



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

Katedra biomedicínské techniky

Simulátor pro nácvik operace děložního čípku

Simulator for cervical surgery training

Diplomová práce

Studijní program: Biomedicínské inženýrství

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Hozman, Ph.D.

Eliška Niebauerová

Kladno 2023

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Niebauerová** Jméno: **Eliška** Osobní číslo: **482956**
Fakulta: **Fakulta biomedicínského inženýrství**
Garantující katedra: **Katedra biomedicínské techniky**
Studijní program: **Biomedicínské inženýrství**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Simulátor pro nácvik operace děložního čípku

Název diplomové práce anglicky:

Simulator for cervical surgery training

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte a vytvořte simulátor pro nácvik konizace děložního čípku. Simulátor bude tvořen vhodnou anatomickou a přístrojovou částí. Anatomická část bude fantom děložního čípku s bezprostředním okolím a pro simulaci tkáně použijte vhodný materiál. Přístrojová část bude tvořena operačním nástrojem, referenční elektrodou, vlastním generátorem a dalšími technickými prostředky a postupy zpracování, které umožní hodnocení kvality výkonu. Součástí práce bude dále metodika hodnocení kvality výkonu dle standardů v této oblasti a dále aplikace navržené metodiky pro pilotní nácvik výkonu praktikujícími lékaři či mediky.

Seznam doporučené literatury:

- [1] WALTERS, Christen L., Jenny M. WHITWORTH, Sharon L. TYRA et al., Constructing a Novel Simple LEEP Training Model, *Journal of Graduate Medical Education*, ročník 2, číslo 5, 2013, Červen, 320-322 s., <https://dx.doi.org/10.4300%2FJGME-D-12-00061.1>
- [2] REZNICZEK, Günther A, Sofia SEVERIN, Ziad HILAL, et al., Surgical performance of large loop excision of the transformation zone in a training model: A prospective cohort study, *Medicine*, ročník 96, číslo 23, 2017, Červen, e7026 s., <https://dx.doi.org/10.1097%2FMD.00000000000007026>
- [3] Foulk, Brooke E., Eason, Martin J., Olsen, Martin E., Surgical simulation of cold knife conization and suction dilation and curettage procedures using a patient simulator and papaya model, [Citováno 04.02.2022], <https://www.etsu.edu/com/simlab/documents/078881foulkposterv1.pdf>

Jméno a příjmení vedoucí(ho) diplomové práce:

doc. Ing. Jiří Hozman, Ph.D.

Jméno a příjmení konzultanta(ky) diplomové práce:

MUDr. Radovan Turyna, Ph.D. (ÚPMD v Praze - Podolí)

Datum zadání diplomové práce: **14.02.2023**

Platnost zadání diplomové práce: **20.09.2024**

doc. Ing. Martin Rožánek, Ph.D.
vedoucí katedry

prof. MUDr. Jozef Rosina, Ph.D., MBA
děkan

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci s názvem „Simulátor pro nácvik operace děložního čípku“ vypracovala samostatně a použila k tomu úplný výčet citací použitých pramenů, které uvádím v seznamu přiloženém k bakalářské práci.

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

V Kladně dne 18. 5. 2023

.....

Bc. Eliška Niebauerová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce, doc. Ing. Jiřímu Hozmanovi, Ph.D., za velmi vstřícný přístup při řešení problematiky v rámci této diplomové práce, za pomoc, za rady, připomínky a za jeho čas. Další velké poděkování patří konzultantovi mé diplomové práce, MUDr. Radovanu Turynovi, Ph.D., především za jeho čas, který mi věnoval při testování a při pilotních měřeních v ÚPMD. Také za jeho vstřícnost, otevřenost, odborné konzultace a cenné rady. Dále děkuji vedení ÚPMD, za umožnění realizace pilotních měření na tamním operačním sále. Děkuji také veškerému personálu na operačních sálech v ÚPMD, za pomoc při realizaci pilotních měření. Velké díky patří všem účastníkům pilotního měření. Dále bych ráda poděkovala firmě Radev s.r.o., především paní Zuzaně Košlerové, za ochotu vyhovět nestandardním požadavkům zákazníků. Musím poděkovat také mým rodičům, za jejich nekonečnou podporu v průběhu celého mého studia a za pomoc při řešení této práce. Chtěla bych také poděkovat všem mým blízkým a kamarádům nejen za podněty a rady, ale především za jejich podporu.

ABSTRAKT

Simulátor pro nácvik operace děložního čípku

Diplomová práce se zabývá konstrukcí simulátoru, na kterém bude možné provádět nácvik konizace děložního čípku elektrochirurgickou metodou LLETZ. Konečná verze simulátoru byla tvořena anatomickou a přístrojovou částí. Anatomická část byla tvořena párkem, který představoval děložní čípek a molitanovou dutinou, jež představovala pochvu. Přístrojová část se skládala z elektrochirurgické kličky, neutrální elektrody, elektrochirurgické jednotky a odsávače kouře. Do simulátoru byly také umístěny dvě kamery, kterými bylo možné natáčet řezy elektrochirurgickou kličkou v simulátoru. Na sestaveném simulátoru proběhlo v Ústavu pro péči o matku a dítě devět pilotních měření, při kterých bylo ověřeno, že je sestavený simulátor pro nácvik konizace děložního čípku vhodný. Při pilotních měřeních byly výkony hodnoceny na základě vyříznuté části párku – konizátu. Toto hodnocení bylo inspirováno histopatologickým hodnocením reálné tkáně odebrané při konizaci děložního čípku. Dále byly výkony ze dvou měření hodnoceny metodikou, která byla v rámci této práce navržena. S využitím trajektorií elektrochirurgické kličky, které byly v simulátoru zaznamenány umístěnými kamerami, byly modelovány 3D modely konizátů u nichž byla dále hodnocena symetrie. Modely odebrané tkáně se s reálnými konizáty shodovaly v objemech, ale lišily se v délkách. Vyříznuté části párku na simulátoru měly průměrný objem 1,338 ml a průměrnou délku 7,460 mm.

Klíčová slova

simulátor, konizace děložního hrdla, excize transformační zóny pomocí velké kličky (LLETZ), trajektorie

ABSTRACT

Simulation for cervical surgery training

The master thesis deals with the construction of a simulator for practicing conization using the LLETZ electrosurgical method. The final version of the simulator consisted of an anatomical and an instrumental part. The anatomical part was made up of a sausage that represented the cervix and a foam cavity that represented the vagina. The instrument part consisted of an electrosurgical loop, a neutral electrode, an electrosurgical unit and a smoke extractor. Two cameras were also placed in the simulator, with which it was possible to film the electrosurgical loop while cutting a sausage in the simulator. Nine pilot measurements were performed on the manufactured simulator at the Institute for the Care of Mother and Child during which it was verified that the manufactured simulator is suitable for practicing cervical conization. During the pilot measurements, performances were evaluated based on the measuring sausage specimens. This evaluation was inspired by the histopathological evaluation of real specimen obtained by conization. Furthermore, two of the performances were evaluated using the methodology that was proposed as part of this work. Using the trajectories of the electrosurgical loop, which were recorded in the simulator by the placed cameras, 3D models of specimens were modelled. These models were evaluated in terms of their symmetry. The models of the specimens matched the real sausage specimens in volume but differed in length. Sausage specimens on the simulator had an average volume of 1.338 ml and an average length of 7.460 mm.

Keywords

simulator, conization of the cervix uteri, Large Loop Excision of Transformation Zone, trajectory

Obsah

Seznam symbolů a zkratek.....	9
1 Úvod	11
2 Přehled současného stavu.....	12
2.1 Anatomie vybraných částí ženského pohlavního ústrojí.....	12
2.2 Léze na děložním čípku.....	15
2.3 Screeningová vyšetření pro prevenci rakoviny děložního čípku	18
2.3.1 Kolposkopie.....	18
2.4 Terapie abnormálních nálezů	19
2.5 Chirurgické odstraňování lézí	19
2.5.1 Význam tvaru konizátu.....	20
2.5.2 Vliv použití kolposkopu při odstraňování lézí	22
2.5.3 Hodnocení odebrané tkáně	22
2.6 Metody konizace děložního čípku.....	23
2.6.1 Elektrochirurgické metody	24
2.7 Simulátory pro nácvik konizace děložního čípku	26
2.7.1 Virtuální simulátory.....	26
2.7.2 Reálné modely a simulátory pro trénink konizace	27
2.8 Hodnocení výkonů při tréninku konizace děložního čípku.....	31
3 Cíle	34
4 Metody	35
4.1 Vývoj a konstrukce simulátoru	35
4.1.1 Vývojové verze simulátoru.....	38
4.1.2 Konečná verze simulátoru	41
4.1.3 Detekce elektrochirurgické kličky a rekonstrukce její trajektorie v konečné verzi simulátoru	45
4.1.4 Materiál simulující děložní čípek	51
4.2 Testování simulátoru a pilotní měření v ÚPMD	53
4.2.1 Pilotní měření	54
4.3 Hodnocení konizátů z párků.....	56
4.4 Návrh metody hodnocení kvality výkonu	57

4.4.1	Příprava trajektorie před vložením do Rhinocerosu.....	58
4.4.2	Simulace řezů v Rhinocerosu	59
4.4.3	Hodnocení modelů konizátů.....	61
4.5	Statistické zhodnocení.....	61
4.5.1	Testování hypotéz.....	62
5	Výsledky.....	63
5.1	Simulátor	63
5.1.1	Rekonstrukce trajektorie.....	64
5.2	Výsledky pilotního měření	66
5.3	Modely v Rhinocerosu	77
5.4	Statistické zhodnocení.....	79
6	Diskuze.....	80
6.1	Vývoj simulátoru.....	80
6.2	Konečná verze simulátoru	81
6.3	Pilotní měření	84
6.4	Modely konizátů a návrh metodiky hodnocení	85
7	Závěr	87
	Seznam použité literatury	88
	Příloha A.....	104
	Příloha B	114
	Příloha C.....	115
	Příloha D: Obsah přiloženého ZIP souboru.....	120

Seznam symbolů a zkratek

Seznam symbolů

Zkratka	Jednotka	Význam
V	ml	Objem
m	g	Hmotnost
ρ	g/ml	Hustota
α		Hladina významnosti
x	$pixel$	x souřadnice rohu obdélníkového označení při detekci
y	$pixel$	y souřadnice rohu obdélníkového označení při detekci
x_s	$pixel$	x souřadnice detekované značky
y_s	$pixel$	y souřadnice detekované značky

Seznam zkratk

Zkratka	Význam
CAD	Počítačem podporované projektování (<i>computer-aided design</i>)
CKC	Metoda konizace nožem (<i>Cold knife conization</i>)
CIN	Cervikální intraepiteliální neoplazie (<i>Cervical Intraepithelial Neoplasia</i>)
CIS	Karcinom in situ (<i>Carcinoma in situ</i>)
ČGPS	Česká gynekologicko-porodnická společnost
DC	Stejnosměrný proud (<i>Direct current</i>)
ESU	Elektrochirurgická jednotka (<i>Electrosurgical unit</i>)
HG SIL	Skvamózní intraepiteliální léze vysokého stupně (<i>High-grade SIL</i>)
HPV	Lidský papilomavirus (<i>Human Papillomavirus</i>)
HR HPV	Vysoce rizikové skupiny HPV (<i>high risk HPV</i>)
HW	Hardwarový
IR	Infračervený (<i>Infrared</i>)
IFCPC	<i>International Federation for Cervical Pathology and Colposcopy</i>
LC	Konizace laserem (<i>Laser Conization</i>)
LED	Elektroluminiscenční dioda (<i>Light-Emitting Diode</i>)
LEEP	Excize pomocí kličky (<i>Loop Electrosurgical Excision Procedure</i>)
LLETZ	Excize transformační zóny pomocí velké kličky (<i>Large Loop Excision of Transformation Zone</i>)
LG SIL	Skvamózní intraepiteliální léze nízkého stupně (<i>Low-grade SIL</i>)
LR HPV	Nízkorizikové skupiny HPV (<i>Low risk HPV</i>)
NETZ	Excize transformační zóny pomocí jehlové elektrody (<i>Needle Excision of Transformation Zone</i>)
OSATS	Metoda hodnocení chirurgických dovedností (<i>Objective Structured Assessment of Technical Skills</i>)
SCJ	Skvamokolumnární junkce (<i>Squamocolumnar junction</i>)
SMT	Speciální Medicínská Technologie s.r.o.
SIL	Skvamózní intraepiteliální léze (<i>Squamous Intraepithelial Lesion</i>)
SWETZ	Excize transformační zóny pomocí elektrody v podobě rovného či ohnutého drátku (<i>Straight Wire Excision of the Transformation Zone</i>)
TZ	Transformační zóna (<i>Transformation Zone</i>)
USB	Univerzální sériová sběrnice (<i>Universal Serial Bus</i>)
ÚPMD	Ústav pro péči o matku a dítě
UV	Ultrafialové záření (<i>Ultraviolet</i>)
UV LED	Ultrafialové LED diody
WHO	Světová zdravotnická organizace (<i>World Health Organization</i>)
3D	Trojrozměrný (<i>Three Dimensional</i>)

1 Úvod

Diplomová práce se zabývá konstrukcí simulátoru pro nácvik konizace děložního čípku elektrochirurgickou metodou za použití vysokofrekvenční elektrochirurgické kličky (metoda LLETZ). Na sestaveném simulátoru následně v rámci této práce proběhla pilotní měření. Práce se dále věnuje hodnocení provedených výkonů na simulátoru. Kromě hodnocení inspirovaného postupem hodnocení reálných odebraných vzorků byla na některá pilotní měření aplikována metoda hodnocení, která byla v rámci této práce navržena.

Konizace děložního čípku je chirurgické odstranění léze na děložním čípku. Léze, které je nutné chirurgicky odstranit, mají podobu závažných dysplazií epitelů na děložním čípku. Vyvíjejí se při dlouhodobé HPV infekci na děložním čípku za působení dalších kofaktorů kancerogeneze. Jejich vývoj trvá několik let a pokud nejsou léčeny, mohou v průběhu dalších několika let progredovat až v invazivní karcinom děložního hrdla. Rakovina děložního hrdla je dlouhodobě 4. nejčastější rakovina vyskytující se u žen [1]. Díky celosvětově zavedeným preventivním screeningovým a očkovacím programům se ale daří její incidenci i mortalitu pozvolna snižovat.

Při odstraňování lézí na děložním čípku je důležité, aby byla odstraněna veškerá postižená tkáň a zamezilo se tak jejímu dalšímu rozšiřování. U mladých žen, které by v budoucnu chtěly otěhotnět, je také důležité, aby bylo zároveň s postiženou tkání odstraněno co nejméně zdravé tkáně. Jelikož s rostoucí velikostí odebrané tkáně se může zvyšovat riziko předčasného porodu [2], [3]. Pro odstraňování lézí na děložním čípku se používá několik chirurgických metod. Mezi nejpoužívanější patří právě elektrochirurgická metoda LLETZ, při které se tkáň odebírá monopolárním elektrochirurgickým nástrojem ve tvaru kličky.

Simulace v oblasti gynekologie mají již téměř stoletou historii. [4] Umožňují medikům a lékařům osvojit si a trénovat nejrůznější úkony bez ohrožení reálných pacientek. Nácviky chirurgického odstraňování lézí na děložním čípku jsou dokumentované od konce 90. let 20. století. Ze studií, v rámci kterých probíhal nácvik odstraňování lézí na simulátoru metodou LLETZ jednoznačně vyplývá, že nácvik metody zlepšuje schopnosti a jistotu lékaře při odstraňování reálné léze touto metodou a zvyšuje úspěšnost zákroku. [5], [6]

Pro hodnocení cvičných konizací metodou LLETZ neexistuje standardizovaný postup. V jednotlivých studiích se hodnocení obvykle podobá hodnocení reálných konizací, tedy měřením parametrů odebrané tkáně. Kromě tohoto hodnocení je v diplomové práci navrženo hodnocení tahu operačním nástrojem podle jeho symetrie. Ta je hodnocena na modelu odebrané tkáně, který vznikl simulací zákroku ve 3D konstrukčním programu Rhinoceros za použití trajektorie elektrochirurgické kličky zachycené dvěma kamerami uvnitř simulátoru.

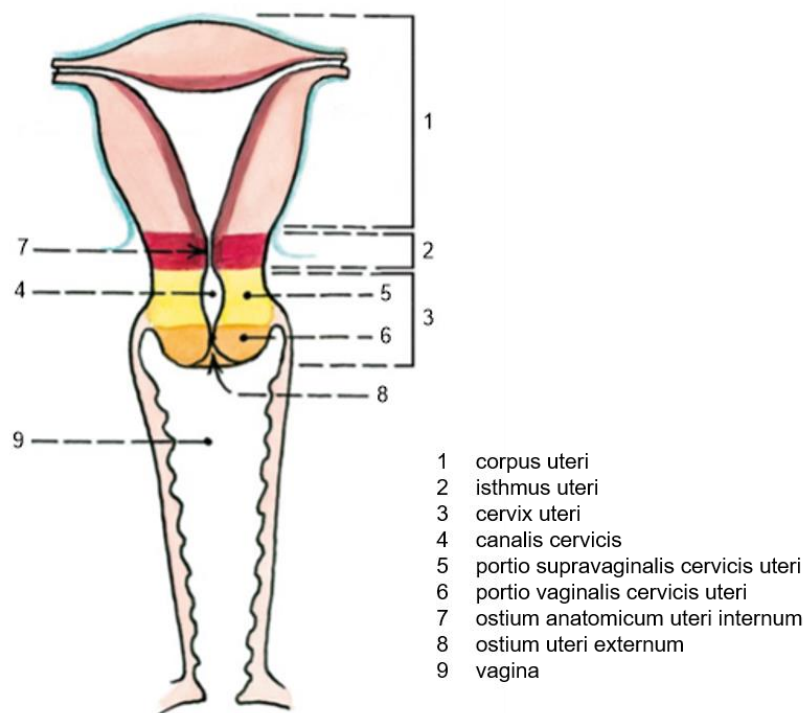
2 Přehled současného stavu

Přehled současného stavu tvoří osm kapitol, které se postupně věnují anatomii části ženského pohlavního ústrojí, lézím na děložním čípku, preventivním screeningovým vyšetřením, terapii lézí a jejich odstraňování. Předposlední kapitola se detailněji věnuje excizním metodám a poslední kapitola je zaměřena na simulátory pro konizaci děložního čípku.

2.1 Anatomie vybraných částí ženského pohlavního ústrojí

Děloha

Děloha (uterus) je dutý orgán kaudálně se zužující, který se skládá z těla (corpus uteri), děložního hrdla (cervix uteri) a ze zúženého úseku (isthmus uteri), který je mezi tělem a hrdlem děložním. Na úrovni vnitřní branky děložní (ostium anatomicum uteri internum) přechází tělo dělohy v tento zúžený úsek, ten je dlouhý cca 1 cm a plynule na něj navazuje děložní hrdlo. Děložní dutina je s pochvou (vagina) propojena kanálem děložního hrdla (canalis cervicis uteri), jinak také nazývaným endocervikální kanál. Endocervikální kanál prochází od vnitřní branky děložní, prostředkem děložního hrdla a ústí na děložním čípku zevní brankou děložní (ostium uteri externum). Tato branka je ohraničena předním a zadním pyskem děložním. Schéma dělohy je na Obr. 2.1. Endocervikální kanál je pokrytý slizničními řasami, které jsou uspořádané ve tvaru palmových listů. Do kanálu také ústí slizniční žlázy, jejichž sekretem je kanál vyplněn. Děložní hrdlo je tvořeno horní částí (portio supravaginalis cervicis uteri) a dolní částí, děložním čípkem, (portio vaginalis cervicis uteri), kterým děloha vyčnívá do pochvy. Samotný děložní čípek je ještě rozdělen na vnitřní část – endocervix a vnější část – ektocervix (jinak také exocervix) [7], [8].



Obr. 2.1: Schéma dělohy ve frontálním řezu. Převzato z [8] a upraveno.

Děložní čípek

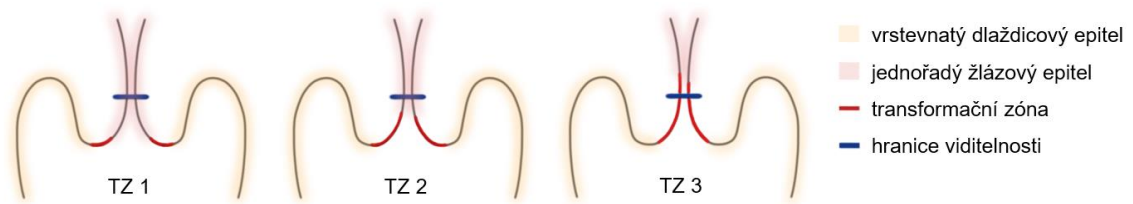
Děložní čípek má cylindrický nebo konický tvar, na konci zaoblený. Anterio-posteriální a latero-laterální průměry děložního čípku se mohou lišit. Obvykle bývá anterio-posteriální průměr děložního čípku menší oproti latero-laterálnímu průměru [9]. Celkový průměrný průměr děložního čípku se u několika studií, ve kterých byly parametry děložního čípku měřeny, pohyboval od 2,5 do 3,3 cm [10], [7], [11].

V jednotlivých fázích menstruačního cyklu se rozměry děložního čípku mohou měnit v rámci jednotek milimetrů. U nerodivších žen bývá průměr děložního čípku menší než u rodivších. Podobné to je s průměrem ústí endocervikálního kanálu. Jeho tvar je u nerodivších žen okrouhlý, zatímco u rodivších mívá roztáhlejší šterbinovitý tvar, a tedy i větší průměr [10]. Průměr děložního čípku je obecně větší u mladých dospělých žen, s věkem se průměr děložního čípku postupně zmenšuje [11].

Děložní čípek tvoří vazivová tkáň s vlákny hladké svaloviny, která je prorostlá sítí kapilár a nervů. Směrem k ektocervixu se snižuje podíl svalových vláken a také množství nervových zakončení, která se na ektocervixu vyskytují minimálně. Endocervikální část děložního čípku je pokryta jednořadým cylindrickým žlázovým epitelem, který se nepravidelně zanořuje do stromatu a vytváří žlázovité krypty (nepravé žlázy). Ektocervikální část je pokryta nerohovějícím vícevrstevnatým dlaždicovým epitelem [12]. Místo přechodu jednoho epitelu v druhý je nazýváno skvamokolumnární junkce (SCJ). Pozice SCJ se během fyziologických období života ženy mění, posouvá se z ektocervixu do endocervikálního kanálu. Přechod mezi zmíněnými dvěma epitelemi může

být tvořen přechodnou zónou metaplastického epitelu – transformační zónou (TZ). Tato zóna se nachází v oblasti mezi původní polohou SCJ na ektocervixu a novou polohou SCJ v endocervixu. Pokud se zde nevyskytují žádné patologické změny, je tvořena metaplastickým epitelem, který vzniká přeměnou jednořadého cylindrického žlázového epitelu na endocervixu ve vícevrstevnatý dlaždicový epitel na ektocervixu. Tvoří jej tedy buňky jednořadého cylindrického žlázového epitelu společně s buňkami vrstevnatého dlaždicového epitelu [13]. Proces přeměny jednoho epitelu v druhý trvá velkou část života ženy, dokud není epitel zcela přeměněn, je označován jako nezralý metaplastický epitel [10], [12].

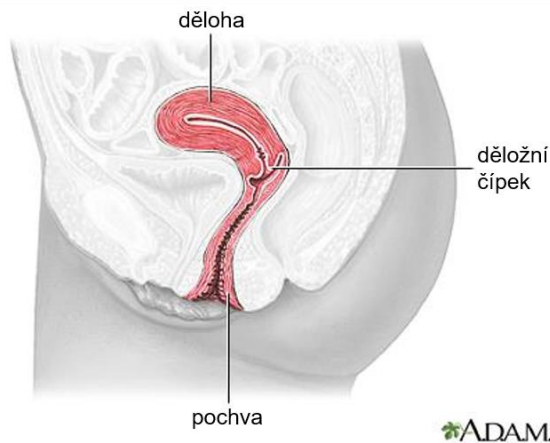
TZ je klasifikována podle International Federation for Colposcopy and Cervical Pathology do tří typů podle jejího uložení, rozsahu a viditelnosti při kolposkopickém vyšetření [14]. TZ typu 1 je uložena zcela na ektocervixu a je zcela viditelná. TZ typu 2 je uložena nejen na ektocervixu, ale zčásti i na endocervixu, nicméně je stále zcela viditelná. TZ typu 3 leží obvykle částečně na ektocervixu ale velkou částí i na endocervixu, hlouběji než u TZ typu 2, tudíž není zcela viditelná. Jednotlivé typy TZ jsou uvedeny na Obr. 2.2. Existují i další členění, obvykle rozdělující uvedené typy na dílčí [15], [7], [12].



Obr. 2.2: Schéma jednotlivých transformačních zón na děložním čípku. Vytvořeno podle [15].

Pochva

Pochva (vagina) je elastická, roztažitelná, fibromuskulární trubice, která kraniálním koncem obepíná děložní hrdlo na úrovni přechodu jeho horní a dolní části, děložní čípek do ní tedy vyčnívá. Od kraniálního konce směřuje trubice ventrokaudálně a kaudálním koncem, vchodem poševním (ostium vaginae) ústí mezi malé stydké pysky do předsíně poševní (vestibulum vaginae). Její umístění a orientace jsou patrné na Obr. 2.3. Je tvořena především hladkou svalovinou, v dolní části se nachází i svalovina příčně pruhovaná, a řídkou kolagenní vazivovou tkání s množstvím elastických vláken.



Obr. 2.3: Schéma ženského pohlavního ústrojí v sagitálním řezu. Převzato z [16] a upraveno.

Pochva je předozadně oploštěná, přední a zadní stěna na sebe naléhají. Přední strana je kratší než zadní. Orientačně se délka přední stěny obvykle pohybuje od 5 do 7 cm a délka zadní stěny od 8 do 10 cm. Pochva je nejširší u děložního čípku, tam je její průměr okolo 3 až 4 cm, směrem ke kaudálnímu konci se zužuje a nejužší je na kaudálním konci, kde se její šířka pohybuje okolo 2 cm [17] [18] [19].

2.2 Léze na děložním čípku

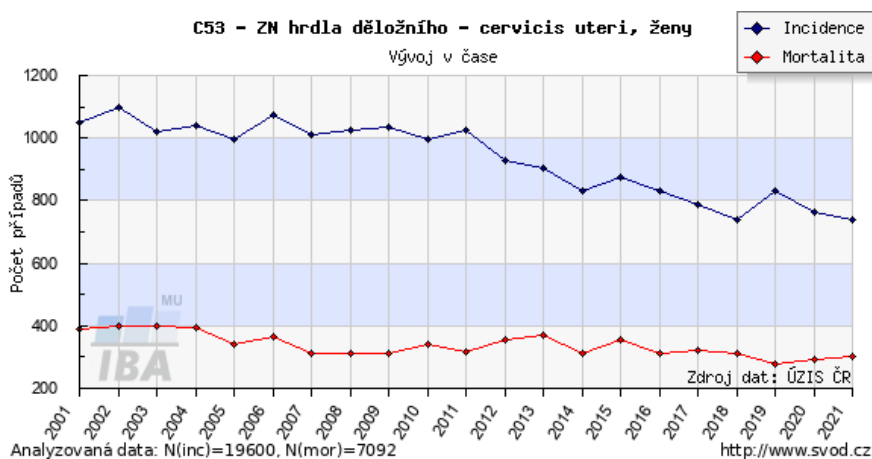
Za léze na děložním čípku jsou považovány dysplastické změny dlaždicobuněčného nebo žláзовého epitelu. Karcinom je nejzávažnější podoba léze na děložním čípku a vzniká několikaletým vývojem z méně závažných neléčených lézí při působení HPV infekce a dalších kofaktorů kancerogeneze. Rakovina děložního čípku je v odborné literatuře často označována širším pojmem, jako rakovina děložního hrdla. V anglické literatuře není používáno jiné označení než *cervical cancer* nebo *cancer of the cervix uteri*.

Epidemiologie

I přes globálně zavedené preventivní screeningové programy a očkování, které přispívají pozvolnému celosvětovému snižování incidence a mortality rakoviny děložního hrdla, setrvává toto onemocnění dlouhodobě 4. nejčastější rakovinou vyskytující se u žen [20]. Za rok 2020 bylo celosvětově zjištěno cca 604 000 nových případů rakoviny děložního čípku a zároveň téměř 342 000 úmrtí. Velká část nových případů i úmrtí ale pochází ze zemí s nízkým nebo středním příjmem (Asie – necelých 352 000 nových případů a téměř 200 000 úmrtí; Afrika – přes 117 000 nových případů a necelých 77 000 úmrtí) [21].

V Evropě je rakovina děložního hrdla 9. nejčastější rakovinou vyskytující se u žen. V roce 2020 byla v Evropě incidence tohoto onemocnění přes 58 000 a zemřelo na něj téměř 26 000 žen. U evropských žen do 44 let je tento typ rakoviny 3. nejčastější rakovinou (V roce 2020 byla jeho incidence u žen v do 44 let necelých 20 000, mortalita téměř 4 100) [1], [22], [23].

V České republice bylo za rok 2020 zjištěno 765 nových případů rakoviny děložního hrdla a 293 žen na toto onemocnění zemřelo. Od roku 2012 se roční incidence v ČR pohybuje pod hranicí 1 000 [24]. Detailnější vývoj incidence a mortality v rámci rakoviny děložního čípku v ČR od roku 2001 do roku 2021 je zobrazen na Obr. 2.4. U žen do 44 let byla incidence tohoto onemocnění 228 a mortalita 27 [25].



Obr. 2.4: Vývoj incidence a mortality rakoviny děložního hrdla v České republice v letech 2001–2021. Převzato z [24].

Patologie, patogeneze a etiologie

Léze vznikají nejčastěji v místě TZ, kde se nachází nezralý metaplastický epitel, který je velmi vulnerabilní a proto právě u jeho buněk dochází ve většině případů k primárním patologickým změnám. Ke změně buněk v nezralém metaplastickém epitelu dochází působením HPV viru a následný vývoj patologických změn, které mohou vést ke vzniku karcinomu, je zapříčiněn perzistující infekcí HPV (6 a více měsíců) [26].

Na děložním čípku mohou v zásadě vzniknout dva typy karcinomů, dlaždicobuněčný karcinom a karcinom vzniklý ze žláзовého epitelu – adenokarcinom. Oba karcinomy se vyvíjejí postupně několik let z předchozích stádií dysplastických změn epitelu děložního čípku, označovaných jako prekancerózy. Prekancerózy invazivního dlaždicovitého karcinomu se dříve dělily podle rozsahu na tři stupně – CIN 1, CIN 2 a CIN 3, do CIN 3 byl někdy řazen i karcinom in situ (CIS), jindy byl brán samostatně jako další a poslední stádium před invazivním karcinodem. Zkratka CIN znamená cervikální intraepiteliální neoplazie. Dnes se podle WHO prekancerózy dlaždicobuněčného epitelu rozdělují pouze na léze nízkého stupně LG SIL (patří sem CIN 1) a léze vysokého stupně HG SIL (patří sem CIN 2 a CIN 3). Zkratka SIL znamená skvamózní intraepiteliální léze. V ČR je však stále doporučováno starší dělení prekanceróz na CIN 1, CIN 2 a CIN 3 [27]. Prekancerózy invazivního adenokarcinomu, tedy dysplazie žláзовého epitelu, označované jako glandulární intraepiteliální neoplazie, se oficiálně nikterak nerozdělují. [12].

HPV viry

HPV viry jsou malé DNA viry, které specificky infikují proliferující buňky bazálních vrstev epitelu kůže a sliznic u člověka a mohou způsobit vznik bradavic, oparů ale i karcinomů, ačkoli většina HPV infekcí v lidském těle je asymptomatická a imunitní systém ji eliminuje. HPV infekce vniká do těla mikrotraumaty kůže a sliznic nebo přímým kontaktem v místech přechodu epitelů, je tedy poměrně jednoduše přenosná. Patří mezi nejčastější sexuálně přenosné infekce. Na základě vzájemné podobnosti se HPV viry dělí do jednotlivých genotypů, subtypů a variant. Genotypy se podle onkogenního potenciálu rozdělují do vysoce rizikové skupiny (HR HPV) a nízko rizikové skupiny (LR HPV). Vysoce rizikových genotypů je okolo 14 a z nich nejdominantnější jsou genotypy 16 a 18. Tyto dva genotypy jsou WHO uznány jako lidské karcinogeny. HR HPV genotypy mohou způsobovat u žen i u mužů vznik karcinomů v celé anogenitální oblasti a v oblasti úst a krku, vzhledem k tématu této práce bude však dále věnována pozornost pouze oblasti děložního hrdla [28], [29], [30].

Pro rozvoj patologických změn na děložním čípku je přítomnost HR HPV virů nezbytná. V případě genotypů 16 a 18 je pravděpodobnost rozvoje lézí několikanásobně vyšší než u ostatních genotypů. Nicméně onemocnění se rozvíjí při působení několika dalších kofaktorů kancerogeneze, kterými mohou být: kouření tabáku, chlamydiové infekce, infekce virem herpes simplex, chronický zánět děložního hrdla, dlouhodobé užívání hormonální antikoncepce, multiparita, promiskuita, časný začátek aktivního sexuálního života, porucha imunity (imunoprese, imunodeficience), genetické faktory a nutriční faktory [30].

U většiny žen se v průběhu života HPV viry na děložním čípku objeví. Největší prevalence HPV infekce je obecně v mladém věku, cca mezi 18 a 30 lety. S přibývajícím věkem prevalence HPV infekce klesá, v některých oblastech světa se objevuje druhotný nárůst prevalence cca od 45. do 55. roku věku [31]. Většinu HPV infekcí v mladém věku imunitní mechanismy v těle samy potlačí, jen v malém procentu případů HPV infekce na děložním čípku přetrvává a vzniká prekanceróza, ze které se v případě absence léčby může za několik let vyvinout karcinom.

Vznik lézí na děložním čípku je poměrně dobře znám a popsán, vzhledem k tomu, že karcinomy děložního čípku se z méně závažných lézí vyvíjejí několik let, lze jejich incidenci snížit plošnými preventivními vyšetřeními. Proto byly ve většině států zavedeny screeningové programy v souladu s doporučeními WHO. Pravidelná preventivní vyšetření umožňují objevit případné patologické změny nebo přetrvávající infekce HPV včas, a na základě konkrétního nálezu může lékař zvolit vhodný způsob léčby. Dalším preventivním opatřením je očkování proti HPV, které výrazně snižuje riziko vzniku karcinomu, nezaručuje však, že by nemohl vzniknout vůbec. V současné době existuje 6 licencovaných vakcín, očkovat se většinou z nich mohou dívky i chlapci, ideálně od 9 do

14 let. Očkování je možné i ve vyšším věku, jeho účinnost je ale o něco nižší [32]. V řadě států Asie a Afriky tyto vakcíny ale ještě nejsou dostupné [33] [29], [34].

2.3 Screeningová vyšetření pro prevenci rakoviny děložního čípku

Hlavní užívané screeningové metody jsou cytologické stěry, DNA HPV testy a vizuální vyšetření kolposkopem za použití roztoku, který zvýrazňuje abnormality epitelu na děložním čípku. Podle aktuálních doporučení WHO z roku 2021 pro screeningové programy pro prevenci rakoviny děložního hrdla, by měly být pravidelně testovány především ženy od 30 do 49 let. WHO doporučuje zvolit jako primární screeningovou metodu HPV DNA testy, které by se měly opakovat každých 5 až 10 let, pokud by to nebylo možné, doporučuje provádět cytologické stěry případně vizuální vyšetření (kolposkopii) každé 3 roky [35].

Screeningové programy se v jednotlivých státech liší, jak v metodách samotného screeningového testování, tak v časových intervalech testování a věkových skupinách testovaných žen [1]. V ČR provádějí gynekologové na preventivních prohlídkách u žen od 15 let standardně jednou za rok cytologický stěr buněk děložního čípku. Cytologický stěr probíhá pod kolposkopem. Kolposkopie je součástí preventivní prohlídky. Podle doporučených postupů České gynekologicko-porodnické společnosti (ČGPS) z roku 2021, by měl být ve 35. – 36. roce a ve 45. – 46. roce života ženy společně s cytologickým stěrem proveden i HPV DNA test [36]. Pokud jsou výsledky cytologického stěru abnormální, následuje obvykle expertní kolposkopie.

2.3.1 Kolposkopie

Kolposkopie je zobrazovací metoda, při které je genitální trakt osvětlen a zvětšen pomocí kolposkopu. Je součástí komplexního gynekologického vyšetření či preventivní gynekologické prohlídky. Kolposkop je v podstatě monokulární nebo binokulární mikroskop, kterým lze pozorovat detaily tkáně vulvy, pochvy a děložního čípku. Zvětšení kolposkopu se nejčastěji pohybuje ve třech volitelných úrovních od 3,75x do 15x nebo 30x [37], [38], [39]. Existují ale i kolposkopy s jedním fixním zvětšením, nebo naopak takové, u kterých lze nastavit jakékoli zvětšení v rámci daného rozpětí [40]. Krom optické soustavy je v kolposkopu také zdroj studeného světla s integrovanými barevnými filtry, kterým je zobrazovaná tkáň osvětlována. Z barevných filtrů se nejčastěji používá zelený, a to pro vyšetřování cév v tkáni. Kromě optických kolposkopů existují ještě videokolposkopy, které nabízejí větší zvětšení, obraz je promítán na obrazovce, může být i ve 3D a může být poupraven softwarem, který je součástí videokolposkopu. Použití videokamery místo optické soustavy umožňuje výrazně zmenšit rozměry kolposkopu čehož někteří výrobci využívají.

Při použití gynekologických (poševních) zrcadel, které se používají pro dilataci poševních stěn, je možné kolposkopem prohlížet hranici epitelů na děložním čípku, transformační zónu, ústí a proximální část endocervikálního kanálu a různé atypie či léze na děložním čípku a pochvě. Při vysokém rozlišení, je možné pozorovat architektury cév, které jsou pro epitely a jejich fyziologické i patologické stavy charakteristické. Pro orientaci při pohledu na děložní čípek při vyšetření v gynekologických zrcadlech si lékaři představují na děložním čípku hodinový ciferník.

Pro lepší vizualizaci lézí na děložním čípku se běžně používají dva roztoky. Roztok kyseliny octové (3–5%) obarvuje dysplastický epitel nabílo. Čím rychleji se epitel obarví a čím déle toto zbarvení přetrvává, tím závažnější jsou v něm abnormality. Lugolův roztok obarvuje zdravou tkáň (dlaždicový diferencovaný epitel) nahnědo a dysplastický epitel nažluto [41], [12]. Vizualizace lézí pomocí těchto roztoků se využívá také přímo při chirurgickém odstraňování lézí [42].

2.4 Terapie abnormálních nálezů

Pokud byla přítomnost abnormalit potvrzena, při kolposkopii byla nalezena, zhodnocena a vymezena léze, následuje rozhodnutí ošetřujícího gynekologa o dalším způsobu léčby. Při rozhodování je třeba zohlednit nejen nález, ale i věk pacientky a její případné přání těhotenství. Oporou pro rozhodování je dokument [43] vydaný Českou gynekologicko-porodnickou společností (ČGPS) s doporučenými postupy řešení abnormálních nálezů.

V případě, že léze není závažná a buňky léze vykazují jen lehké abnormality, je léze gynekologem častěji sledována a po několika měsících se opakuje cytologický stěr. Je možné podpořit imunitní systém ženy ve snaze o eliminaci HPV infekce vhodnými zdravotnickými prostředky.

Pokud je léze závažnější nebo pokud méně závažná léze na děložním čípku přetrvává či se zhoršuje, následují obvykle bioptické metody léčby. Mezi ně patří metody pro zjištění dalších informací o lézi – punch biopsie tkáně a endocervikální kyretáž. Obě metody spočívají v odběru malé části tkáně děložního čípku, obvykle za použití kolposkopu. U punch biopsie je odebírána tkáň na nejvíce suspektním místě na děložním čípku, u kyretáže je odebírána tkáň v endocervikálním kanálu. Odebrané vzorky jsou následně histologicky vyšetřovány. Další bioptické metody jsou chirurgické metody odstranění lézí [44].

2.5 Chirurgické odstraňování lézí

Metody pro chirurgické odstranění patologicky změněné tkáně na děložním čípku lze obecně rozdělit na excizní metody a ablativní (destrukční) metody. Ablativní metody byly používány především v minulosti, jedná se o kryochirurgickou metodu, CO₂ laserovou

vaporizaci, elektrodiatermii a tzv. cold-coagulation. Mezi excizní metody, které jsou v současné době spíše preferovány, patří elektrochirurgické metody Large Loop Excision of Transformation Zone (LLETZ, synonymem je LEEP užívané často v americké literatuře), Needle Excision of Transformation Zone (NETZ) a Straight Wire Excision of the Transformation Zone (SWETZ), metoda skalpelem – Cold knife cone (CKC), metoda laserem – Laser Conization (LC) a metoda harmonickým skalpelem. Většina excizních metod je detailněji popsána v kapitole 2.6 [12], [45], [46], [47].

Zákroky prováděné ablativními metodami trvají obvykle kratší dobu než excizní metody a také nevyžadují celkovou anestezii. Při ablativních metodách je odstraňována tkáň méně do hloubky oproti excizním metodám. Veškeré metody jsou spojené s rizikem krvácení, infekce, zjizvení, špatného hojení a přináší s sebou i jisté vyšší riziko předčasného porodu [48]. Excizní metody jsou na rozdíl od ablativních metod spojovány s rizikem předčasného porodu před 37. týdnem. Na druhou stranu u některých ablativních metod je vyšší pravděpodobnost neúspěšného odstranění postižené tkáně, což vede k opakování zákroku. U ablativních metod byla zjištěna vyšší neúspěšnost u žen starších 40 let. To je nejspíše zapříčiněno tím, že starší ženy mívají obecně léze hlouběji, v endocervikální části. Mladší ženy mívají léze naopak spíše na ektocervixu [49]. Výhodou excizních metod je možnost histopatologického vyšetření odebrané tkáně, což u ablativních metod není možné, jelikož při odstraňování tkáně dochází k její destrukci.

Excizní metody jsou slangově označovány jako konizace, tento název se používal v dobách, kdy se pro odstraňování lézí používal výhradně skalpel a odebraná tkáň měla tvar kužele neboli konu. Stejným způsobem se až do dnešních dnů přeneslo slangové označení odebrané tkáně – konizát [50].

2.5.1 Význam tvaru konizátu

Hlavním cílem ablativních i excizních metod je, aby byla důkladně odstraněna veškerá postižená tkáň a zároveň aby bylo odstraněno co nejmenší množství zdravé tkáně. To tedy platí především u žen, které by v budoucnu mohly chtít otěhotnět. Za úspěšnou lze označit konizaci, při které vznikl tzv. konizát s negativními okraji. Znamená to, že se na okraji odebrané tkáně, v místě řezu či jeho bezprostředním okolí (2–3 mm), nenacházejí abnormální buňky. V opačném případě vzniká konizát s pozitivními okraji, část léze tedy mohla zůstat na děložním čípku a pokud ano, je možné, že bude nutné konizaci opakovat [49] [51].

Ze studií jednoznačně vyplývá, že opakované odstraňování postižené tkáně děložního čípku velmi významně zvyšuje riziko předčasného porodu. Příčina však nespočívá v opakování metody jako takové, nýbrž v celkovém větším množství odstraněné tkáně [52], [53] [54].

Většina studií se obecně shoduje v tom, že u žen po předchozí konizaci se objevuje vyšší riziko předčasného porodu, předčasné ruptury plodových blan, a tedy odtoku plodové vody, a nízké porodní váhy novorozence. Předčasný porod je WHO definován jako porod před dokončeným 37. týdnem těhotenství [55]. V tom, zda riziko předčasného porodu závisí spíše na délce odebraného konizátu nebo na jeho objemu, se výsledky studií rozcházejí. Rozcházejí se také v konkrétních hranicích délky a objemu, od kterých toto riziko hrozí a v tom, jak velké toto riziko je. Kompromisní by mohla být hranice délky konizátu 15 mm a objemu konizátu 2,66 ml. Odebrání konizátů větších, než jsou tyto hranice, znamená minimálně dvojnásobné zvýšení rizika předčasného porodu. S rostoucí délkou a objemem se toto riziko dále zvyšuje [2], [3], [56], [54].

Rozměry konizátu jsou obvykle měřeny až po fixaci formalinem, konizát ponořený ve formalinu mění své rozměry, uvedené hranice délky a objemu odpovídají rozměrům konizátu po fixaci formalinem. Objem konizátu je obvykle získáván dosazením jeho rozměrů do vhodného vzorce. Nejpřesnější se zdá být vzorec pro výpočet objemu hemielipsoidu [57]. Další možností je odečítání změny objemu po ponoření konizátu do odměrného válce s tekutinou [58].

Některé studie uvádí, že u žen, které byly dříve léčeny se závažnými lézemi na děložním čípku (CIS a karcinomy) je riziko předčasného porodu, oproti ženám léčeným s méně závažnými lézemi, ještě vyšší [53], [52]. Jiné studie ale toto tvrzení popírají [2], [59]. Ve studii [60], ve které se zaměřili na sledování vztahu mezi potraty a délkou doby od konizace do počátku těhotenství, bylo zjištěno, že u žen, které absolvovaly konizaci děložního čípku 12 a méně měsíců před počátkem těhotenství docházelo k potratu častěji než u žen, u kterých konizace proběhla před více než 12 měsíci od počátku těhotenství. U těchto žen bylo zjištěno stejné riziko jako u žen bez konizace. Není tedy doporučováno početí v blízké době po konizaci.

Proč se konizací zvyšuje riziko předčasného porodu není zcela objasněno. Je možné, že odstraněním velké části stromatu společně se žlázami má následně děložní hrdlo omezenou pevnost v tahu [3]. Další uváděnou variantou je možnost, že excizní zákrok ovlivňuje endocervikální kanál a jeho funkčnost [49]. Endocervikální kanál je excizí zkrácen, může produkovat méně hlenu a tím mohou vznikat lepší podmínky pro možné infekce [52]. Ty mohou zvýšit riziko předčasného porodu.

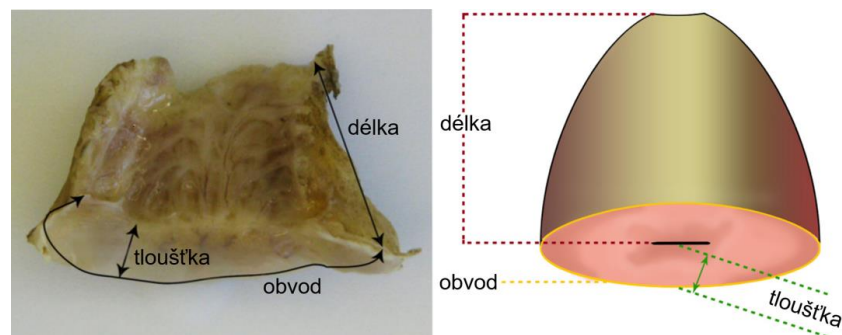
Tvar odebrané tkáně je u všech metod předem ovlivněn velikostí děložního čípku, klasifikací TZ, lokalizací a tvarem léze. Výsledek zákroku je také ovlivněn zkušenostmi operátéra s danou metodou, případně i tvarem použitého operačního nástroje. Podle chirurgů a patologů by se ideální konizát měl tvarem blížit paraboloidu nebo právě válci zakulacenému z jedné strany a měl by být souměrný okolo endocervikálního kanálu [61].

2.5.2 Vliv použití kolposkopu při odstraňování lézí

Existuje několik studií, které doporučují provádění konizace pod kolposkopem, což by mělo vést ke vzniku konizátů s menšími rozměry a ke snížení rizika předčasného porodu [62], [63]. Studie z let 2012 [64] a 2016 [65] se věnovaly porovnání konizátů získaných konizací bez použití kolposkopu, konizací s použitím kolposkopu bezprostředně před zákrokem a konizací pod kolposkopem. Z jejich výsledků vyplývá, že konizáty získané pod kolposkopem měly signifikantně menší rozměry, přičemž nestoupl počet pozitivních okrajů oproti větším konizátům, které vznikly bez použití kolposkopu. Toto potvrdily i výsledky další studie, z roku 2018 [66].

2.5.3 Hodnocení odebrané tkáně

Patologické vyšetření konizátu by se mělo řídit aktuálními doporučeními [67], vydanými společností International Society of Gynecological Pathologists (ISGyP) v roce 2021, a jednotnou terminologií parametrů konizátu [68], viz Obr. 2.5, vydanou International Federation for Cervical Pathology and Colposcopy (IFCPC) v roce 2012. Pro histologické hodnocení nádoru byla WHO vydána závazná klasifikace nádorů ženského genitálu, dále existuje několik dalších doporučení od různých odborných uskupení [50] [69].



Obr. 2.5: Znárodnění terminologie parametrů konizátu podle IFCPC. Vlevo na reálném rozstříženém konizátu, vpravo na modelu konizátu vcelku. Převzato z [50] a upraveno.

Zjednodušený průběh patologického vyšetření v souladu s doporučeními ISGyP:

- Změření a zápis rozměrů konizátu
 - Délka
 - Tloušťka
 - Obvod / průměr / v případě nepravidelného tvaru předozadní průměr a průměr ze strany na stranu
 - Zjištění počtu částí odebrané tkáně
- Makroskopické hodnocení léze/karcinomu
 - Délka, šířka, tloušťka

- Lokalizace
- Histologické vyšetření
 - Hodnocení abnormality buněk
 - Určení stupně dysplazie / klasifikace nádoru, staging, grading
 - Přesnější informace o délce, šířce a tloušťce léze/karcinomu stejně tak o jeho lokalizaci / v případě nádoru hodnocení jeho invaze a okolních patologických změn
 - Hodnocení pozitivita/negativity okrajů
- Imunohistochemické vyšetření / jiná doplňující vyšetření

Před samotným patologickým vyšetřením konizátu musí být konizát transportován z operačního sálu. V ideálním případě by fixace konizátu měla proběhnout až po změření jeho parametrů. To by znamenalo změření parametrů konizátu bezprostředně po operaci, což v praxi není vždy možné. Obvykle je konizát fixován na operačním sále a následně je odeslán na patologii. Ponořením konizátu do formalinu se ale změní rozměry konizátu. Studie, které se zabývaly hranicí délky či objemu konizátu, od které vzniká riziko předčasného porodu, pracovaly s rozměry konizátu po fixaci formalinem. Rozměry konizátu jsou měřeny kovovým nebo plastovým pravítkem.

Pro správnou orientaci by měl operátor označit na konizátu pozici 12, ideálně stehem. V případě fixace na operačním sále je více preferovanou variantou konizát před fixací na čísle 12 rozstříhnout a připevnit ho roztažený na podložku. Způsob nakládání s konizátem před samotným patologickým vyšetřením ovlivňuje metody jeho zpracování patologem [67].

Před histologickým vyšetřením je konizát zalit do parafínu a následně nakrájen na tenké řezy buď radiálně okolo endocervikálního kanálu, nebo, pokud je konizát rozstřížen, paralelně, rovnoběžně s endocervikálním kanálem. Některé řezy se následně barví. Podle zbarvení se hodnotí abnormalita buněk a stupeň dysplazie [70]. Pozitivita a negativita okrajů se hodnotí jak na ektocervixu, tak na endocervixu.

2.6 Metody konizace děložního čípku

Jednotlivé excizní metody mají své výhody i nevýhody, liší se mimo jiné velikostí získaného konizátu, počtem částí konizátu a délkou prováděného zákroku. Je mnoho studií, které mezi sebou tyto metody porovnávají, jejich výsledky se neshodují [71], [72], [73], [74]. Excizní metody obecně bývají spojovány se zvýšením rizika předčasného porodu, v některých studiích i se zvýšením rizika spontánního potratu [48].

Laserová konizace

Tato metoda používá pro řez tkání vysoce fokusovaný laserový paprsek, který představuje alternativu skalpelu. Zákrok se obvykle provádí s lokální anestezií, lze jej tedy provádět ambulantně, není potřeba operační sál. Přítomný personál musí mít v průběhu zákroku nasazenou ochranu očí. Při této metodě nastává méně komplikací než u CKC, i riziko většího krvácení je nižší [72], [75].

Metoda CKC

Jedná se o chirurgickou metodu, při které je skalpelem z cervixu vyříznuta tkáň ve tvaru konu. Odebrané konizáty mívají větší rozměry a hmotnost než konizáty získané elektrochirurgickými metodami. Jelikož se provádí v celkové anestezii, není tato metoda vhodná pro pacientky, které by celková anestezie mohla jakkoli ohrozit. Nelze také použít u pacientek, které mají v důsledku předchozích zákroků velmi malý cervix. Dalšími kontraindikacemi je těhotenství, těžká cervicitida, nebo užívání léků na ředění krve. Rána po odstranění tkáně skalpelem bývá ošetřována elektrochirurgickým kauterem, kuličkovou elektrodou nebo bývají použity různé typy stehů [42]. Používání této metody je v dnešní době na ústupu [3]. V některých částech světa je ale dosud primární metodou pro konizaci [71]. Nespornou výhodou této metody je velká variabilita tvaru řezu oproti LLETZ. V případě deformovaného čípku je tedy velmi vhodné použít metodu CKC.

2.6.1 Elektrochirurgické metody

Veškeré elektrochirurgické metody pro konizaci fungují na stejném principu. Liší se pouze tvarem použitého nástroje, ten je nejčastěji z wolframu. Tento nástroj je vždy připojen k elektrochirurgické jednotce jako aktivní elektroda. K elektrochirurgické jednotce je také připojena pasivní velkoplošná elektroda a společně tvoří monopolární elektrochirurgické zařízení. Elektrochirurgická jednotka generuje střídavý proud ve frekvencích vyšších než 300 kHz. Generování proudu ovládá operátor spínačem přímo na rukojeti, ve které je zapojena aktivní elektroda, nebo nožním spínačem [76].

Při takových frekvencích má proud v daném nástroji tepelné účinky na tkáň, se kterou přichází do styku. Konkrétní tepelné účinky závisí na podobě generovaného proudu (kontinuální nebo pulzní), velikosti napětí, intenzitě proudu atp. Ve tkáni dochází při řezu k odpaření intracelulární vody a k explozi buněk. Zároveň dochází i k částečné koagulaci tkáně v místě řezu, čímž je redukováno krvácení. Koagulačním účinkem v bezprostředním okolí řezu může dojít ke vzniku spáleného okraje konizátu, což může ztížit hodnocení pozitivitu/negativitu okrajů [77], [78]. Generování proudu ovládá operátor spínačem přímo na rukojeti, ve které je zapojena aktivní elektroda, nebo nožním spínačem. Tyto metody lze provádět jak při celkové, tak i lokální anestezii. Obě provedení mají své výhody i nevýhody.

Metoda SWETZ a NETZ

SWETZ a NETZ jsou velmi podobné elektrochirurgické metody. Používaný nástroj se podobá noži a tvar výsledného konizátu je podmíněn pouze tvarem léze a trajektorií, kterou chirurg při odstraňování tkáně nástrojem opíše. S tím nejspíše souvisí i skutečnost, že oproti LLETZ, při které je tvar konizátu předem ovlivněn tvarem kličky, při SWETZ i NETZ vznikají konizáty s negativními okraji častěji. Používaný nástroj umožňuje preciznější odstranění léze, přesně podle jejího tvaru. Zároveň metody SWETZ a NETZ trvají obvykle déle než LLETZ a bývají obtížnější. Komplikace při těchto metodách jsou stejně časté jako u LLETZ, ztráta krve a riziko většího krvácení bývají mnohdy větší než u LLETZ [73], [79].

Metoda LLETZ

Tato metoda je v současné době obecně jedna z nejčastěji používaných metod pro konizaci děložního čípku [76]. Používá se při ní vysokofrekvenční elektrická klička z wolframu, nerezové oceli či z titanu o různém průměru. Při řezu je elektrochirurgickou jednotkou generován sinusový proud s konstantní frekvencí a uniformní velikostí, typické je také nízké elektrické napětí. Kromě půlkruhových kliček existují i kličky ve tvaru praporku, které se pro konizaci také mohou použít.

Řezy operatéri provádějí, zjednodušeně řečeno, pohybem kličky do tkáně a z ní směrem zprava doleva, zleva doprava, případně je také možné shora dolů nebo zdola nahoru. Trajektorie, které operatér kličkou v tkáni provádí, určují výsledné tvary konizátů, potažmo tedy i úspěšnost konizace. Tvar je kromě parametrů děložního čípku a léze ovlivněn tvarem použité vysokofrekvenční kličky [73].

Málo zkušených chirurgů odebírají kličkou zpravidla více tkáně než operatéri s bohatými zkušenostmi. Zkušené operatéri navíc umějí lépe individuálně reagovat a upravit zákrok vzhledem k faktorům vyplývajících z léze i k faktorům týkajících se pacientek. Méně zkušených chirurgů také častěji vytvářejí konizáty z více částí. Zkušenosti operatérů jsou samozřejmě výhodou u veškerých excizních či ablativních metod.

Existují studie, které se zabývají způsobem provádění konizace metodou LLETZ a navrhují či porovnávají různé postupy při odstraňování postižené tkáně – použití jedné či více vysokofrekvenčních kliček různých velikostí a jejich kombinace během zákroku, odstranění celé postižené tkáně jedním tahem nebo provádění více dílčích řezů [80]. Existují studie, které se zabývají teoreticky ideálním tvarem konizátu, srovnávají konizát ve tvaru kužele s konizátem ve tvaru válce zakulaceného na straně endocervixu při odebrání stejně velké léze. Objem konizátu ve tvaru kužele může být až dvakrát větší než objem konizátu ve tvaru z jedné strany zakulaceného válce, tento způsob se tedy jeví jako vhodnější [47] [73], [81].

2.7 Simulátory pro nácvik konizace děložního čípku

Zkušenosti lékaře s elektrochirurgickými a dalšími, ablativními či excizními, metodami, se promítají do výsledků zákroků. Trénink metody LLETZ na gynekologickém modelu či simulátoru zvyšuje jistotu lékaře při provádění tohoto zákroku. Dle studií, ve kterých lékaři nacvičovali konizaci děložního čípku na simulátoru, se u lékařů, účastnících se tohoto nácviku, zvýšila úspěšnost konizací. Možnost trénovat odebrání správného objemu a tvaru tkáně s lézí na simulátoru je tedy pro lékaře, a v konečném důsledku i pro pacientky, podstatné a přínosné [82], [5], [6].

Základem většiny takových modelů nebo simulátorů pro nácvik elektrochirurgických metod bývá dutina, která simuluje pochvu, a párek upevněný uvnitř této dutiny, představující děložní čípek. Ten je propojen s pasivní elektrodou elektrochirurgické jednotky. Sofistikovanější verze nabízejí různé velikosti čípků, označení léze atp. [83]**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, [84], [85].

Nabídka modelů či simulátorů pro nácvik konizace děložního čípku je na trhu velmi malá. Firma DTR Medical nabízí simulátor LLETZlearn® [86] a trénink konizace nabízí také celotělový simulátor Surgical Chloe S2101 [87] od firmy Gaumard. Simulátory nebo modely pro trénink konizace bývají často konstruovány přímo v nemocnicích nebo na univerzitách. Mívají jednoduchou konstrukci a jsou tvořeny levnými a dostupnými materiály. Někdy bývají využity jiné gynekologické modely nebo simulátory, do kterých je vkládán materiál představující děložní čípek. Děložní čípek bývá simulován nejčastěji párkem, ale je používáno i syrové maso, například krůtí srdce nebo hovězí jazyk, balistický gel nebo papaya (ta byla využita pro nácvik metody CKC) [88], [83], [89], [90].

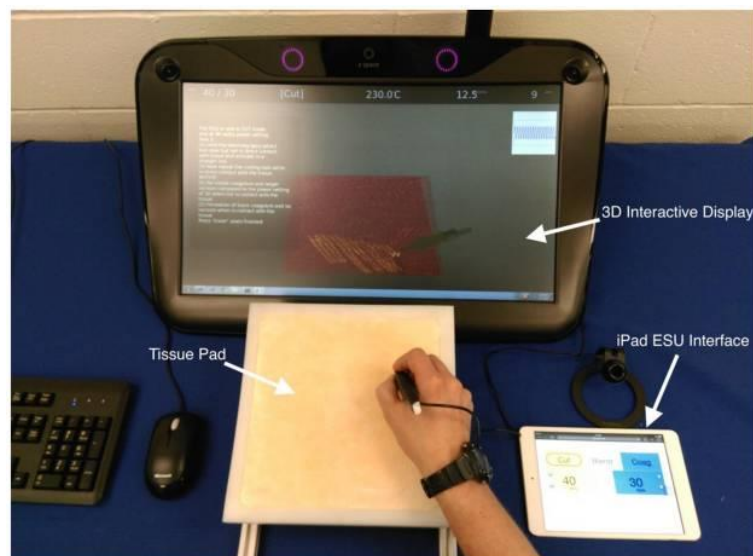
2.7.1 Virtuální simulátory

V posledních letech se pro nácvik nejrůznějších chirurgických zákroků využívá virtuální realita. Modely orgánů, lézí, poranění a vnitřního prostředí bývají vytvářeny na základě jejich snímků pořízených zobrazovacími metodami u reálných pacientů [91]. Při virtuálních simulacích mohou být využívány HW modely nástrojů, tkáně nebo prostředí, ve kterém zákrok probíhá. Součástí simulace často bývá nejen vizuální, ale i haptická odezva [92]**Chyba! Nenalezen zdroj odkazů.**, [93]. Elektrochirurgických simulátorů založených na virtuální realitě je poměrně malé množství. Kromě simulátorů elektrochirurgických procedur jako takových, existují například i simulátory laparoskopie s využitím elektrochirurgie a simulátory endoskopických operací s využitím elektrochirurgie [91], [92], [93], [94].

Simulátor elektrochirurgických procedur VEST

Toto zařízení má více módů – zobrazení toku elektrického proudu celým tělem i konkrétními tkáněmi, trénink správného umístění neutrální elektrody, simulace elektrochirurgických zákroků s použitím monopolární aktivní elektrody i bipolárních

aktivních elektrod. Při simulaci mají lékaři nasazeny polarizační brýle, díky kterým vidí scénu na displeji ve 3D. Lékař pohybuje modelem elektrochirurgického nástroje po desce z umělé tkáně, což navozuje pocit reálného kontaktu nástroje s tkání. Na displeji je vidět tkáň a pohybující se elektrochirurgický nástroj. Chování tkáně při působení elektrochirurgických nástrojů je vizuálně demonstrováno velmi realisticky. Pohyb nástroje je synchronizovaný s pohybem modelu elektrochirurgického nástroje v ruce lékaře. Simulátor je vyfocený na Obr. 2.6. Pohyb modelu je zaznamenáván pomocí infračervených LED. Elektrochirurgickou jednotku (ESU) představuje tablet, na kterém lékaři mohou nastavovat různé průběhy a výkony aplikovaného proudu [94], [95].



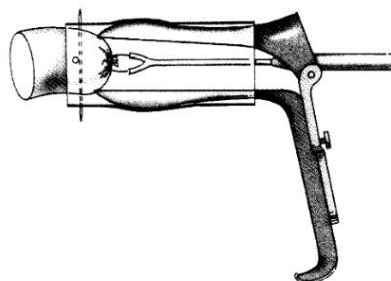
Obr. 2.6: Podoba simulátoru VEST. Převzato z [94]

Ve virtuální realitě je možné simulovat v podstatě veškeré možné operace a zákroky, nabízí mnohem více možností oproti reálným simulátorům a simulace je možné provádět v podstatě kdekoli. Nevýhodou virtuálních simulátorů může být poměrně vysoká cena a nemožnost simulace vnějších vlivů, které na operátora při reálných zákrocích mohou působit. Například u elektrochirurgických zákroků vzniká při pálení tkáně kouř s charakteristickým zápachem, který ve virtuálním simulátoru se základním příslušenstvím nasimulovat nelze. Je nutné také podotknout, že ne všem lékařům vyhovují simulace zákroků ve virtuální realitě [94].

2.7.2 Reálné modely a simulátory pro trénink konizace

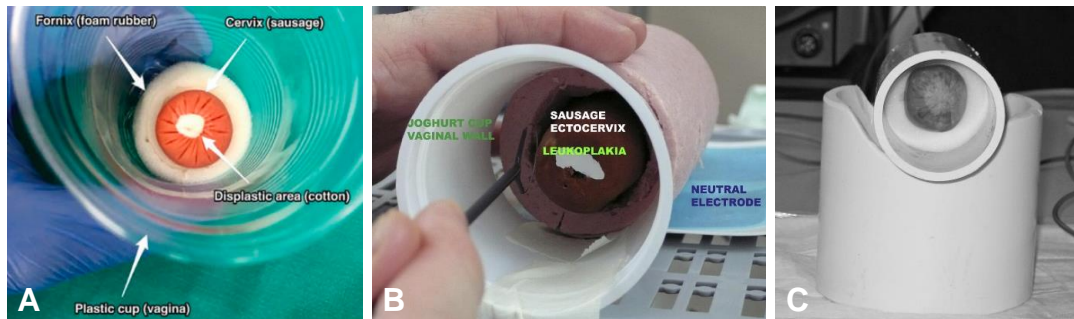
První konstrukce modelu pro trénink konizace děložního čípku metodou LLETZ, která je zdokumentována, je z roku 1999 a je uvedena na Obr 2.7. Párek byl tehdy vsunut do trubičky z kartónu a byl zde připevněn dvěma párátky, svisle a vodorovně. Na zbytek páru byla přitisknuta pasivní elektroda. Nastavení elektrochirurgických jednotek bylo používáno stejně jako u pacientek (60 W). Kvalita výkonu byla hodnocena podle zbylé

části párku po odebrání konizátu. Jakmile se operatér dotkl elektrochirurgickou kličkou trubičky z kartónu, začala hořet. Cílem tedy bylo, stejně jako u reálného zákroku, nedotknout se kličkou ničeho jiného kromě děložního čípku. Léze byly na párek kresleny [96].



Obr. 2.7: Nákres probíhající tréninkové konizace děložního čípku metodou LLETZ na modelu z článku z roku 1999 [96].

Jednoduché gynekologické modely děložního čípku a jeho okolí bývají částečně tvořeny v podstatě z odpadu – z kartonových rolek od toaletního papíru, papírové krabice, plastového kelímku [97], [5], [98]. Na následujícím Obr. 2.8 jsou fotografie tři jednoduchých gynekologických modelů pro nácvik metody LLETZ.



Obr. 2.8: Jednoduché tréninkové modely používané pro nácvik metody LLETZ zkonstruované v rámci [5], [98], [83].

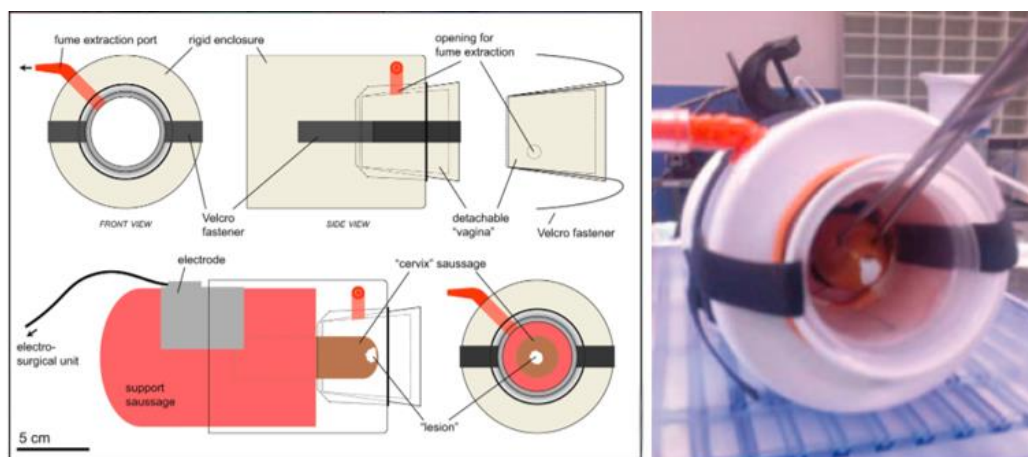
První model (A) byl vytvořen z plastového kelímku s vyříznutým otvorem na dně, do kterého byla vsunuta část párku s průměrem 2,5 cm (krutí párky – obsahovaly málo tuku, tudíž dle autorů vznikalo méně kouře). Párek byl v kelímku upevněn pomocí molitanu. Na zbylou část párku, která byla za kelímkem, byla nalepena neutrální elektroda. Léze byly na páрку znázorňovány umístěním kousku vaty [5].

Druhý model (B) byl vytvořený z kelímku od jogurtu s uříznutým dnem, do kterého byl umístěn párek o přibližném průměru 2,2 cm obalen izolací pro potrubí. Léze zde byla označována korekčním perem a endocervikální kanál byl vytvářen Hegarovým

dilatátorem. Při simulacích byl výkon elektrochirurgické jednotky nastaven na 30–40 W [98].

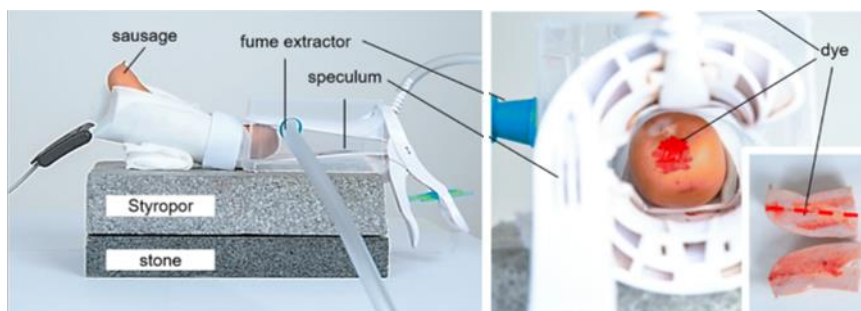
Třetí model (C) byl konstruován na University of Alabama v Birminghamu. Párek, představující děložní čípek, byl upevněný molitanem v PVC trubce s průměrem cca 5 cm. Z druhé strany páru byla nalepena neutrální elektroda. Pro větší možnost kontroly prováděného řezu od lektorů byla používána někdy i PVC trubice s průměrem cca 7,5 cm [83].

Simulátory pro nácvik metody LLETZ bývají konstrukčně složitější a skládají se z více částí. Použité materiály bývají opět levné a snadno dostupné. Několik simulátorů vytvořených v rámci studií je uvedeno na následujících fotografiích na Obr. 2.9 – Obr. 2.12.



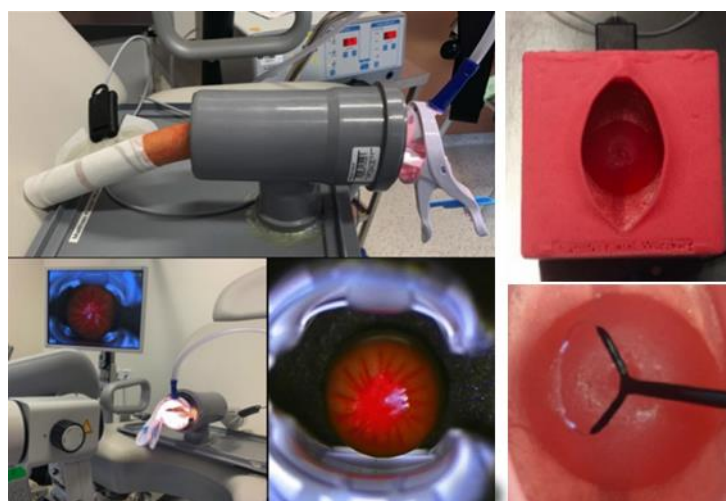
Obr. 2.9: Simulátor pro výuku LLETZ sestavený na Ruhr-Universität Bochum v Německu. Převzato z [84] a upraveno.

Na Obr. 2.9 vlevo je podrobné schéma simulátoru, který je sestavený na fotografii na Obr. 2.9 vpravo. Byl používán pro výuku metody LLETZ. Do páru byl vytvářen endocervikální kanál Hegarovým dilatátorem, léze byly na povrchu páru označovány korekčním perem. Před praktickým cvičením na tomto simulátoru byla studentům představena tato metoda a její správný postup na instruktážním videu (video je dostupné přes odkaz uvedený ve studii). V rámci zákroku nejprve studenti aplikovali 5% kyselinu octovou (pro zobrazení lézí), podle zobrazené léze si sami volili rozměry elektrochirurgické kličky, kterou následně provedli konizaci. Vzniklou ránu ještě ošetřovali kuličkovou elektrodou [84].



Obr. 2.10: Simulátor, který byl vytvořený pro standardizovaný trénovací program pro mediky na Universität des Saarlandes v Německu. Převzato z [99] a upraveno.

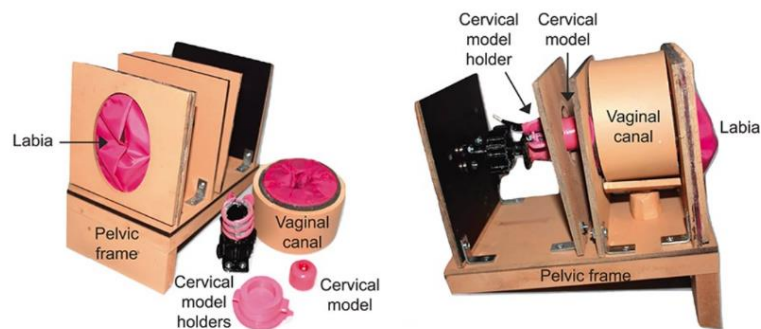
U simulátoru na Obr. 2.10 byl jeden konec párku umístěn do plastového gynekologického zrcadla. Zbylá část párku byla obalena dvouokruhovou pasivní elektrodou, toto obalení bylo fixováno suchým zipem a celé to bylo umístěno na pěnovou desku, jež se tvarovala podle položeného zrcadla. V párku byl vytvářen endocervikální kanál aplikací červené barvy injekční stříkačkou podél středové osy párku – bylo pak možné měřit výšku konizátu. Nastavení elektrochirurgických jednotek při tréninku záviselo na použitém párku, na jeho složení (obsah tuku a vody – nízké množství vody a vysoké množství tuku v párku dle autorů zvyšuje jeho odpor a brání tak proudu procházet) [90], [99].



Obr. 2.11: Konvenční simulátor vytvořený na základě předchozích simulátorů [83], [90], [100] vlevo. Model děložního čípku umístěného v pochvě vytvořený se záměrem, co nejvíce se anatomicky přiblížit realitě vpravo. Převzato z [101] a upraveno.

Konvenční simulátor na Obr. 2.11 vlevo byl sestaven na základě několika předchozích simulátorů konstruovaných v jiných studiích. Skládal se z odpadní trubky ve tvaru T, do ní byl umístěn konec dlouhého párku (Curry Fleischwurst) obalen do izolačního materiálu tak, aby držel uvnitř odpadní trubky. Zadní konec párku byl obalen dvouokruhovou neutrální elektrodou. Párek byl barven červeným potravinářským

barvivem a transformační zóna bílým potravinářským barvivem. Model na Obr. 2.11 vpravo byl vyroben současně s konvenčním simulátorem a umožňoval kromě nácviku LLETZ ještě nácvik provádění cytologického stěru, aplikace Lugolova roztoku a biopsie. Formy pro model byly vymodelovány v modelovacím programu tak, aby anatomicky odpovídaly reálným rozměrům a následně byly vytištěny na 3D tiskárně. Tělo modelu vzniklo ztuhnutím silikonu kolem vytištěné formy. Děložní čípek byl vyráběn z agaru vylitím do jiné vytištěné formy. Léze na něj byly kresleny bílým potravinářským barvivem. Část s děložním čípkem z agaru byla umístěna na neutrální elektrodu, která byla vložena do silikonového těla [101].



Obr. 2.12: Low-cost cervical cancer training apparatus LUCIA, na jehož vytvoření se podíleli studenti z Texaské Rice University společně se studenty z Malawi Polytechnic. Převzato z [85].

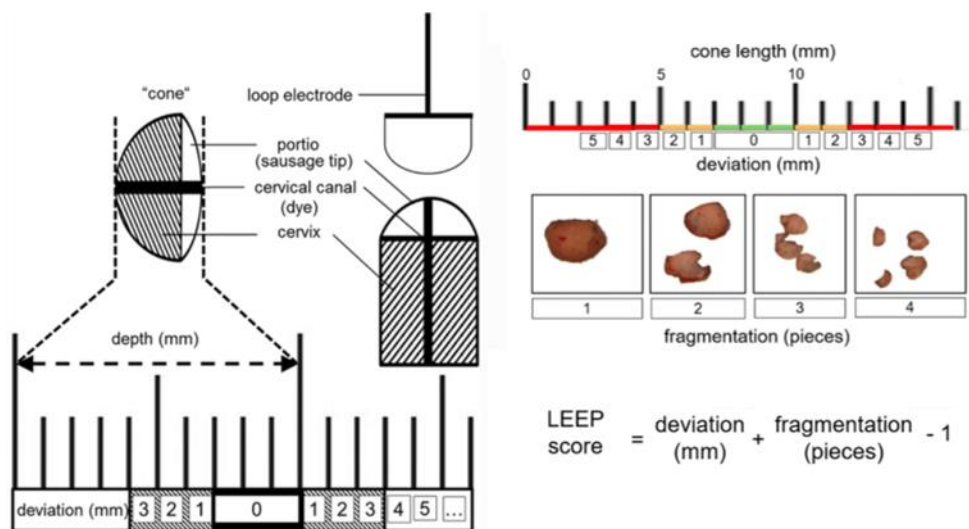
Simulátor na Obr. 2.12 byl vytvořen pro praktické nácviky vyšetření a ošetření děložního čípku. Hlavní část byla tvořena dvěma dřevěnými rámkami a odpadní trubkou mezi nimi. Na přední rámeček byly zevnitř umístěny dva pruhy nepromokavé látky, které se lehce překrývaly a simulovaly poševní vchod. Vnitřek trubky byl vyplněný molitanem s kruhovým otvorem uvnitř. Do zadního rámečku, za trubkou, byly umísťovány modely cervixu v držáku. Jeden gumový, druhý byl připojen k pasivní elektrodě, aby bylo možné provádět nácvik metody LLETZ. Modely cervixu byly vytvářeny z balistické želatiny a po aplikaci horké vody se na nich objevovaly léze, podobně jako v realitě po aplikaci kyseliny octové. Tento simulátor umožňoval konkrétně nácvik vyšetření a zjištění lézí na děložním čípku, nácvik provádění cytologických stěrů, biopsie a metody kryoterapie a LLETZ. Nácviky na tomto simulátoru byly realizovány již ve třech zemích (Texas, Salvador, Mosambik) [85].

2.8 Hodnocení výkonů při tréninku konizace děložního čípku

Dosud nevznikl žádný obecný standardizovaný postup pro výuku metody LLETZ a pro hodnocení cvičných konizací. V jednotlivých studiích, pokud je v nich zahrnuté i hodnocení výkonů, jsou většinou používány vlastní vymyšlené způsoby hodnocení. Při reálných zákrocích se úspěšnost konizace určuje negativními či pozitivními okraji. Dále

se konizace hodnotí podle parametrů vzniklého konizátu – podle jeho výšky, objemu, tvaru a počtu částí, ze kterých je tvořen [46], [54].

Při výukovém programu pro mediky, o jehož průběhu pojednává studie [99], a při kterém byl používán simulátor uvedený na Obr. 2.10, byly výkony hodnoceny podobným způsobem jako u reálných konizací. Předem byla dána výška, kterou by měl konizát mít (8–10 mm). Výkon účastníka výukového programu (probanda) se hodnotil právě podle výšky konizátu, respektive podle toho, jak se jeho výška lišila od zadané výšky. Dále se hodnotil počet částí konizátu (nejlepší výsledek je konizát tvořený jednou částí). Z těchto dvou parametrů bylo počítáno LEEP skóre. LEEP skóre rovné nule byl nejlepší možný výsledek. Na Obr. 2.13 je tento způsob hodnocení uveden detailněji [99].



Obr. 2.13: Konkrétní příklad způsobu hodnocení cvičných konizací na simulátoru z Obr. 6. Převzato z [102], [99].

Pro hodnocení technických dovedností účastníků nácviku různých chirurgických úkonů se v některých případech používá hodnocení Objective Structured Assessment of Technical Skills (OSATS). Toto hodnocení může být rozděleno do dvou shodných částí s tím, že první část probíhá na umělém modelu a druhá část na pacientovi nebo na uspaném zvířeti. Samotné hodnocení bývá obvykle složeno z jedné až tří částí. První část (checklist) je tvořena seznamem úkonů, které by během zákroku měly být vykonány. V něm hodnotitelé zaškrťávají, zdali daný dílčí úkon účastník vykonal či nikoli. Ve druhé části jsou bodově hodnoceny různé kvality účastníka – zacházení s nástrojem, zacházení s odebíranou tkání, zbytečné pohyby atp. Třetí část může být tvořena pouze otázkou, jestli byl proband obecně úspěšný či nikoli. [103], [104] V rámci studie [98], ve které byl používán tréninkový model na Obr. 2.8 uprostřed, byly zákroky hodnoceny právě metodou OSATS. V tomto případě byly hodnoceny výkony pouze na daném simulátoru a pro hodnocení byl použit checklist dvaceti úkonů, které měl účastník při provádění zákroku postupně splnit. Při nácvicích metody LLETZ na simulátoru na Obr. 2.9 během

studie [84] byly výkony účastníků hodnoceny takéž metodou OSATS ve formě checklistu, byla použita ale i jiná hodnocení.

3 Cíle

Hlavním cílem diplomové práce bylo sestavit simulátor, na kterém bude možné provádět nácvik konizace děložního čípku metodou LLETZ. Simulátor měl být tvořen vhodnou anatomickou a přístrojovou částí. Anatomická část měla představovat děložní čípek a jeho bezprostřední okolí. Měla být tvořena vhodným materiálem. Přístrojová část měla být tvořena elektrochirurgickou klíčkou, která se pro metodu LLETZ používá, neutrální elektrodou, elektrochirurgickou jednotkou a dalšími technickými prostředky, které měly umožňovat hodnocení kvality výkonu.

Kvalitní odstranění patologické tkáně výrazně snižuje riziko opakované konizace. Kvalita provedeného výkonu je hodnocena v průběhu histopatologického vyšetření konizátu. Při něm je mimo jiné měřena délka konizátu, jeho objem, obvod či průměr, dále je hodnocena pozitivita okrajů a zjišťován počet částí konizátu. Při hodnocení konizace děložního čípku na simulátoru bývá autory simulátorů volen vlastní způsob hodnocení, který obvykle vychází z histopatologického vyšetření reálných konizátů. Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.8.

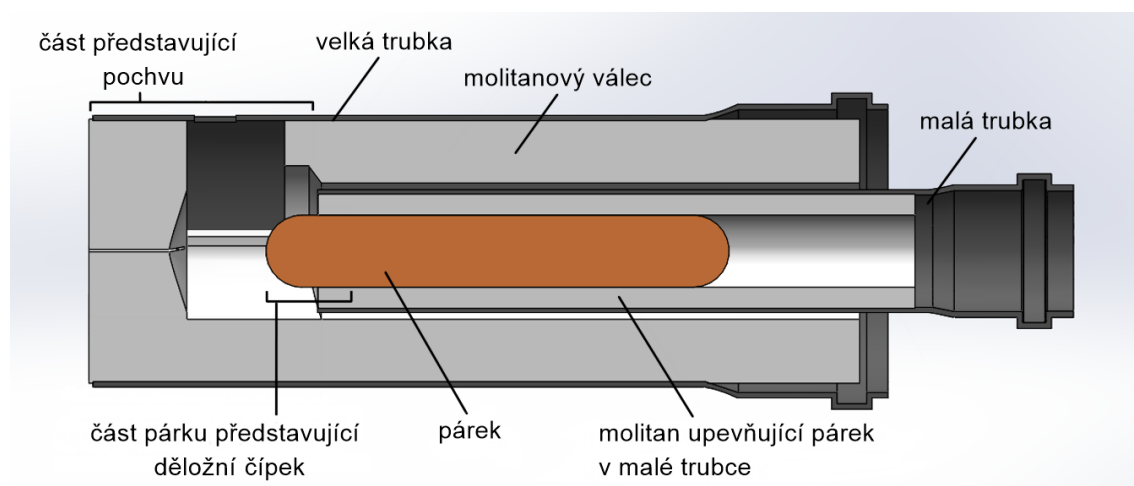
Dalším cílem bylo provést na sestaveném simulátoru pilotní měření s lékaři či mediky a ověřit tak jeho funkčnost. Dílčím cílem bylo hodnotit výkony provedené v rámci pilotních měření metodikou hodnocení kvality výkonu u reálných zákroků. Tedy hodnotit vzniklé konizáty ze simulátoru obdobným způsobem, jako jsou v průběhu histopatologického vyšetření hodnoceny reálné konizáty. Druhým dílčím cílem bylo navrhnout metodiku hodnocení kvality výkonu s využitím technických prostředků použitých v simulátoru a aplikovat ji na výkony z pilotního měření.

4 Metody

Metody jsou tvořeny pěti kapitolami, v kapitole 4.1 je detailně popsán vývoj simulátoru a jeho konečná verze. Kapitola 4.2 se věnuje pilotním měřením na simulátoru v Ústavu pro péči o matku a dítě (ÚPMD) v Praze Podolí. Kapitola 4.3 navazuje na kapitolu 4.2 a popisuje způsob hodnocení konizátů získaných ze simulátoru při pilotních měřeních. V kapitole 4.4 je představen návrh metodiky pro hodnocení kvality výkonu v simulátoru s využitím videí, které byly v simulátoru při pilotních měřeních pořízeny. Poslední kapitola 4.5 se věnuje statistickému zhodnocení získaných dat.

4.1 Vývoj a konstrukce simulátoru

Během řešení diplomové práce vznikalo postupně více verzí simulátoru, základem všech verzí byla odpadní trubka s průměrem 110 mm (dále jen velká trubka), uvnitř které byl umístěn molitanový válec s průměrem 105 mm, aby uvnitř odpadní trubky držel. V molitanovém válci byla z jedné strany (podstavy) dutina, která dosahovala cca do 2/3 válce. Na konci byla dutina uvnitř molitanového válce rozšířena. Na druhé straně (podstavě) molitanového válce byly v molitanu horizontální a vertikální řezy, které se uprostřed kruhové podstavy protínaly a sahaly do rozšířené části dutiny uvnitř. Tato část představovala pochvu. Do horizontálního řezu bylo vsunováno gynekologické zrcadlo, při jeho rozevírání se molitan rozevíral podobně jako stěny pochvy ve skutečnosti. Z druhé strany byla do molitanu vsunuta odpadní trubka s průměrem 50 mm (dále jen malá trubka), ve které byl umístěn párek, jež byl zvolen jako optimální náhrada děložního čípku. Malou trubku bylo možné, pro jednoduché umístění páruku dovnitř, podélně otevírat. Po vsunutí malé trubky s párkem do velké trubky s molitanem bylo možné přes gynekologická zrcadla vidět párek představující děložní čípek na konci molitanové dutiny představující pochvu. Toto základní uspořádání je znázorněno na Obr. 4.1.



Obr. 4.1: Schéma základního uspořádání simulátoru.

Pro simulaci konizace děložního čípku na simulátoru byly používány reálné nástroje a zařízení, které se při elektrochirurgických zákrocích používají. Byla tedy používána vysokofrekvenční elektrochirurgická klička (dále jen elektrochirurgická klička), nalepovací pasivní elektroda a elektrochirurgický generátor. V průběhu vývoje simulátoru byly jeho aktuální verze testovány na Fakultě biomedicínského inženýrství (ČVUT v Praze). Pro toto testování byla využívána elektrochirurgická jednotka SMT electrocoagulator BM, která je majetkem této fakulty, dále elektrochirurgická klička Elektroresekční smyčka LOOP DS 20/20 a jednookruhová pediatriká neutrální elektroda FIAB F7805P s rozměry vodivé plochy 105×80 mm. Při následném testování lékaři a při pilotních měřeních na operačním sále v ÚPMD v Praze Podolí, byla použita jiná elektrochirurgická jednotka s příslušenstvím. Ta je uvedena v podkapitole 4.2.1.

Metodika hodnocení konizace provedené na simulátoru, která byla v rámci této práce navržena a aplikována na některá pilotní měření (věnuje se jí podkapitola 4.4) pracuje s rekonstruovanou trajektorií elektrochirurgické kličky v průběhu řezu. Pro zachycení této trajektorie byly v jednotlivých verzích simulátoru použity kamery. Ty byly umístěovány zvenku velké trubky a skrz vyříznuté otvory v trubce i v molitanu sledovaly dění uvnitř simulátoru.

Následuje seznam veškerého materiálu a veškerých zařízení, které byly použity při konstruování jednotlivých verzí simulátoru. Podtržené jsou ty položky, ze kterých je tvořena konečná verze simulátoru.

Veškerý použitý materiál pro konstrukci simulátoru:

- Materiál použitý na tělo simulátoru:
 - Odpadní trubka HTEM DN 110 a délce 250 mm
 - Odpadní trubka HTEM DN 50 a délce 250 mm
 - Odřezek z odpadní trubky HTEM DN 75
(údaj za DN je průměr v mm)
 - Molitanový válec s průměrem větším než 110 mm a délkou 250 mm
 - Molitanový válec s průměrem větším než 110 mm a délkou 140 mm
 - Molitanový sedák $380 \times 380 \times 20$ mm

- Spojovací materiál:
 - 10x inbusový šroub M3x12 s půlkulatou hlavou DIN 7380
 - 7x inbusový šroub M3x16 s válcovou hlavou DIN 912
 - 6x inbusový šroub M3x16 s půlkulatou hlavou s nákrůžkem ISO 7382-2
 - 8x inbusový šroub M1,6x16 s válcovou hlavou DIN 912
 - 23x šestihranná matice
 - 1x klobouková matice M5
 - 1x hvězdicový šroub M5x30

- 2x plochá podložka M3
 - 1x plochá podložka M5
 - 4x vrut do dřeva 3x10 se zápusťnou hlavou, křížová drážka
 - 2x válcový kolík 4x20
(vše bylo z nerezové oceli, vrut byl z uhlíkové oceli a byl pozinkovaný)
- Zařízení, SW a další věci použité pro záznam trajektorie a její rekonstrukci:
- 2x Arducam kamerový modul 2MP IMX291 USB 2.0 s USB kabelem
 - 2x objektiv M27280M07S s nízkým zkreslením pro kamery ArduCam, M12
 - Kamerový modul FLiR One Pro LT s konektorem microUSB s napájecím USB kabelem
 - Redukce microUSB na USB C
 - LED pásek 14,4 W/m, studená bílá, 12V, krytí IP54, 60 LED/m, 20 cm
 - Baterie 12V 23A do fotoaparátu
 - Bateriový box pro baterii 12V 23A do fotoaparátu
 - Spínač TC-R13-66B-02 LED 12V/DC 16A vyp/zap s aretací
 - UV LED pásek 9,6W/m, ultrafialová, 12V, krytí IP20, 120 LED/m
 - LED plochý profil ELOX 15x2mm, 60 cm – chladič LED pásků
 - Napájecí zdroj pro LED pásky s vypínačem 2A 24W 12V
 - DC napájecí konektor (samec) s kabelem (rozměr 2,1/5,5 mm)
 - Dvoužilový plochý vodič
 - Vodou ředitelná akrylátová barva neon zelená (zářící pod UV světlem), od výrobce Artemiss [105]
 - Samolepící poznámkové bločky
 - Barevné fixy
 - Aplikace FLiR One pro připojení se přes mobilní telefon k IR kameře FLiR One Pro LT
 - Microsoft aplikace Kamera
 - Microsoft aplikace Clipchamp
 - OBS studio (software pro nahrávání videí)
- Lepidla:
- Sekundové lepidlo na plasty Loctite Super Bond All Plastic
 - Sekundové lepidlo Loctite Super Attak
 - Univerzální flexibilní lepidlo Pattex Repair Extreme
 - Maskovací krepová páska
 - Izolační teflonová páska
- Gynekologické nástroje:
- Gynekologické zrcadlo Collin, nevodivé, s odsáváním, střední, výrobce TECNO
 - Gynekologické zrcadlo Collin 85 x 30 mm, výrobce MEDIN
 - Gynekologické zrcadlo Collin, střední, nerez. ocel, výrobce ME

- Stojan simulátoru a další součásti vytištěné na 3D tiskárně:
 - PET-G filament tmavě šedý
 - PLA filament modrý
- Simulace tkáně:
 - Párek
 - Dr. Oetker Barva potravinářská červená gelová
 - Červený lihový fix
- Ostatní:
 - 2x pruh suchého zipu
 - 2x malý pant
 - pružinový drát o průměru 1,7 mm a délce 200 mm
 - prkno široké 200 mm, dlouhé 500 mm
 - smrková kulatina 100 mm dlouhá, s průměrem 40 mm
 - Barva ETERNAL mat Revital, modrá
 - Oprávkový tmel Presto
 - Teflonová těsnicí páska
 - Symetrická přímá hadicová spojka
 - Odsávač napájecích zplodin Zhongdi ZD-153A, antistatické provedení
 - Ruční vysavač Bosch BKS4003
 - Karton, tloušťka 3 mm

4.1.1 Vývojové verze simulátoru

Finální verzi simulátoru předcházely dvě jiné verze simulátoru. Tyto dvě verze, které nebyly vyhovující, jsou popsány v této podkapitole. Jejich pořadí odpovídá reálnému vývoji.

V obou verzích byla použita stejná malá otevírací trubka, která je na Obr. 4.2. Vkládal se do ní párek a zasouvala se dovnitř těla simulátoru tvořeného velkou trubkou s molitanem uvnitř. Poloviny malé trubky byly spojeny dvěma malými panty. V rozšířené části jedné poloviny byl na straně s panty vyříznut proužek materiálu, aby bylo možné trubku otevírat. Dovnitř malé trubky byly umístěny tři tenké molitanové pruhy, které byly k vnitřním stěnám trubky přichyceny podélně nalepenými pruhy oboustranné izolepy. Po vložení páruku do malé trubky a jejím uzavření, aretovaly molitanové pruhy vložený párek. Pro uzavření malé trubky byly použity dva pruhy suchého zipu. Z vnějšku byla na jednu polovinu trubky přilepena (lepidlem na plasty) dvě plastová oka s přišitým páskem suchého zipu a na druhou polovinu trubky byly přilepeny (sekundovým lepidlem) druhé pásy suchého zipu tak, aby se při zavření trubky opačné pásy překrývaly.



Obr 4.2: Malá otevírací odpadní trubka, která byla použita v prvních dvou verzích simulátoru.

První verze se světlem uvnitř

Tato verze měla ve velké trubce 60 mm od konce s menším průměrem vyříznutý 20 mm dlouhý a 10 mm široký výřez pro kameru. Dovnitř trubky byl těsně před tento výřez dokola na cca 3/5 obvodu nalepen LED pásek. Na úrovni kamery a LED pásku byl do molitanového válce vyříznutý 40mm otvor v rozsahu cca 3/5 jeho obvodu tak, aby mohla být dutina v simulátoru osvětlována LED páskem. Napájecí vodiče LED pásku byly vyvedeny vyvrtaným otvorem ven z trubky, vedly do skříňky, v ní byly připojeny k bateriovému držáku s 12V baterií. Rozsvícení a zhasnutí bylo ovládáno spínačem na skříňce. Přední část simulátoru byla podložena stojánkem z kartonu tak, aby byla napodobena orientace pochvy při reálných zákrocích.

Při řezu elektrochirurgickou kličkou párkem vzniká velké množství kouře, které bylo nutné odsávat. Kouř byl u této verze nejprve odsáván skrz otvor, který byl vyříznut do velké trubky a do molitanu naproti výřezu pro nahrávání. Pod odsávací otvor byl umístěn odsavač pájecích zplodin. Toto odsávání bylo nedostačující, proto bylo následně pro odsávání kouře použito nevodivé gynekologické zrcadlo s odsávacím kanálkem. Gynekologické zrcadlo bylo do simulátoru umísťováno o 90° pootočené oproti tomu, jak je umísťováno ve skutečnosti. Rozevíralo se tedy do stran a nebránilo natáčení vnitřku simulátoru shora. Pohled do této verze simulátoru a jeho model je na Obr. 4.3. Na odsávací kanálek gynekologických zrcadel byla připojena hadička, která byla napojena na ruční vysavač.



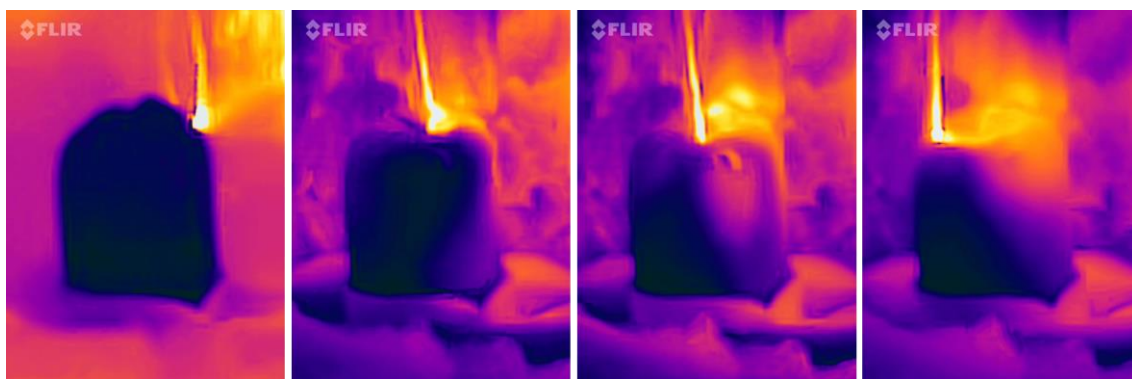
Obr. 4.3: Pohled do první verze simulátoru. Vlevo pohled zepředu skrz gynekologická zrcadla, vpravo pohled shora. Na pravé fotografii je vidět umístění zelené značky na elektrochirurgické kličce.

V této verzi byly řezy elektrochirurgickou kličkou natáčeny mobilním telefonem. Rekonstrukce trajektorie elektrochirurgické kličky byla založena na detekci barvy značky, kterou byla označena elektrochirurgická klička. Značka byla zelená a byla umístěna pod samotnou kličkou z drátku, to je možné vidět na fotografii vpravo na Obr. 4.3. Souřadnice detekované zelené značky představovaly jednotlivé body trajektorie. LED pásek uvnitř simulátoru byl jediným zdrojem osvětlení vnitřku simulátoru a měl zajistit stejnou barvu zeleného označení na kličce v průběhu celého řezu.

Druhá verze s IR kamerou

V této verzi byl pohyb elektrochirurgické kličky při řezu párkem zaznamenáván pomocí IR kamery, jejíž obraz by neměl být ovlivněn kouřem uvnitř simulátoru. Do velké trubky byl 60 mm od konce s menším průměrem vyříznutý otvor široký 20 mm a dlouhý 30 mm. Před vyříznutý otvor byl dovnitř trubky opět vlepen LED pásek a jeho vodiče byly vyvedené do krabičky se spínačem stejně jako v první verzi. Na úrovni otvoru a LED pásku ve velké trubce byl v molitanovém válci 50mm výřez. Díky němu bylo možné osvětlit vnitřek simulátoru LED páskem a otvorem ve velké trubce sledovat vnitřek simulátoru. Shora byl na velkou trubku umístěn kartonový kvádr o rozměrech 90 × 60 × 20 mm, s výběry shora, do kterých zapadaly dvě kamery, kamera Arducam a infračervená kamera FLiR. Kvádr z kartonu byl umístěn tak, aby kamery mohly natáčet dění uvnitř simulátoru. Kamera Arducam byla připojena k notebooku, přes který probíhalo nahrávání řezů elektrochirurgickou kličkou v aplikaci Kamera. Infračervená kamera byla přes redukci připojena k mobilnímu telefonu, kterým byly přes mobilní aplikaci FLiR One také nahrávány řezy. Několik snímků z videa ze simulátoru natočeného IR kamerou je na Obr.4.4.

Odsávání bylo realizováno stejně jako v první verzi přes odsávací kanálek gynekologického zrcadla. Gynekologické zrcadlo bylo do simulátoru umísťováno stejným způsobem jako v první verzi. Přední část simulátoru byla stejně jako v první verzi podepřena kartonovým stojánkem.

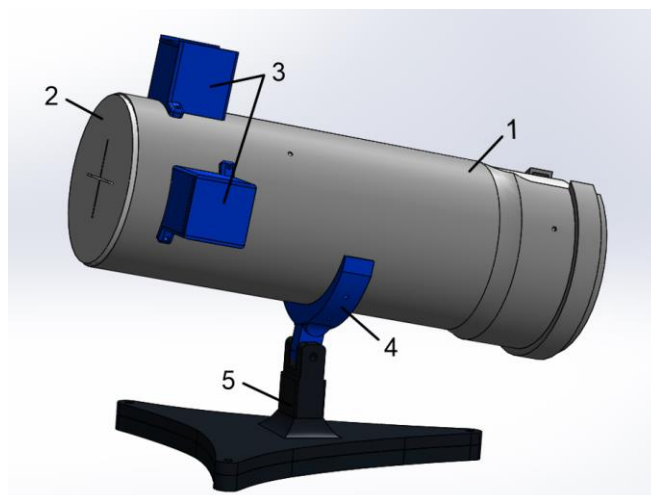


Obr. 4.4: Vybrané snímky videa natočeného IR kamerou v simulátoru, na kterých je zachycen průběh řezu elektrochirurgickou kličkou skrz párek.

Osvětlení vnitřku simulátoru LED páskem nebylo dle lékařů dostačující a zároveň neodpovídalo reálnému osvětlení pochvy a děložního čípku. Pro osvětlení vnitřku simulátoru bylo nadále používáno operační světlo a světlo z kolposkopu, což odpovídalo podmínkám reálných konizací děložního čípku.

4.1.2 Konečná verze simulátoru

Simulátor v konečné podobě byl jako jediný použit pro pilotní měření, v průběhu kterých ještě docházelo k drobným úpravám na základě zjištěných nedostatků. Úpravy nikterak neměnily podmínky pilotních měření. Konkrétně se jednalo o výměnu části molitanového válce uvnitř simulátoru za molitanový pás, připevnění molitanu k velké trubce, nakreslení rysek dovnitř simulátoru pro anatomicky přesnější umístění páru, změnu odsávání kouře gynekologickým zrcadlem na odsávání přímo ze strany simulátoru a přidání UV LED pásku dovnitř simulátoru pro možnost lepší detekce elektrochirurgické klíčky. Na následujících stránkách je popisována úplná konečná verze simulátoru s veškerými úpravami. Při konstrukci konečné verze simulátoru byl využit 3D tisk. Tělo simulátoru zůstalo v podobě velké trubky s molitanem uvnitř, do kterého se zasouvala malá trubka s párkem. Toto tělo simulátoru bylo umístěno na stojan vytištěný na 3D tiskárně. Pro záznam řezů byly použity dvě Arducam kamery, které byly umístěny do dvou vytištěných boxů. Poloviny malé trubky nebyly spojeny panty, ale čtyřmi vytištěnými polokroužky. Veškeré modely pro 3D tisk byly vytvořeny v 3D CAD systému SolidWorks. Po Obr. 4.5 s modelem konečné verze simulátoru následuje popis konstrukce a způsobu použití jeho jednotlivých částí.



Obr. 4.5: Model konečné verze simulátoru vytvořený v SolidWorks. (1 – velká trubka, 2 – molitan uvnitř velké trubky, 3 – boxy pro kamery, 4 – objímka, 5 – stojan s trojúhelníkovým podstavcem, otvory pro šrouby k připevnění molitanu k velké trubce)

Velká trubka

Do velké trubky byly na frézce vyfrézovány dva otvory široké 17 mm a dlouhé 20 mm 35 mm od konce s menším průměrem. Jeden otvor byl shora, druhý o 90° vpravo. Do těchto otvorů byly umístěny kamery Arducam v boxech. Bylo tedy možné sledovat dění uvnitř simulátoru ze dvou směrů. Z levé strany trubky byl ve vzdálenosti 55 mm od konce trubky s menším průměrem, vyvrtán otvor pro odsávání s průměrem 10 mm. Do otvoru byla umístěna hadicová spojka, která v něm byla upevněna teflonovou páskou. Na konci s větším průměrem byl do velké trubky shora vyříznutý otvor široký 63 mm a dlouhý 75 mm, který byl na konci zakulacený. Tento otvor umožňoval nadzvednout konec malé trubky, která byla zasunuta uvnitř velké a tím kompenzovat větší zahnutí páruku. Dovnitř velké trubky před a za vyříznuté otvory pro kamery byly vlepeny dva pruhy chladiče LED pásků a na každý z nich byl nalepen UV LED pásek. V chladičích byly výběry pro šrouby, kterými byly k velké trubce připevněny boxy s kamerami. UV LED pásky byly pod otvorem pro kameru vpravo spojeny dvoužilovým vodičem. Napájecí vodič byl připájen na protější konec jednoho z UV LED pásků a vedl vnitřkem simulátoru směrem ke konci velké trubky s větším průměrem, kde končil konektorem. Do konektoru byl připojen zdroj s vypínačem. Napájecí vodič byl přilepen ke stěně trubky maskovací páskou a byl zakryt molitanem.

Molitan uvnitř velké trubky

Na konci velké trubky s menším průměrem byl do trubky umístěn molitanový válec o délce 140 mm. V molitanovém válci byl ve vzdálenosti 35 mm od jeho podstavy výřez dlouhý 60 mm. Výřez nebyl stranově symetrický, napravo byla vyříznuta větší část, aby molitan nepřekážel v záběru z kamery umístěné vpravo. Výřez byl přizpůsoben UV LED páskům, aby je nezakrýval. Na molitanový válec uvnitř simulátoru navazoval 20 mm vysoký pruh molitanu 180 × 325 mm, který byl umístěn dokola trubky tak, aby vnitřek trubky kompletně pokrýval. Konce pruhu byly v simulátoru umístěny vlevo dole, pod nimi byl napájecí vodič pro UV LED pásky. Na konci, v místě výřezu ve velké trubce pro možnost polohování malé trubky s párkem, byl molitan rozříznutý. Obě molitanové části byly připevněny dvěma šrouby M3x16 k velké trubce. Na jejich válcové hlavy vně velké trubky byly umístěny malé krytky vytištěné na 3D tiskárně. Dovnitř molitanového válce byly do dutiny představující pochvu vyznačeny rysky ve vzdálenosti 50 a 70 mm od podstavy, mezi které byl umisťován konec páruku. Jak bylo uvedeno v teoretické části v podkapitole 2.1, tyto vzdálenosti odpovídají pozici reálného děložního čípku uvnitř pochvy.

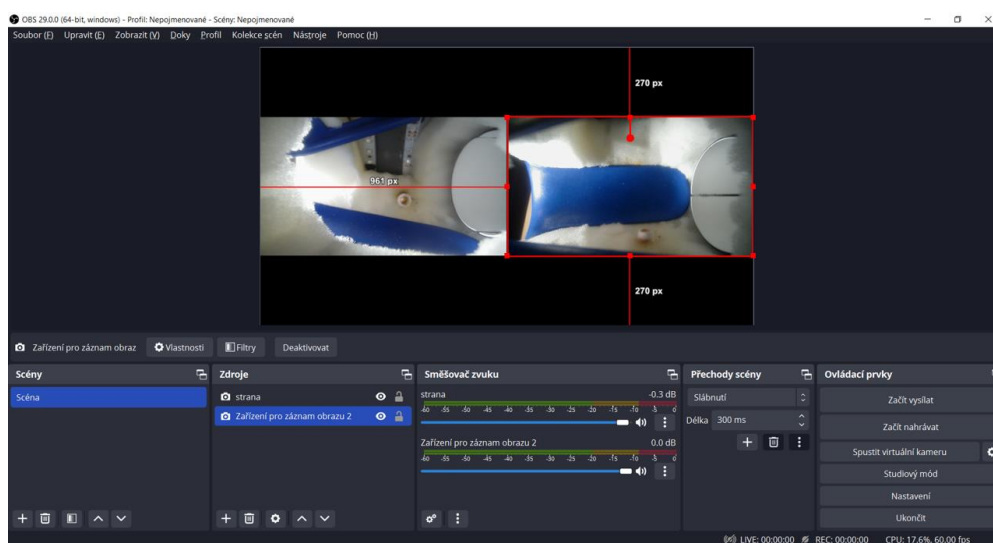
Malá otevírací trubka

Dvě poloviny malé trubky byly spojeny čtyřmi polokroužky, dva objímaly jednu polovinu a dva druhou polovinu ve stejných místech. Protilehlé polokroužky byly na jedné straně spojeny válcovým kolíkem, čímž vznikl pant. Druhé dva konce k sobě byly

přípevňovány klipem vytvořeným z pružinového drátu. Každý polokroužek byl k polovině malé trubky připevněn dvěma šrouby M3. Jeden polokroužek byl k malé trubce připevněn 30 mm a druhý 220 mm od konce s menším průměrem. Dovnitř malé trubky byly umístěny dva tenké pruhy molitanu, nebylo nutné je nikterak fixovat. Za první polokroužky byl zvenku na obě poloviny malé trubky nalepen (sekundovým lepidlem) molitanový prstenec, který umožňoval lepší polohování malé trubky uvnitř velké trubky.

Kamery

Kamery Arducam byly umístěny do dvou krychlových boxů vytištěných na 3D tiskárně. Krychlový box byl zespodu zaoblen tak, aby nasedal na velkou odpadní trubku a na pravé straně vepředu a na levé straně vzadu byl u dolní podstavy přidán malý zaoblený kvádr, ve kterém byl otvor pro upevnění boxu k velké trubce dvěma šrouby M3. Uvnitř byl kvádr od spodní strany z části vyplněn, uprostřed této výplně byl kruhový otvor pro objektiv kamery. Kamera byla v boxu připevněna čtyřmi šrouby M1,6 v rozích. Šrouby držely v závitech, jež byly předtím do materiálu boxu vyříznuty. Ze spodní podstavy boxu vystupoval uprostřed kvádr, který zapadal do výřezu ve velké trubce. Na zadní straně krychle byl malý otvor pro kabel, kterým byla kamera USB konektorem připojena k notebooku. Kamerami byl nahráván vnitřek simulátoru ze dvou pohledů vzájemně pootočených cca o 90°. U kamer byly použity objektivy s pozorovacím úhlem 75 ° a byly manuálně zaostřené na krátkou vzdálenost. Nahrávání bylo realizováno v softwaru OBS Studio, do kterého bylo možné přidat jako *Zdroje* obě kamery, jejichž obrazy se automaticky objevily v náhledu. Oba obrazy byly umístěny vedle sebe, doprostřed náhledu, což je možné vidět na Obr. 4.6. Každý ze záběrů měl rozměr 959 × 540 pixelů. Po označení obrazu, kliknutí na něj pravým tlačítkem myši a vybrání *Pozicování (T)* ze zobrazené nabídky, se otevřela další nabídka příkazů, kterými bylo možné obraz otočit, překloupat nebo vycentrovat dle potřeby.



Obr. 4.6: Prostředí OBS Studia, ve kterém probíhalo synchronizované nahrávání řezu z obou kamer. Vlevo je vidět obraz z kamery ze strany a vpravo obraz z horní kamery, u kterého je vyznačena jeho poloha v náhledu.

Stojan simulátoru

Stojan simulátoru se skládal ze dvou dílů – z objímky (4 na Obr. 4.5), jež obepínala velkou trubku, a ze samotného stojanu s trojúhelníkovým podstavcem (5 na Obr. 4.5) V držáku stojanu byl výběr, do kterého zapadal konec objímky a v tomto místě byly díly spojeny šroubem s držákem, který se na druhé straně při utahování šrouboval do kloboukové matice. Toto spojení umožňovalo nastavení a aretaci sklonu simulátoru.

Samotný stojan byl složen celkem ze čtyř částí – dolní a horní část podstavce, držák s výběrem a šestiúhelníková destička. V horní podstavce části byl otvor pro držák, který do něj shora svou spodní částí přesně zapadal. Zevnitř horní podstavce plochy byl okolo otvoru pro držák šestiúhelníkový výběr, do kterého přesně zapadala šestiúhelníková destička. Skrz destičku byly do držáku zavrtány čtyři vruty a tím byl držák připevněn k horní části podstavce. V dolní části podstavce byl trojúhelníkový výběr pro závaží, které zajišťovalo stabilitu simulátoru. Do výběru bylo umístěno závaží o hmotnosti cca 800 g. Podstavce části k sobě byly ve vrcholech spojeny třemi šrouby M3.

Objímka byla k velké odpadní trubce připevněna 134 mm od konce s menším průměrem. Skrz otvory v objímce byly do velké trubky vyvrtány čtyři otvory, do kterých byly následně umístěny 4 šrouby M3.

Veškeré šrouby, které spojovaly některou část s velkou či malou trubkou byly orientovány hlavami ven a maticemi dovnitř trubky. V některých případech byly použité šrouby delší, než bylo potřeba. V místech, kde to bylo nutné, byly optimálně zkráceny.

Gynekologické zrcadlo

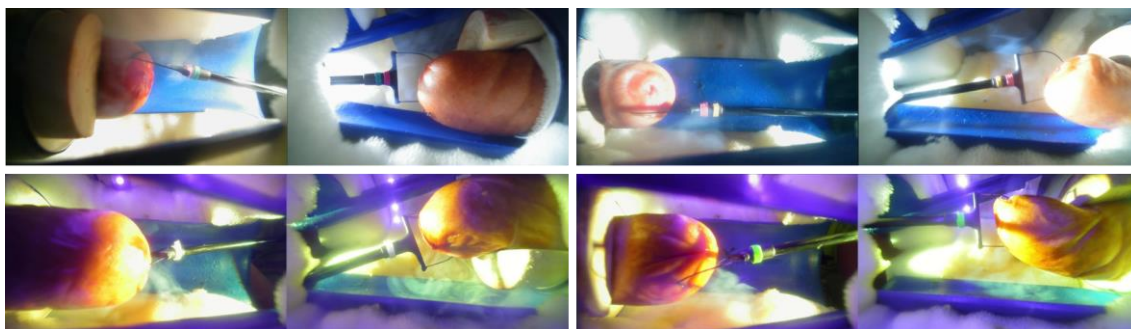
Do simulátoru bylo vkládáno gynekologické zrcadlo orientované tak, jako ve skutečnosti. Aby nebránilo v záběru horní kamery, nechal se do horní části gynekologického zrcadla ve specializované firmě vyříznout obdélníkový otvor 50 × 22 mm elektroerozivním obráběcím strojem. Podle odsávacího kanálku na nevodivém gynekologickém zrcadle, které bylo používáno v předchozích verzích simulátoru, se nechala vyrobit odsávací trubička z nerezové oceli, která se poté nechala přivařit k horní části gynekologického zrcadla podél vyříznutého otvoru. Spára mezi odsávací trubičkou a okrajem gynekologického zrcadla byla vyplněna tmelem, který byl po ztvrdnutí zabroušen. Na takto upravené gynekologické zrcadlo bylo následně nanášeno šest vrstev modré barvy ETERNAL (z průběhu nanášení barvy pochází fotografie na Obr. 4.7). Navrstvená barva zajišťovala nevodivý povrch gynekologického zrcadla. Ačkoli se u konečné verze simulátoru kouř neodsával přes odsávací trubičku na tomto gynekologickém zrcadle, bylo toto zrcadlo v simulátoru dále používáno.



Obr. 4.7: Gynekologické zrcadlo s vyříznutým otvorem pro natáčení v procesu nanášení několika vrstev modré barvy.

4.1.3 Detekce elektrochirurgické kličky a rekonstrukce její trajektorie v konečné verzi simulátoru

Elektrochirurgická klička byla detekována pomocí barevné značky, jež byla umístěna na konci její rukojeti, pod samotnou kličkou z drátku. Princip původně zamýšlené detekce byl založen na detekci pixelů ve třech RGB vrstvách, které dohromady tvoří barvu barevné značky. Tato metoda ale především kvůli kouři nefungovala. Proto proběhlo mezi pilotními měřeními testování několika různých značek umístěných na elektrochirurgické kličce (papírové značky různých barev, značka z reflexní pásky a papírová značka natřená několika vrstvami zelené akrylátové barvy svítící pod UV zářením – pro tento test byly do simulátoru provizorně přidány UV LED pásky). Na Obr. 4.8 je několik snímků z tohoto testování. Cílem bylo najít takovou značku, která by na videu byla dobře viditelná v průběhu celého řezu a neměnila by svou barvu. Z testování nejlépe vyšla papírová značka natřená několika vrstvami zelené barvy zářící pod UV světlem. Proto byly do simulátoru přidány UV LED pásky a na elektrochirurgickou kličku byla dokola přilepena značka z papíru, na které bylo několik vrstev zelené barvy zářící pod UV světlem. Ani po této změně však zamýšlená detekce stoprocentně nefungovala. Proto byla pro detekci zelené značky zářící pod UV světlem nakonec použita matlabovská aplikace Video Labeler. Rekonstrukce trajektorie byla realizována v Matlabu.



Obr. 4.8: Snímky ze simulátoru při testování různých značek na elektrochirurgické kličce. Na horních snímcích byly použity papírové značky, na dolním snímku vlevo značka z reflexní pásky a na dolním snímku vpravo značka ze zelené barvy, která svítí pod UV zářením.

Kalibrace

Před samotnou detekcí proběhla kalibrace obou kamer současně v matlabovské aplikaci Stereo Camera Calibrator. Kalibrace byla použita, aby bylo následně možné rekonstruovat 3D trajektorie. Při kalibraci jsou za použití kalibračních vzorů obecně zjišťovány různé vnitřní i vnější parametry kamery a její zkreslení. Ty jsou následně použity pro odstranění zkreslení a pro rekonstrukci 3D scény [106]. Pro kalibraci byla vytištěna kalibrační šachovnice s rozměrem jedné kostičky 6,4 mm. Papír s šachovnicí byl podlepen kartonem, aby se šachovnice neprohýbala. V OBS Studiu bylo následně natočeno video ze simulátoru, na kterém byla šachovnice uvnitř simulátoru různě natáčena a polohována. V Microsoft aplikaci Fotografie bylo z videa vybráno a uloženo 26 snímků, na kterých byla šachovnice v různých polohách a natočeních a zároveň byla na snímcích z obou kamer zcela viditelná. Vybrané snímky byly následně ve skriptu v Matlabu rozděleny na dva dílčí snímky, každý z jedné kamery, a překlopené tak, aby byly správně orientované a aplikace Stereo Camera Calibrator mohla spočítat vzájemnou pozici kamer. Dvojice dílčích snímků pocházející z jednoho původního snímku byly vždy shodně očíslovány a uloženy do dvou složek.

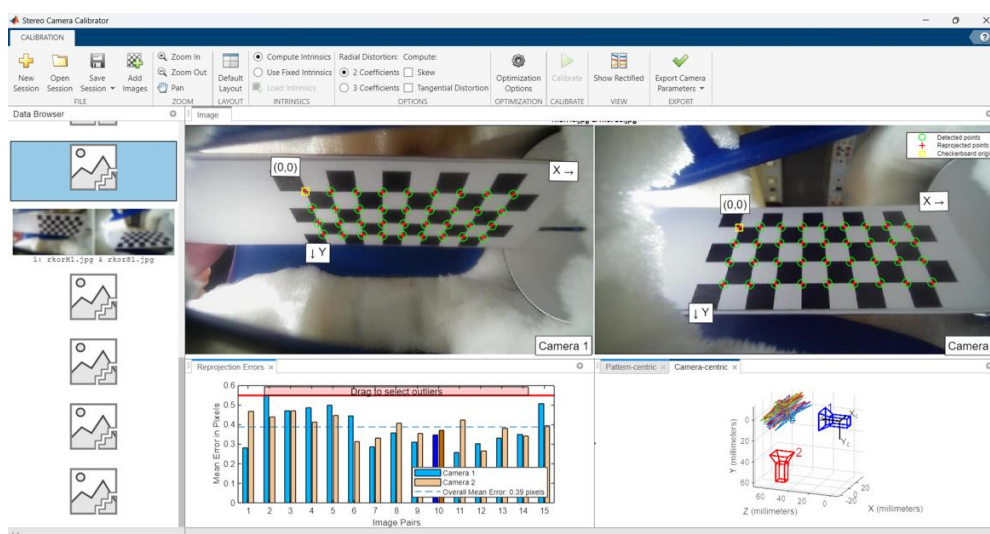
Postup kalibrace v aplikaci Stereo Camera Calibrator:

1. Nahrání dvojic snímků ze dvou složek, zadání použitého kalibračního vzorce, uvedení rozměru jednoho čtverečku na kalibrační šachovnici
2. Kontrola detekovaných míst křížení bílých a černých čtverců na dvojicích snímků
3. Spuštění kalibrace stisknutím tlačítka *Calibrate*
4. Zjištění dvojic snímků, u kterých je chyba reprojekce (*Reprojection Error*) výrazně vyšší než u zbylých
5. Zopakování kroků 1. – 3. bez vybraných dvojic snímků s nejvyšší chybou reprojekce

6. Kontrola výsledků kalibrace na jednotlivých snímcích, kontrola chyby reprojekce (*Reprojection Errors*) a spočítaného umístění kamer (*Camera-centric*)
7. Uložení parametrů z kalibrace do datového souboru *stereoParam.mat*

Ideální počet dvojic snímků pro kalibraci je 10 až 20 [107]). Ne všechny z primárně nahraných 20 dvojic dílčích snímků byly pro kalibraci přijaty, následovalo tedy nahrání zbývajících 6 dvojic snímků. Pro opětovnou kalibraci bez snímků s příliš velkou chybou reprojekce bylo použito 15 dvojic snímků.

Po proběhnutí kalibrace byly na jednotlivých snímcích promítnuty body, které měly odpovídat místům křížení bílých a černých čtverců, zobrazil se také graf *Reprojecton errors* znázorňující chyby reprojekce na jednotlivých dvojicích snímků a 3D grafy znázorňující spočítané umístění stacionárních kamer a polohy kalibrační šachovnice (*Camera-centric*), byly spočítány i polohy kamer pro případ, že by se kamery pohybovaly okolo stacionárně umístěné kalibrační šachovnice (*Pattern-centric*). Zobrazení výsledků kalibrace v aplikaci je patrné na Obr. 4.9.



Obr. 4.9: Výsledky kalibrace dvojice kamer v aplikaci Stereo Camera Calibrator.

Hodnoty chyb reprojekce vyjadřovaly chybu mezi detekovanými body křížení čtverců a promítnutými body křížení čtverců v pixelech na jednotlivých dvojicích snímků. Maximální chyba reprojekce byla v našem případě 0,55 pixelů a její střední hodnota 0,39 pixelů.

Datový soubor *stereoParam.mat* obsahoval informace o systému dvou kamer i o každé jednotlivé kameře. Tyto informace byly využity při získávání 3D souřadnic bodů tvořících trajektorii metodou triangulace. Informace o jednotlivých kamerách byly využity pro odstranění zkreslení na snímcích.

Úprava videa před detekcí

Nahrané video ze simulátoru bylo v prvním kroku oříznuto v Microsoft aplikaci Clipchamp tak, aby na něm byl pouze řez klíčkou skrz párek. Ve skriptu *ostrihnuti_video_pro_naslednou_detekci.m* v Matlabu bylo následně video se záběry z obou kamer rozděleno na dvě dílčí videa. V rámci vytváření dílčích videí byly snímky, pokud to bylo potřeba, překlopeny tak, aby se jejich orientace shodovala s orientací snímků použitých pro kalibraci, a u každého snímku proběhla korekce zkreslení čočkou kamery funkcí *undistortImage*, která zkreslení korigovala lineární interpolací s využitím parametrů dané kamery získaných při kalibraci, jež byly součástí datového souboru *stereoParam.mat*.

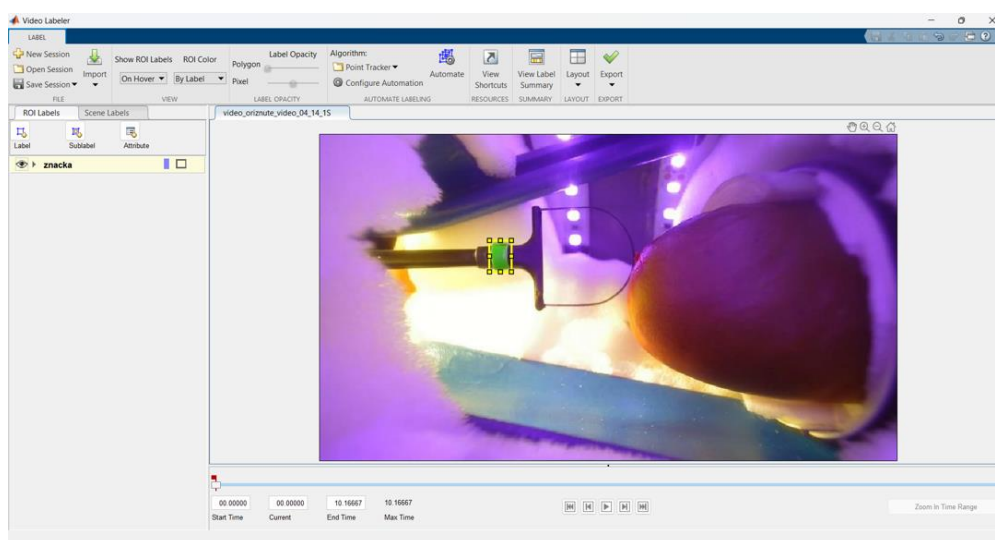
Detekce pomocí Video Labeleru

Postup pro detekci zelené značky na elektrochirurgické klíče v aplikaci Video Labeler (prostředí VideoLabeleru je na Obr. 4.10):

1. Nahrání předpřipraveného videa
2. Vytvoření označení tlačítkem *Label* (pojmenování – *znacka*, vybrání jeho tvaru – *Rectangle*)
3. Označení oblasti zájmu (region of interest – ROI) – zelená značka na elektrochirurgické klíče na prvním snímku nahraného videa obdélníkovým označením
4. Výběr algoritmu detekce – *Point Tracker*
5. Spuštění automatické detekce tlačítkem *Automate*
6. Přehrání videa, na kterém byla automaticky detekována zelená značka
7. V případě nepřesné detekce manuální oprava obdélníkového označení na vybraných snímcích
8. V případě absence obdélníkového označení na některých snímcích manuální vytvoření obdélníkového označení na těchto snímcích
9. Přehrání videa pro kontrolu, pokud proběhly manuální úpravy

10. Přijetí detekce tlačítkem *Accept*

11. Export informací o detekci do datového souboru *gTruth.mat* a jeho uložení



Obr. 4.10: Prostředí Video Labeleru. Na snímku byla právě označena zelená značka žlutým obdélníkovým označením (krok 3.).

Pro následnou rekonstrukci trajektorie bylo potřeba, aby se zelená značka na každém snímku nacházela uprostřed obdélníkového označení, lépe řečeno, aby střed obdélníkového označení byl v průběhu celého videa umístěn cca na stejném místě na zelené značce. U snímků, u kterých toto kritérium nebylo splněno, bylo obdélníkové označení manuálně upraveno. V případě, že na některém ze snímků videa byla zelená značka výrazně zakryta kouřem, automatická detekce od tohoto snímku dále již neprobíhala a bylo tedy nutné na zbylých snímcích zelenou značku manuálně označit. To bylo prováděno kopírováním obdélníkového označení z předchozího snímku na aktuální a jeho vhodným posunutím.

Rekonstrukce trajektorie

Získání souřadnic zelené značky na elektrochirurgické klíče na jednotlivých snímcích videa probíhalo ve skriptu *trajektorie_triangulate.m*. Jeho princip je vyjádřen algoritmem 1. Spojením získaných 3D souřadnic zelené značky byla získána rekonstruovaná trajektorie.

Algoritmus 1: Získání souřadnic pro rekonstrukci trajektorie

1. Načtení videa z horní kamery a videa z kamery ze strany a jejich datových souborů z detekce *gTruth.mat*.
2. Výběr snímků, ze kterých bude trajektorie rekonstruovaná – výběr počátečního a koncového snímku
3. Získání matice souřadnic a velikostí oblasti zájmu z *g.Truth.mat* pro každé video pomocí funkce *cell2mat*.

4. Výpočet souřadnic zelené značky z každého pátého snímku z vybraných snímků postupně z obou videí a jejich uložení do matic *SouradniceBoduH* (horní kamera) a *SouradniceBoduS* (kamera ze strany).
 5. Načtení datového souboru z kalibrace *stereoParam.mat*
 6. Získání 3D souřadnic zelené značky


```
for k=1:length(SouradniceBoduH)
    souradnice3d(k,:) = triangulate(SouradniceBoduH(k,:),
    SouradniceBoduS(k,:),stereoParam);
end
```
 7. Získání správně orientovaných 3D souřadnic zelené značky


```
souradnice3dRot(:,1)=souradnice3d(:,1);
souradnice3dRot(:,2)=souradnice3d(:,2)*(-1);
souradnice3dRot(:,3)=souradnice3d(:,3)*(-1);
```
-

V datovém souboru *gTruth.mat* byly ve složce *LabelData* uloženy souřadnice a velikosti oblasti zájmu pro každý snímek ve videu v podobě 4 hodnot. Tyto hodnoty vyjadřovaly popořadě: x souřadnici levého horního rohu obdélníkového označení oblasti zájmu, y souřadnici levého horního rohu obdélníkového označení oblasti zájmu, šířku obdélníkového označení a jeho výšku v pixelech. Z těchto hodnot byly počítány souřadnice středu obdélníkového označení x_s , y_s následujícím způsobem (1), (2).

$$x_s = x + \frac{\text{šířka označení}}{2} \quad (1)$$

$$y_s = y + \frac{\text{výška označení}}{2} \quad (2)$$

Střed soustavy souřadnic u snímku byl v levém horním rohu, proto se k y souřadnici polovina výšky přičítala. Souřadnice x_s , y_s byly brány jako souřadnice zelené značky na elektrochirurgické kličce na daném snímku a byly dále použity pro získání 3D souřadnic bodů trajektorie.

Video obvykle obsahovalo 250–400 snímků, pro rekonstrukci trajektorie bylo zvoleno použití souřadnic zelené značky z každého pátého snímku. Souřadnice z ostatních snímků nebyly počítány.

Funkce *triangulate* vypočítává 3D souřadnice metodou triangulace. Pro jejich výpočet využívá matice z kalibrace dvou kamer uložené v *stereoParam.mat*. Získané 3D souřadnice byly v rámci funkce převedeny z pixelů na mm. Za střed soustavy souřadnic byl funkcí zvolen optický střed první kamery (v tomto případě horní kamera). Jelikož byly původní 2D souřadnice zelené kličky ze soustavy souřadnic se středem soustavy souřadnic v levém horním rohu, pro správné umístění bodů bylo nutné překloupat souřadnice y a z okolo osy x .

4.1.4 Materiál simulující děložní čípek

Děložní čípek v simulátoru představoval párek, který se svým průměrem pohyboval v intervalu 2,5 – 3,3 cm, což odpovídá, jak již bylo uvedeno v podkapitole 2.1, intervalu, ve kterém se pohybovaly průměrné průměry reálných děložních čípků, měřených v rámci několika studií. [7], [10], [11]. Na párek byla před vložením do otevírací trubky lepena jednookruhová pediatrická pasivní elektroda tak, aby byl jeden konec párku volný a přístupný. Do volného konce párku byl vytvářen endocervikální kanál a na jeho povrchu byla označována léze.

Důležité parametry párku a jeho výběr

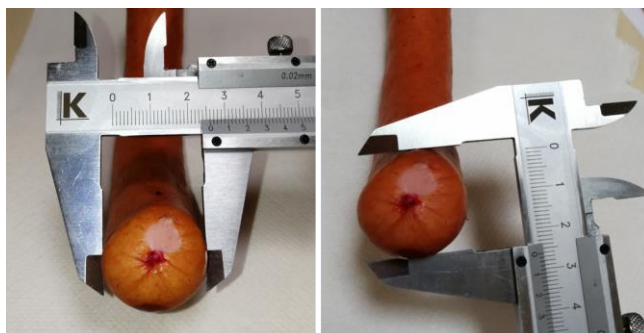
Při prvním testování na operačním sále bylo lékaři zjištěno, že párek použitý v simulátoru nekladl při řezu elektrochirurgické kličce téměř žádný odpor, což neodpovídalo skutečné konizaci, při které je třeba působit kličkou na tkáň určitou silou. Následně tedy proběhlo testování čtyř párků s různým obsahem masa (64–85 %), s cílem zjistit, jaké složení by při řezu nejvíce odpovídalo reálné tkáni. Ačkoli mezi odpory, které jednotlivé párky kladly při řezu proti elektrochirurgické kličce, byl určitý rozdíl, žádný z nich se neblížil odporu reálné tkáně. Pro získání odpovídajícího odporu byl nakonec snížen výkon elektrochirurgického generátoru oproti normálnímu nastavení pro konizaci (detailní nastavení ESU generátoru při pilotních měření je uvedeno v podkapitole 4.2.1).

Aby použitý párek uvnitř simulátoru co nejvíce odpovídal děložnímu čípku, byl kromě jeho průměru důležitý i jeho tvar. Ideální párek by z tohoto hlediska, měl být rovný a mít plné, zakulacené konce. Rovné párky je možné vyrobit ve střívku z kolagenu, konce párků v kolagenním střívku jsou ideálně zakulacené, ale jsou na nich výrazné záhyby kolagenního střívku, nejsou hladké. Párky v přírodním střívku jsou zahnuté a jeden konec mívají zašpičatělý, druhý v některých případech téměř ideálně zakulacený.

Do simulátoru byly nakonec vybrány Libové párky v přírodním střívku od výrobce RADEV s.r.o. se složením: vepřové maso 59 %, hovězí maso 24 %, voda, sůl, antioxidant E450, E300, E120, dextróza, škrob, koření, vepřová střeva, E250, E316, obsah tuku max do 45 %. Před každým pilotním měřením byly vybírány jednotlivé tvarově optimální párky z jednoho nebo dvou vakuových balení po 18 čerstvých párcích přímo u výrobce. Při výběru byly dodrženy hygienické podmínky a párky, které nebyly vybrány pro měření, byly prodány v přílehlém řeznictví výrobce.

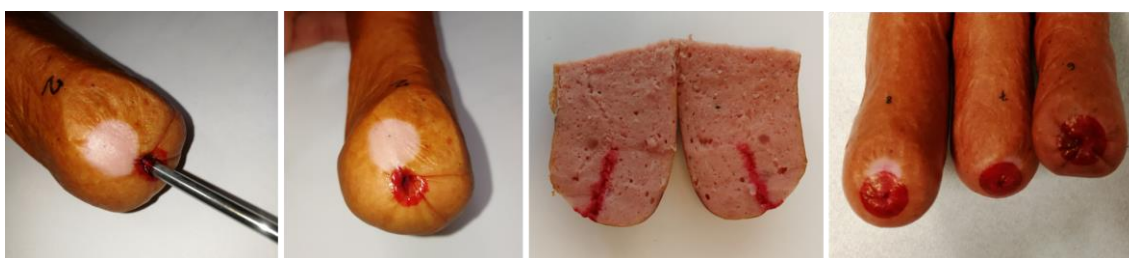
Příprava párku do simulátoru

U každého párku byly měřeny dva průměry jeho zakulaceného konce (ze strany na stranu a shora dolů – viz Obr. 4.11), jež byl následně v simulátoru řezán. Průměry byly měřeny posuvným měřítkem.



Obr. 4.11: Měření průměru párku ze strany na stranu vlevo a shora dolů vpravo posuvným měřítkem.

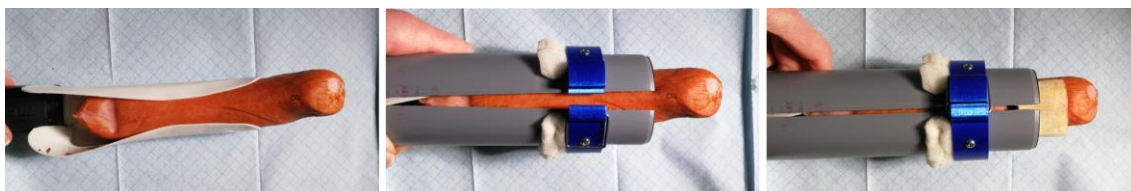
Do párku byl dále vytvářen endocervikální kanál červeným potravinářským barvivem obdobným způsobem jako u simulátoru na Obr. 2.8 [99]. Místo injekční stříkačky byl ale použit malý křížový šroubovák s průměrem 3 mm, na jehož špičku bylo nanášeno červené potravinářské barvivo a následně byl zapíchnut do párku, podél jeho středové osy (viz Obr. 4.12). Okolo endocervikálního kanálu byla následně červeným lihovým fixem nakreslena kruhová léze o průměru cca 15 mm (což bylo měřeno posuvným měřítkem), se snahou o její soustředné umístění vzhledem k endocervikálnímu kanálu.



Obr. 4.12: Na fotografiích je zaznamenáno zleva: proces tvorby endocervikálního kanálu; vzhled endocervikálního kanálu zvenku; vzhled endocervikálního kanálu v podélném vnitřním řezu; párky s endocervikálními kanály a nakreslenými lézemi připravené pro použití v simulátoru.

Uložení párku do malé odpadní trubky

Párek byl do malé trubky vystlané molitanovými pruhy uzavírán tak, aby z trubky na jejím konci s menším průměrem vyčníval jeho cca 30mm konec s endocervikálním kanálem a označenou lézí. Párek byl předtím oblepen jedookruhovou pediatrickou neutrální elektrodou, která byla klipem připojena ke kabelu pro neutrální elektrodu připojenou k elektrochirurgické jednotce. Zahnutí konce párku bylo korigováno třemi různě vysokými dřevěnými klínky. Tento proces je zachycen na fotografiích na Obr. 4.13.



Obr. 4.13: Proces uložení párku do velké odpadní trubky.

4.2 Testování simulátoru a pilotní měření v ÚPMD

Testování simulátoru lékaři a následná pilotní měření na finálním simulátoru probíhaly na operačním sále B, v ÚPMD v Praze Podolí od 20. prosince 2022 do 14. dubna 2023, vždy v odpoledních a podvečerních hodinách po skončení operačního programu a za přítomnosti pana MUDr. Radovana Turyny, Ph.D., který je lékařem v ÚPMD a zároveň konzultantem diplomové práce. Před uskutečněním testování a pilotních měření byla vedoucím diplomové práce, panem doc. Ing Jiřím Hozmanem, Ph.D. poslána oficiální žádost o povolení realizace pilotních experimentů na simulátoru na operačním sále v ÚPMD řediteli ÚPMD, panu doc. MUDr. Jaroslavu Feyereislovi, CSc., která byla přijata a schválena. Žádost je uvedena v příloze B. V žádosti byl uveden konec experimentů 28. února 2023, později bylo na základě rozhovoru povolení prodlouženo do 14. dubna 2023.

Před zahájením pilotních měření jsem měla možnost být přítomna u několika konizací děložního čípku provedených právě na operačním sále B v ÚPMD a zjistit jaké je celkové uspořádání operačního sálu při tomto zákroku a jak celý zákrok probíhá. Během zákroků bylo změřeno, jak vysoko se nachází kloub gynekologického zrcadla od země a byla také změřena vzdálenost kolposkopu od kloubu gynekologického zrcadla. S využitím těchto informací byly při následném testování návrhu konečné verze simulátoru (ze kterého pochází fotografie na Obr. 4.14) postupně definovány podmínky, za kterých bude pilotní měření na operačním sále probíhat – veškeré potřebné přístroje a jejich nastavení, nástroje, pomůcky a celkové uspořádání. Následně vznikl jednoduchý scénář pro průběh pilotních měření, který byl chronologicky krok po kroku popsán v dokumentu Postup měření. Ten je uveden v příloze C. Jednotlivé kroky musely být při každém měření dodrženy, aby pilotní měření probíhala vždy za stejných podmínek.

Vhodné nastavení elektrochirurgické jednotky, aby odpor při řezu odpovídal skutečnosti, bylo zjištěno experimentálně. Lékaři se zkušenostmi s metodou LLETZ zkoušeli řezat v simulátoru s různým nastavením výkonu elektrochirurgické kličky, dokud nebylo zjištěno optimální nastavení, při kterém se průběh řezu v simulátoru důvěrně podobal reálné konizaci.



Obr. 4.14: Testování návrhu konečné verze simulátoru na operačním sále B v ÚPMD. Při tomto testování bylo mimo jiné experimentálně zjišťováno vhodné nastavení výkonu elektrochirurgické jednotky.

4.2.1 Pilotní měření

Pilotní měření probíhala od 31. 1. 2023 do 14. 4. 2023. Celkem jich proběhlo 9. Účastníků bylo také 9, z toho 5 žen a 4 muži ve věku 23–37 let s různě dlouhou praxí v oblasti gynekologie (0–12 let) a s rozdílnými předchozími zkušenostmi s metodou LLETZ (0–100ky zákroků). Jednalo se, kromě jednoho medika, o lékaře z ÚPMD. Před každým měřením bylo nutné připravit na operačním sále veškeré potřebné vybavení, přístroje a nástroje a zprovoznit nahrávání v simulátoru. Celkové uspořádání na operačním sále při pilotním měření je na fotografii na Obr. 4.15.

Přístroje, příslušenství, nástroje a další předměty z operačního sálu, které byly při pilotních měřeních použity (v závorkách jsou uvedena čísla, kterými jsou dané věci označeny na Obr 4.15):

- Odsávač kouře VACULAS 3000 (LIMMER) (1)
 - Filtr pro odsávání (2)
 - Silikonová hadice pro odsávání, která pasovala na odsávací trubičku gynekologického zrcadla / hadicovou spojku a s redukcí na filtr z jedné strany (3)
- Elektrochirurgická jednotka VIO 3 (Erbe) (4)
 - Kabel pro neutrální elektrodu
 - Kabel s rukojetí pro aktivní elektrodu (elektrochirurgickou kličku)
 - Nožní pedál na ovládání elektrochirurgické jednotky (5)
- Kolposkop Liesegang model 1D LED (6)
- Lékařská židle na operační sál (7)
- Pinzeta
- 3x nástrojový stolek

- Rouška či jiný materiál pro pokrytí nástrojových stolků
- Prodlužovací kabel, 1 zásuvka



Obr. 4.15: Uspořádání při pilotním měření na operačním sále B v ÚPMD. Čísla na fotografii jsou na výše uvedeném seznamu přiřazena k jednotlivým přístrojům a dalším předmětům (čísla v závorkách)

Elektrochirurgická jednotka byla v monopolárním režimu pro konizaci, mód high CUT, její výkon byl ze standardních 4,6 snížen na 1,5. Odsávací kouř byl nastaven na maximální výkon a byl manuálně zapínán a vypínán, přes dotykový displej.

Další přístroje, nástroje a pomůcky použité při pilotních měřeních:

- Simulátor
- 8 párků
- Dřevěné klínky
- Označená elektrochirurgická klička BOWA 20x20
- Neutrální jednookruhová pediatrická elektroda FIAB s rozměry vodivé plochy 100 × 70 mm
- Notebook Acer TravelMate P
- Pomůcky pro čištění elektrochirurgické kličky
 - Kelímek s cca 1 cm vody
 - Kus molitanu nebo hadříku namočeného ve vodě s trochou mýdla
- Krabička pro konizáty z párků
- Tenký černý lihový fix

- Svinovací metr
- Dokumentace
 - 8 Karet páрку
 - Karta lékaře
 - propiska

Pilotní měření se skládalo z osmi řezů. První čtyři byly prováděny bez použití kolposkopu a druhé čtyři pod kolposkopem. Před pilotním měřením bylo vybráno 8 párků, které byly lihovým fixem očíslovány 1–8, tato čísla odpovídala pořadí, ve kterém byly do simulátoru vkládány. Při číslování byly zároveň měřeny průměry párků a byly do nich vytvářeny endocervikální kanály a na jejich povrch byly kresleny léze. Rozměry páрку byly zapsány do tzv. Karty páрку, do které byly zapisovány v průběhu měření další informace týkající se nejen páрку, ale i průběhu řezu. Po skončení měření do ní bylo také zapisováno hodnocení vzniklého konizátu. Karta páрку je uvedena v příloze C. Párky byly do simulátoru umisťovány jak zahnuté směrem nahoru, tak směrem dolů. Při prvním, druhém, pátém a šestém řezu byly orientovány nahoru, při třetím, čtvrtém, sedmém a osmém řezu dolů.

Každý účastník měření před ním vyplnil základní informace (jméno, věk, délka praxe, míra zkušeností s konizací děložního čípku atp.) do tzv. Karty lékaře, která je přiložena v příloze C. Následně byl účastník seznámen s detailním průběhem měření. Pokud dosud neprováděl konizaci děložního čípku metodou LLETZ na operačním sále B v ÚPMD, byl také seznámen s přístroji používanými během měření a s jejich ovládáním. V případě, že měl účastník s konizací velmi malé zkušenosti (nebo žádné), byl mu MUDr. R. Turynou, Ph.D. vysvětlen její princip a cíl. Před zahájením měření byl účastník instruován, aby při každém řezu z páрку v simulátoru odstranil červenou lézi. Šlo o jedinou podmínku, kterou měl účastník v rámci měření splnit, směr řezu a jeho hloubka byly zcela ponechány na jeho uvážení a mohl je při jednotlivých řezech měnit.

Na konizáty z párků byla bezprostředně po řezu lihovým fixem nakreslena pozice 12 a napsáno číslo shodné s číslem na páрку, ze kterého byl vyříznut. Do příslušné Karty páрку byl zaznamenán směr, kterým se klička při řezu pohybovala, počet kusů konizátu a byly do ní zapisovány i případné poznámky k průběhu řezu. Po každém řezu bylo dále nutné očistit drátek elektrochirurgické kličky, na kterém ulpívala vrstvička spáleného páрку.

4.3 Hodnocení konizátů z párků

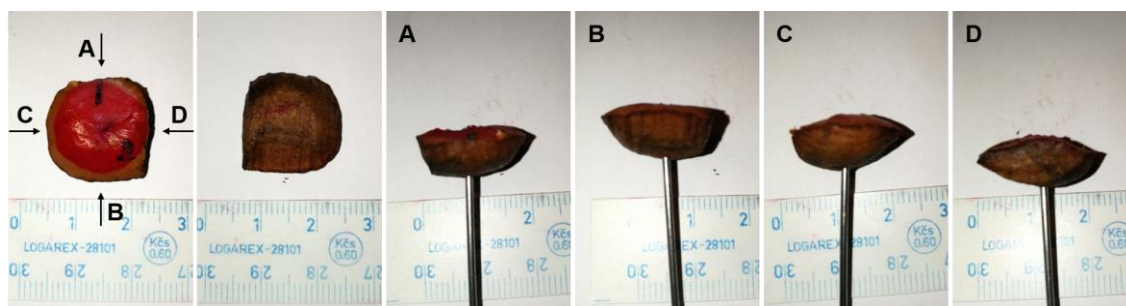
Po skončení měření byly konizáty z párků foceny ze všech stran, u každého byla měřena jeho délka (odpovídající terminologii parametrů konizátu podle IFPC [68]) a byl zjišťován jejich objem metodou představenou v bakalářské práci Ing. Terezy

Kislingerové [108]. Dále byla hodnocena pozitivita jejich okrajů. Zjištěné parametry byly zapsány do Karty páрку.

Každý konizát byl focen ze všech stran, jak je možné vidět na Obr. 4.16. Poté byla posuvným měřítkem měřena jeho délka. Následovalo hodnocení positivity okrajů konizátu. Pečlivě byl prohlédnut celý okraj konizátu a bylo zjištěno, zda se na úplném okraji konizátu nachází červená barva, jež představovala lézi. Pokud ano, byl konizát označen jako konizát s pozitivním okrajem. Podle postupu uvedeného ve zmíněné bakalářské práci [108], byl následně zjišťován objem konizátu využitím Archimédova zákona a 3. Newtonova zákona. Pro měření byla použita kádinka s fyziologickým roztokem, ta byla uložena na váhu, která byla následně vynulována. Konizát rozstřížený na pozici 12 byl uchycen liščí smyčkou na nit a ponořen do kádinky s fyziologickým roztokem tak, že se nedotýkal stěn ani dna kádinky. Hodnota na displeji váhy odpovídala hmotnosti fyziologického roztoku o objemu konizátu. Dosazením hodnoty do rovnice (3) byl tento objem zjištěn. Měření probíhalo při teplotě 20 °C, hodnota hustoty fyziologického roztoku při této teplotě je dle tabulek [109] 1,004 g/ml.

$$V = \frac{m}{\rho} \quad (3)$$

Veškeré změřené a vypočtené parametry a hodnocení positivity byly zapsány do Karty páрку.



Obr. 4.16: Fotografie konizátu z páрку ze všech směrů. Na první fotografii je konizát vyfocen zepředu s číslem a s ryskou na pozici 12. Takto byl konizát vidět bezprostředně po řezu uvnitř simulátoru. Na druhé fotografii je konizát vyfocen zezadu a na zbylých fotografiích je konizát postupně ze čtyř stran, jež jsou naznačené na první fotografii.

4.4 Návrh metody hodnocení kvality výkonu

Metoda využívala zrekonstruovanou trajektorii, která byla získána postupem popsaným v podkapitole 4.1.3. Tato trajektorie byla převedena do 3D konstrukčního programu Rhinoceros, v němž byl daný řez elektrochirurgickou kličkou skrz párek simulován. Pro simulaci daného řezu byl použit model páрку a model elektrochirurgické kličky. Model elektrochirurgické kličky se pohyboval po zrekonstruované trajektorii skrz model páрку. Tímto způsobem byl získán model konizátu, který byl porovnáván

s odpovídajícím reálným konizátem z parku. U modelu konzátu byla hodnocena jeho symetrie okolo endocervikálního kanálu.

Kvůli problémům s detekcí elektrochirurgické kličky byla tato metoda hodnocení aplikována pouze u posledních tří pilotních měření, při kterých byla použita elektrochirurgická klička označená značkou svítící pod UV zářením. Touto metodou bylo hodnoceno 23 řezů. Video jednoho řezu ze sedmého pilotního měření bohužel nebylo uloženo.

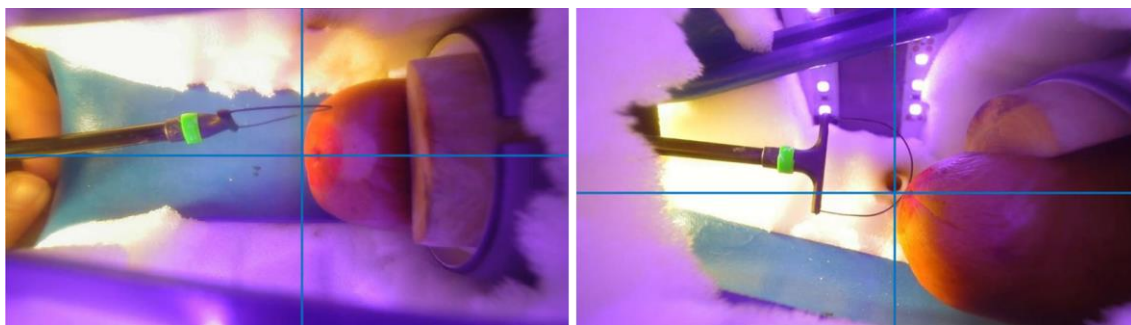
4.4.1 Příprava trajektorie před vložením do Rhinocerosu

V poslední části skriptu *trajektorie_triangulate.m* je trajektorie posouvána tak, aby její umístění po vložení do Rhinocerosu vzhledem k parku ideálně odpovídalo realitě. Postup při posouvání bodů, ze kterých je trajektorie tvořena, je znázorněn Algoritmem 2.

Algoritmus 2: Posun trajektorie

1. Označení středu parku na vybraném snímku z videa z horní kamery i z kamery ze strany pomocí funkce *drawcrosshair*
 2. Získání 3D souřadnic středu parku funkcí *triangulate*, otočení souřadnice y a z okolo osy x, uložení souřadnic do vektoru *stredParku3dRot*
 3. Zvolení 3D bodu středu parku za počátek soustavy souřadnic
for m=1:length(souradnice3d)
souradnice3dRotP(m,1)=souradnice3dRot(m,1)-stredParku3dRot(1,1);
souradnice3dRotP(m,2)=souradnice3dRot(m,2)-stredParku3dRot(1,2);
souradnice3dRotP(m,3)=souradnice3dRot(m,3)-stredParku3dRot(1,3);
end
 4. Označení místa řezu, ve kterém se drátek elektrochirurgické kličky na vybraném snímku z obou kamer právě nachází, funkcí *drawcrosshair*, získání 3D souřadnic tohoto místa funkcí *triangulate*
 5. Výpočet rozdílu (*posun*) mezi ypsilonovou souřadnicí místa řezu a ypsilonovou souřadnicí zelené značky na vybraném snímku z předchozího kroku
 6. Odečtení tohoto rozdílu od všech ypsilonových souřadnic zelené značky
for p = 1:length(souradnice3dRotP)
souradnice3dRotPR(p,2)=souradnice3dRotP(p,2)-posun;
end
 7. Uložení posunutých 3D souřadnic bodů trajektorie do textového souboru
-

Za střed parku byla považována špička parku v úrovni endocervikálního kanálu. Označení je znázorněno na Obr. 4.17. Stejným způsobem probíhalo označování místa řezu, ve kterém se nacházel drátek elektrochirurgické kličky (krok 4. z Algoritmu 2).



Obr. 4.17: Označení středu páрку označením ve tvaru kříže, použitím funkce *drawcrosshair*. Vlevo pohled do simulátoru kamerou shora, vpravo pohled do simulátoru kamerou ze strany.

Trajektorie značky na elektrochirurgické kličce byla obvykle vzhledem k trajektorii drátku elektrochirurgické kličky v páрку posunuta ve směru y . Proto byly ypsilonové souřadnice 3D bodů trajektorie posouvány, jak je popsáno ve 4., 5. a 6. kroku Algoritmu 2. Pro výpočet posunu byly vybírány snímky z druhé poloviny řezu. Někdy bylo nutné tento posun opakovat s využitím jiného snímku. K tomu docházelo v případě, že po vložení trajektorie do Rhinocerosu nebylo její umístění vzhledem k modelu páрку správné.

Aby mohly být 3D souřadnice trajektorie úspěšně importovány do Rhinocerosu, musely být uloženy do textového souboru v podobě 3 sloupečků, v prvním řádku byly jednotlivé sloupce souřadnic nadešpsány X, Y, Z, čísla od sebe byla oddělena čárkou.

4.4.2 Simulace řezů v Rhinocerosu

Tvorba modelů

Pro simulace bylo vytvořeno šest modelů páрку a jeden model elektrochirurgické kličky z křivek, geometrických obrazců a těles. Při modelování párků byl kladen důraz na to, aby se jeden jeho konec tvarově blížil konci páрку, který byl v simulátoru řezán. Elektrochirurgická klička odpovídala rozměry elektrochirurgické kličce používané v simulátoru.

Modely párků se od sebe lišily průměry. Z naměřených průměrů párků použitých v simulátoru byl pro každý párek spočítán průměrný průměr (z průměru ze strany na stranu a z průměru shora dolů). Rozpětí průměrných průměrů bylo rozděleno na šest stejných intervalů. Každému intervalu odpovídal jeden model páрку. Průměr modelu páрку se rovnal průměru příslušného intervalu, konkrétní hodnoty jsou uvedeny v Tabulce 4.1

Tabulka 4.1: Rozdělení průměrů párků použitých v simulátoru do šesti intervalů a výpočet průměrů jednotlivých intervalů.

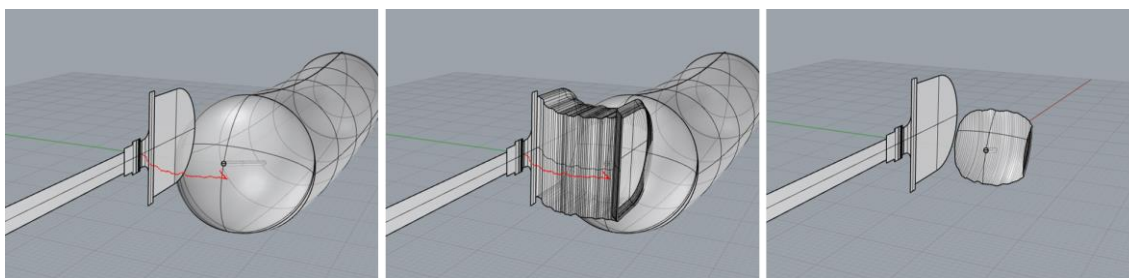
Intervaly průměrů párků (mm)	25,95–27,04	27,05–28,13	28,14–29,23	29,24–30,32	30,33–31,41	31,42–32,50
Průměr intervalu (mm)	26,50	27,59	28,68	29,77	30,86	31,95

Modely párků byly vytvářeny z *Potrubí se zaoblenými konci* zahnutého podle paraboly a z vhodně natočené *Elipsy* s využitím funkcí *Stříhat* a *Booleovské sjednocení*. Tím vznikl základní tvar páрку, do kterého byl následně vytvářen kruhový endocervikální kanál tažením kružnice o průměru 1 mm po vhodně orientované úsečce.

Model elektrochirurgické kličky, který je na Obr. 4.18, byl vytvořen pouze ve 2D, z rovinných obrazců, které byly následně příkazy *Rovinná plocha* a *Spojít* převedeny na spojenou plochu. Rozměry kličky přesně odpovídaly elektrochirurgické kličce BOWA 20x20, která byla při řezech v simulátoru používána. Řezací plocha kličky odpovídala vnitřní ploše reálné elektrochirurgické kličky (průměr drátku kličky byl 0,42 mm). Na modelu kličky byl i obrys zelené značky. Tato oblast byla rozdělena do několika obdélníků, čímž vznikly body, kterými se při simulaci řezu klička pohybovala po trajektorii.

Simulace řezu

Do Rhinocerosu byly importovány 3D body zrekonstruované trajektorie v podobě *Mraku bodů*. Po zadání příkazu *KřivkaSkrzeBody* byly všechny body kromě jednoho označeny a dvojitým stisknutím klávesy Enter byly propojeny polynomem 3. stupně. Příkazem *Přesunout* byla klička přesunuta na začátek trajektorie. Následoval příkaz *TáhnoutPoTrase*, po němž byla vybrána postupně řezací plocha kličky a trajektorie, po které se měla plocha pohybovat. Tím vznikl 3D objekt ve tvaru kličky, která opsala trajektorii skrz model páрку. Booleovskými funkcemi byl následně získán průsečík tohoto objektu a modelu páрку, tedy model konizátu. Postup získání konizátu je na Obr. 4.18.



Obr. 4.18: Jednotlivé kroky simulace řezu elektrochirurgickou kličkou skrz párek v Rhinocerosu. Na prvním a druhém obrázku je červeně označena vložená zrekonstruovaná trajektorie. Na třetím obrázku je získaný konizát.

Tím, že bylo na modelu kličky v oblasti značky několik bodů, kterými bylo možné kličku přichytit k počátku trajektorie, bylo možné částečně korigovat hloubku řezu. Cílem bylo, aby se model konizátu v první řadě svým objemem a tvarem a dále také výškou blížil k danému reálnému konizátu z parku. Pro porovnání tvaru byly použity fotografie pořízené během hodnocení konizátů z parků.

4.4.3 Hodnocení modelů konizátů

U vzniklých modelů konizátů byl příkazem *Objem* zjišťován jejich objem a využitím kót byla dále zjištěna také jejich délka a šířka. Hodnocení výkonu spočívalo v hodnocení symetrie vzniklého modelu konizátu.

Hodnocení symetrie bylo zvoleno na základě teorie, že v případě symetrické léze okolo endocervikálního kanálu, by měl být řez při jeho odstraňování také symetrický okolo endocervikálního kanálu, stejně jako vzniklý konizát. Hodnocení symetrie bylo realizováno v Rhinocerosu. Model konizátu byl ve středu endocervikálního kanálu vertikálně rozdělen na dvě poloviny a byly srovnávány objemy těchto polovin a také jejich tloušťky. Veškeré řezy, které byly simulovány v Rhinocerosu proběhly ve směru zleva doprava z pohledu účastníka měření (směr řezu bývá často uváděn vzhledem k pacientovi, v tom případě byly řezy prováděny na pacientovi zprava doleva). Přes symetrii modelu konizátu byla tedy hodnocena symetrie první a druhé poloviny řezu provedeného účastníkem měření. Byly provnávány objemy těchto polovin v procentech objemu celého konizátu. V rámci návrhu metody byla navrhována hranice 25 %. Pokud se od sebe objemy nebo tloušťky polovin konizátu lišily o více než 25 %, byl konizát označen jako nesymetrický. Tato hranice byla stanovena dohromady s odborníkem, s konzultantem této diplomové práce MUDr. Radovanem Turynou Ph.D.

4.5 Statistické zhodnocení

Získaná data o rozměrech konizátů z parků byla popsána popisnou statistikou v MS Excel. Dále bylo v R testováno několik hypotéz týkajících se objemů modelů konizátů a délek konizátů z parků s pozitivními a negativními okraji.

Pro různé skupiny hodnot objemů a délek konizátů z parků byly počítány průměry a směrodatné odchylky. Pro znázornění objemů, délek a pozitivit konizátů od jednoho účastníka byly použity sloupcové grafy. Ve sloupcových grafech byly pro porovnání zobrazeny i objemy reálných konizátů s objemy jejich modelů z Rhinocerosu.

4.5.1 Testování hypotéz

Byla testována odlišnost mezi modely a jim odpovídajícími reálnými konizáty. Odlišnost z hlediska objemu byla testována neparametrickým párovým Wilcoxon testem. Pro ověření normality dat, která v tomto případě nebyla splněna, byl použit Shapiro-Wilk test.

Hypotéza 0: Objemy modelů konizátů jsou stejné jako objemy reálných konizátů z párků.

Hypotéza 1: Objemy modelů konizátů nejsou stejné jako objemy reálných konizátů z párků.

Odlišnost modelů konizátů od reálných konizátů z parku z hlediska jejich délek byla testována Párovým t-testem. Pro ověření normality dat, která v tomto případě byla splněna, byl použit Shapiro-Wilk test a Kolmogorov-Smirnovův test.

Hypotéza 0: Délky modelů konizátů jsou stejné jako délky reálných konizátů z párků.

Hypotéza 2: Objemy modelů konizátů nejsou stejné jako objemy reálných konizátů z párků.

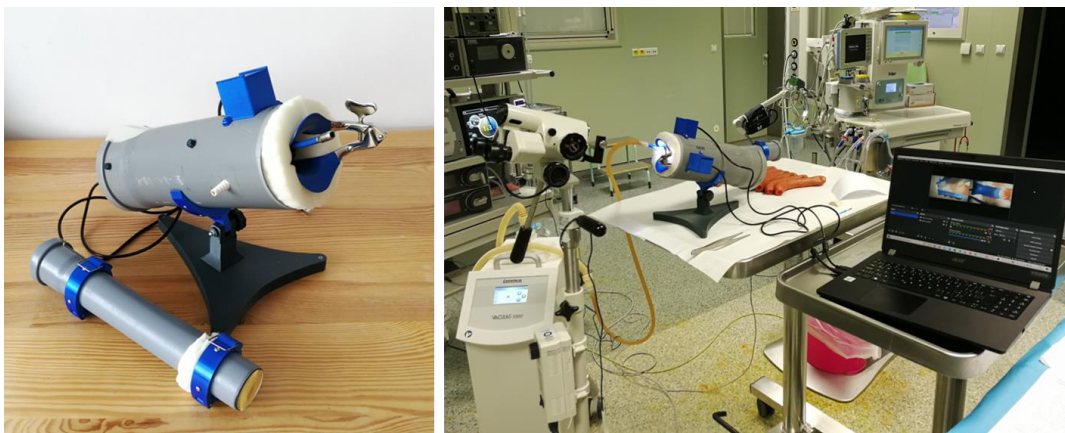
Testy byly prováděny na hladině významnosti $\alpha = 0,05$.

5 Výsledky

Tato kapitola je rozdělena do čtyř částí. První část se věnuje výslednému simulátoru, ve druhé jsou znázorněny výsledky pilotního měření. Ve třetí části jsou uvedeny modely konizátů a výsledky hodnocení jejich symetrie. Poslední část obsahuje výsledky testování hypotéz.

5.1 Simulátor

Následuje několik fotografií vytvořeného simulátoru.



Obr. 5.1: Výsledný simulátor. Vlevo základ simulátoru, vpravo simulátor připravený na operačním sále pro pilotní měření.



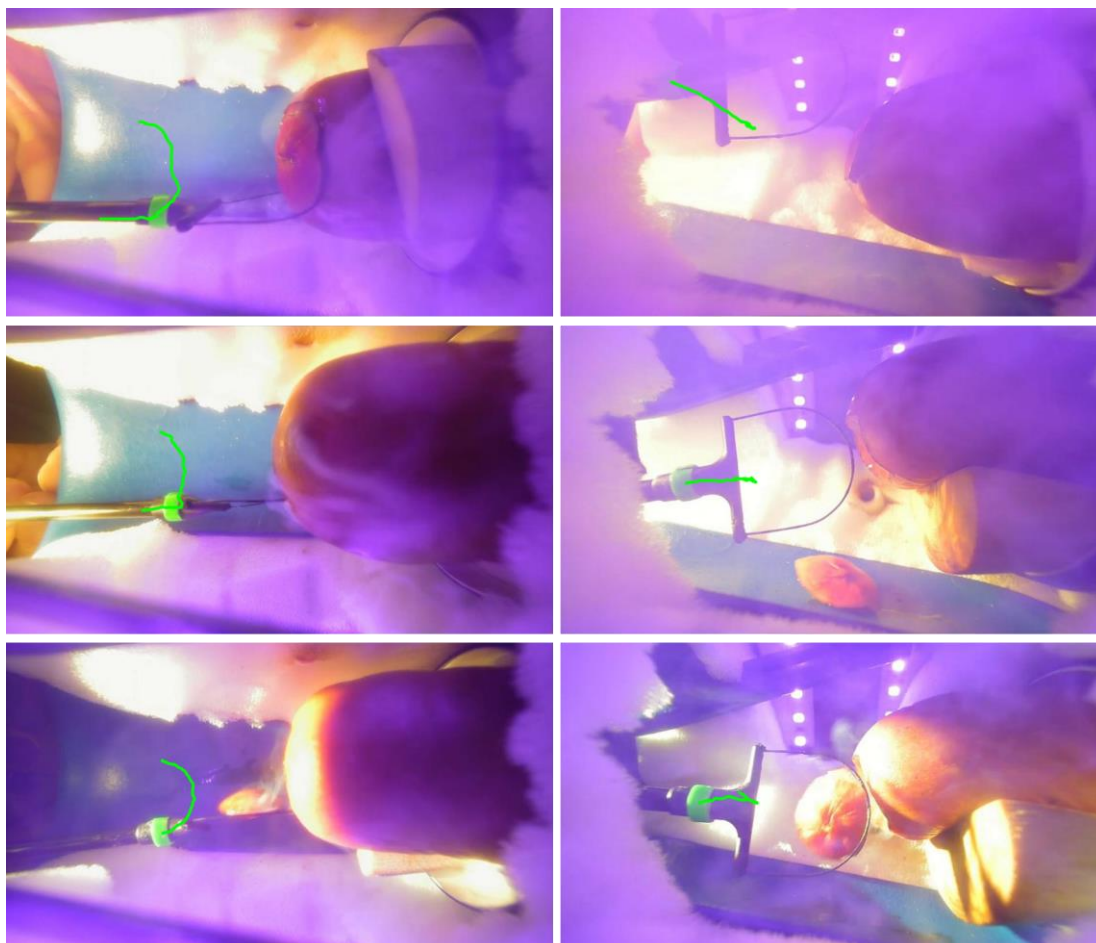
Obr. 5.2: Pohled do simulátoru skrz gynekologická zrcadla. Vpravo pohled přes kolposkop.



Obr.5.3: Pohled kamerami do simulátoru. Vlevo pohled horní kamerou, vpravo pohled kamerou ze strany.

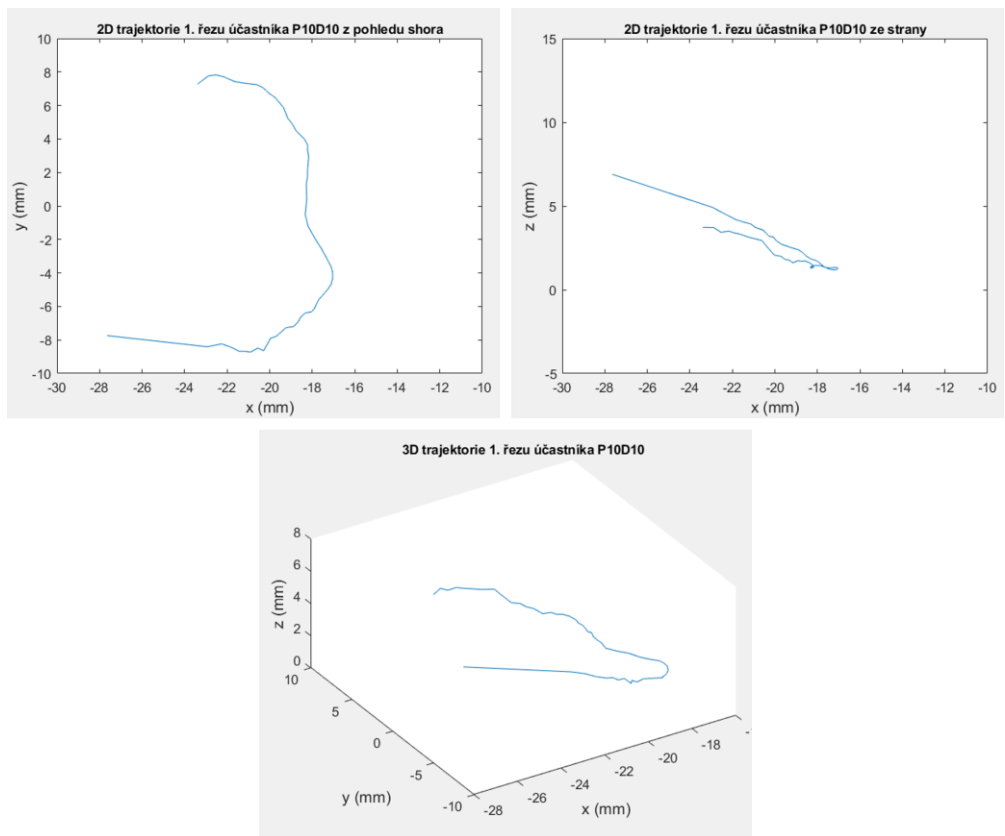
5.1.1 Rekonstrukce trajektorie

Z VideoLabeleru byly získány souřadnice pro 30 2D trajektorií. Účastníci byli v průběhu měření a zpracování označováni identifikátorem PxDx, kdy x je číslo od 2 do 10. Zrekonstruované trajektorie pocházejí ze dvou pilotních měření, od účastníků P8D8 a P10D10. Na Obr. 5.4 jsou uvedeny tři ukázky 2D souřadnic vykreslených na snímcích z průběhu daného řezu.

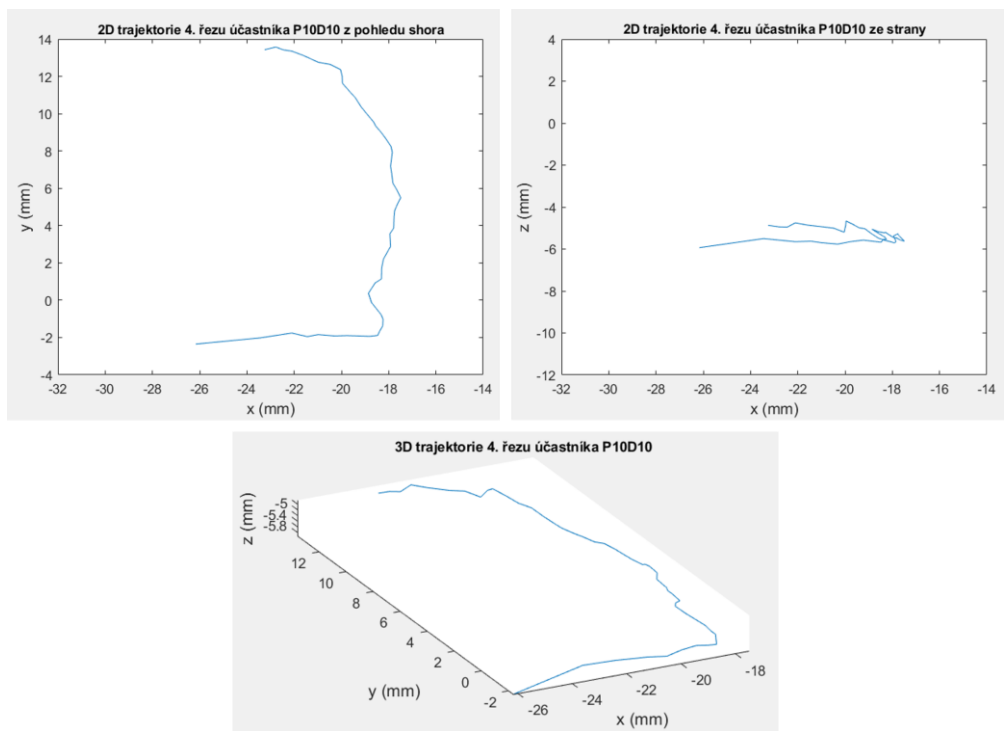


Obr. 5.4: Zrekonstruované 2D trajektorie vykreslené zeleně na snímcích z příslušného videa. Jedná se o snímky z (shora) 1., 4. a 7. řezu účastníka P10D10.

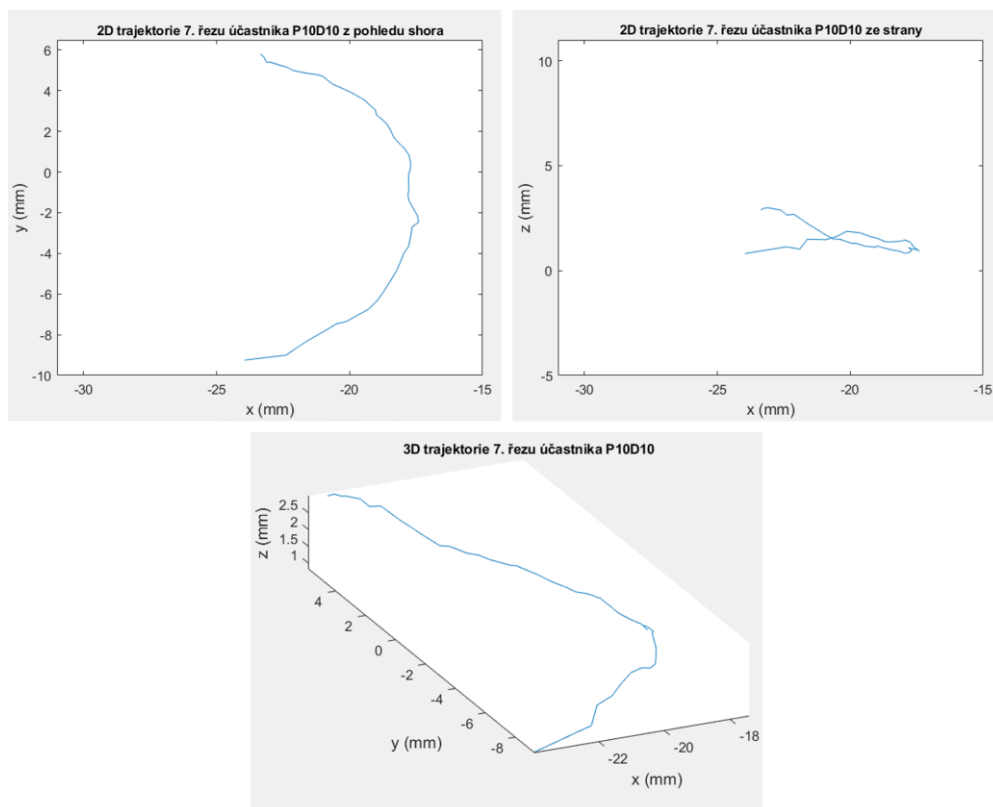
Na Obr. 5.5, 5.6 a 5.7 jsou uvedeny 2D a 3D grafy, ve kterých jsou vykresleny trajektorie z Obr. 5.4. Trajektorie jsou v podobě, ve které byly následně používány pro simulaci řezu v Rhinocerosu. V příloze D se nachází 15 textových souborů s takto upravenými 3D souřadnicemi trajektorií, je k nim přiložen skript z Matlabu *vykresleniTrajektorie.m*, ve kterém je možné tyto trajektorie vykreslit.



Obr. 5.5: Zrekonstruovaná trajektorie 1. řezu účastníka P10D10. Odpovídá trajektorii vykreslené na horních snímcích na Obr. 5.4.



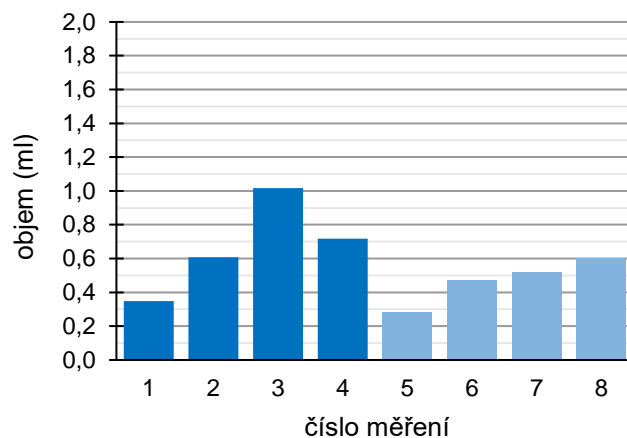
Obr. 5.6: Zrekonstruovaná trajektorie 4. řezu účastníka P10D10. Odpovídá trajektorii vykreslené na snímcích uprostřed na Obr. 5.4.



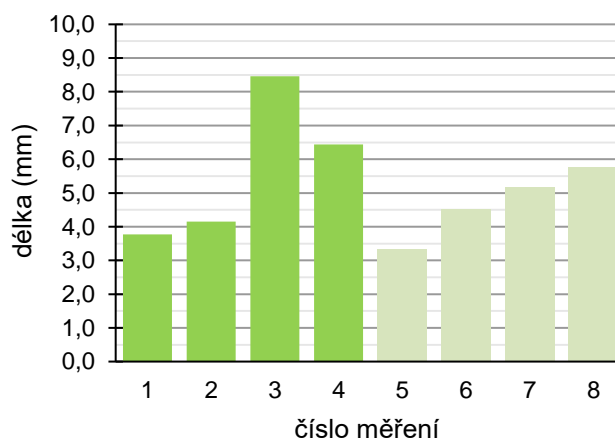
Obr. 5.7: Zrekonstruovaná trajektorie 7. řezu účastníka P10D10. Odpovídá trajektorii vykreslené na dolních snímcích na Obr. 5.4.

5.2 Výsledky pilotního měření

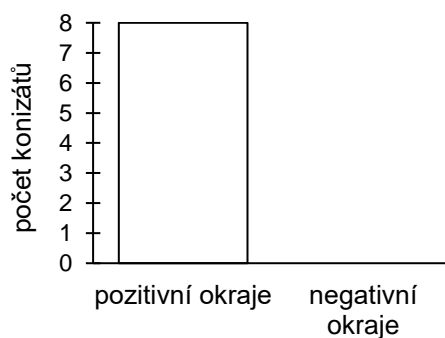
Na následujících stránkách jsou vyjádřeny hodnoty objemů a délek konizátů z devíti pilotních měření ve sloupcových grafech. Jsou uvedeny vždy tři, patřící k jednomu pilotnímu měření, respektive k jednomu účastníkovi. Na prvním grafu je zobrazen objem jednotlivých konizátů z osmi řezů a na druhém délka těchto konizátů. První čtyři hodnoty jsou v grafech vždy sytější barvou oproti dalším čtyřem hodnotám, sytější barva označuje konizáty, které byly vyříznuty bez použití kolposkopu. Na třetím grafu je vyjádřen počet pozitivních a negativních konizátů z daného měření. V příloze A jsou konkrétní hodnoty uvedeny v tabulkách i s dalšími informacemi o průběhu jednotlivých řezů.



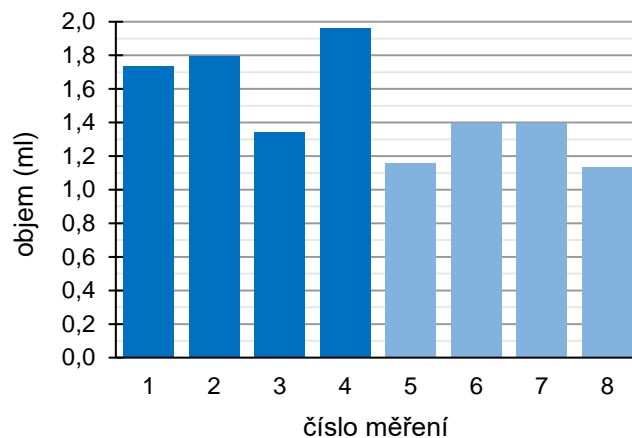
Obr. 5.8: Graf vyjadřující objemy konizátů z osmi řezů provedených na simulátoru účastníkem P2D2. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



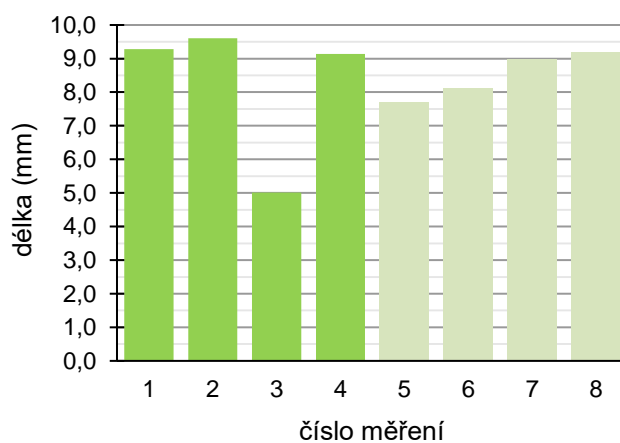
Obr. 5.9: Graf vyjadřující délky konizátů z osmi řezů provedených v rámci pilotního měření účastníkem P2D2. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



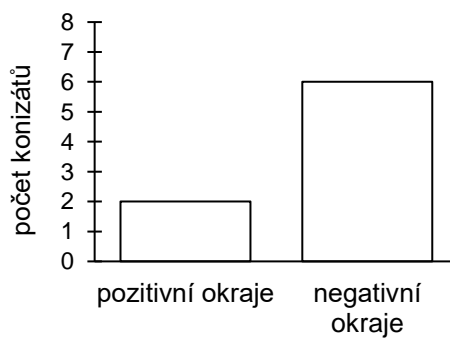
Obr. 5.10: Graf vyjadřující počet konizátů s pozitivními a negativními okraji z osmi konizátů od účastníka pilotního měření P2D2.



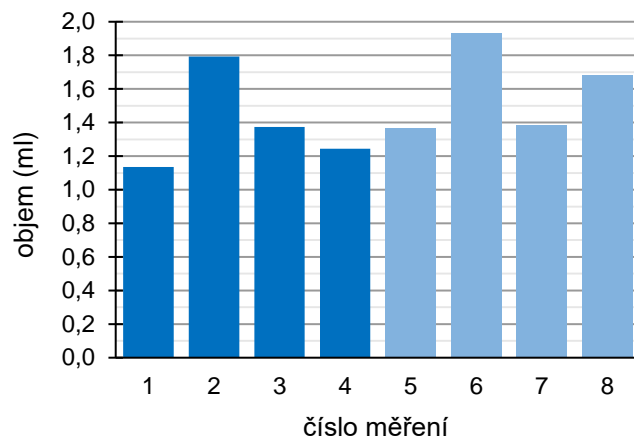
Obr. 5.11: Graf vyjadřující objemy konizátů z osmi řezů provedených na simulátoru účastníkem P3D3. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



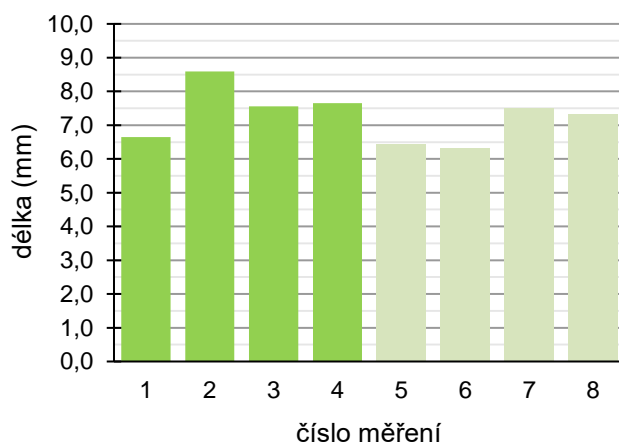
Obr. 5.12: Graf vyjadřující délky konizátů z osmi řezů provedených v rámci pilotního měření účastníkem P3D3. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



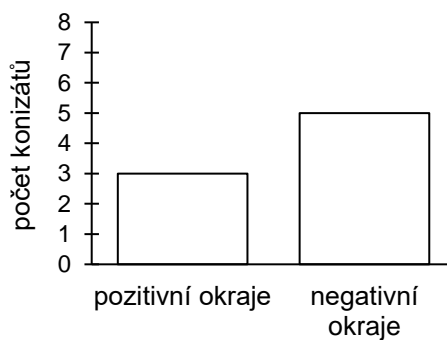
Obr. 5.13: Graf vyjadřující počet konizátů s pozitivními a negativními okraji z osmi konizátů od účastníka pilotního měření P3D3.



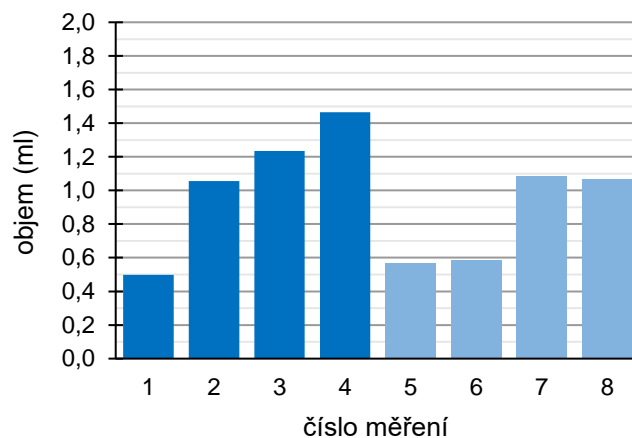
Obr. 5.14: Graf vyjadřující objemy konizátů z osmi řezů provedených na simulátoru účastníkem P7D7. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



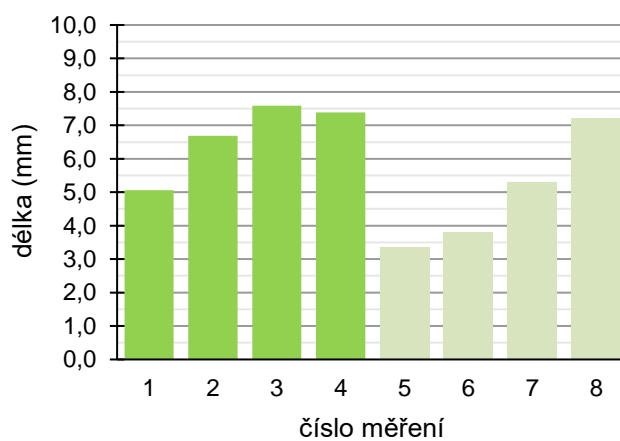
Obr. 5.15: Graf vyjadřující délky konizátů z osmi řezů provedených v rámci pilotního měření účastníkem P7D7. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



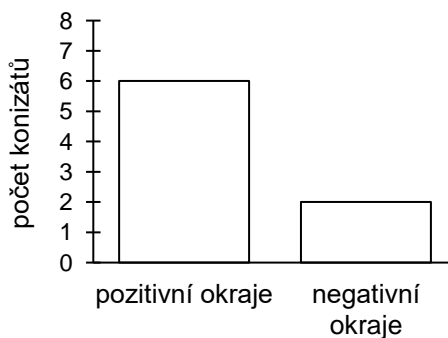
Obr. 5.16: Graf vyjadřující počet konizátů s pozitivními a negativními okraji z osmi konizátů od účastníka pilotního měření P7D7.



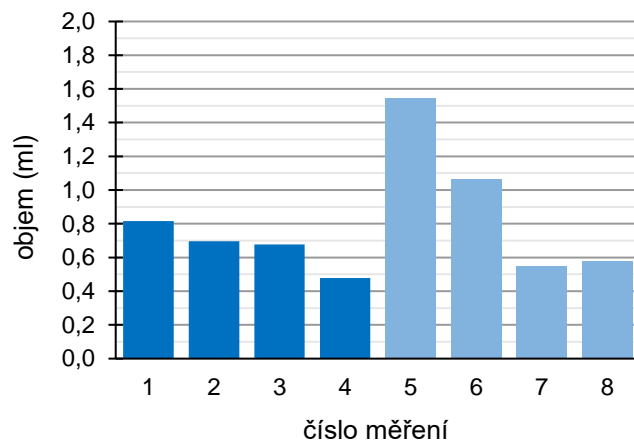
Obr. 5.17: Graf vyjadřující objemy konizátů z osmi řezů provedených na simulátoru účastníkem P9D9. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



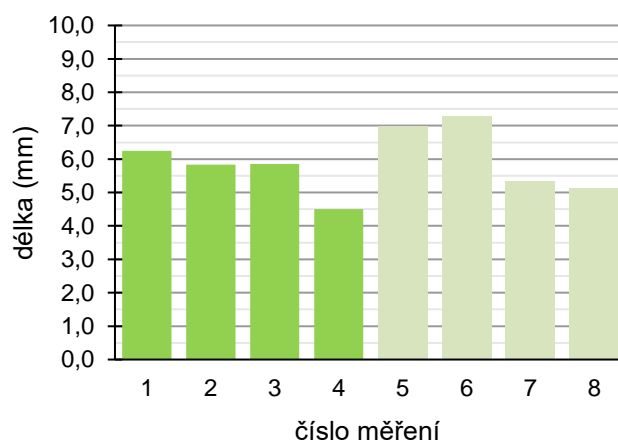
Obr. 5.18: Graf vyjadřující délky konizátů z osmi řezů provedených v rámci pilotního měření účastníkem P9D9. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



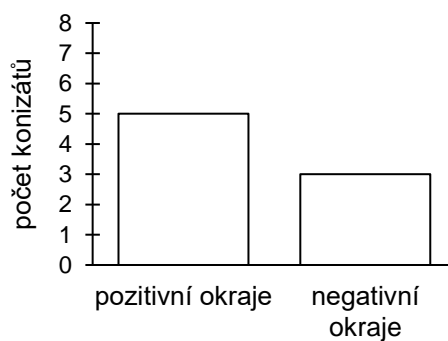
Obr. 5.19: Graf vyjadřující počet konizátů s pozitivními a negativními okraji z osmi konizátů od účastníka pilotního měření P9D9.



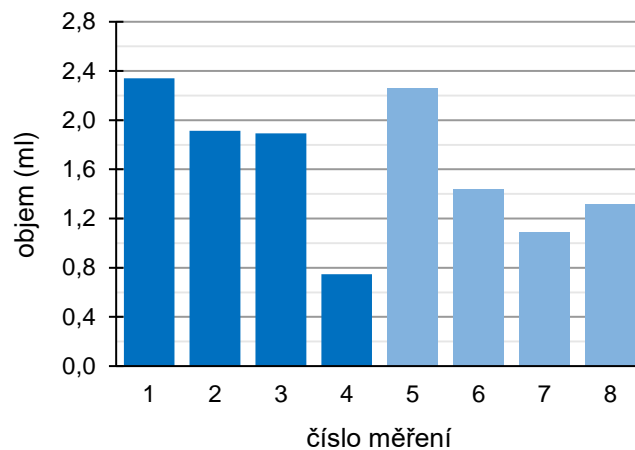
Obr. 5.20: Graf vyjadřující objemy konizátů z osmi řezů provedených na simulátoru účastníkem P10D10. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



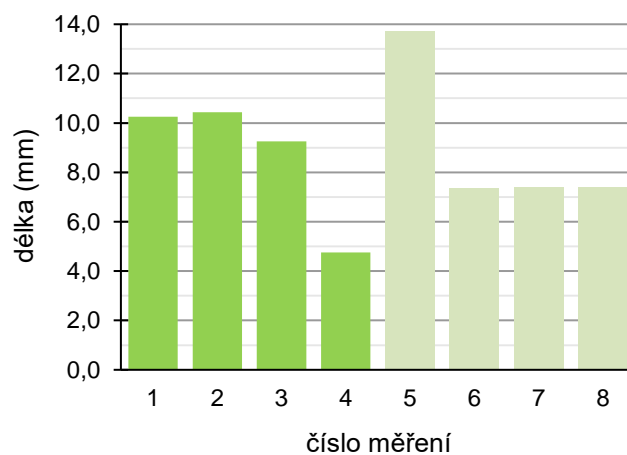
Obr. 5.21: Graf vyjadřující délky konizátů z osmi řezů provedených v rámci pilotního měření účastníkem P10D10. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



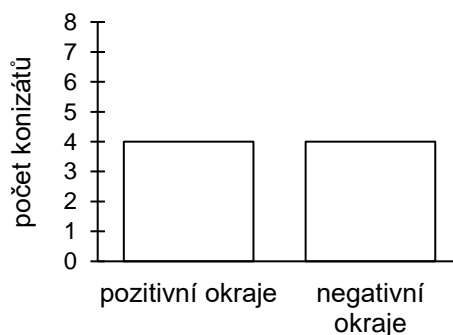
Obr. 5.22: Graf vyjadřující počet konizátů s pozitivními a negativními okraji z osmi konizátů od účastníka pilotního měření P10D10.



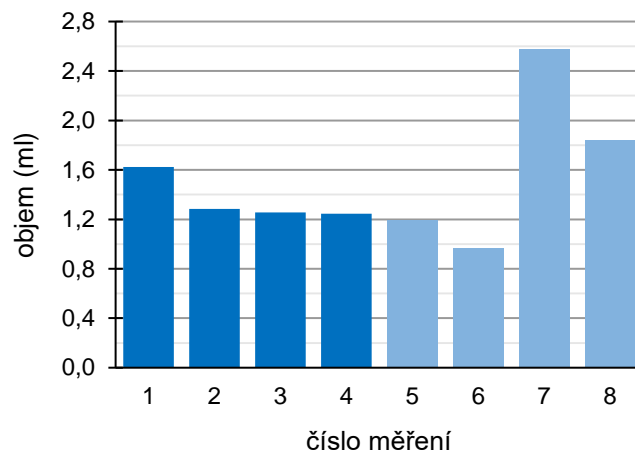
Obr. 5.23: Graf vyjadřující objemy konizátů z osmi řezů provedených na simulátoru účastníkem P4D4. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



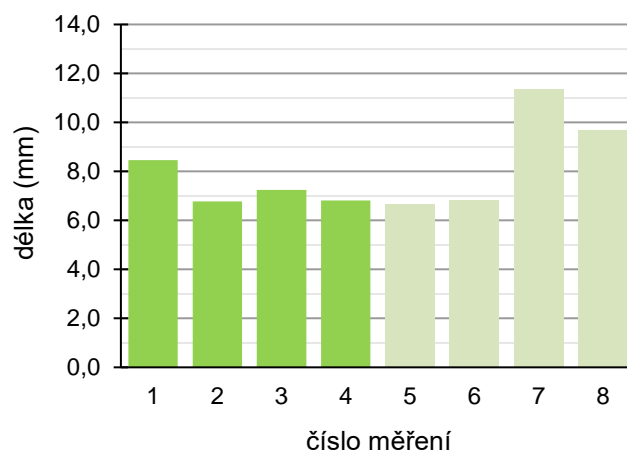
Obr. 5.24: Graf vyjadřující délky konizátů z osmi řezů provedených v rámci pilotního měření účastníkem P4D4. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



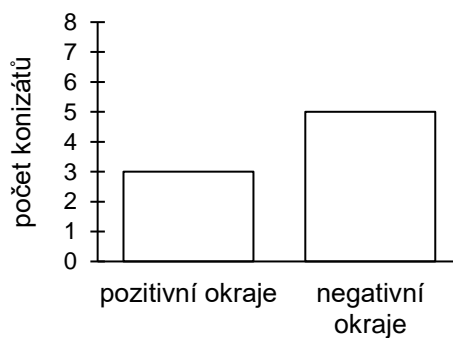
Obr. 5.25: Graf vyjadřující počet konizátů s pozitivními a negativními okraji z osmi konizátů od účastníka pilotního měření P4D4.



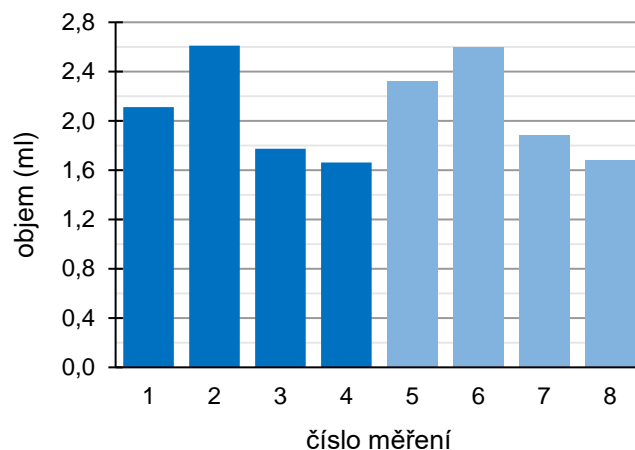
Obr. 5.26: Graf vyjadřující objemy konizátů z osmi řezů provedených na simulátoru účastníkem P5D5. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



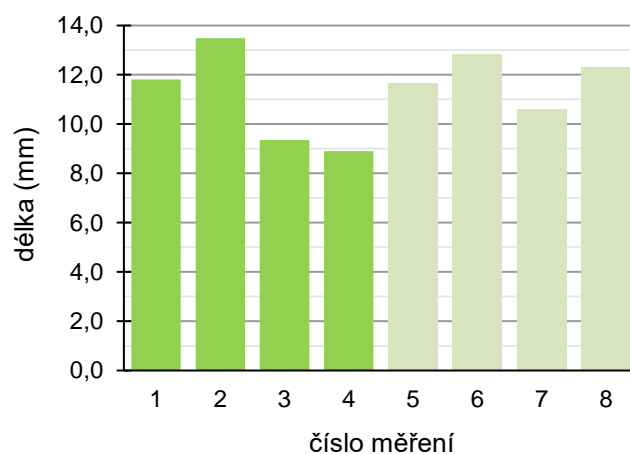
Obr. 5.27: Graf vyjadřující délky konizátů z osmi řezů provedených v rámci pilotního měření účastníkem P5D5. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



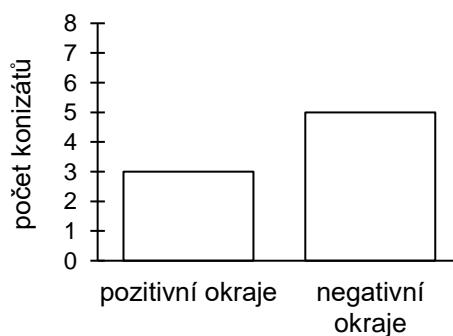
Obr. 5.28: Graf vyjadřující počet konizátů s pozitivními a negativními okraji z osmi konizátů od účastníka pilotního měření P5D5.



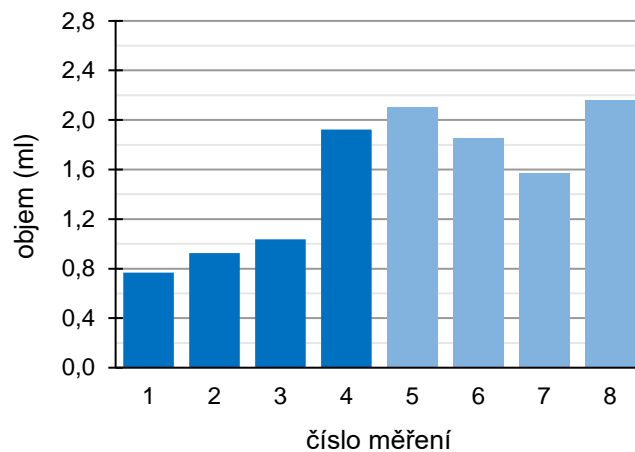
Obr. 5.29: Graf vyjadřující objemy konizátů z osmi řezů provedených na simulátoru účastníkem P6D6. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



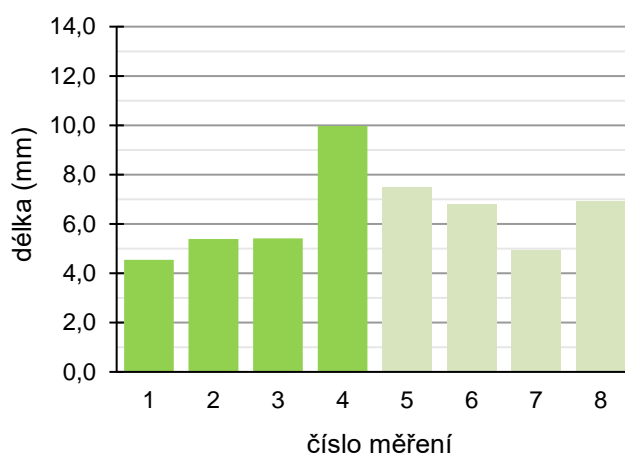
Obr. 5.30: Graf vyjadřující délky konizátů z osmi řezů provedených v rámci pilotního měření účastníkem P6D6. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



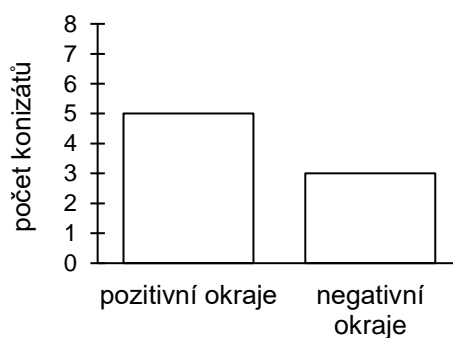
Obr. 5.31: Graf vyjadřující počet konizátů s pozitivními a negativními okraji z osmi konizátů od účastníka pilotního měření P6D6.



Obr. 5.32: Graf vyjadřující objemy konizátů z osmi řezů provedených na simulátoru účastníkem P8D8. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



Obr. 5.33: Graf vyjadřující délky konizátů z osmi řezů provedených v rámci pilotního měření účastníkem P8D8. Sytější barvou jsou znázorněny konizáty vyříznuté bez kolposkopu.



Obr. 5.34: Graf vyjadřující počet konizátů s pozitivními a negativními okraji z osmi konizátů od účastníka pilotního měření P8D8.

Pro jednotlivé účastníky byly počítány průměry a směrodatné odchylky objemů a délek konizátů. Tyto hodnoty jsou součástí tabulek v příloze A. V Tabulce 5.1 a 5.2 jsou uvedeny některé zajímavé hodnoty, které byly z naměřených dat také spočítány.

Tabulka 5.1: Průměry objemů a délek konizátů vyříznutých ženami a muži a celkové průměry těchto parametrů ze všech konizátů, které při pilotním měření vznikly.

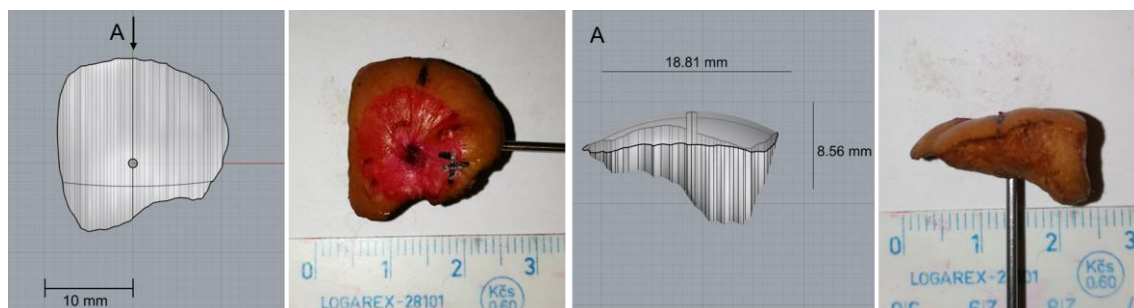
Pohlaví účastníků	Průměrný objem konizátů (ml)	Průměrný objem konizátů bez kolposkopu (ml)	Průměrný objem konizátů s kolposkopem (ml)
ženy	1,085	1,167	1,004
muži	1,653	1,485	1,820
celkový průměr	1,338	1,308	1,367
	Průměrná délka konizátů (mm)	Průměrná délka konizátů bez kolposkopu (mm)	Průměrná délka konizátů s kolposkopem (mm)
ženy	6,820	6,986	6,653
muži	8261	8,039	8,482
celkový průměr	7,460	7,454	7,466

Tabulka 5.2: Hodnocení účastníků rozdělených do skupin podle jejich zkušeností s metodou LLETZ. Ve skupině zkušených byli účastníci, kteří již provedli alespoň 20 reálných konizací metodou LLETZ. Ve skupině bez zkušeností byli účastníci, kteří provedli maximálně dvě reálné konizace metodou LLETZ.

	zkušení	bez zkušeností
Poměr počtu pozitivních konizátů vůči všem konizátům	24/40	15/32
Průměrný počet pozitivních konizátů v 8 řezech	4,8	3,75

5.3 Modely v Rhinocerosu

Simulacemi řezu ze simulátoru v modelovacím softwaru Rhinoceros bylo vytvořeno patnáct modelů konizátů. Následně jsou uvedeny dva modely konizátů ve srovnání s reálnými konizáty z párků. Zbylé modely jsou v příloze A.



Obr. 5.35: Porovnání modelu konizátu s reálným konizátem. Nejprve je konizát z pohledu zepředu. Poté shora, jak je znázorněno na prvním obrázku šipkou. Na reálném konizátu je možné vidět rysku na čísle 12. Jedná se o 7. konizát účastníka pilotního měření s identifikačním číslem P8D8.



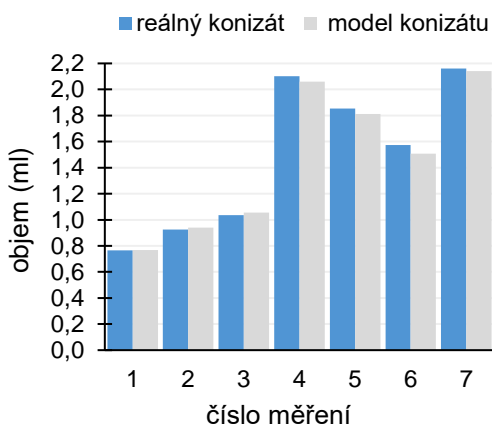
Obr. 5.36: Porovnání modelu konizátu s reálným konizátem. Nejprve je konizát z pohledu zepředu, následně shora, jak bylo vysvětleno u Obr. 5.35. Jedná se o 4. konizát od účastníka pilotního měření s identifikačním číslem P10D10.

Na modely byla aplikována navržená metoda pro hodnocení symetrie. Pro dva modely z Obr. 5.35 a Obr. 5.36 je hodnocení uvedeno v Tabulce 5.3, hodnocení všech patnácti modelů je uvedeno v Tabulce A.10 v příloze A. Hranice pro nesymetrii byla zvolena 25 %.

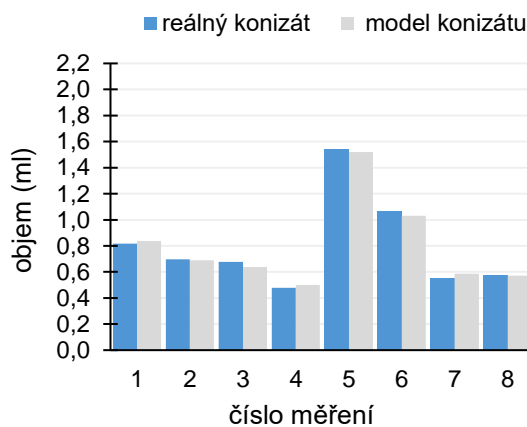
Tabulka 5.3: Hodnocení symetrie řezu podle navržené metodiky u dvou modelů konizátu z Obr. 5.35 a z Obr. 5.36.

Číslo konizátu	Objem (%)			Tloušťka (%)			Symetrie N/S
	L část	P část	rozdíl	L část	P část	rozdíl	
7. (P8D8)	63,93	36,07	27,85	44,07	55,93	11,86	N
2. (P10D10)	38,48	61,51	23,02	43,76	56,24	12,48	S

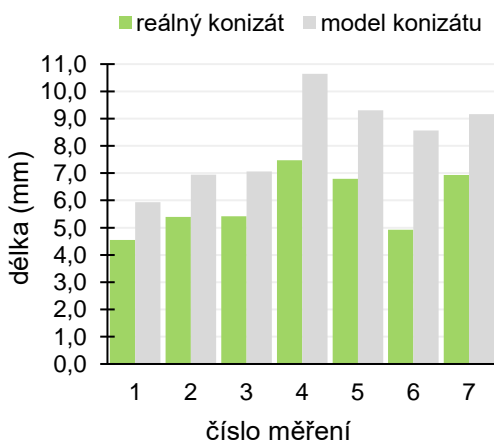
Byly také porovnány objemy a délky modelů konizátů s reálnými objemy a délkami příslušných konizátů. Porovnání je vyjádřeno v následujících grafech.



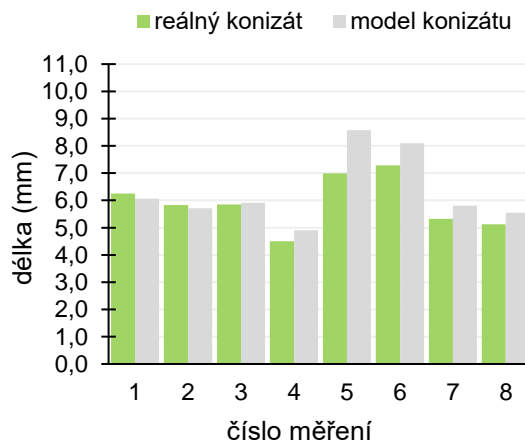
Obr. 5.37: Porovnání objemů mezi reálnými konizáty od účastníka P8D8 a jejich modely.



Obr. 5.38: Porovnání objemů mezi reálnými konizáty od účastníka P10D10 a jejich modely.



Obr. 5.39: Porovnání délek mezi reálnými konizáty od účastníka P8D8 a jejich modely.



Obr. 5.40: Porovnání délek mezi reálnými konizáty od účastníka P10D10 a jejich modely.

5.4 Statistické zhodnocení

Hodnocení modelů konizátů

Hypotéza 0: Objemy modelů konizátů jsou stejné jako objemy reálných konizátů z párků.

Hypotéza 1: Objemy modelů konizátů nejsou stejné jako objemy reálných konizátů z párků.

- Normalita dat
Shapiro-Wilk test: modely – $p = 0,04199$; reálné konizáty – $p = 0,04232$
- Použitý statistický test: Párový Wilcoxon test (neparametrický)
- p-hodnota testu: $p = 0,1688$
- Výsledek testu: $h = 0$; Nezamítáme nulovou hypotézu.

Hypotéza 0: Délky modelů konizátů jsou stejné jako délky reálných konizátů z párků.

Hypotéza 2: Délky modelů konizátů nejsou stejné jako délky reálných konizátů z párků.

- Normalita dat
Shapiro-Wilk test: modely – $p = 0,1816$; reálné konizáty – $p = 0,3265$
Kolmogorov-Smirnon test: modely – $p = 0,0587$; reálné konizáty – $p = 0,4219$
- Použitý statistický test: Párový t-test
- p-hodnota testu: $p = 0,0008047$
- Výsledek testu: $h \neq 0$; Zamítáme nulovou hypotézu.

6 Diskuze

Hlavním výstupem diplomové práce je simulátor pro nácvik konizace děložního čípku metodou LLETZ. Cvičné řezy uvnitř simulátoru je možné natáčet a z pořízených videí je následně možné rekonstruovat trajektorii vysokofrekvenční elektrochirurgické kličky v průběhu řezu. Zrekonstruované trajektorie je možné dále použít pro získání modelu konizátu. Bylo zjištěno, že modely konizátů se s reálnými konizáty shodují v objemech, ale v délkách se liší.

Diplomová práce se skládá ze čtyř hlavních částí, vývoje simulátoru, jeho konečné verze, pilotního měření provedeného na simulátoru a modelování konizátů v rámci hodnocení výkonu provedeného na simulátoru. Tyto části budou následně rozebírány.

6.1 Vývoj simulátoru

První verze simulátoru se světlem uvnitř

Odsávání kouře ručním vysavačem bylo znatelně lepší oproti předchozímu odsávání odsavačem pájecích zplodin. Umožňovalo nácvik konizace, nicméně kouř se v průběhu řezu v simulátoru hromadil a ke konci řezu lehce zhoršoval výhled člověka, který řez prováděl. Výrazně ale ovlivňoval obraz kamery. V některých částech videa z řezu nebyla zelená značka na elektrochirurgické značce téměř vidět. Kvůli tomu zamýšlená detekce zelené barvy značky na elektrochirurgické kličce nefungovala. Proto začal vývoj druhé verze, ve které byla pro záznam trajektorie elektrochirurgické kličky použita IR kamera. Kouř měl také specifický zápach. Tato verze byla testována pouze na Fakultě biomedicínského inženýrství (ČVUT).

Druhá verze simulátoru s IR kamerou

Video z IR kamery opravdu nebylo ovlivněno kouřem vznikajícím při řezu a bylo možné sledovat pohybující se rozžhavený drátek kličky. Ale pouze do té chvíle, dokud se klička nezařízla do párku. Přední část rozžhaveného drátku pak zmizela v tkáni a nebylo možné její řez tkání pozorovat. Párek se v místě probíhajícího řezu ohřál na teplotu blízkou teplotě kličky, tudíž v některých částech videa nebylo možné určit, kde se rozžhavený drátek v párku přesně nachází. Navíc mělo video z použité IR kamery poměrně nízké rozlišení. Jelikož párky byly do simulátoru vkládány chlazené, obrys párku byl na videu vidět velmi dobře. Pro nemožnost získání trajektorie elektrochirurgické kličky z videa z IR kamery bylo od jejího použití v simulátoru nakonec ustoupeno. Předtím byla tato verze testována i na operačním sále v ÚPMD, při tomto testování bylo zjištěno, že osvětlení vnitřku simulátoru LED páskem není dostatečné a neodpovídá realitě.

6.2 Konečná verze simulátoru

Na základě přání lékařů, aby mohli sklon simulátoru regulovat a různě si simulátor polohovat, byla konečná verze umístěna na stojan s možností aretace přes šroub. Stojan s trojúhelníkovou podstavou byl nejprve vytištěn pouze jako dva kusy z PLA filamentu stejně jako všechny ostatní části. Po pár aretacích simulátoru v dané poloze držák v místě utahování šroubu praskl. Tak vznikla nová podoba stojanu ze čtyř kusů. Byly u něj změněny i rozměry, aby bylo možné ho bez problému vytisknout na malé 3D tiskárně a aby byl jeho tisk jednodušší a výsledný sestavený stojan pevnější. Pro jistotu byl také zvolen jiný filament (PET-G). Zvolená šířka držáku 30 mm sice zajišťovala pevnost, nicméně špatně se sháněl šroub s držákem takových rozměrů, aby aretace fungovala bez problému. Většina šroubů byla dlouhá přesně 30 mm, tím pádem nedosáhly až do kloboukové matice z druhé strany držáku. Šířka držáku 28 mm by byla mnohem lepší.

Jelikož při návrhu konečné verze a při tisku součástí na 3D tiskárně nebylo počítáno s umístěním UV LED pásků dovnitř simulátoru, jsou kamery k velké trubce připevněny právě v místech, kde jsou umístěny UV LED pásy na chladiči. Do chladiče byly udělány výřezy v místech šroubů, nicméně pro konstrukci by bylo mnohem snazší připevnit boxy s kamerami k velké trubce v jiných místech. Například uprostřed stran boxu, nebo zepředu a zezadu boxu, nikoli v rozích boxu ze stran.

Molitan, který v přední části simulátoru představoval pochvu, dle lékařů dobře simuloval rozevírání tkáně gynekologickým zrcadlem. Nevýhodou jeho použití by mohlo být, že se ne moc dobře myje nebo čistí od mastnoty z uříznutých párků. Je možné, že při častějším a intenzivnějším používání by bylo nutné molitanové části měnit. V průběhu pilotních měření to ale nutné nebylo.

Klipové zavírání a otevírání malé odpadní trubky bylo mnohem rychlejší oproti zapínání na suchý zip. Zároveň se při zasunování a vysunování polokroužky nezadrhávaly o molitan v dutině, což se u předchozí verze malé otevírací trubky někdy stávalo. U nové verze bylo také možné malou trubku zcela otevřít. To usnadňovalo umístění párku dovnitř.

V průběhu pilotních měření byl nejprve párek dovnitř simulátoru umístěn pouze na základě zkušeností konzultanta této diplomové práce, pana MUDr. Radovana Turyny, Ph.D., a účastníků měření. Kvůli tomu, že se molitanový válec uvnitř velké trubky při každém vsunování a vysunování malé trubky s párkem pohyboval, nebylo možné nějakým jednoduchým způsobem pokaždé zajistit stejnou polohu párku uvnitř simulátoru. Správná anatomická poloha párku, coby děložního čípku, byla nakonec zajištěna připevněním molitanu k velké trubce a nakreslením rysek dovnitř simulátoru.

Párek jako náhrada děložního čípku

Výběr vhodného párku pro použití do simulátoru trval poměrně dlouhou dobu. Jako náhrada děložního čípku byl zvolen na začátku této práce a nebyl tedy testován jiný

materiál. Párek byl zvolen pro jeho tvar, zároveň byl výběr inspirován jinými simulátory pro nácvik konizace děložního čípku uvedenými v podkapitole 2.7.2 této práce, například [90], [84]. V průběhu pilotních měření bylo zjišťováno, jaká orientace párku (zahnutý nahoru nebo dolů) přijde účastníkům – lékařům – blíže realitě, jejich názory se ale rozcházely.

Ačkoli naprostá většina použitých párků ze simulátoru byla po měřeních dále zpracována pro přípravu jídla, použití jednoho párku pro jeden řez nebylo optimální ani dlouhodobě udržitelné řešení. Jakým způsobem by bylo možné toto optimalizovat bude předmětem dalšího vývoje a používání sestaveného simulátoru. Z důvodu, že byly párky následně konzumovány, bylo pro označování endocervikálního kanálu používáno potravinářské barvivo a léze byla kreslena červeným lihovým fixem zvenku, na vepřové střevo párku. Ačkoli ve skutečnosti léze na děložním čípku po aplikaci roztoku kyseliny octové zbledá. Bylo uvažováno i použití bílé akrylové barvy, to bylo ale mimo jiné z důvodu následné konzumace párků a pro její tekutost vyloučeno. I červeně označená léze byla na párku uvnitř osvětleného simulátoru dobře vidět.

Kouř v simulátoru

Kouř vznikající při řezu elektrochirurgickou kličkou skrz párek byl v průběhu vývoje, testování a pilotních měření nejslabším místem celého simulátoru. A v rámci této práce se nepodařilo nalézt způsob, jak jej ze simulátoru dokonale odsávat. Konečná verze, ve které byl kouř odsáván přímo z molitanové dutiny ze strany simulátoru, byl zatím nejlepším nalezeným řešením. Pro samotný nácvik konizace bylo toto řešení plně funkční. Z pohledu lékaře kouř nikterak nezhoršoval viditelnost v simulátoru v průběhu řezu. Navíc odsávání ze strany simulátoru bylo mnohem účinnější než předchozí varianty. Odsáváním ze strany se podařilo zcela odstranit lehký zápach spáleného masa, který byl předtím na operačním sále při pilotních měřeních cítit. Kouř v simulátoru byl tedy u konečné verze problémem pouze z hlediska detekce elektrochirurgické kličky na videích ze simulátoru. Slabý kouř osvětlený silným světlem se na videích stával v krajních případech až neprůhledným.

Předmětem dalšího vývoje simulátoru by mohlo být testování jiných možností odsávání kouře (například z více míst zároveň). Další možností řešení problému s kouřem na videích by mohlo být pokusit se z videa odstranit kouř předtím, než na něm proběhne detekce. Odstraňování kouře z videa je řešeno u laparoskopických operací, existuje mnoho různých metod pro odstranění kouře v průběhu laparoskopických operací a tímto tématem se zabývá mnoho studií, v posledních letech například tyto [110], [111], [112].

Rekonstrukce trajektorie

Pro přesnější kalibraci by dle návodu [113] neměly být použity snímky, na kterých kalibrační vzor svírá s rovinou kamery větší úhel, než je 45°. Splnit toto doporučení však v případě umístění dvou kamer pootočených o 90° téměř není možné. Pro kalibraci tedy

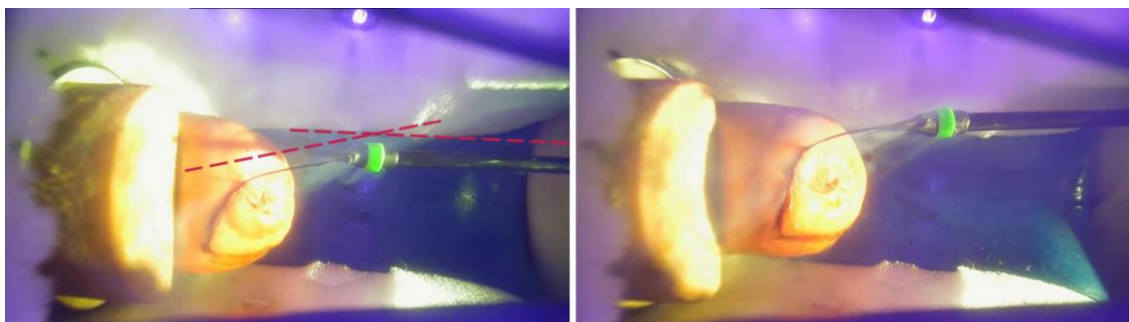
byly použity dvojice snímků, kdy vždy na jednom z nich kalibrační vzor svíral s rovinou kamery větší úhel. Dle uvedeného návodu je ale hodnota chyby reprojekce (reprojection error) nižší než 1 pixel v pořádku. Maximální hodnota chyby reprojekce byla 0,55 pixelů.

Původně zamýšlená detekce na základě detekování barvy značky na jednotlivých snímcích videa fungovala pouze při ideálních podmínkách, tedy bez kouře a s ne příliš silným osvětlením vnitřku simulátoru. Po přidání UV LED pásků do simulátoru a označení kličky barvou, která pod UV zářila, sice částečně fungovala, ale obvykle byla detekována pouze část značky. V různých snímcích videa různá část značky, tudíž by získané souřadnice elektrochirurgické kličky touto metodou byly hodně nepřesné, proto byla pro detekci použita aplikace VideoLabeler.

V některých případech byla automatická detekce dokonalá a nebylo nutné nic opravovat. V jiných byla nutná rozsáhlá manuální úprava nebo přímo manuální označování zelené značky na kličky v části videa. K přerušení detekce docházelo nejčastěji když byla značka na snímku z videa překryta kouřem. Manuální označování bylo časově poměrně náročné, jistě nebylo dokonalé a detekce nebyla přesná. Nepřesnosti měly být částečně sníženy použitím středu obdélníkových označení jako souřadnic zelené značky.

Ne vždy byly získané souřadnice značky z videa shora a z videa ze strany svým umístěním přesně ve středu značky. Byla tedy snaha alespoň o to, aby se nacházely ve stejné oblasti značky. Metoda triangulace jinak fungovala bez problémů a výsledné 3D trajektorie tvarově odpovídaly reálným konizátům.

Obtížné někdy bylo posunout trajektorii správně vzhledem k páрку, aby následně po vložení do Rhinocerosu její umístění odpovídalo a vznikaly modely konizátů se stejně umístěným endocervikálním kanálem, jako u skutečných konizátů. V některých případech byl totiž drátek v tkáni velmi ohnutý a pozice rukojeti kličky a špičky drátku, kterou probíhal řez, se ve směru osy y velmi lišila. Což je zajímavé zjištění nebo potvrzení teorie o tom, jak se drátek v tkáni při řezu chová. A proč mívají některé konizáty z jedné strany typicky seříznutý tvar. Na Obr. 6.1 jsou uvedeny dva takové případy. Zároveň je tedy také zřejmé, že pro získání kontroly nad elektrochirurgickou kličkou při řezu tkání jsou potřeba určité zkušenosti s metodou LLETZ. Další problém při posouvání trajektorie byl, že se v některých případech párek v průběhu řezu působením elektrochirurgické kličky pohyboval ve směru řezu.



Obr. 6.1: Snímky ze simulátoru, na kterých je patrné zpoždění drátku a jeho ohnutí v tkáni. Na levém snímku je naznačen rozdíl ve sklonu rukojeti elektrochirurgické kličky a drátku elektrochirurgické kličky. Na obou snímcích je vidět seříznutý tvar, který výsledný konizát bude mít.

6.3 Pilotní měření

Účastníci pilotního měření hodnotili simulátor velmi kladně a projevíli zájem o další nácviky na simulátoru. Všichni účastníci si na simulátoru poprvé vyzkoušeli konizaci pod kolposkopem a někteří následně začali používat kolposkop i při reálných konizacích děložního čípku.

Při pilotních měřeních bylo odhaleno několik nedostatků simulátoru a dalších věcí, na které je potřeba si dát pozor. Například bylo zjištěno, že je nutné poměrně často otírat objektiv horní kamery v simulátoru, jinak je její obraz rozmazaný. Bude to nejspíše ulpíváním zplodin z kouře na objektivu kamery. Do budoucna by mohlo být před objektiv umístěno nějaké ochranné sklo. Mezi jednotlivými řezy v simulátoru byly určité časové prodlevy, během kterých bylo nutné označit vzniklý konizát na pozici 12, vyndat uříznutý párek ze simulátoru, přelepit pasivní elektrodu na nový párek, umístit nový párek do simulátoru a vyčistit elektrochirurgickou kličku. Pokud by v budoucnu probíhalo další měření v nějakém větším rozsahu, bude nutné zamyslet se nad tím, jak postup při měření urychlit či zjednodušit.

Během pilotních měření bylo také zjištěno, že se elektrochirurgická klička od výrobce BOWA v rukojeti od stejného výrobce při řezu protáčí. Dále byly používány rukojeti jiných výrobců. V průběhu pilotních měření dvakrát přestal fungovat pedál, kterým lékař ovládá elektrochirurgickou jednotku. V jednom případě po jeho odpojení a připojení k elektrochirurgické jednotce opět fungoval a v dalším případě bylo možné půjčit jiný pedál z druhého sálu.

Hodnocení

V rámci pilotních měření dostali všichni účastníci jediný úkol, vyříznout červenou lézi symetrickou okolo endocervikálního kanálu o rozměrech 15 mm. Po rozdělení účastníků na dvě skupiny, podle zkušeností s metodou LLETZ, vyšel průměrný počet pozitivních konizátů u skupiny zkušených 5 (4,8) konizátů z 8 řezů, u skupiny účastníků s téměř nulovými zkušenostmi vyšel průměrný počet pozitivních konizátů 4 (3,75) z 8.

Dle očekávání vyřízl nejzkušenější účastník měření nejméně pozitivních konizátů (2) ze všech účastníků. Zajímavým zjištěním z hodnocení konizátů z párků bylo například také to, že konizáty, které byly vyříznuty muži, měly průměrný objem 1,653 ml, oproti tomu průměrný objem konizátů vyříznutých ženami byl 1,085 ml.

Z celkem 72 konizátů bylo 39 pozitivních, je tedy otázka, zda nebyl zvolen příliš velký rozměr léze, vzhledem k rozměrům použité kličky, a zadaný úkol nebyl pro účastníky příliš obtížný. Šířka kličky byla 20 mm. Jelikož byla léze označena pouze na povrchu páрку, mohla být hodnocena pozitivita jen u ektocervikálních okrajů. Možnost označit lézi i uvnitř páрку, nebo ji alespoň nějakým způsobem přesně vyznačit v endocervikálním kanálu by mohla být předmětem dalšího zdokonalování simulátoru.

6.4 Modely konizátů a návrh metodiky hodnocení

3D modely konizátů vytvořené v Rhinocerosu se vzhledově víceméně podobaly reálným konizátům, především při pohledu shora. Při jejich tvorbě byl stanoven cíl, aby se jejich objemy co nejvíce blížily objemům odpovídajícím reálným konizátům. Toto bylo dodrženo. A také statisticky ověřeno. Při odpovídajících objemech se však délky modelů oproti délkám reálných konizátů lišily.

Vytvořené konizáty byly obvykle užší oproti reálným. Což lze nejspíše vysvětlit tím, že pro získání modelu byla použita trajektorie konce rukojeti elektrochirurgické kličky, nikoli trajektorie špičky drátku elektrochirurgické kličky, který řeže tkáň. V některých případech se ale tyto dvě trajektorie nemusely lišit. Problém nejspíše nastával ve chvíli, kdy bylo kličkou v průběhu řezu rotováno, nebo se drátek kličky v páрку výrazně ohnul, jak bylo vidět na Obr. 6.1.

Získání modelů nebylo tak jednoduché, jak bylo původně předpokládáno. Jen v některých případech stačilo pouze nastavit pár základních parametrů a jedním příkazem vznikl konizát, který se blížil skutečnému. Často bylo nutné opakovaně upravovat sklon modelu páрку, sklon kličky a ve výjimečných případech i polohu trajektorie. Bez fotografie a znalosti rozměrů příslušného reálného konizátu by velká část vytvořených modelů nemohla vzniknout. Možnost zrekonstruovat model konizátu byla zajímavá, nicméně pro časovou náročnost a velké množství nepřesností bylo usouzeno, že při budoucích nácvicích konizace děložního čípku na simulátoru nebudou tvořeny modely pro každý řez.

S tím souvisí i návrh hodnocení symetrie podle objemů a tlouštěk vytvořených modelů. Hranice 25 % byla navržena MUDr. Turynou, Ph.D. na základě jeho 30letých zkušeností. Tato hranice byla testována na vytvořených 15 modelech. Jako nesymetrické byly klasifikovány 2 z nich, které byly ve skutečnosti velmi nesymetrické. Dalo by se říci, že hodnocení odpovídalo realitě. Nicméně testování proběhlo na velmi malém vzorku. Aby byla hranice opravdu správně nastavena, musely by zřejmě proběhnout konzultace s patologií a dalšími odborníky. Vzhledem ke komplikacím při detekci kličky,

k průběhu a k výsledkům tvorby 3D modelů konizátů tato metoda nebyla dále rozvíjena a nebude používána pro budoucí hodnocení výkonů na simulátoru. Možnost zobrazení 3D trajektorie elektrochirurgické kličky by ale mohla být při nácviku konizace přínosná. V budoucnu tedy bude snaha o zlepšení a zrychlení rekonstrukce 3D trajektorie.

Limitací této práce je především nedokonalé odsávání kouře z dutiny simulátoru. Čímž je limitována kvalita detekce značky na elektrochirurgické kličce, a tedy následně i rekonstrukce trajektorie a tvorba modelů konizátů. Další limitací je závislost na tvaru použitého párku uvnitř simulátoru. Přesnost vytvořeného 3D modelu konizátu závisí na detekované trajektorii, jejíž přesnost zase závisí na tom, jak se klička uvnitř simulátoru pohybuje. Jestli je natáčena a jak moc je drátek elektrochirurgické kličky v párku ohnutý či deformovaný. Další podstatnou limitací této práce je možnost provádění nácviků konizace na simulátoru pouze na operačním sále, kde se nachází potřebné vybavení.

7 Závěr

V rámci diplomové práce byl zkonstruován simulátor umožňující nácvik konizace děložního čípku metodou LLETZ. Jako náhrada děložního čípku byl použit párek, tělo simulátoru bylo tvořeno velkou HTEM trubkou s molitanem uvnitř. Přístrojová část, která byla v rámci simulátoru používána, byla tvořena elektrochirurgickou jednotkou, elektrochirurgickou klíčkou, neutrální elektrodou a odsávačem kouře.

Jeho funkčnost byla ověřena devíti pilotními měřeními realizovanými na operačním sále v ÚPMD. Pilotních měření se zúčastnilo osm lékařů z ÚPMD a jeden medik. Účastníci hodnotili simulátor velmi pozitivně a projevíli zájem o možnost dalších nácviků. Po vyzkoušení konizace děložního čípku pod kolposkopem na simulátoru někteří lékaři začali používat kolposkop i při reálných konizacích.

V simulátoru byly umístěny dvě kamery, kterými byly jednotlivé řezy v simulátoru natáčeny. V konečné verzi simulátoru bylo možné z těchto videí rekonstruovat 3D trajektorii značky, kterou byla označena elektrochirurgická klíčka. Zrekonstruovaná trajektorie byla dále využita pro simulaci řezu v modelovacím prostředí Rhinoceros, kterou vzniklo 15 modelů konizátů. Modely konizátů se vzhledově ve většině případů více či méně podobaly odpovídajícím reálným konizátům. Měly podobný objem, ale jejich délka reálným konizátům neodpovídala. Toto bylo statisticky ověřeno.

Výkony při pilotních měřeních byly hodnoceny postupem odpovídajícím hodnocení reálných konizátů při histopatologickém vyšetření. Na 15 z nich byla také aplikována metoda hodnocení navržená v rámci této práce. Tato metoda byla založena na hodnocení symetrie vzniklého modelu konizátu. Pro řadu nepřesností v průběhu tvorby modelu konizátu, nutnost manuálních úprav a pro časovou náročnost se ale tato metoda nakonec nejevila jako vhodná. Bylo dosaženo všech cílů stanovených v této práci.

Seznam použité literatury

- [1] BRUNI, L., G ALBERO a B. SERRANO. Human Papillomavirus and Related Diseases in Europe: Summary Report. *ICO/IARC Information Centre on HPV and Cancer: HPV Information Centre* [online]. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://hpvcentre.net/statistics/reports/XEX.pdf>
- [2] NOEHR, Bugge, Allan JENSEN, Kirsten FREDERIKSEN, Ann TABOR a Susanne K. KJAER. Depth of Cervical Cone Removed by Loop Electrosurgical Excision Procedure and Subsequent Risk of Spontaneous Preterm Delivery. *Obstetrics & Gynecology* [online]. 2009, **114**(6), 1232-1238 [cit. 2023-04-09]. ISSN 0029-7844. Dostupné z: [doi:10.1097/AOG.0b013e3181bf1ef2](https://doi.org/10.1097/AOG.0b013e3181bf1ef2)
- [3] PANELLI, Danielle M., Rachel L. WOOD, Kevin M. ELIAS, *et al.* The Loop Electrosurgical Excision Procedure and Cone Conundrum: The Role of Cumulative Excised Depth in Predicting Preterm Birth. *American Journal of Perinatology Reports* [online]. 2022, **12**(01), 41-48 [cit. 2023-04-09]. ISSN 2157-6998. Dostupné z: [doi:10.1055/s-0041-1742271](https://doi.org/10.1055/s-0041-1742271)
- [4] NWANODI, Oroma. Simulation in General Obstetrics and Gynecology. *Journal of Womens Health, Issues and Care* [online]. 2017, **06**(01) [cit. 2023-04-20]. ISSN 23259795. Dostupné z: [doi:http://dx.doi.org/10.4172/2325-9795.1000261](http://dx.doi.org/10.4172/2325-9795.1000261)
- [5] SELÇUK, İlker, Burak ERSAK a Mutlu UMAROĞLU. The impact of Loop Electrosurgical Excision Procedure and cold-knife conization training model on the surgical skills and confidence level. *Turk J Obstet Gynecol.* [online]. 2020, **17**(2), 133-138 [cit. 2021-06-09]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.4274/tjod.galenos.2020.25675](https://doi.org/10.4274/tjod.galenos.2020.25675)
- [6] WILSON, Erin, Sarah JANSSENS, Dora NG, Brian JOLLY, David G. HEWETT a Michael BECKMANN. Trainee Performance in Loop Electrosurgical Excision Procedure (LEEP) After Simulation Training. *Journal of Lower Genital Tract Disease* [online]. 2019, **23**(1), 28-32 [cit. 2023-04-19]. ISSN 1526-0976. Dostupné z: [doi:10.1097/LGT.0000000000000443](https://doi.org/10.1097/LGT.0000000000000443)
- [7] Chapter 2. Anatomy of the uterine cervix and the transformation zone. In: PRENDIVILLE, W. a R. SANKARANARAYANAN. *Colposcopy and Treatment of Cervical Precancer: IARC Technical Report, No. 45* [online]. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2017, s. 13 - 21

- [cit. 2023-03-08]. ISBN 978-92-832-2459-4. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK568392/>
- [8] ČIHÁK, Radomír. *ANATOMIE 2: Třetí, upravené a doplněné vydání*. 3. Praha: Grada Publishing, a. s., 2013. ISBN 978-80-247-4788-0.
- [9] GEMER, O., M. HUERTA a A. SIMONOVSKY. Diameter-by-Age Reference Curves for the Uterine Cervix by Computerized Tomography. *Journal of Computer Assisted Tomography* [online]. 2009, **33**(3), 405-407 [cit. 2023-03-14]. Dostupné z: doi:10.1097/RCT.0b013e318185f4d4
- [10] Chapter 1: An introduction to the anatomy of the uterine cervix. In: SELLORS, J. W. a R. SANKARANARAYANAN. *Colposcopy and Treatment of Cervical Intraepithelial Neoplasia: A Beginners' Manual* [online]. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer, 2003, s. 1-12 [cit. 2023-03-09]. ISBN 92-832-2423-X. Dostupné z: <https://screening.iarc.fr/colpochap.php?lang=1>
- [11] HARVEY, Marie-Andrée. The size of the cervix and its relationship with age and parity. *Urogynaecologia International Journal* [online]. 2016, **29**(171) [cit. 2022-06-16]. Dostupné z: doi:http://dx.doi.org/10.4081/uj.2016.171
- [12] TURÝNA, Radovan a Jiří SLÁMA. *Kolposkopie děložního hrdla*. První vydání. Praha 5, Na Bělidle 34: Galén, 2010. ISBN 978-80-7262-679-3.
- [13] NCI Dictionary of Cancer Terms: transformation zone. In: *National Cancer Institute* [online]. [cit. 2023-03-13]. Dostupné z: <https://www.cancer.gov/publications/dictionaries/cancer-terms/def/transformation-zone>
- [14] PRENDIVILLE, W. The treatment of CIN: what are the risks?. *Cytopathology* [online]. 2009, **20**(3), 145-153 [cit. 2023-04-13]. ISSN 09565507. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2303.2009.00669.x
- [15] PRENDIVILLE, W. a R. SANKARANARAYANAN. Annex 1. Transformation zone types. In: *Colposcopy and Treatment of Cervical Precancer*. [online]. France, Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2017 [cit. 2023-03-28]. ISBN 978-92-832-2459-4. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK568386/figure/FA1.1/?report=objectonly>
- [16] 10215.jpg. In: *A.D.A.M.* [online]. [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <https://ssl.adam.com/graphics/images/en/10215.jpg>

- [17] LUO, Jiajia, Cornelia BETSCHAT, James A. ASHTON-MILLER a John O. L. DELANCEY. Quantitative analyses of variability in normal vaginal shape and dimension on MR images. *International Urogynecology Journal* [online]. 2016, **27**(7), 1087-1095 [cit. 2023-03-20]. ISSN 0937-3462. Dostupné z: doi:10.1007/s00192-016-2949-0
- [18] LI, S., X. WEN a Z. GAO. Comparison of the Axes and Positions of the Uterus and Vagina Between Women With and Without Pelvic Floor Organ Prolapse. *Frontiers in Surgery* [online]. 2022, **9760723** [cit. 2023-03-10]. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.3389%2Ffsurg.2022.760723
- [19] BARNHART, Kurt T., Adriana IZQUIERDO, E. Scott PRETORIUS, David M. SHERA, Mayadah SHABBOUT a Alka SHAUNIK. Baseline dimensions of the human vagina. *Human Reproduction* [online]. 2006, **21**(6), 1618-1622 [cit. 2023-03-20]. ISSN 1460-2350. Dostupné z: doi:10.1093/humrep/del022
- [20] Cancer fact sheets: Cervical cancer. *IARC WHO* [online]. 2016 [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://gco.iarc.fr/today/data/pdf/fact-sheets/cancers/cancer-fact-sheets-16.pdf>
- [21] Fact sheet: Cervix uteri. *IARC WHO Global Cancer Observatory: Cancer today* [online]. [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: <https://gco.iarc.fr/today/data/factsheets/cancers/23-Cervix-uteri-fact-sheet.pdf>
- [22] Estimated number of deaths in 2020, Europe, females, ages 0-44. In: *IARC WHO Global Cancer Observatory: Cancer today* [online]. Lyon CEDEX, France [cit. 2023-04-06]. Dostupné z: https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-pie?v=2020&mode=cancer&mode_population=continents&population=900&populations=908&key=total&sex=2&cancer=39&type=1&statistic=5&prevalence=0&population_group=0&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=8&nb_items=7&group_cancer=1&include_nmsc=1&include_nmsc_other=1&half_pie=0&donut=0
- [23] Estimated number of new cases in 2020, Europe, females, ages 0-44. In: *IARC WHO Global Cancer Observatory: Cancer today* [online]. Lyon CEDEX, France [cit. 2023-04-05]. Dostupné z: https://gco.iarc.fr/today/online-analysis-pie?v=2020&mode=cancer&mode_population=continents&population=900&populations=908&key=total&sex=2&cancer=39&type=0&statistic=5&prevalence=0&population_group=0&ages_group%5B%5D=0&ages_group%5B%5D=8&nb_items=7&group_cancer=1&include_nmsc=1&include_nmsc_other=1&half_pie=0&donut=0

%5D=8&nb_items=7&group_cancer=1&include_nmsc=1&include_nmsc_ot
her=1&half_pie=0&donut=0

- [24] INSTITUT BIOSTATISTIKY A ANALÝZ, MASARYKOVA UNIVERZITA. C53 - ZN hrdla děložního - cervicis uteri, ženy: Časový vývoj, Počet případů. In: INSTITUT BIOSTATISTIKY A ANALÝZ, MASARYKOVA UNIVERZITA. *Epidemiologie zhoubných nádorů v České republice* [online]. Masarykova univerzita [cit. 2023-04-06]. ISSN 1802-8861. Dostupné z: https://www.svod.cz/graph/?sessid=681eapi211ihs5bm9042kteq84&typ=incmor&diag=C53&pohl=z&kraj=&vek_od=1&vek_do=18&zobrazeni=table&incidence=1&mortalita=1&mi=0&vypocet=a&obdobi_od=1977&obdobi_do=2021&stadium=&t=&n=&m=&pt=&pn=&pm=&t=&n=&zije=&umrti=&lcba=
- [25] INSTITUT BIOSTATISTIKY A ANALÝZ, MASARYKOVA UNIVERZITA. C53 - ZN hrdla děložního - cervicis uteri, ženy, 0-44 let: Časový vývoj, Počet případů. In: INSTITUT BIOSTATISTIKY A ANALÝZ, MASARYKOVA UNIVERZITA. *Epidemiologie zhoubných nádorů v České republice*. Masarykova univerzita. ISSN 1802-8861. Dostupné také z: https://www.svod.cz/graph/?sessid=681eapi211ihs5bm9042kteq84&typ=incmor&diag=C53&pohl=z&kraj=&vek_od=1&vek_do=9&zobrazeni=table&incidence=1&mortalita=1&mi=0&vypocet=a&obdobi_od=2001&obdobi_do=2021&stadium=&t=&n=&m=&pt=&pn=&pm=&t=&n=&zije=&umrti=&lcba=
- [26] ROZTOČIL, Aleš. *Moderní gynekologie* [online]. U Průhonu 22, Praha 7: Grada Publishing, a.s., 2011 [cit. 2023-04-24]. ISBN 978-80-247-7109-0. Dostupné z: <https://www.bookport.cz/e-kniha/moderni-gynekologie-1257338/>
- [27] DVOŘÁK, Vladimír, Jaroslava DUŠKOVÁ, Jiří ONDRUŠ, Markéta TRNKOVÁ, Radovan TURÝNA, Miloslav KLUGAR a Tereza VRBOVÁ. *Screening karcinomu děložního hrdla: Adaptovaný doporučený postup „S3-Leitlinie Prävention des Zervixkarzinoms“, AWMF-Registernummer 015/027OL*. [online]. In: ČESKÁ GYNEKOLOGICKÁ A PORODNÍ SPOLEČNOST. Praha: ÚZIS ČR [cit. 2023-04-07]. KDP-AZV-23-CGPS. Dostupné z: <https://www.pediatrics.cz/content/uploads/2022/05/23-kdp-pro-screening-karcinomu-hrdla-delozniho-final.pdf>
- [28] WAI, Katherine C., Madeleine P. STROHL, Annemieke VAN ZANTE a Patrick K. HA. Molecular Diagnostics in Human Papillomavirus-Related

- Head and Neck Squamous Cell Carcinoma. *Cells* [online]. 2020, **9**(2) [cit. 2023-04-07]. ISSN 2073-4409. Dostupné z: doi:10.3390/cells9020500
- [29] CHACHAGE, Mkunde, Ajay P. PARIKH, Anifrid MAHENGE et al. High-risk human papillomavirus genotype distribution among women living with and at risk for HIV in Africa. *AIDS* [online]. 2023, **37**(4), 625-635 [cit. 2023-04-07]. ISSN 0269-9370. Dostupné z: doi:10.1097/QAD.0000000000003437
- [30] GUPTA, Shilpi, Prabhat KUMAR a Bhudev C. DAS. HPV: Molecular pathways and targets. *Current Problems in Cancer* [online]. 2018, **42**(2), 161-174 [cit. 2023-04-07]. ISSN 01470272. Dostupné z: doi:10.1016/j.currproblcancer.2018.03.003
- [31] BRUNI, Laia, Mireia DIAZ, Xavier CASTELLSAGUÉ, Elena FERRER, F. Xavier BOSCH a Silvia DE SANJOSE. Cervical Human Papillomavirus Prevalence in 5 Continents: Meta-Analysis of 1 Million Women with Normal Cytological Findings. *The Journal of Infectious Diseases* [online]. 2010, **202**(12), 1789-1799 [cit. 2023-04-07]. ISSN 0022-1899. Dostupné z: doi:10.1086/657321
- [32] WORLD HEALTH ORGANIZATION. Human papillomavirus vaccines: WHO position paper (2022 update). WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Weekly epidemiological record* [online]. 2022, **50**(97), 645-672 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1485923/retrieve>
- [33] BRUNI, Laia, Anna SAURA-LÁZARO, Alexandra MONTOLIU et al. HPV vaccination introduction worldwide and WHO and UNICEF estimates of national HPV immunization coverage 2010–2019. *Preventive Medicine* [online]. 2021, **144** [cit. 2023-04-19]. ISSN 00917435. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2020.106399>
- [34] Global HPV Vaccine Introduction Overview. In: *PATH* [online]. [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: https://media.path.org/documents/Global_Vaccine_Intro_Overview_Slides_Final_PATHwebsite_MAR_2022_qT92Wwh.pdf?_gl=1*_1gkprzy*_ga*NzAwNzI5NjY5LjE2ODE4OTcyMDI.*_ga_YBSE7ZKDQM*MTY4MTg5NzIwMi4xLjEuMTY4MTg5NzQ2Mi4wLjAuMA..
- [35] *WHO guideline for screening and treatment of cervical pre-cancer lesions for cervical cancer prevention, second edition* [online]. Geneva: World Health Organisation, 2021 [cit. 2023-04-07]. ISBN N 978-92-4-003082-4. Dostupné z: <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1354685/retrieve>

- [36] ČESKÁ GYNEKOLOGICKÁ A PORODNICKÁ SPOLEČNOST. Doporučení pro implementaci HPV DNA testu do screeningu karcinomu děložního hrdla v České republice. In: ČESKÁ GYNEKOLOGICKÁ A PORODNICKÁ SPOLEČNOST. *Doporučené postupy ČPGS ČLS JEP: Sbíрка doporučených postupů č. 2/2021* [online]. [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://www.gynultrazvuk.cz/uploads/recommendedaction/89/doc/o-2021-02-doporuceni-pro-implementaci-hpv-dna-testu-do-screeningu-karcinomu-delozniho-hrdla-v-cr.pdf>
- [37] Model 1DW LED. In: *Kolposkope Leisegang Berlin Colposcopes* [online]. [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.leisegang.de/Model-1DW-LED.97.0.html?&L=1>
- [38] Model 1E LED. In: *Kolposkope Leisegang Berlin Colposcopes* [online]. [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.leisegang.de/Model-1E-LED.95.0.html?&L=1>
- [39] GALILEO® COLPOSCOPE DIRECT-ACCESS™ 200DA. In: *Gynex* [online]. [cit. 2023-04-01]. Dostupné z: <https://www.gynexcorporation.com/product/galileo-colposcope-direct-access-single-step-magnification/>
- [40] Wallach ZoomScope® with Trulight™. In: *CooperSurgical* [online]. [cit. 2023-04-03]. Dostupné z: <https://www.coopersurgical.com/detail/wallach-zoomscope-with-trulight/>
- [41] COOPER, D. B. a Ch. J. DUNTON. *Colposcopy* [online]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2022 [cit. 2023-04-03]. PMID: 33232095.
- [42] COOPER, Danielle B., Jose CARUGNO a Gary E. MENEFE. Conization Of Cervix. *StatPearls* [online]. Treasure Island: StatPearls Publishing, 2022 [cit. 2023-04-19]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK441845/>
- [43] ČESKÁ GYNEKOLOGICKÁ A PORODNICKÁ SPOLEČNOST. Konsensus pro řešení abnormálních nálezů ve skríníngu cervikálních karcinomů. In: ČESKÁ GYNEKOLOGICKÁ A PORODNICKÁ SPOLEČNOST. *Doporučené postupy ČPGS ČLS JEP: Sbíрка doporučených postupů č. 4/2021* [online]. 2021 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: <https://www.gynultrazvuk.cz/uploads/recommendedaction/88/doc/o-2021-04-konsensus-pro-reseni-abnormalnich-nalezu-ve-screeningu-cervikalnich-karcinomu.pdf>

- [44] DVOŘÁK, Vladimír. *Korelace prebiptických a biptických metod v diagnostice cervikálních lézí* [online]. Olomouc, 2014 [cit. 2023-04-04]. Dostupné z: <https://theses.cz/id/1muekg/12321620>. Disertační práce. Lékařská fakulta Univerzity Palackého v Olomouci. Vedoucí práce Prof. MUDr. Radovan Pilka, Ph.D.
- [45] AKAHIRA, J., R. KONNO a T. MORIYA. Conization by harmonic scalpel for cervical intraepithelial neoplasia: a clinicopathological study. *Gynecol Obstet Invest* [online]. 2000, **50**(4), 264-268 [cit. 2021-11-06]. PMID: 11093051. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1159/000010329>
- [46] TURÝNA, Radovan a Petr VELEBIL. Konizace a předčasné porody. *Zdravotnictví a medicína* [online]. 2012 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://zdravi.euro.cz/clanek/postgradualni-medicina/konizace-a-predcasne-porody-463806>
- [47] WRIGHT, V Cecil. Cervical squamous and glandular intraepithelial neoplasia: Identification and current management approaches. *Salud Publica Mex* [online]. 2003, **45**(3), 417-429 [cit. 2020-10-20]. Dostupné z: <https://www.medigraphic.com/pdfs/salpubmex/sal-2003/sals033p.pdf>
- [48] BJØRGE, Tone, Gry B. SKARE, Line BJØRGE, Ameli TROPÉ a Stefan LÖNNBERG. Adverse Pregnancy Outcomes After Treatment for Cervical Intraepithelial Neoplasia. *Obstetrics & Gynecology* [online]. 2016, **128**(6), 1265-1273 [cit. 2023-04-18]. ISSN 0029-7844. Dostupné z: doi:10.1097/AOG.0000000000001777
- [49] KHAN, Michelle J. a Karen K. SMITH-MCCUNE. Treatment of cervical precancers: Back to Basics. *Obstetrics and gynecology* [online]. 2014, **123**(6), 1339-1343 [cit. 2021-04-06]. PMC4077778. Dostupné z: doi:<https://dx.doi.org/10.1097%2FAOG.0000000000000287>
- [50] DUNDR, Pavel a Kristýna NĚMEJCOVÁ. Prekancerózy a karcinomy děložního hrdla: Doporučený postup pro biptické vyšetření. In: *Společnost českých patologů: České lékařské společnosti Jana Evangelisty Purkyně* [online]. 2018 [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <http://www.patologie.info/soubory/all/Guideline%20-%20Prekancer%C3%B3zy%20a%20karcinomy%20d%C4%9Blo%C5%BE%20%C3%ADho%20hrdla.pdf>
- [51] LILIĆ, Velkoslav, Zorica STANOJEVIĆ a Biljana DJORDJEVIĆ. The rationale for hysterectomy after uterine cervix conization. *FACTA UNIVERSITATIS: Medicine and Biology* [online]. 2007, **14**(1), 25-29 [cit.

2021-04-06]. UC 618.146-006-089-085. Dostupné z: <http://facta.junis.ni.ac.rs/mab/mab200701/mab200701-06.pdf>

- [52] JAKOBSSON, Maija, Mika GISSLER, Jorma PAAVONEN a Anna-Maija TAPPER. Loop Electrosurgical Excision Procedure and the Risk for Preterm Birth. *Obstetrics & Gynecology* [online]. 2009, **114**(3), 504-510 [cit. 2023-04-09]. ISSN 0029-7844. Dostupné z: doi:10.1097/AOG.0b013e3181b052de
- [53] HEINONEN, Annu, Mika GISSLER, Annika RISKKA, Jorma PAAVONEN, Anna-Maija TAPPER a Maija JAKOBSSON. Loop Electrosurgical Excision Procedure and the Risk for Preterm Delivery. *Obstetrics & Gynecology* [online]. 2013, **121**(5), 1063-1068 [cit. 2023-04-09]. ISSN 0029-7844. Dostupné z: doi:10.1097/AOG.0b013e31828caa31
- [54] CASTANON, Alejandra, Rebecca LANDY, Peter BROCKLEHURST, Heather EVANS, Donald PEEBLES a Naveena SINGH. Risk of preterm delivery with increasing depth of excision for cervical intraepithelial neoplasia in Engand: nested case-control study. *The BMJ* [online]. 2014, **349** [cit. 2021-04-05]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1136/bmj.g6223>
- [55] Preterm birth. In: *World Health Organisation* [online]. [cit. 2023-04-09]. Dostupné z: <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/preterm-birth>
- [56] YU, Meng, Jing-Xin DING a Ke-Qin HUA. Fertility and Sexual Function after Loop Electrosurgical Excision Procedure in Patients with High-Grade Squamous Intraepithelial Lesion. *Reproductive and Developmental Medicine* [online]. 2019, **3**(3), 148-152 [cit. 2023-04-09]. ISSN 2589-8728. Dostupné z: doi:10.4103/2096-2924.268164
- [57] CARCOPINO, Xavier, Julien MANCINI a Walter PREDIVILLE. The Accuracy of Large Loop Excizion of the Transformation Zone Specimen Dimensions in Determining Volume: A Multicentric Prospective Observational Study. *Journal of Lower Genital Tract Disease* [online]. 2017, **21**(2), 120-124 [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1097/lgt.0000000000000283>
- [58] FIRICHENKO, Sergei V., Michael STARK a Ospan A. MYNBAEV. The impact of cervical conization size with subsequent cervical length changes on preterm birth rates in asymptomatic singleton pregnancies. *Scientific Reports* [online]. 2021, **11**(1) [cit. 2023-04-10]. ISSN 2045-2322. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-021-99185-0

- [59] KHALID, S, E DIMITRIOU, R CONROY, E PARASKEVAIDIS, M KYRGIU, C HARRITY, M ARBYN a W PRENDIVILLE. The thickness and volume of LLETZ specimens can predict the relative risk of pregnancy-related morbidity. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology* [online]. 2012, **119**(6), 685-691 [cit. 2023-04-17]. ISSN 14700328. Dostupné z: doi:10.1111/j.1471-0528.2011.03252.x
- [60] CIAVATTINI, Andrea, Nicolò CLEMENTE, Giovanni DELLI CARPINI, Chiara GENTILI, Jacopo DI GIUSEPPE, Pamela BARBADORO, Emilia PROSPERO a Carlo Antonio LIVERANI. Loop electrosurgical excision procedure and risk of miscarriage. *Fertility and Sterility* [online]. 2015, **103**(4), 1043-1048 [cit. 2023-04-18]. ISSN 00150282. Dostupné z: doi:10.1016/j.fertnstert.2014.12.112
- [61] NIEBAUEROVÁ, Eliška. *Simulace trajektorie tahu provedeného operačním nástrojem během konizace*. Kladno, 2021. Bakalářská práce. Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Hozman, Ph.D.
- [62] CARCOPINO, Xavier, Julien MANCINI, Colette CHARPIN et al. Direct colposcopic vision used with the LLETZ procedure for optimal treatment of CIN: results of joint cohort studies. *Archives of Gynecology and Obstetrics* [online]. 2013, **288**(5), 1087-1094 [cit. 2023-04-18]. ISSN 0932-0067. Dostupné z: doi:https://doi.org/10.1007/s00404-013-2882-0
- [63] LIVERANI, Carlo A., Jacopo DI GIUSEPPE, Nicolò CLEMENTE, Giovanni DELLI CARPINI, Ermelinda MONTI, Fabiana FANETTI, Giorgio BOLIS a Andrea CIAVATTINI. Length but not transverse diameter of the excision specimen for high-grade cervical intraepithelial neoplasia (CIN 2–3) is a predictor of pregnancy outcome. *European Journal of Cancer Prevention* [online]. 2016, **25**(5), 416-422 [cit. 2023-04-18]. ISSN 0959-8278. Dostupné z: doi:10.1097/CEJ.0000000000000196
- [64] GRISOT, Céline, Julien MANCINI, Sophie GIUSIANO et al. How to optimize excisional procedures for the treatment of CIN? The role of colposcopy. *Archives of Gynecology and Obstetrics* [online]. 2012, **285**(5), 1383-1390 [cit. 2023-04-18]. ISSN 0932-0067. Dostupné z: doi:10.1007/s00404-011-2162-9
- [65] PREAUBERT, Lise, Jean GONDRY, Julien MANCINI et al. Benefits of Direct Colposcopic Vision for Optimal LLETZ Procedure. *Journal of Lower Genital Tract Disease* [online]. 2016, **20**(1), 15-21 [cit. 2023-04-18]. ISSN 1089-2591. Dostupné z: doi:10.1097/LGT.0000000000000156

- [66] HILAL, Ziad, Günther A. REZNICZEK, Ferizan ALICI, Anne KUMPERNATZ, Askin DOGAN, Lale ALIEVA a Clemens B. TEMPFER. Loop electrosurgical excision procedure with or without intraoperative colposcopy: a randomized trial. *American Journal of Obstetrics and Gynecology* [online]. 2018, **219**(4), 3771-3777 [cit. 2023-04-18]. ISSN 00029378. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ajog.2018.07.023>
- [67] PARRA-HERRAN, C., A. MALPICA, E. OLIVA, G. F. ZANNONI, P. T. RAMIREZ a J. T. RABBAN. Endocervical Adenocarcinoma, Gross Examination, and Processing, Including Intraoperative Evaluation: Recommendations From the International Society of Gynecological Pathologists. *International Journal of Gynecological Pathology* [online]. 2021, **40**(1), 24-47 [cit. 2023-04-08]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1097%2FPGP.0000000000000745>
- [68] BORNSTEIN, Jacob, James BENTLEY, Peter BÖSZE et al. 2011 Colposcopic Terminology of the International Federation for Cervical Pathology and Colposcopy. *Obstetrics & Gynecology* [online]. 2012, **120**(1), 166-172 [cit. 2023-04-07]. ISSN 0029-7844. Dostupné z: doi:[10.1097/AOG.0b013e318254f90c](https://doi.org/10.1097/AOG.0b013e318254f90c)
- [69] KYRGIU, Maria, Antonios ATHANASIOU, Marc ARBYN et al. Terminology for cone dimensions after local conservative treatment for cervical intraepithelial neoplasia and early invasive cervical cancer: 2022 consensus recommendations from ESGO, EFC, IFCPC, and ESP. *The Lancet Oncology* [online]. 2022, **23**(8), 385-392 [cit. 2023-05-17]. ISSN 14702045. Dostupné z: doi:[10.1016/S1470-2045\(22\)00191-7](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(22)00191-7)
- [70] BARTOŇOVÁ, Simona. *Cytopatologická diagnostika cerviko – vaginálního onemocnění* [online]. Hradec Králové, 2016 [cit. 2023-04-07]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/77506/120225445.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze, Farmaceutická fakulta v Hradci Králové, Katedra biologických a lékařských věd. Vedoucí práce Doc. RNDr. Vladimír Semecký, CSc.
- [71] WANG, Xiaoyu, Lei LI, Yalan BI, Huanwen WU, Ming WU a Jinghe LANG. The effects of different instruments and suture methods of conization for cervical lesions. *Scientific Reports* [online]. 2019, **9**(19114) [cit. 2021-11-07].
- [72] ALVES, MD Patrícia, MD Daniela Vila REAL a MD Inês ALENCOãO. Excision of the transformation zone: a comparison between large loop excision of the transformation zone, needle excision of the transformation zone, and laser conization. *International Journal of Obstetrics and*

Gynaecology [online]. 2019, **1**(1), 17-20 [cit. 2021-11-14]. ISSN 2664-8342. Dostupné z: <https://www.obstetricsjournals.com/article/view/11/1-1-16>

- [73] PANOSKALTSIS, Theo, Thomas E. J. IND a Karen PERRYMAN. Needle versus loop diathermy excision of the transformationzone for the treatment of cervical intraepithelial neoplasia:a randomised controlled trial. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology* [online]. 2004, **111**(7), 748-753 [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: doi:<http://dx.doi.org/10.1111/j.1471-0528.2004.00159.x>
- [74] CAMARGO, MJ, FB RUSSOMANO, MA TRISTÃO, G HUF a W PRENDIVILLE. Large loop versus straight-wire excision of the transformation zone for treatment of cervical intraepithelial neoplasia: a randomised controlled trial of electrosurgical techniques. *BJOG: An International Journal of Obstetrics & Gynaecology* [online]. 2015, **122**(4), 552-557 [cit. 2023-04-19]. ISSN 14700328. Dostupné z: doi:[10.1111/1471-0528.13200](https://doi.org/10.1111/1471-0528.13200)
- [75] FANKHAUSER, F., P. D. HENCHOZ a S. KWASNIEWSKA. Chirurgie mit dem Laserskalpell. Physikalische Grundlagen und klinische Wirksamkeit.: [Surgery with the laser scalpel. Physical principles and clinical effectiveness]. *Klin Monbl Augenheilkd* [online]. 1993, **203**(6), 436-443 [cit. 2021-11-14]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1055/s-2008-1045703>
- [76] IHNÁT, Peter. *Základní chirurgické techniky a dovednosti*. U Průhonu 22, Praha 7: Grada Publishing, a. s., 2017. ISBN 978-80-271-0334-8.
- [77] CHEN, Jun-yu, Zhi-ling WANG, Zhao-yang WANG a Xing-sheng YANG. The risk factors of residual lesions and recurrence of the high-grade cervical intraepithelial lesions (HSIL) patients with positive-margin after conization. *Medicine* [online]. 2018, **97**(41) [cit. 2023-04-13]. ISSN 0025-7974. Dostupné z: doi:[10.1097/MD.00000000000012792](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000012792)
- [78] GARCIA RAMOS, A. M., E. S. GARCIA RAMOS, H. L. dos REIS a R. B. de REZENDE. Quality Evaluation of Cone Biopsy Specimens Obtained by Large Loop Excision of the Transformation Zone. *Journal of Clinical Medicine Research* [online]. 2015, **7**(4), 220-224 [cit. 2023-04-15]. ISSN 1918-3011. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.14740%2Fjocmr1951w>
- [79] RUSSOMANO, Fábio, Maria A. P. TRISTANO a Renata CÔRTEZ. A comparison between type 3 excision of the transformation zone by straight wire excision of the transformation zone (SWETZ) and large loop excision of the transformation zone (LLETZ): a randomized study. *BMC Women's Health*

- [online]. 2015, **15**(12) [cit. 2021-11-13]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1186/s12905-015-0174-5>
- [80] MOSSA, Mohamed A., Paul G. CARTER, Salah ABDU, Martin P.A. YOUNG, Valerie A. THOMAS a Desmond P.J. BARTON. A comparative study of two methods of large loop excision of the transformation zone. *BJOG: An International Journal of Obstetrics and Gynaecology* [online]. 2005, **112**(4), 490-494 [cit. 2023-04-13]. ISSN 1470-0328. Dostupné z: doi:[10.1111/j.1471-0528.2005.00427.x](https://doi.org/10.1111/j.1471-0528.2005.00427.x)
- [81] PRENDIVILLE, Walter. Large loop excision of the transformation zone. *Bailliere's Clinical Obstetrics and Gynaecology*. 1995, **9**(1), 189-220. ISBN 0-7020-1930-5.
- [82] MONTANARI, Eliana, Christoph GRIMM a Richard SCHWAMEIS. Influence of training level on cervical cone size and resection margin status at conization: a retrospective study. *Archives of Gynecology and Obstetrics* [online]. 2018, (297), 1517-1523 [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s00404-018-4761-1>
- [83] WALTERS, Christen L., Jenny M. WHITWORTH, Sharon L. TYRA, Julie B. WALSH-COVARRUBIAS a J. Michael STRAUGHN. Constructing a Novel Simple LEEP Training Model. *Journal of Graduate Medical Education* [online]. 2013, **2**(5), 320-322 [cit. 2020-03-18]. PMID: 24404281. Dostupné z: doi:<https://dx.doi.org/10.4300%2FJGME-D-12-00061.1>
- [84] REZNICZEK, Günther A, Sofia SEVERIN, Ziad HILAL a Askin DOGAN. Surgical performance of large loop excision of the transformation zone in a training model: A prospective cohort study. *Medicine (Baltimore)*. 2017, **96**(23), 7026. PMID: PMC5466212. Dostupné z: doi:<https://dx.doi.org/10.1097%2FMD.00000000000007026>
- [85] PARRA, Sonia, Maria ODEN, Kathleen SCHMELER a Rebecca KORTUM. Low-Cost Instructional Apparatus to Improve Training for Cervical Cancer Screening and Prevention. *Obstetrics & Gynecology* [online]. 2019, **133**(3), 559-567 [cit. 2022-06-17]. Dostupné z: doi:<http://dx.doi.org/10.1097/AOG.00000000000003140>
- [86] LLETZlearn® Training Simulator. In: *DTR Medical* [online]. [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://dtrmedical.com/product/lletzlearn-training-simulator/>
- [87] Surgical Chloe™ S2101 - Wireless Surgical Patient Simulator. In: *Gaumard: Simulators for Health Care Education* [online]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.gaumard.com/s2101>

- [88] SCHNEIDER, Achim. *Secondary Prevention of Cervical Cancer* [online]. Tuttlingen - Germany: Endo-Press, 2017 [cit. 2023-04-15]. ISBN 978-3-89756-463-3. Dostupné z: https://www.karlstorz.com/doc/interactivebrochure/3500106/content/c0_p001_maintitle.html
- [89] FOULK, E. BROOKE a EASON. *Surgical simulation of cold knife conization and suction dilation and curettage procedures using a patient simulator and papaya model* [online]. Dept. of Obstetrics and Gynecology, East Tennessee State University Quillen College of Medicine, Johnson City, TN [cit. 2021-11-15]. Dostupné z: <https://www.etsu.edu/com/simlab/documents/078881foulkposterv1.pdf>
- [90] F. Z., Takacs, Radosa J. C. a Gerlinger C. Introduction of a learning model for type 1 loop excision of the transformation zone of the uterine cervix in undergraduate medical students: a prospective cohort study. *Archives of Gynecology and Obstetrics* [online]. 2019, (299), 817-824 [cit. 2022-04-15]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s00404-018-5019-7>
- [91] ZENG, Hongjie, Xuejun ZHANG a Jigxian CHEN. A Liver Electrosurgery Simulator Developed by Unity Engine. In: *2021 6th International Conference on Biomedical Signal and Image Processing* [online]. Association for Computing Machinery, 2021, s. 14-19 [cit. 2022-02-02]. ISBN 9781450390507. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1145/3484424.3484427>
- [92] WILSON, Andrew, Sreekanth ARIKATLA a Samantha SCHMITT. Virtual Endoscopic Surgical Simulator Aims to Improve Surgical training. In: *Kitware* [online]. [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://www.kitware.com/virtual-endoscopic-surgical-simulator-aims-to-improve-surgical-training/>
- [93] PAN, Junjun, Yuhan YANG a Yang GAO. Real-time simulation of electrocautery procedure using meshfree methods in laparoscopic cholecystectomy. *The Visual Computer* [online]. 2019, (35), 861-872 [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s00371-019-01680-z>
- [94] SANKARANARAYANAN, Ganesh, Baichun LI a Amie MILLER. Face validation of the Virtual Electrosurgery Skill Trainer (VEST©). *Surg Endosc* [online]. 2016, **30**(2), 730-738 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s00464-015-4267-x>
- [95] LOPEZ, Carlos A., Zhongqing HAN a Nicholas MILEF. Virtual Electrosurgical Skill Trainer (VEST). In: *Center for Modeling, Simulation and Imaging in Medicine (CeMSIM)* [online]. Rensselaer Polytechnic Institute,

110 8th Street, Troy, NY 12180 [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://cemsim.rpi.edu/research/projects/virtual-electrosurgical-skill-trainer-vest>

- [96] REEVES, K. O., A. E. YOUNG a R. H. KAUFMAN. A simple, inexpensive device for teaching the loop electrosurgical excision procedure. *Obstetrics & Gynecology* [online]. Elsevier Science Inc., 1999, **94**(3), 474-475 [cit. 2023-04-23]. ISSN 00297844. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S0029-7844\(99\)80050-7](https://doi.org/10.1016/S0029-7844(99)80050-7)
- [97] MANLEY, K. M., C. H. PARK, V. L. MEDLAND a T-L APPLEYARD. The Training Value of a Low-Fidelity Cervical Biopsy Workshop. *Simulation in Healthcare: Journal of the Society for Simulation in Healthcare* [online]. 2015, **10**(2), 116-121 [cit. 2022-04-17]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1097/sih.0000000000000065>
- [98] HEFLER, Lukas, Christoph GRIMM a Verena KUERONYA. A novel training model for the loop electrosurgical excision procedure: An innovative replica helped workshop participants improve their LEEP. *American Journal of Obstetrics and Gynecology* [online]. 2012, **206**(6), 5351-5354 [cit. 2022-06-21]. ISSN 0002-9378. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ajog.2012.01.016>
- [99] TAKACS, Ferenc Zoltan, Christoph GERLINGER a Amr HAMZA. A standardized simulation training program to type 1 loop electrosurgical excision of the transformation zone: a prospective observational study. *Archives of Gynecology and Obstetrics* [online]. 2020, (301), 611-618 [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s00404-019-05416-1>
- [100] CONNOR, R. Shae, A. Mitch DIZON a Kristopher J. KIMBALL. Loop electrosurgical excision procedure: An effective, inexpensive, and durable teaching model. *American Journal of Obstetrics and Gynecology* [online]. 2014, **211**(6), 7061-3 [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002937814005158#%FE%FF%00a%00p%00p%00s%00e%00c%001>
- [101] KIESEL, Matthias, Inga BEYERS a Adam KALISZ. Introducing a novel model for simulating large loop excision of the transformation zone (LLETZ) using 3D printing technique. *Archives of Gynecology and Obstetrics* [online]. 2022, **305**, 703-712 [cit. 2022-06-22]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s00404-021-06209-1>
- [102] TAKACS, Ferenc Zoltan, Erich-Franz SOLOMAYER a Amr HAMZA. Conisation course for medical students-experience from a German University

- Hospital. *J Turk Ger Gynecol Assoc.* [online]. 2020, **21**(2), 79-83 [cit. 2021-06-09]. Dostupné z: doi:<https://dx.doi.org/10.4274%2Fjtggg.galenos.2019.2019.0126>
- [103] ALICI, Ferizan, Bernd BUERKLE a Clements B. TEMPFER. Objective Structured Assessment of Technical Skills (OSATS) evaluation of hysteroscopy training: a prospective study. *European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology* [online]. 2014, **178**, 1-5 [cit. 2022-04-18]. ISSN 0301-2115. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.ejogrb.2014.04.032>
- [104] MARTIN, J. A., G. REGEHR a R. REZNICK. Objective structured assessment of technical skill (OSATS) for surgical residents. *British Journal of Surgery* [online]. Blakwell Science Ltd, 1997, (84), 273-278 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1046/j.1365-2168.1997.02502.x>
- [105] Univerzální barva lesklá - neon (září pod UV světlem): 84 neon zelená. In: *Artemiss* [online]. [cit. 2023-05-13]. Dostupné z: <https://www.barvyartemiss.cz/univerzalni-barvy/uv-univerzalni-barva-leskla/?variantId=4177>
- [106] Camera Calibration: Calibrate single or stereo cameras and estimate camera intrinsics, extrinsics, and distortion parameters using pinhole and fisheye camera models. In: *MathWorks: Help Center* [online]. [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/vision/camera-calibration.html>
- [107] Using the Stereo Camera Calibrator App. In: *MathWorks: Help Center* [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/using-the-stereo-camera-calibrator-app.html>
- [108] KISLINGEROVÁ, Tereza. *Úprava metodiky měření objemu a tvaru konizátu po operaci děložního hrdla* [online]. Kladno, 2020 [cit. 2023-05-16]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/91667/FBMI-BP-2020-Kislingerova-Tereza-prace.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Bakalářská práce. Fakulta biomedicínského inženýrství ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Hozman, Ph.D.
- [109] SÖHNEL, Otakar a Petr NOVOTNÝ. *Tabulky hustot vodných roztoků anorganických látek*. Praha: Academia, 1983.
- [110] PAN, Yirou, Sophia BANO, Francisco VASCONCELOS, Hyun PARK, Taikyeong Ted. JEONG a Danail STOYANOV. DeSmoke-LAP: improved

unpaired image-to-image translation for desmoking in laparoscopic surgery. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery* [online]. 2022, **17**(5), 885-893 [cit. 2023-05-16]. ISSN 1861-6429. Dostupné z: doi:10.1007/s11548-022-02595-2

- [111] SALAZAR-COLORES, Sebastian, Hugo Moreno JIMENEZ, Cesar Javier ORTIZ-ECHEVERRI a Gerardo FLORES. Desmoking Laparoscopy Surgery Images Using an Image-to-Image Translation Guided by an Embedded Dark Channel. *IEEE Access* [online]. 2020, **8**, 208898-208909 [cit. 2023-05-16]. ISSN 2169-3536. Dostupné z: doi:10.1109/ACCESS.2020.3038437
- [112] VENKATESH, Vishal, Neeraj SHARMA, Vivek SRIVASTAVA a Munendra SINGH. Unsupervised smoke to desmoked laparoscopic surgery images using contrast driven Cyclic-DesmokeGAN. *Computers in Biology and Medicine* [online]. 2020, **123** [cit. 2023-05-16]. ISSN 00104825. Dostupné z: doi:10.1016/j.compbiomed.2020.103873
- [113] Prepare Camera and Capture Images. In: *MathWorks: Help Center* [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.mathworks.com/help/vision/ug/prepare-camera-and-capture-images.html>

Příloha A

Naměřené hodnoty z pilotních měření

Tabulka A.1: Data o konizátech z párků od účastníka P2D2

Pořadí konizátu	Délka konizátu (mm)	Objem konizátu (ml)	Počet kusů konizátu	Pozitivita okrajů konizátu	Směr řezu
1.	3,8	0,35	1	pozitivní	shora
2.	4,2	0,61	1	pozitivní	zleva
3.	8,3	1,02	1	pozitivní	zprava
4.	6,4	0,72	1	pozitivní	zleva
5.	3,4	0,28	1	pozitivní	shora
6.	4,5	0,47	1	pozitivní	zleva
7.	5,2	0,52	1	pozitivní	zprava
8.	5,8	0,60	1	pozitivní	zleva
Průměr	5,21	0,569			
Sm. odch.	1,563	0,215			

Tabulka A.2: Data o konizátech z párků od účastníka P3D3

Pořadí konizátu	Délka konizátu (mm)	Objem konizátu (ml)	Počet kusů konizátu	Pozitivita okrajů konizátu	Směr řezu
1.	9,3	1,73	1	negativní	zleva
2.	9,6	1,73	1	negativní	zleva
3.	5,0	1,35	1	pozitivní	zleva
4.	9,1	1,96	1	pozitivní	zleva
5.	7,7	1,16	1	negativní	zleva
6.	8,1	1,39	1	negativní	zleva
7.	9,0	1,39	1	negativní	zleva
8.	9,2	1,14	1	negativní	zleva
Průměr	8,374	1,489			
Sm.odch	1,405	0,285			

Tabulka A.3: Data o konizátech z párků od účastníka P4D4

Pořadí konizátu	Délka konizátu (mm)	Objem konizátu (ml)	Počet kusů konizátu	Pozitivita okrajů konizátu	Směr řezu
1.	10,3	2,34	1	negativní	zleva
2.	10,4	1,91	1	negativní	zprava
3.	9,3	1,89	1	pozitivní	zleva
4.	4,8	0,75	1	pozitivní	zleva
5.	13,7	2,26	1	pozitivní	zleva
6.	7,4	1,43	1	negativní	zleva
7.	7,4	1,09	1	pozitivní	zleva
8.	7,4	1,32	1	negativní	zleva
Průměr	8,819	1,624			
Sm. odch.	2,536	0,532			

Tabulka A.4: Data o konizátech u párků od účastníka P5D5

Pořadí konizátu	Délka konizátu (mm)	Objem konizátu (ml)	Počet kusů konizátu	Pozitivita okrajů konizátu	Směr řezu
1.	8,5	1,62	1	negativní	zleva
2.	6,8	1,29	1	negativní	zleva
3.	7,3	1,26	1	pozitivní	zleva
4.	6,8	1,25	1	pozitivní	zleva
5.	6,7	1,20	1	pozitivní	zleva
6.	6,8	0,97	1	negativní	zleva
7.	11,4	2,58	1	pozitivní	zleva
8.	9,7	1,84	1	negativní	zleva
Průměr	7,978	1,499			
Sm. odch.	1,618	0,481			

Tabulka A.5: Data o konizátech z párků od účastníka P6D6

Pořadí konizátu	Délka konizátu (mm)	Objem konizátu (ml)	Počet kusů konizátu	Pozitivita okrajů konizátu	Směr řezu
1.	11,8	2,11	1	negativní	zleva
2.	13,5	2,61	1	pozitivní	zleva
3.	9,4	1,77	1	negativní	zleva
4.	8,9	1,66	1	negativní	zleva
5.	11,7	2,32	1	negativní	zleva
6.	12,8	2,60	1	pozitivní	zleva
7.	10,6	1,88	1	negativní	zleva
8.	12,3	1,68	1	pozitivní	zleva
Průměr	11,379	2,080			
Sm. odch	1,522	0,366			

Tabulka A.6: Data o konizátech z párků od účastníka P7D7

Pořadí konizátu	Délka konizátu (mm)	Objem konizátu (ml)	Počet kusů konizátu	Pozitivita okrajů konizátu	Směr řezu
1.	6,7	1,14	1	pozitivní	zleva
2.	8,6	1,79	1	negativní	zleva
3.	7,6	1,38	1	negativní	zleva
4.	7,7	1,25	1	negativní	zleva
5.	6,4	1,37	1	pozitivní	zleva
6.	6,3	1,93	1	pozitivní	zleva
7.	7,5	1,38	1	negativní	zleva
8.	7,3	1,68	1	negativní	zleva
Průměr	7,256	1,489			
Sm. odch	0,707	0,262			

Tabulka A. 7: Data o konizátech z párků od účastníka P8D8

Pořadí konizátu	Délka konizátu (mm)	Objem konizátu (ml)	Počet kusů konizátu	Pozitivita okrajů konizátu	Směr řezu
1.	4,6	0,77	1	pozitivní	zleva
2.	5,4	0,93	1	negativní	zleva
3.	5,4	1,04	1	pozitivní	zleva
4.	10,0	1,92	1	negativní	zleva
5.	7,5	2,10	1	negativní	zleva
6.	6,8	1,85	1	pozitivní	zleva
7.	4,9	1,57	1	pozitivní	zleva
8.	6,9	2,16	1	pozitivní	zleva
Průměr	6,430	1,543			
Sm. odch.	1,655	0,521			

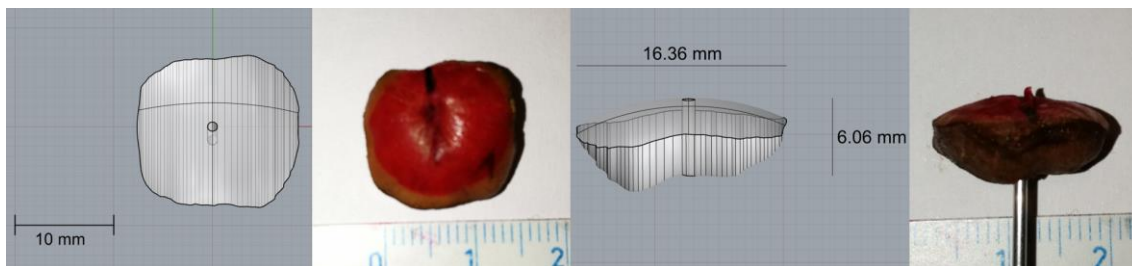
Tabulka A.8: Data o konizátech z párků od účastníka P9D9

Pořadí konizátu	Délka konizátu (mm)	Objem konizátu (ml)	Počet kusů konizátu	Pozitivita okrajů konizátu	Směr řezu
1.	5,1	0,50	1	pozitivní	zleva
2.	6,7	1,06	1	negativní	zleva
3.	7,6	1,24	1	pozitivní	zleva
4.	7,4	1,46	1	negativní	zleva
5.	3,4	0,57	1	pozitivní	zleva
6.	3,8	0,59	1	pozitivní	zleva
7.	5,3	1,09	1	pozitivní	zleva
8.	7,2	1,07	1	pozitivní	zleva
Průměr	5,805	0,945			
Sm. odch	1,551	0,330			

Tabulka A.9: Data o konizátech z párků od účastníka P10D10

Pořadí konizátu	Délka konizátu (mm)	Objem konizátu (ml)	Počet kusů konizátu	Pozitivita okrajů konizátu	Směr řezu
1.	6,3	0,82	1	pozitivní	zleva
2.	5,8	0,7	1	pozitivní	zleva
3.	5,8	0,68	1	pozitivní	zleva
4.	4,5	0,48	1	pozitivní	zleva
5.	7,0	1,54	1	negativní	zleva
6.	7,3	1,07	1	negativní	zleva
7.	5,3	0,55	1	negativní	zleva
8.	5,1	0,58	1	negativní	zleva
Průměr	5,895	0,801			
Sm. odch	0,876	0,329			

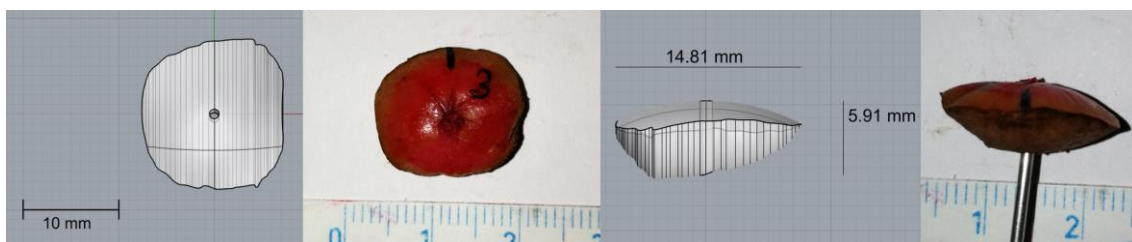
Porovnání modelů konizátů s reálnými konizáty



Obr. A1: Srovnání modelu konizátu s reálným – 1. řez účastníka P10D10.



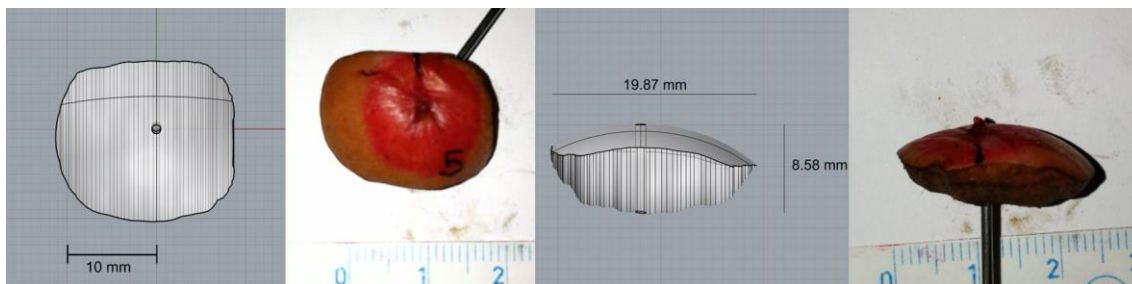
Obr. A2: Srovnání modelu konizátu s reálným – 2. řez účastníka P10D10.



Obr. A3: Srovnání modelu konizátu s reálným – 3. řez účastníka P10D10.



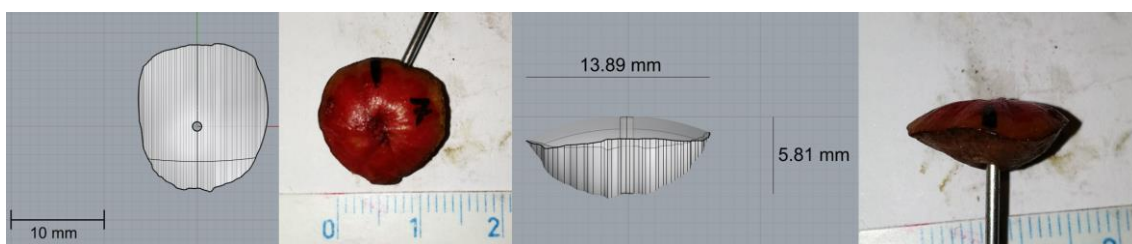
Obr. A4: Srovnání modelu konizátu s reálným – 4. řez účastníka P10D10.



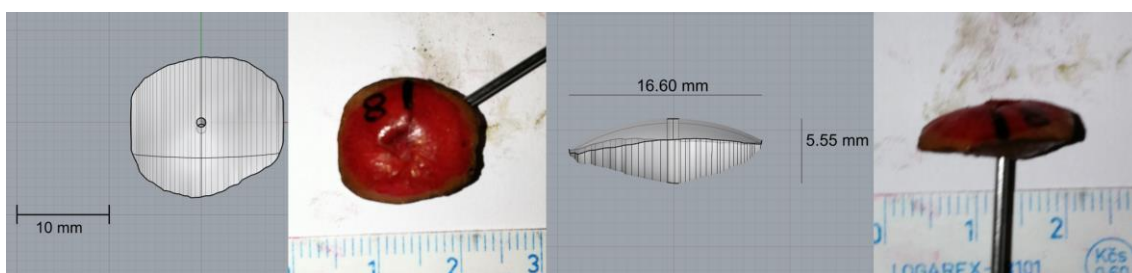
Obr. A.5: Srovnání modelu konizátu s reálným – 5. řez účastníka P10D10.



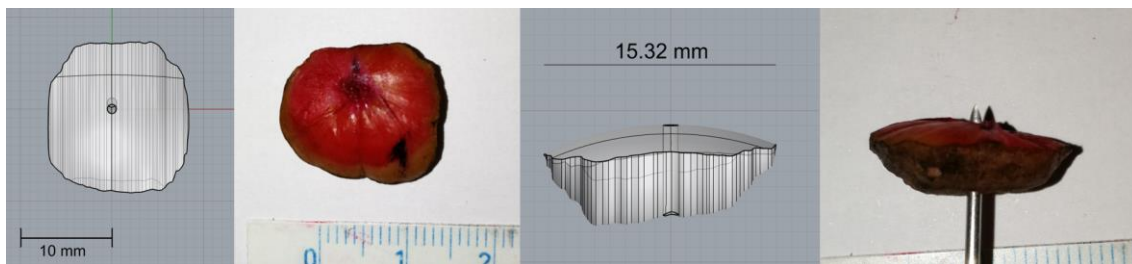
Obr. A.6: Srovnání modelu konizátu s reálným – 6. řez účastníka P10D10.



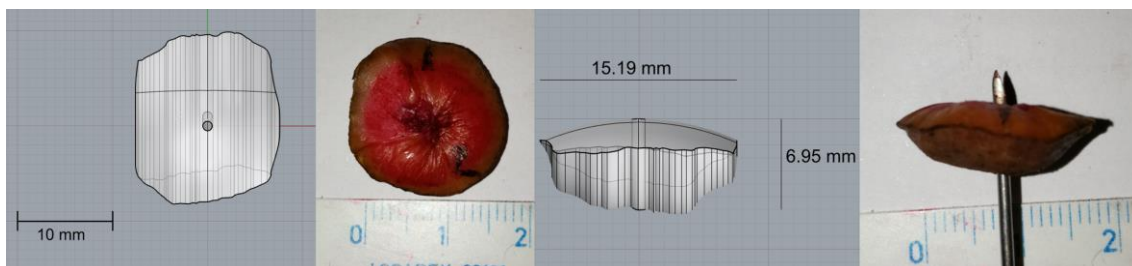
Obr. A.7: Srovnání modelu konizátu s reálným – 7. řez účastníka P10D10.



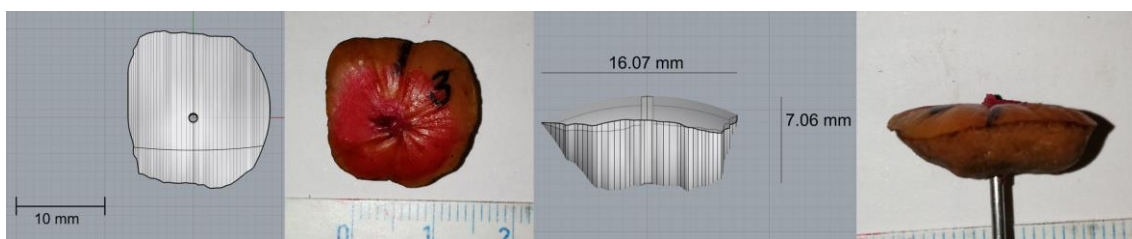
Obr. A.8: Srovnání modelu konizátu s reálným – 8. řez účastníka P10D10.



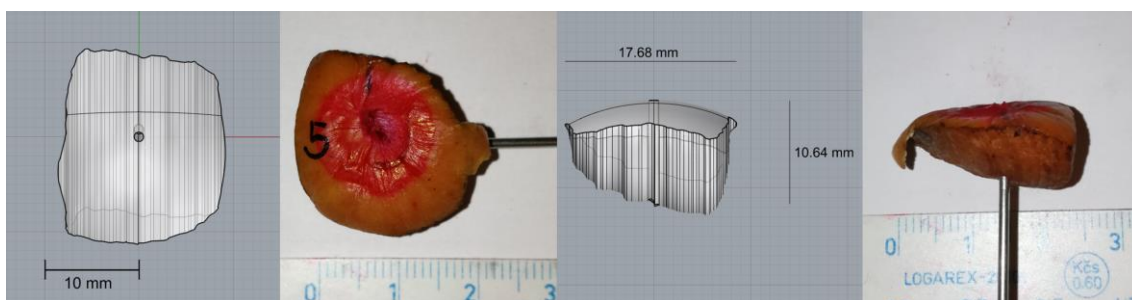
Obr. A.9: Srovnání modelu konizátu s reálným – 1. řez účastníka P8D8.



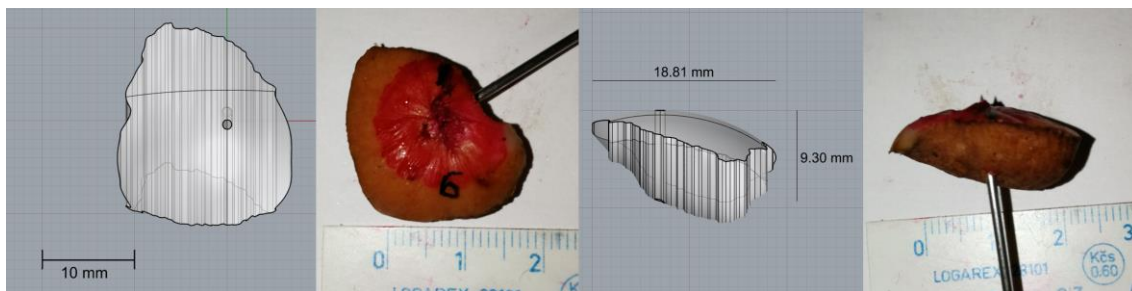
Obr. A.10: Srovnání modelu konizátu s reálným – 2. řez účastníka P8D8.



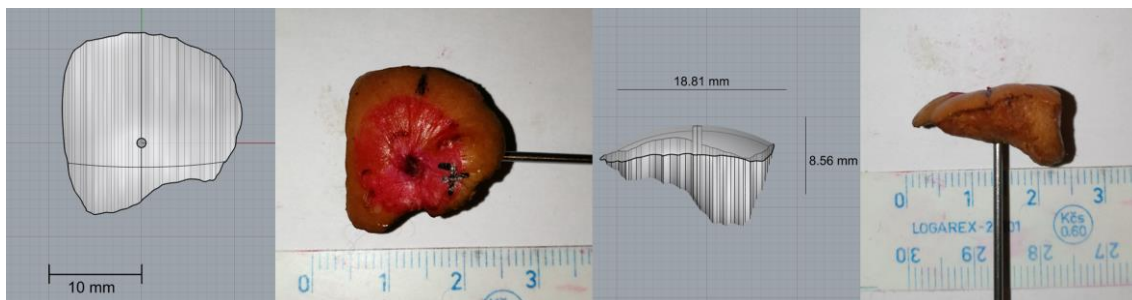
Obr. A.11: Srovnání modelu konizátu s reálným – 3. řez účastníka P8D8.



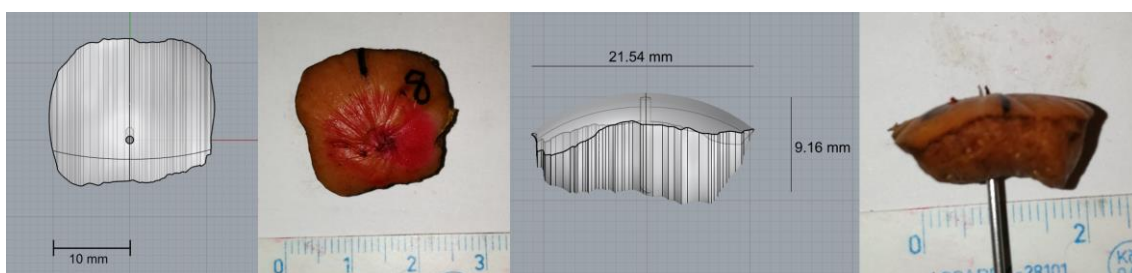
Obr. A.12: Srovnání modelu konizátu s reálným – 4. řez účastníka P8D8.



Obr. A.13: Srovnání modelu konizátu s reálným – 5. řez účastníka P8D8.



Obr. A.14: Srovnání modelu konizátu s reálným – 6. řez účastníka P8D8.



Obr. A.15: Srovnání modelu konizátu s reálným – 7. řez účastníka P8D8.

Výsledky navrženého hodnocení symetrie

Tabulka A.10: Hodnocení modelů konizátů podle symetrie. Prvních sedm modelů konizátů uvedených konizátů bylo vyříznuto účastníkem P8D8, následujících osm konizátů

Číslo modelu konizátu	Objem (%)			Tloušťka (%)			Symetrie N/S
	L část	P část	rozdíl	L část	P část	rozdíl	
1. (P8D8)	41,47	58,53	17,06	45,33	54,67	9,34	S
2.	52,58	47,42	5,15	49,93	50,07	0,13	S
3.	49,86	50,14	0,28	45,98	54,02	8,04	S
4.	54,78	45,22	9,57	48,31	51,69	3,39	S
5.	75,77	24,21	51,57	63,07	36,93	26,13	N
6.	63,93	36,07	27,85	44,07	55,93	11,86	N
7.	51,05	48,95	2,10	48,70	51,30	2,60	S
1. (P10D10)	43,06	56,95	13,88	46,70	53,30	6,61	S
2.	45,40	54,63	9,23	49,16	50,84	1,68	S
3.	43,64	56,33	12,68	51,25	48,75	2,50	S
4.	52,91	47,07	5,84	56,83	43,17	13,66	S
5.	55,91	44,09	11,82	56,87	43,13	13,74	S
6.	38,48	61,51	23,02	43,76	56,24	12,48	S
7.	44,28	55,72	11,45	45,30	54,70	9,40	S
8.	47,55	52,45	4,90	46,11	53,89	7,78	S

Příloha B

FAKULTA BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ
doc. Ing. JIŘÍ HOZMAN, PH.D.
PRODĚKAN PRO ROZVOJ A VNĚJŠÍ VZTAHY



Strana 1/1

doc. MUDr. Jaroslav Feyereisl, CSc.
ŘEDITEL
ÚSTAV PRO PÉČI O MATKU A DÍTĚ
PODOLSKÉ NÁBŘEŽÍ 157
147 10 PRAHA 4

V Kladně dne 7. 12. 2022

Žádost o povolení realizace pilotních experimentů v rámci diplomové práce

Vážený pane řediteli,

na základě naší dlouhodobé vzájemné spolupráce si Vás dovoluji oslovit.

Studentka navazujícího magisterského studijního programu Biomedicínské inženýrství na naší fakultě, slečna Bc. Eliška Niebauerová, v rámci své diplomové práce a pod mým vedením, sestavila trenažér/simulátor pro nácvik konizace děložního čípku vysokofrekvenční elektrochirurgickou kličkou, který by měl sloužit medikům a lékařům. Součástí zadání diplomové práce je i ověření konceptu a možností tohoto prostředku. Rádi bychom ho použili pro pilotní testování lékařů u Vás v ÚPMD v rámci pilotních nácviků pod dohledem pana MUDr. Radovana Turyny, Ph.D., který je odborným konzultantem výše uvedené diplomové práce.

Experimenty by probíhaly 20. prosince 2022 a v některých dnech na konci ledna a v únoru 2023, na operačním sále, tj. vždy po skončení operačního programu a za přítomnosti MUDr. Radovana Turyny, Ph.D. Ze zdravotnických prostředků by na operačním sále byly využity elektrochirurgická jednotka, odsávačka kouře, kolposkop a chirurgické nástroje – vysokofrekvenční elektrochirurgické kličky. Pro potřeby simulátoru bude využita náhrada tkáně.

Dovoluji si Vás tímto požádat o schválení provádění těchto pilotních experimentů na Vašem pracovišti.

Předem Vám děkuji za Vaší ochotu a vstřícnost.

S upřímným pozdravem

doc. Ing. Jiří Hozman, Ph.D.

doc. Ing. Jiří Hozman,
Ph.D.
Ph.D.

Digitally signed by
doc. Ing. Jiří Hozman,
Ph.D.
Date: 2022.12.07
07:07:16 +01'00'

NÁM. SÍTNÁ 3105
272 01 Kladno
ČESKÁ REPUBLIKA

+420 224 358 419
INFO@FBMI.CVUT.CZ
WWW.FBMI.CVUT.CZ

IČ 68407700 | DIČ CZ68407700
BANKOVNÍ SPOJENÍ KB PRAHA 6
Č. Ú. 27-7380010287/0100

Příloha C

Postup měření

Příprava měření:

Před zahájením pilotního měření

Ideálně před příchodem účastníka měření:

- Uspořádání tří nástrojových stolků doprostřed operačního sálu, pokrytí okrajových stolků rouškou či jiným materiálem
- Umístění simulátoru, připravených seřazených párků, pinzety a neutrální elektrody na nástrojový stolek vlevo
- Umístění notebooku na nástrojový stolek uprostřed
- Umístění Karty lékaře, Karet párku, krabičky pro konizáty z párku a pomůcek pro čištění elektrochirurgické klíčky na nástrojový stolek vpravo
- Odstranění krytek kamer
- Zapnutí notebooku, připojení kamer USB kabely k notebooku a zprovoznění OBS studia pro nahrávání videí
- Vsunutí gynekologických zrcadel do simulátoru, jejich rozevření a umístění tak, aby nepřekážela v záběru horní kamery
- Zapnutí elektrochirurgické jednotky, nastavení jednotky do monopolárního režimu pro konizaci, snížení výkonu na 1,5
- Připojení kabelu pro neutrální elektrodu k elektrochirurgické jednotce, zvolení typu neutrální elektrody (jednookruhová)
- Připojení kabelu s rukojetí pro aktivní elektrodu k elektrochirurgické jednotce
- Připravení nožního spínače na zem vpravo od simulátoru
- Zapnutí operačního světla, nastavení polovičního výkonu, zamíření do simulátoru
- Umístění odsávače vlevo od levého nástrojového stolku, zapnutí, připojení filtru a silikonové hadice, nastavení maximálního výkonu odsávání
- Připojení hadičky na odsávání ke gynekologickému zrcadlu / na hadicovou spojku v simulátoru
- Umístění lékařské židle před simulátor
- Umístění kolposkopu cca 2 metry vlevo od lékařské židle

- Zastrčení označené elektrochirurgické kličky do rukojeti

Po příchodu lékaře

- Seznámení lékaře s průběhem měření, v případě potřeby vysvětlení principu konizace děložního čípku a seznámení lékaře s používáním elektrochirurgické kličky, nožního spínače a odsavače kouře
- Vyplnění karty lékaře (vyplní sám lékař / dohromady)
- Nastavení sklonu simulátoru lékařem
- Nastavení výšky nástrojového stolku se simulátorem tak, aby byl šroub gynekologického zrcadla ve výšce cca 119 cm od země
- Seřízení výšky lékařské židle a upravení pozice nožního spínače podle lékaře

Před každým řezem

- Přípravení Karty párku pro příslušný párek
- Přilepení neutrální elektrody na párek
- Umístění párku do malé rozevírací trubky, uzavření trubky a zasunutí vhodného klínku podle zahnutí párku
- Vsunutí malé trubky s párkem do simulátoru, přesné umístění párku mezi dvě rysky uvnitř simulátoru (využití horní kamery)
- Pokud je to nutné, nadzvednutí širšího konce malé trubky tak, aby lékař viděl celou lézi na párku,
- Kontrola obrazu z kamer, případné poupravení molitanu

Průběh měření:

- Zapnutí odsavače
- Zapnutí nahrávání kamer – pokyn lékaři, že může začít
- Provedení řezu
- Vypnutí nahrávání videa
- Vyjmutí odebraného vzorku pinzetou

Po každém řezu:

- Vypnutí odsávače
- Označení pozice 12 na odebraném vzorku, umístění vzorku do krabičky
- Vyplnění směru kličky a počtu kusů při řezu do Karty párku
- Vyjmutí malé odpadní trubky s párkem
- Otevření odpadní trubky, vyjmutí párku, odlepení neutrální elektrody
- Odpojení elektrochirurgické kličky, otření mokrým hadříkem, připojení kličky zpět

Po ukončení série měření – hodnocení konizátů z párků

- Nalítí fyziologického roztoku do kádinky
- Zapnutí váhy

Pro každý vzorek párku

- Změření délky konizátu posuvným měřítkem, zapsání hodnoty do Karty párku
- Vyfocení konizátu ze všech stran
- Umístění kádinky s fyziologickým roztokem na váhu
- Vynulování hodnoty na displeji tlačítkem TARE
- Rozstřížení vzorku
- Upevnění vzorku na nit
- Ponoření vzorku na niti do kádinky tak, aby byl celý ponořen a zároveň se nedotýkal stěn a ni dna kádinky
- Odečtení hodnoty na váze, zápis do Karty párku

Karta lékaře

Základní údaje lékaře:

Jméno a příjmení:

Věk:

ID lékaře:

Lateralita: pravák / levák

Délka praxe v gynekologii (Již před atestací? Jiné obory?):

Zkušenosti s konizací děložního čípku: ano / ne

Metody konizace (+ četnost):

Počet let provádění konizace:

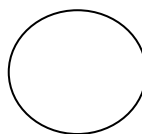
Používané nástroje při konizaci:

Jaká ruka ovládá kličku:

Používání kolposkopu:

Zkušenosti s LLETZ (cca počet):

Upřednostňovaný směr kličky při LLETZ:



Karta párku

Datum měření:

Orientace párku:

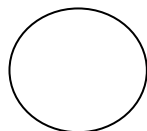
Pořadí párku:

Rozměry před řezem: 



ID lékaře:

Směr kličky:



Počet kusů odebraného vzorku:

Výška kanálu, maximální (mm):

Změřená hmotnost (g):

Vypočtený objem vzorku (ml):

Objem vzorku získaný simulací (ml):

Poznámky:

Příloha D: Obsah přiloženého ZIP souboru

Adresáře:

- Skripty v Matlabu

ostrihnuti_video_pro_naslednou_detekci.m

trajektorie_triangulate.m

vykresleniTrajektorie.m

- Souřadnice 3D trajektorií

Trajektorie P8D8

Trajektorie P10D10

V těchto adresářích jsou jednotlivé .txt soubory se souřadnicemi jednotlivých trajektorií