72.Liss HP. **A history of resuscitation.** *Annals of Emergency Medicine* 1986; 15(1): 65-72.

- 73.Liu ZJ, Yi J, Guo WJ, Ma C, Huang YG. **Comparison of McGrath series 3 and Macintosh laryngoscopes for tracheal intubation in patients with normal airway by inexperienced anesthetists.** *Medicine (Baltimore)* 2016; 95: e2514.
- 74.Mabry RL, Frankfurt A. **An analysis of battlefield cricothyrotomy in Iraq and Afghanistan.** *Journal of Special Operations Medicine* 2012; 12(1): 17-23.
- 75.MacIntyre A, Markarian MK, Carrison D, Coates J, Kuhls D, Fildes JJ. **Three-step emergency cricothyroidotomy.** *Military Medicine* 2007; 72 (12): 1228-1230.
- 76.Malek J. **A brief history of airway management.** In: Michalek P, Donaldson W. **The i-gel supraglottic airway.** *Nova Science Publishers, New York* 2013, 1-13.
- 77.Marklund LA, Graham AM, Morton P, Cantrell LR. **Collaboration between civilian and military healthcare professionals: A better way for planning, preparing, and responding to all hazard domestic events.** *Prehospital and Disaster Medicine* 2010; 25(5): 399-412.
- 78.Matioc AA. **An anesthesiologist's perspective on the history of basic airway management. The "artisanal anesthetic" era: 1846 to 1904.** *Anesthesiology* 2017; 126(3): 394-408.
- 79.Matioc AA. **An anesthesiologist's perspective on the history of basic airway management. The "progressive" era, 1904-1960.** *Anesthesiology* 2018; 128(2): 254-271.
- 80.Matioc AA. **An anesthesiologist's perspective on the history of basic airway management. The "modern" era, 1960 to present.** *Anesthesiology* 2019; 130(5): 686-711.
- 81.McCarthy S, Cooper RM. **A primer on the ethics of teaching and learning in airway management.** *Anaesthesia* 2018; 73(8): 940-945.
- 82.McKenna P, Morley EJ. **Cricothyrotomy (cricothyroidotomy).** *Stat Pearls* 2020; 2020: 30726035.
- 83.McLachlan G. **Sir Ivan Magill, KCVO, DSc, MB, BCh, BAO, FRCS, FFARCS (Hon), FFARCSI (Hon), DA (1888-1986).** *Ulster Medical Journal* 2008; 77(3): 146-152.

84. Michalek P, Miller DM. **Airway management evolution - in a search for an ideal supraglottic airway device.** *Prague Medical Report* 2014; 115(3-4): 87-103.
85. Michalek P, Donaldson W, Theiler L. **The use of the i-gel in anaesthesia - facts and fiction in 2013.** *Trends in Anaesthesia and Critical Care* 2013; 3(5): 246-251.
86. Michalek P, Henlin T. **Use of the i-gel outside of the operating room, by prehospital team and in military medicine.** In: Michalek P, Donaldson W, eds. *The i-gel supraglottic airway.* Nova Science Publishers, New York, 2013.
87. Michalek P, Donaldson W, Vobrubova E, Haki M. **Complications associated with the use of supraglottic airway devices in perioperative medicine.** *BioMed Research International* 2015; 2015: 746560.
88. Miller DM. **A proposed classification and scoring system for supraglottic sealing airways: a brief review.** *Anesthesia and Analgesia* 2004; 99(5): 1553-1559.
89. Miller DM, Light D. **Laboratory and clinical comparisons of the Streamlined Liner of Pharynx Airway (SLIPATM) with the laryngeal mask airway.** *Anaesthesia* 2003; 58(2): 136-142.
90. Miller DM. **Third generation supraglottic airways: is a new classification needed?** *British Journal of Anaesthesia* 2015; 115(4): 634.
91. Miller BM, Kinder C, Smith-Steinert C. **Airway management for army reserve combat medics: an interdisciplinary workshop.** *Journal of Special Operations Medicine* 2019; 19(3): 64-70.
92. Murphy P. **A fibre-optic endoscope used for nasal intubation.** *Anaesthesia* 1967; 22(3): 489-491.
93. Nakstad AR, Bredmose PP, Sandberg M. **Comparison of a percutaneous device and the bougie-assisted surgical technique for emergency cricothyrotomy: an experimental study on a porcine model performed by air ambulance anaesthesiologists.** *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine* 2013, 21: 59.
94. NATO. Topic Committee of the Chiefs of Military Medical Services in NATO. <https://www.nato.int/>

- 95.Nolan JP, Kelly FE. **Airway challenges in critical care.** *Anaesthesia* 2011; 66(s2): 81-92.
- 96.Okada D, Komasa N, Fujiwara S, Minami T. **Comparison of tube-guided and guideless videolaryngoscope for tracheal intubation during chest compression in a manikin: a randomized crossover trial.** *Journal of Anesthesia* 2015; 29: 331-337.
- 97.Onrubia X, Frova G, Sorbello M. **Front of neck access to the airway: a narrative review.** *Trends in Anaesthesia and Critical Care* 2018; 22(1): 45-55.
- 98.Otáhal M, Michálek P. **Urgentní infraglotické zajištění dýchacích cest - koniopunkce, koniostomie, BACT.** *Anesteziologie a intenzivní medicína* 2018; 29(3): 158-165.
- 99.Ornato JP. **The resuscitation of near-drowning victims.** *Journal of American Medical Association (JAMA)* 1986; 256(1): 75-77.
- 100.Petros S. **Percutaneous tracheostomy.** *Critical Care* 1999; 3(2): R5-R10.
- 101.Pournajafian A, Alimian M, Rokhtabnak F, Ghodraty M, Mojri M. **Success rate of airway device insertion: laryngeal mask airway versus supraglottic gel device.** *Anesthesiology and Pain Medicine* 2015; 5(2): e22068.
- 102.Pratt LW, Ferlito A, Rinaldo A. **Tracheotomy: historical review.** *Laryngoscope* 2008; 118: 1597-1606.
- 103.Quick JA, Macintyre AD, Barnes SL. Emergent surgical airway: **Comparison of the three-step method and conventional cricothyroidotomy utilizing high-fidelity simulation.** *The Journal of Emergency Medicine* 2014; 46 (2): 304–307.
- 104.Ragazzi R, Finessi L, Farinelli I, Alvisi R, Volta CA. **LMA Supreme vs i-gel: a comparison of insertion success in novices.** *Anaesthesia* 2012; 67(4): 384-388.
- 105.Rosenstock CV, Nørskov AK, Wetterslev J, Lundstrom LH. **Emergency surgical airway management in Denmark:a cohort study of 452 461 patients registered in the Danish Anaesthesia Database.** *British Journal of Anaesthesia* 2016: 117(S1): i75-i82.
- 106.Safar P. **On the history of modern resuscitation.** *Critical Care Medicine* 1996; 24(2): 3S-11S.

- 107.Saracoglu KT, Eti Z, Gogus FY. **Airtraq optical laryngoscope: advantages and disadvantages.** *Middle East Journal of Anesthesiology* 2013; 22(2): 135-141.
- 108.Schauer SG, Bellamy MA, Mabry RL, Bebart VS. **A comparison of the incidence of cricothyrotomy in the deployed setting to the emergency department at a Level 1 Military Trauma Center: a descriptive analysis.** *Military Medicine* 2015; 183(6): 60-63.
- 109.Schroeder AA. **Cricothyroidotomy: when, why and why not?** *American Journal of Otolaryngology* 2000; 21(3): 195-201.
- 110.Sharma B, Sahai C, Sood J. **Extraglottic airway devices: technology updates.** *Medical Devices (Auckland)* 2017; 10: 189-205.
- 111.Shavit I, Aviram E, Hoffmann Y, Biton O, Glassberg E. **Laryngeal mask airway as a rescue device for failed endotracheal intubation during scene-to-hospital air transport of combat casualties.** *European Journal of Emergency Medicine* 2018; 25(5): 368-371.
- 112.Shelden CH, Pudenz RH, Freshwater DB, Crue BL. **A new method for tracheotomy.** *Journal of Neurosurgery* 1955; 12(4): 428-431.
- 113.Simo R. **Tracheostomy and the Spanish Civil War.** *Journal of the Royal Society of Medicine* 2002; 95(6): 323.
- 114.Studer NM, Horn GT, Studer LL, Armstrong JH, Danielson PD. **Feasibility of supraglottic airway use by combat lifesavers on the modern battlefield.** *Military Medicine* 2013; 178(11): 1202-1207.
- 115.Sun DA, Warriner CB, Parsons DG, Klein R, Umedaly HS, Moulton M. **GlideScope video laryngoscope: randomized clinical trial in 200 patients.** *British Journal of Anaesthesia* 2005; 94(3): 381-384.
- 116.Suppan L, Tramer MR, Niquille M, Groscurin O, Marti C. **Alternative intubation techniques vs Macintosh laryngoscopy in patients with cervical spine immobilization: Systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials.** *British Journal of Anaesthesia* 2016; 116(1): 27–36.

- 117.Szmuk P, Ezri T, Evron S, Roth Y, Katz J. **A brief history of tracheostomy and tracheal intubation, from the Bronze Age to the Space Age.** *Intensive Care Medicine* 2008; 34: 222-228.
- 118.Tachibana N, Niiyama Y, Yamakage M. **Incidence of cannot intubate-cannot ventilate (CICV): results of a 3-year retrospective multicenter clinical study in a network of university hospitals.** *Journal of Anaesthesia* 2015; 29(3): 326-330.
- 119.Toye FJ, Weinstein JD. **A percutaneous tracheostomy device.** *Surgery* 1969; 65(): 1034-1040.
- 120.Toye FJ, Weinstein JD. **Clinical experience with percutaneous tracheostomy and cricothyroidotomy in 100 patients.** *Journal of Trauma* 1986; 26: 1034–1040.
- 121.Trimmel H, Kreuziger J, Fitzka R, Szutz S, Derdak C, Koch E, Erwied B, Voelckel WG. **Use of the GlideScope Ranger video laryngoscope for emergency intubation in the prehospital setting: a randomized controlled trial.** *Critical Care Medicine* 2016; 44(7): e470-e476.
- 122.Van Heurn LW, Brink PR. **The history of percutaneous tracheotomy.** *Journal of Laryngology and Otology* 1996; 110: 723-726.
- 123.Votruba J, Brozek T, Blaha J, Henlin T, Vymazal T, Donaldson W, Michalek P. **Video laryngoscopic intubation using the King Vision™ laryngoscope in a simulated cervical spine trauma: a comparison between non-channeled and channeled disposable blades.** *Diagnostics* 2020; 10: 139.
- 124.Votruba J, Michalek P, Brozek T, Bruthans J. **King Vision videolaryngoscope for nasal intubation in predicted difficult airway due to maxillofacial emergencies: a retrospective cohort study.** *European Journal of Anaesthesiology* 2020; 37(6): 506-507.
- 125.Waisel DB. **The role of World War II and the European theater of operations in the development of anesthesiology as a physician specialty in the USA.** *Anesthesiology* 2001; 94: 907-914.
- 126.Walrath BD, Harper S, Barnard E, Tobin JM, Drew B, Cunningham C, Kharod C, Spradling J, Stone C, Martin M. **Airway management for trauma patients.** *Military Medicine* 2018; 183 (9/10): 29-31.

127. White GM. **Evolution of endotracheal and endobronchial intubation.** *British Journal of Anaesthesia* 1960; 32: 235-246.
128. Wang X, Tao Y, Tao X, Chen J, Jin Y, Shan Z, Tan J, Cao Q, Pan T. **An original design of remote robot-assisted intubation system.** *Scientific Reports* 2018; 8: 13403.
129. Wong J, Lee JS, Wong TG, Igbal R, Wong P. **Fibreoptic intubation in airway management: a review.** *Singapore Medical Journal* 2019; 60(3): 110-118.
130. Wong DT, Yang JJ, Jagannathan N. **Brief review: the LMA Supreme supraglottic airway.** *Canadian Journal of Anaesthesia* 2012; 59(5): 483-493.
131. Xue FS, Li HX, Liu YY, Yang GZ. **Current evidence for the use of C-MAC videolaryngoscope in adult airway management: a review of the literature.** *Therapeutics and Clinical Risk Management* 2017; 13: 831-841.
132. Zaichkin J, Wiswell TE. **The history of neonatal resuscitation.** *Neonatal Network* 2002; 21(5): 21-28.

Práce autora vztahující se k tématu disertační práce

a) s impakt faktorem

1. Votruba J, Brozek T, Blaha J, Henlin T, Vymazal T, Donaldson W, Michalek P. **Video laryngoscopic intubation using the King Vision™ laryngoscope in a simulated cervical spine trauma: a comparison between non-channeled and channeled disposable blades.** *Diagnostics* 2020; 10: 139.
Impakt faktor = 3,110 (Q1 v oboru "Medicína, všeobecná a vnitřní").
Indexace: Web of Science, PubMed, Scopus.
2. Henlin T, Michalek P, Tyll T, Ryska O. **A randomized comparison of bougie-assisted and TracheoQuick Plus cricothyrotomies on a live porcine model.** *BioMed Research International* 2017; 2017: 4215159.
Impakt faktor = 2,583 (Q2 v oboru "Medicína, všeobecná a vnitřní").
Indexace: Web of Science, PubMed, Scopus.
3. Henlin T, Sotak M, Kovaricek P, Tyll T, Balcarek L, Michalek P. **Comparison of five 2nd-generation supraglottic airway devices for airway management performed by novice military operators.** *BioMed Research International* 2015; 2015: 201898.
Impakt faktor = 2,583 (Q2 v oboru "Medicína, všeobecná a vnitřní").
Indexace: Web of Science, PubMed, Scopus.
4. Henlin T, Michalek P, Tyll T, Hinds JD, Dobias M. **Oxygenation, ventilation, and airway management in out-of-hospital cardiac arrest: a review.** *BioMed Research International* 2014; 2014: 376871.
Impakt faktor = 2,583 (Q2 v oboru "Medicína, všeobecná a vnitřní").
Indexace: Web of Science, PubMed, Scopus.

b) bez impakt faktoru

5. Klementová O, Henlín T, Szkorupa M, Michálek P. **Zajištění dýchacích cest v přednemocniční péči dospělých - to tube or not to tube?** *Anesteziologie a intenzivní medicína* 2020; 31(1): 28-34.
Indexace: Web of Science, Scopus.

6. Henlín T. **Obtížné zajištění dýchacích cest u dospělých a u dětí: nový doporučený postup ČSARIM.** *Anesteziologie a intenzivní Medicína* 2019; 30(3-4): 115-116.
Indexace: Web of Science, Scopus.
7. Henlín T, Derevjaník P, Belšan T. **Aspirace žaludečního obsahu při použití supraglottické pomůcky i-gel – tři kazuistiky.** *Anesteziologie a intenzivní Medicína* 2017; 28 (4): 255-259.
Indexace: Web of Science, Scopus.
8. Henlín T, Michálek P, Tyll T, Ryska O, Juhás Š, Juhásová D. **Bužii asistovaná koniotomie (BACT) na prasečím modelu - pilotní studie.** *Anesteziologie a intenzivní Medicína* 2014; 25(3): 184-189.
Indexace: Web of Science, Scopus.
9. Michalek P, Henlin T. **Use of the i-gel outside of the operating room, by prehospital team and in military medicine.** In: Michalek P, Donaldson W, eds. *The i-gel supraglottic airway.* Nova Science Publishers, New York, 2013.

Práce autora bez vztahu k tématu disertační práce

a) s impakt faktorem

1. O'Rourke J, Soták M, Curley GF, Doolan A, Henlin T et al. **Initial Assessment of the Percutaneous Electrical Phrenic Nerve Stimulation System in Patients on Mechanical Ventilation.** *CriticalCare Medicine* 2020; 48(5): e362-e370.
Impakt faktor = 7,414 (Q1 v oboru "Neodkladná medicína a intenzivní péče")

b) bez impakt faktoru

2. Pohnán R, Ryska M, Kalvach J, Hána L, Henlín T, Pejchal J. **Srovnání operační zátěže u laparoskopické a otevřené levostranné pankreatektomie v experimentu na velkém laboratorním zvířeti [Laparoscopic versus open left pancreatectomy: surgical stress response comparison in the porcine model].** *Rozhledy v Chirurgii* 2018; 97(5): 234-238.
3. Ryska O, Šerclová Z, Martínek J, Doležel R, Kalvach J, Henlín T, Lásziková E, Juhas S, Juhasová J, Ryska M. **Proveditelnost a perioperační zátěž NOTES cholecystektomie**

- na modelu kalkulózní cholecystitidy.** *Gastroenterologie a hepatologie*. 2014, roč. 68, Suppl. 2, s. 2S9-2S10.
4. Ryska O, Martínek J, Doležel R, Šerclová Z, Juhas S, Juhásová J, Lásziková E, Henlín T, Kalvach J, Ryska M **Efektivní techniky uzávěru transrektálního přístupu NOTES – výsledky experimentální studie.** *Gastroenterologie a hepatologie*. 2014, roč. 68, č. 4, s. 299-304.
 5. Božetěch J, Lásziková E, Köhler O, Langer D, Balcárek L, Henlín T, Netuková D, Ryska M **Robotem asistovaná laparoskopie z pohledu anesteziologa.** *Anesteziologie a intenzivní medicína*. 2009, roč. 20, č. 1, s. 8-12.