

ALI LAHKO VENSKO TROMBOZO DIAGNOSTICIRA VSAKDO?

MEDICINA

RAZISKOVALNA NALOGA

Katja Halilovič

3. letnik

Mentorica: **Polona Gros Remec, prof.**

Somentor: **Andrej Bergauer, dr. med.**

Somentor: **doc. dr. Janez Urevc, uni. dipl. inž. str.**

2022/23

Gimnazija Bežigrad

KAZALO

SEZNAM SLIK	ii
SEZNAM PREGLEDNIC.....	iii
ZAHVALA	iv
POVZETEK	v
1 UVOD	1
1.1 Cilji in hipoteze	2
2 TEORETIČNI DEL.....	4
2.1 Vene in arterije kot del krvožilnega sistema	4
2.1.1 Venski sistem	5
2.1.2 Bolezni krvožilja	6
2.2 Tromboza	6
2.2.1 Strjevanje krvi	7
2.2.2 Arterijska tromboza.....	8
2.2.3 Venska tromboza (VT).....	8
2.2.4 Zapleti in zdravljenje venske tromboze.....	8
2.2.5 Dejavniki za nastanek venske tromboze	9
2.3 Postopki diagnosticiranja venske tromboze	9
2.3.1 Klinična slika venske tromboze	9
2.3.2 Prvi korak diagnoze.....	10
2.3.3 Objektivne metode diagnosticiranja	10
2.3.4 Tlačna ultrasonografija (CUS)	11
2.3.5 Občutljivost in specifičnost	13
2.3.6 Ultrazvok.....	14
2.4 Elastičnost žil in krvni tlak.....	15
2.4.1 Zgradba žil.....	16
2.4.2 Elastičnost žil	17
2.5 Statistična analiza meritev.....	18
2.6 Ali bi lahko CUS izvajali laiki?	19
3 EKSPERIMENTALNI DEL	20
3.1 Zasnova eksperimenta	20
3.2 Izdelava fantomskega modela	23
3.3 Oprema.....	27
3.4 Navodila za preiskovalke	28
3.5 Izvedba eksperimenta.....	32
3.6 Obdelava merjenih podatkov	32
4 REZULTATI IN RAZPRAVA	34
4.1 Obdelava odgovorov preiskovalk.....	34
4.2 Obdelava slik iz videoposnetkov eksperimenta	36
5 SKLEPI IN POTRDITEV HIPOTEZ	40
6 ZAKLJUČEK.....	41
7 LITERATURA IN VIRI	vi
PRILOGA	ix

SEZNAM SLIK

Slika 1: Prenosni ultrazvok z mobilno aplikacijo (Alpha Sport, 2022 in Philips, 2023).....	1
Slika 2: Sestava krvi. a) Trombociti in krvne celice (elektronska mikroskopija), b) Razmaz krvi z eritrociti, trombociti in levkocitom (Preložnik Zupan, 2022).....	4
Slika 3: Krvni obtok (Stušek idr. 2011).....	5
Slika 4: Lega povrhnjih, globokih in prebodnih ven (Makovec, 2018).....	5
Slika 5: Venski sistem spodnjih udov (Dinh, 2022).....	5
Slika 6: Hemostaza (Preložnik Zupan, 2022).....	7
Slika 7: Primer kliničnih znakov globoke venske tromboze (Eržen, 2020 in Strijkers, 2011).....	9
Slika 8: Wellsov točkovnik (Kozak idr., 2016).....	10
Slika 9: Postopek CUS na femoralni veni (Dinh, 2022).....	12
Slika 10: Mesta izvajanja postopka CUS (Dinh, 2022).....	12
Slika 11: Brez venske tromboze. a) Nestisnjeni žili, b) žili ob pritisku – vena se zapre (Carter, 2019).....	13
Slika 12: Venska tromboza. a) Nestisnjeni žili, b) žili ob pritisku – vena se ne zapre (Dinh, 2022)	13
Slika 13: Kako nastane ultrazvočna slika. a) A- in B-način, b) Sestavljeni B-način (Flis idr., 2010)...	15
Slika 14: Velikost tlaka v žilah (Stušek, 2005).....	16
Slika 15: Zgradba žile (Urevec, 2016).....	16
Slika 16: UZ slika femoralne arterije (leva žila) in vene (desna žila) (Kim idr., 2011).....	17
Slika 17: Elastičnost žil (Camasao idr., 2021).....	17
Slika 18: Mesto preizkušanja na telesu (Anatomy 3D Atlas, 2023).....	21
Slika 19: Vzorci materiala za fantomski model. (1) Osnovni vzorec, (2) dvojna vsebnost želatine, (3) dodana moka, (4) dodan gustin, (5) dodani lasje, (6) dodana kokosova moka, (7) dodan puding	24
Slika 20: Struktura vzorcev po prebadanju s plastično slamico.	24
Slika 21: Izdelava fantomskega modela. a) Spodnja polovica, b) Dodajanje cev, c) Zgornja polovica	25
Slika 22: Izdelava fantomskega modela. a) Odstranjevanje želatine iz cev, b) Odstranjevanje plastične cevke, c) Izdelan fantomski model.....	26
Slika 23: Deformiranje cev v fantomskem modelu pri pritisku s sondo. a) Nedeformirano stanje, b) Stanje ob pritisku s sondo	26
Slika 24: Osnovna oprema za izvajanje eksperimenta	27
Slika 25: Nadgrajena ultrazvočna sonda s silomerom.....	27
Slika 26: Izhodni podatki. A) Ultrazvočni posnetki (aplikacija Lumify), b) Aplikacija za prikaz izmerjene sile.....	28
Slika 27: Izvajanje eksperimenta na šoli	32
Slika 28: Prikaz postopka merjenja dimenzij žil na slikah. a) Začetna dimenzija arterije, b) Končna dimenzija arterije, c) Začetna dimenzija vene, b) Končna dimenzija vene	33
Slika 29: Odgovori preiskovalk. a) Stopnja stisnjenosti arterije, b) Stopnja stisnjenosti vene	34
Slika 30: Odvisnost stopnje deformiranosti arterije in vene med preiskavo	37
Slika 31: Izmerjene vrednosti stisnjenosti obeh žil med preiskavami vseh preiskovalcev.....	38

SEZNAM PREGLEDNIC

Preglednica 1: Navodila za preizkus na maketi.....	29
Preglednica 2: Navodila za preizkus na človeku.....	30
Preglednica 3: Vprašalnik	31
Preglednica 4: Odgovori preiskovalk.....	35
Preglednica 5: Pričakovane vrednosti za Hi-kvadrat	35
Preglednica 6: Pomožne vrednosti za izračun Hi-kvadrat.....	36
Preglednica 7: Odgovori preiskovalk, ki so jih podale na vprašalniku v preglednici 3	ix
Preglednica 8: Meritve geometrije vene med stiskanjem za skupino preiskovalk brez silomera	x
Preglednica 9: Meritve geometrije arterije med stiskanjem za skupino preiskovalk brez silomera.....	x
Preglednica 10: Meritve geometrije vene med stiskanjem za skupino preiskovalk s silomerom	xi
Preglednica 11: Meritve geometrije arterije med stiskanjem za skupino preiskovalk s silomerom.....	xi

ZAHVALA

Na začetku se iskreno zahvaljujem profesorjem športne vzgoje, da ste mi kljub stiski s prostorom zaradi prenove telovadnice vedno prijazno odstopili kotiček, kjer sem lahko izvedla eksperimente. Slednji ne bi bili uresničljivi, če mi ne bi prijateljice iz osnovne in srednje šole namenile nekaj svojega časa in bile preiskovalke. Hvala za vsa vaša zastavljena vprašanja, voljo in trud, saj sem tako tudi sama pri eksperimentalnem delu neznansko uživala. Prav tako moram zahvalo pokloniti ostalim profesorjem za podporo, še posebej razredničarki Andreji Piškur Vodopivec in svoji mentorici Poloni Gros Remec za komentarje ter nasvete, saj sem se iz njih lahko med drugim tudi naučila, da je natančnost koristna vrлина.

Največja zahvala gre doc. dr. Janezu Urevcu za usmerjanje pri zasnovi eksperimenta in pozornost na nešteto motečih faktorjev, zaradi katerih raziskovalna naloga ne bi bila relevantna. Zahvaljujem se njegovi ekipi sodelavcev za pripravljenost na tehničnem področju, pri naročanju in sestavljanju opreme za raziskovanje, ki je vseskozi izvrstno delovala. Hvala tudi kardiovaskularnemu kirurgu Andreju Bergauerju za globbo predstavitev medicinskega problema in možnost, da sem lahko obiskala Kirurški sanatorij v Rožni dolini, saj sem takrat ugotovila, da je to tema, kateri se želim v raziskovalni nalogi zares posvetiti.

Zahvaljujem se tudi družini za razumevanje mojih podvigov, nereda v kuhinji in pomanjkanja prostora v hladilniku, ko sem neštetokrat eksperimentirala s kuhanjem želatinastih fantomskih modelov.



* Večja kot je ovira, večja je slava pri njenem premagovanju.

POVZETEK

Ultrazvočne naprave so napredovale do te mere, da so dostopne širšemu krogu uporabnikov. Ultrazvok se med drugim uporablja tudi za diagnosticiranje venske tromboze v postopku tlačne ultrasonografije, pri katerem preiskovalec s sondo pritisne na veno. Če s pritiskanjem vene ne uspe popolnoma zapreti, potem sklepa, da je v njej krvni strdek, s čimer diagnosticira vensko trombozo. Če preiskovalec vene ne more popolnoma sploščiti, čeprav v njej ni strdka, lahko poda lažno pozitivno diagnozo.

Eden izmed vzrokov za lažno pozitivne diagnoze v klinični praksi je nezadosten pritisk na veno z ultrazvočno sondo. V nalogi smo preučili, v kolikšni meri bi nadgradnja ultrazvočne sonde s silomerom, ki meri jakost pritiskanja sonde na veno, zmanjšala vpliv neustrezno uporabljene sile. Zasnovali smo eksperiment, pri katerem smo primerjali pravilnost izvedbe postopka dveh skupin preiskovalcev. Prva je uporabljala običajno ultrazvočno sondo, druga pa s sondo, nadgrajeno s silomerom, ki je bil predhodno umerjen na silo, ki je potrebna, da se vena popolnoma zapre.

Rezultati analiz kažejo, da nadgradnja ultrazvočne sonde bistveno izboljša pravilnost izvedbe postopka. Prav tako smo z obdelavo ultrazvočnih posnetkov izvedb poskusa spremljali geometrijo deformiranih žil med postopkom stiskanja in opazili, da je razmerje stopenj sploščenosti arterije in vene pomemben indikator pravilnosti izvedbe. Rezultati so pokazali, da vsakdo še ne bi mogel diagnosticirati venske tromboze, so pa toliko obetavni, da bi bila preprosta nadgradnja ultrazvočne sonde lahko koristna tudi za klinično prakso. Študija predstavlja dobro izhodišče za nadaljnje raziskave, kjer bi analizirali večjo populacijo zdravih in bolnih ljudi ter določili karakteristično območje odzivanja žil na pritiskanje za obe skupini. S tem bi dosegli, da bi nadgradnja ultrazvočne sonde s silomerom in spremljanje geometrije žil med izvedbo tlačne ultrasonografije pomembno zmanjšala delež lažno pozitivnih diagnoz venske tromboze.

Ključne besede: venska tromboza, ultrazvok, tlačna ultrasonografija, lažno pozitivna diagnoza, silomer

1 UVOD

Venska tromboza je bila eden od resnejših zapletov pri okužbi z virusom Covid-19 in stranski učinek cepiv proti virusu. Nanjo smo postali bolj pozorni, ko so posledice bolezni povzročale smrt. Mediji so poročali (Ferlič Žgajnar, 2021), da je 20-letnica po cepljenju s cepivom Janssen umrla zaradi krvavitev in strdkov, še veliko pogostejše pa so se venske tromboze pojavljale pri obolelih z virusom Covid-19 (Cunder idr., 2021).

Tromboza je pojav v žili, pri katerem nastane krvni strdek, ki zmanjša oziroma popolnoma zapre pretok krvi. Arterijska tromboza povzroča infarkt, saj se zamašijo žile odvodnice, ki dovajajo kisik do možganov ali srca, pri venski trombozi pa se zaradi zapore žil dovodnic pojavljajo drugi zapleti, kot je na primer pljučna embolija, zaradi česar jo je potrebno pravočasno diagnosticirati in uvesti antikoagulantno terapijo (Tratar, 2017).

V literaturi smo prebrali, da je klasičen postopek diagnosticiranja venske tromboze pregled krvi in slikanje ven s kontrastom. V zadnjem obdobju pa se pogostejše uporablja ultrazvok, s katerim lahko izkušen preiskovalec ugotovi vensko trombozo. Pri tem postopku s sondo pritiska na žile in opazuje, ali se zaradi pritiska vena popolnoma stisne oziroma zapre. Če preiskovalec vene s pritiskom ne zapre, je v njej prisoten strdek. Postopek se imenuje **tlačna ultrasonografija** (CUS, ang. *Compression ultrasonography*) (Kozak in Vene, 1999).

Zadnja metoda se je razširila tudi zato, ker so ultrazvočne naprave dostopnejše. Tehnologija je tako napredovala, da so ultrazvočne sonde lahko povezane tudi s pametnim telefonom (slika 1) (Alpha Sport, 2022). Glede na takšen razvoj smo se vprašali, ali bodo morda ultrazvoki nekoč tako dostopni, da jih bomo imeli tudi doma, kot imamo termometre, merilnike krvnega tlaka, krvnega sladkorja, oksimetre ipd. Na ta način bi se lahko pregledovali sami in odkrili morebitno vensko trombozo.



Slika 1: Prenosni ultrazvok z mobilno aplikacijo (Alpha Sport, 2022 in Philips, 2023)



Razvoj cenovno dostopnih ultrazvočnih naprav bi torej razširil krog ljudi, ki jih lahko uporabljajo, med drugim tudi za diagnozo venske tromboze. Takšno preiskovanje je subjektivno, zato lahko neizkušeni preiskovalci napačno presodijo, da gre za vensko trombozo, čeprav je v resnici ni. Preiskovalci se pri postopku tlačne ultrasonografije s sondo ne samo dotaknejo telesa, temveč morajo nanj tudi pritisniti. **Pomembno pri izključevanju venske tromboze je, da stisnejo tako močno, da veno popolnoma zaprejo in se tako prepričajo, da v njej ni strdka.** Problem pa se posledično lahko pojavi pri premajhnem pritisku. Ker ta vene še ne zapre, lahko sklepajo na lažno prisotnost krvnega strdka (Varrias idr., 2021).

Pri tem postopku se pojavljajo lažno pozitivne diagnoze celo v primerih, ko CUS izvaja medicinsko osebje, ki postopek izvaja le občasno (zdravniki na urgencah, v zdravstvenih domovih, v nerazvitem svetu ipd.) (Di Vilio idr., 2021). Lažno pozitivne diagnoze se pojavijo predvsem zaradi dveh razlogov:

- neizkušen preiskovalec zaradi pomanjkljivega znanja anatomije želi zapreti arterijo namesto vene in ker mu to ne uspe, sklepa na trombozo;
- neizkušen preiskovalec sicer najde veno, a je ne stisne dovolj in zato sumi na strdek.

Če se na podlagi lažno pozitivne diagnoze uvede napačno zdravljenje, ima to lahko neželene posledice. Nevarnost lažno pozitivnih diagnoz venske tromboze je ta, da zdravemu človeku predpišejo zdravljenje proti venski trombozi, ki ima stranske učinke in so lahko nevarni (Varrias idr., 2021).

1.1 Cilji in hipoteze

Pomanjkljivost ultrazvočne sonde za namen izvajanja postopka CUS je v tem, da ultrazvočna naprava ne da povratne informacije, ali je preiskovalec dovolj močno pritisnil s sondo. Predvidevamo, da bi se »dovolj močan pritisk« dalo predpisati, če bi predhodno izvedli kalibracijo na določeni populaciji, a obstoječe sonde sile pritiskanja ne morejo meriti. Na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani razvijajo napravo, s katero želijo posredno meriti tlak v venah. Njihova naprava je pravzaprav **nadgrajena ultrazvočna sonda s silomerom**, s katerim pritiskamo na površino. Če bi jo nadgradili še **z zvočnikom, ki zapiska ob doseženi predpisani sili**, in bi jo uporabili pri postopku CUS, bi preiskovalec vedel, **da pritisne dovolj, ko zasliši pisk. Na ta način bi rešili težavo, kjer preiskovalec na veno ne pritisne dovolj in zato lažno diagnosticira vensko trombozo.**

Hipoteza 1: Če skupina neizkušenih preiskovalcev izvaja postopek CUS z nadgrajeno ultrazvočno napravo s silomerom in zvočnikom, ki zapiska ob predpisani sili, bo manj lažno pozitivnih diagnoz kot v skupini, ki izvaja postopek CUS z običajno ultrazvočno sondo.



Slika, ki jo snemamo z ultrazvočno sondo, se prikazuje na pametnem telefonu ali tabličnem računalniku. Če na teh napravah vklopimo snemanje zaslona, lahko dobimo videoposnetek našega pregleda s sondo. To nam omogoča tudi kasnejšo obdelavo rezultatov, saj lahko primerjamo stanje, ko sta arterija in vena deformirani, s stanjem, ko nista. Ker se vena pri istem pritisku s sondo deformira bistveno bolj kot arterija, bi morda lahko sklepali na strdek s tem, da spremljamo stisnjenost obeh žil.

Če se iz posnetka vidi, da je vena v celoti zaprta, potem vemo, da venske tromboze ni. Ker pa neizkušeni preiskovalci s sondo premalo pritisnejo, lahko pričakujemo, da bosta obe žili delno deformirani. **Ali bi opazovanje razmerij geometrije deformiranih žil na ultrazvočnih videoposnetkih, ki prikazujejo celoten potek preiskave, lahko prispevalo k zmanjšanju lažno pozitivnih diagnoz venske tromboze?** Predpostavljamo, da bi se lahko preiskovalci, ki žil niso stisnili dovolj, s pomočjo razmerja premerov stisnjenih ven in arterij, pridobljenih z obdelavo slik, izognili lažno pozitivni diagnozi venske tromboze.

Hipoteza 2: Spremljanje stopnje sploščenosti arterije in vene s pomočjo obdelave ultrazvočnih posnetkov preiskave zmanjša lažno pozitivne diagnoze venske tromboze.

V nalogi smo preiskovali, ali bi bilo mogoče vensko trombozo diagnosticirati v domačem gospodinjstvu. **Eden od problemov lažno pozitivnih diagnoz predstavlja nezadostno pritiskanje na veno. V nalogi smo se osredotočili na ta vpliv in preiskali, v kolikšni meri neizkušeni preiskovalci uspejo popolnoma zapreti veno, kar je glavni kriterij za izključitev venske tromboze.**

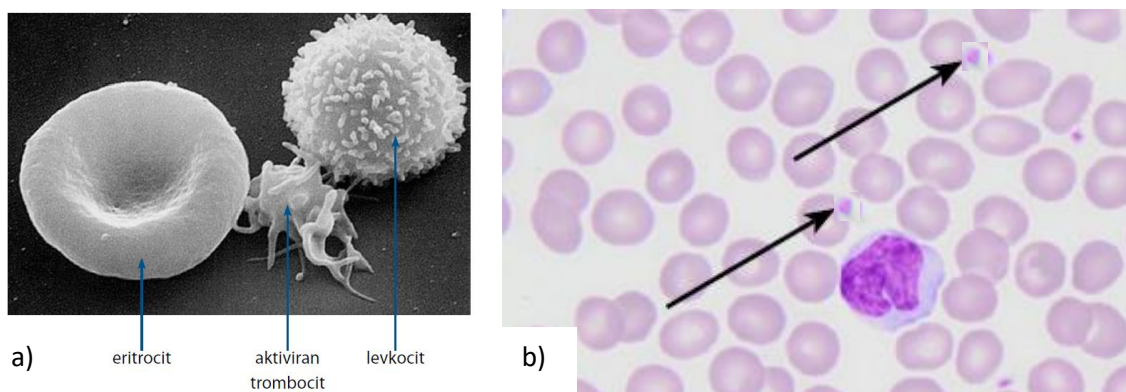
Ker poskusov za preverjanje hipotez nismo mogli izvajati na bolnikih z vensko trombozo, smo si zamislili eksperiment, kjer sta dve skupini vrstnic izvajali poskus na meni. Pred tem so se seznanile z uporabo ultrazvočne sonde, saj nobena od njih še ni rokovala z ultrazvokom. V ta namen smo izdelali fantomski model iz želatine in dveh cevki, na katerem so se učile postopka, nato pa je vsaka pritisnila na mojo femoralno veno in opazovala, v kolikšni meri jo zapre. Preiskovalke ene skupine so uporabljale običajno ultrazvočno sondo, medtem ko so preiskovalke druge skupine uporabljale nadgrajeno ultrazvočno sondo s silomerom in zvočnikom. Preiskovalke z običajno ultrazvočno sondo smo dali enako navodilo, kot ga imajo izvajalci postopka CUS, in sicer: *stisni tako močno, da zapreš žilo*. Preiskovalke s sondo s silomerom pa smo naročili, naj *stisne tako močno, da zasliši pisk*. Njihovi odgovori o tem, v kolikšni meri so uspele zapreti veno, so bili osnova za preverjanje prve hipoteze. Za potrjevanje druge hipoteze pa smo pregledali ultrazvočne posnetke njihovega izvajanja eksperimenta, pri čemer smo spremljali razmerje sploščenosti arterije in vene ter preverjali, ali bi ta dodatna informacija pripomogla k pravilnejši izvedbi postopka.

2 TEORETIČNI DEL

2.1 Vene in arterije kot del krvožilnega sistema

Kompleksnejše živali so razvile zaprt krvožilni sistem, saj zanje difuzija plinov skozi površino krovnega tkiva ni bila dovolj hitra in učinkovita. Zaradi velikosti, zahtevnosti zgradbe in potrebe po energiji so nujno potrebovale nosilno snov, v kateri bi se molekule raztopile ter zadostno in hitreje prenašale do ciljnih mest. Razvile so cevaste prostore in črpalko, ki je uspela poganjati tekočino. To je obtočilni sistem, ki omogoča, da kri na svoji poti po žilah prenaša toploto, hormone, hranilne snovi ter dihalne pline do organov, s katerimi snovi izmenjuje. Obtočila imajo obrambno vlogo pred patogenimi organizmi ter nas zaščitijo pred izkrvavitvijo. Kri je omejena na pretakanje znotraj krvnih žil, del sistema pa je tudi srce, ki ritmično utripa in poganja kri po telesu (Stušek idr., 2011).

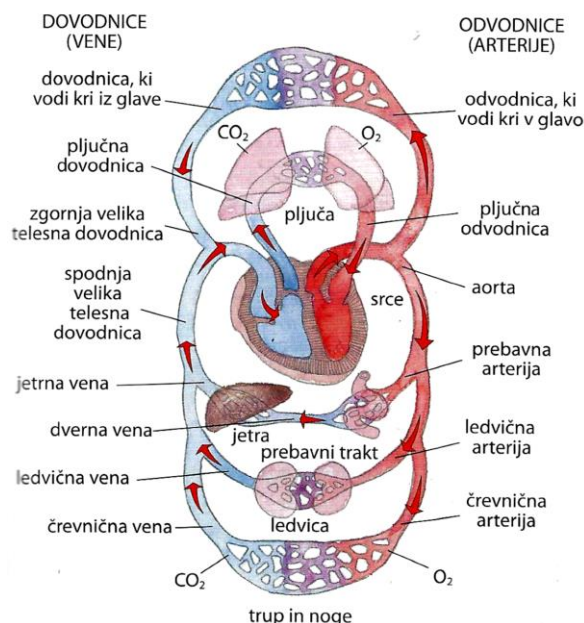
Tekoči del krvi predstavlja 55 % celotne krvi in ga imenujemo krvna plazma. V njej so raztopljene številne beljakovine klobčičastega videza, kot na primer albumini in globulini, ali nitaste beljakovine, ki sodelujejo pri strjevanju krvi. Preostali del krvi so v večini rdeče krvničke ali eritrociti, ki prenašajo molekule hemoglobina, na katere je vezan kisik. Bele krvničke ali levkociti, ki imajo nalogo obrambe pred tujki, ter krvne ploščice ali trombociti skupaj predstavljajo komaj en odstotek celotne krvi (Stušek idr., 2011) (slika 2a). Trombociti so pomembni pri procesu, ki preprečuje preveliko izgubo krvi. Na sliki 2b so označeni s puščico ter so brezjedrni ostanki večjih celic megakariocitov, največjih celic v rdečem kostnem mozgu, in vsebujejo gosta zrnca, v katerih so Ca^{2+} , Mg^{2+} , serotonin, epinefrin ipd. ter alfa-zrnca, ki vsebujejo faktorje koagulacije, rastne faktorje (Preložnik Zupan, 2022). Ob poškodbi se trombociti začnejo lepiti eden na drugega in tako zamašijo žilo (Knežević, 2009).



Slika 2: Sestava krvi. a) Trombociti in krvne celice (elektronska mikroskopija), b) Razmaz krvi z eritrociti, trombociti in levkocitom (Preložnik Zupan, 2022).

Pri človeku je razvit veliki ali telesni krvni obtok, po katerem gre kri iz srca po telesu, nato pa zopet nazaj iz telesa v srce, kot je prikazano na sliki 3. Poleg tega je razvit mali ali pljučni krvni obtok, ki vodi kri iz srca v pljuča in od tod nazaj v srce. Arterije, vene in kapilare so tri

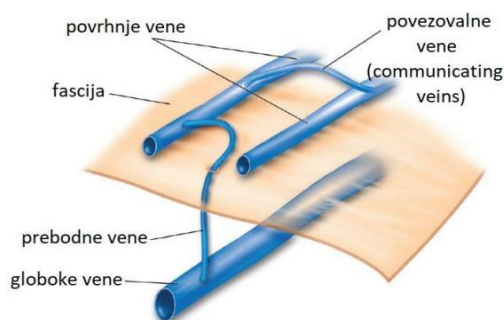
različne vrste krvnih žil, ki se razlikujejo po nalogah, zgradbi, velikosti, tlaku ipd. Po pljučnih arterijah ali odvodnicah potuje kri z nizko vsebnostjo kisika iz desnega ventrikla srca v pljuča. Pljučne vene prenašajo oksigenirano kri iz pljuč v levi atrij srca, od tod pa potuje v telo po sistemskih arterijah. V telesu se razcepljajo v arteriole, te pa v kapilare, ki so najmanjše izmed krvnih žil. Kapilare ali lasnice omogočajo, da se skozi tanko steno izločajo različne snovi, kot so plini, tekočina, ter da odpadne snovi iz tkiv prehajajo nazaj v kri. Kapilare se znova zbirajo na drugi strani v venule, ki se debelijo v vene. Sistemske vene kri z nizko vsebnostjo kisika dovajajo iz telesa v desni atrij srca (Artery vs. Vein, 2018).



Slika 3: Krvni obtok (Stušek idr. 2011)

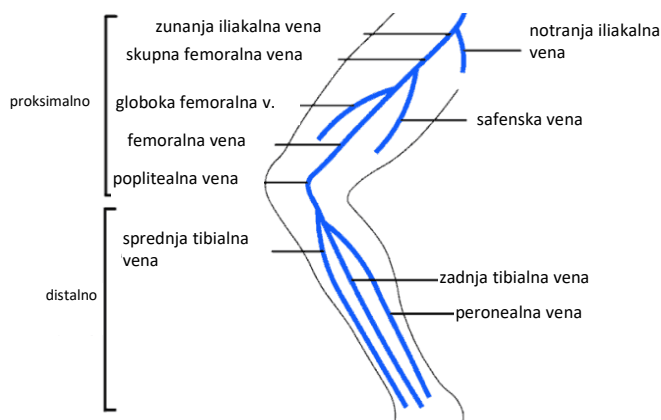
2.1.1 Venski sistem

Pri raziskovalni nalogi smo se osredotočili na glavne vene spodnjih udov, zato bomo opisali osnovno anatomijo. Venski sistem spodnjih udov se deli na tri skupine ven, kot kaže slika 4, in sicer na sistem povrhnjih, globokih in prebodnih ven, pri čemer prebodne povezujejo prejšnja tipa ven (Rajamahendran, 2013). Povrhnje vene, kot na primer sistem safenskih ven, se nahajajo v podkožju, torej med usnjico in vezivnim tkivom, ki obdaja mišice, t.i. mišično fascijo (Boc in Čebašek, 2013).



Slika 4: Lega povrhnjih, globokih in prebodnih ven (Makovec, 2018)

Venska tromboza je najpogostejša v globokih venah spodnjega uda, zato se bomo posvetili poteku teh ven, ki jih prikazuje slika 5. Celotna kri spodnjega uda priteka iz ven stopala v goleno in meča po posteriorni in anteriorni tibialni ter peronealni veni v poplitealno veno, ki leži v podkolenski jami in se nadaljuje preko abduktornega kanala v



Slika 5: Venski sistem spodnjih udov (Dinh, 2022)



stegno v femoralno veno (Mlakar in Ravnik, 1999). Slednja ima nekaj večjih pritokov, kot je globoka femoralna vena, velika safenska vena ter lateralna in medialna cirkumfleksna femoralna vena, ki zbirajo kri iz prednjega in zadnjega dela stegna. Od pritokov naprej se femoralna vena imenuje *skupna femoralna vena*, ki se je v starejši literaturi poimenovala povrhnja femoralna vena, vendar je ta nomenklatura zavajajoča, saj je to v resnici globoka vena (Boc in Čebašek, 2013). V nalogi se bomo osredotočili na zgornji predel stegna, in sicer bo skupna femoralna vena predmet našega preiskovanja, ki leži v zgornjem delu femoralnega trikotnika, ta pa na bazi dimeljske vezi. V nadaljevanju proti trupu, ko skupna femoralna vena prestopi skozi žilno lakuno, se preimenuje v zunanjo iliakalno veno (Mlakar in Ravnik, 1999).

Vene prenašajo kri naprej proti srcu (Boc in Čebašek, 2013), a v venskem sistemu ni nove črpalke, ki bi kri potiskala. Potovanje krvi v eni smeri ni problem za tiste vene, ki se nahajajo nad srcem, saj gravitacijska sila omogoča pretok navzdol, teža pa predstavlja težavo za vene spodnjih, zgornjih udov ter trupa. Da kri po venah iz teh predelov teče nazaj proti srcu v eni smeri, omogočajo venske zaklopke in mišična črpalka, pri kateri mišice, ki obdajajo vene, med izmeničnim krčenjem pritiskajo na steno ven, tako pa pomagajo potiskati kri proti srcu (Stušek idr., 2011). Globoke vene spremljajo arterije, ki utripajo, in podobno kot mišična črpalka delujejo na vene. Temu mehanizmu pravimo arteriovenska sklopitev (Boc in Čebašek, 2013).

2.1.2 Bolezni krvožilja

Srčno-žilne bolezni so usodne ter so vodilni vzrok smrtnosti po svetu (Novak, 2014). Po statistiki Svetovne zdravstvene organizacije iz leta 2019 letno zaradi teh bolezni umre okoli 17,9 milijonov ljudi (WHO, 2023).

Med srčno-žilnimi boleznimi prevladuje koronarna srčna bolezen, ki je poškodba v koronarnih žilah, ki oskrbujejo srce, sledijo ji cerebrovaskularna bolezen, kar je poškodba žil, ki vodijo v možgane, revmatična srčna bolezen oziroma poškodba srčne mišice in srčnih zaklopk zaradi streptokoknih bakterij, prirojene okvare srca, globoka venska tromboza in pljučna embolija, ko nastanejo krvni strdki v venah, ki se lahko premaknejo v srce in pljuča, ateroskleroza ter arterijska hipertenzija (visok krvni tlak) (Pintarič, 2012).

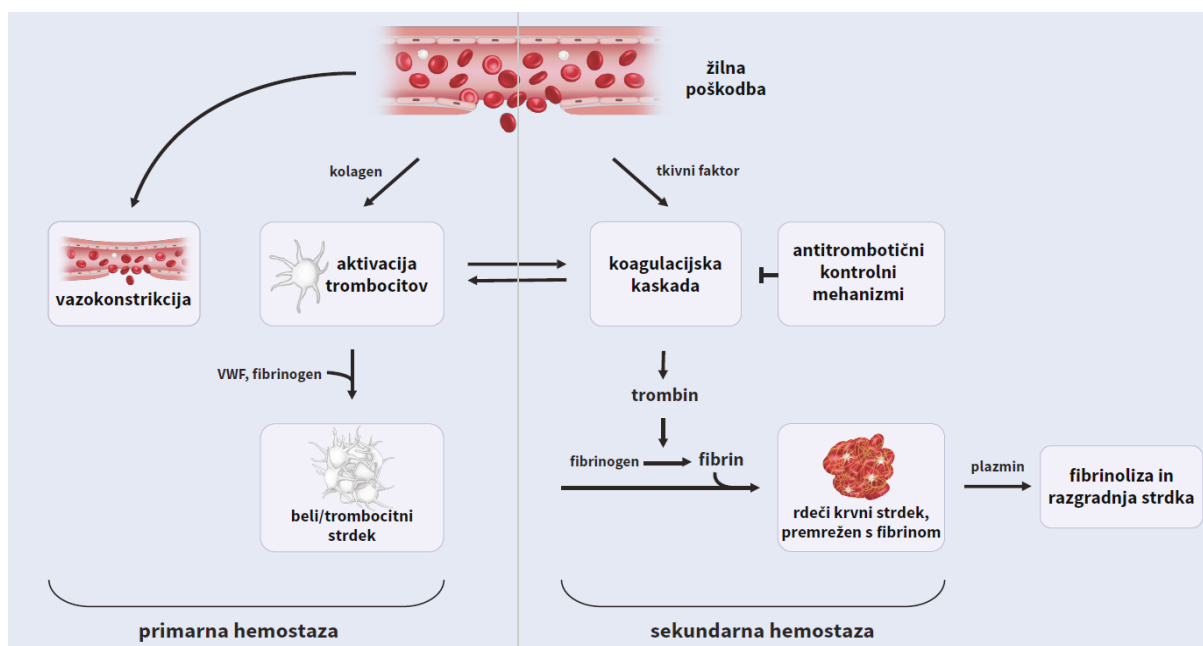
2.2 Tromboza

Tromboza je proces strjevanja krvi v krvožilnem sistemu človeka, kjer v arteriji, veni, kapilarah ali na srčnih zaklopkah nastane krvni strdek oziroma tromb, ki delno ali popolno zamaši žile ter ovira kroženje krvi po krvožilnem sistemu (Motnje cirkulacije, 2013). Glede na mesto oblikovanja strdka delimo vensko in arterijsko trombozo (Vošnjak, 2018). Z arterijsko trombozo so povezana nevarna klinična stanja, saj krvni strdek zmanjša prekrvavitev tistega predela, ki ga žila oskrbuje s krvjo, kar pa vodi v odmrtnost organa in posledično smrt, z vensko trombozo pa pljučna embolija (Žagar, 2016).

2.2.1 Strjevanje krvi

V človeškem telesu ves čas poteka zapleten proces hemostaze v štirih fazah, kjer so procesi strjevanja krvi (žilna faza, trombocitna faza, faza koagulacije) ter razgrajevanja krvnih strdkov (fibrinoliza) ves čas v ravnovesju (Motnje cirkulacije, 2018).

Ob poškodbi krovnih tkiv žile (slika 6) pride do zoženja žile kot posledica krčenja gladke mišice v njeni steni, tak mehanizem pa se imenuje vazokonstrikcija. Trombocitno fazo sproži poškodba žilne stene, v kateri se trombociti prilepijo na ekstracelularni matriks (adhezija), pri čemer sodeluje van Willebrandov faktor, na katerega se vežejo receptorske molekule GPIIb/IIIa na površini trombocitov (Knežević, 2009). Krvne ploščice imajo receptorje za snovi, kot na primer adrenalin, adenosin difosfat (ADP), kolagen, faktor PAF, tromboksan A₂, ki aktivirajo ostale trombocite, kar pomeni, da se sprostijo vsebina zrn trombocitov, torej serotonin, Ca²⁺, fibrinogen, ADP itd. (Knežević, 2009). Fibrinogen poveže trombocite med seboj (agregacija), tako pa nastane strdek. Ko se aktivirajo koagulacijski faktorji, se protein protrombin pretvarja v aktivno obliko trombin, ki preoblikuje fibrinogen v vlaknato beljakovino fibrin, ki obda trombocitni čep v fibrinsko mrežo, v katero se ujamejo eritrociti in levkociti, in strdek tako učvrsti (Lenasi, 2017). V zadnji fazi hemostaze poteka proces fibrinolize, kjer encim plazmin razgradi fibrin oziroma strdek, tako da žilo naredi zopet prehodno (Motnje cirkulacije, 2013).



Slika 6: Hemostaza (Preložnik Zupan, 2022)

Dejavniki za nastanek tromboze povzročajo posledice iz koncepta Virchowe triade (Stone idr., 2017), in sicer poškodbo venske stene, stazo ali turbulenco – motnje v toku krvi – ter hiperkoagulabilnost, tj. spremembe v sestavi krvi in povečano strjevanje krvi (Motnje cirkulacije, 2013). Torej je proces hemostaze moten.



2.2.2 Arterijska tromboza

Če se zamaši arterija, govorimo o arterijski trombozi, njene posledice pa so v javnosti kar dokaj prepoznavne. Srčna in možganska kap sta prevladujoči bolezni krvožilja, ki nastaneta zaradi nalaganja maščob (holesterola v obliki lipoproteinskih skupkov LDL) na notranjo plast žilne stene. Če se katera od koronarnih žil zamaši zaradi ateroskleroze, se pojavi bolečina v srcu, čemur strokovno rečemo angina pectoris. Ko maščobna obloga počí, naš sistem sproži strjevanje krvi oziroma nalaganje trombocitov, saj misli, da se je žila poškodovala. Ker krvni strdek povsem ustavi dotok krvi do srca ali možganov, tkivo v srcu ali možganih odmre (Stušek idr., 2011). Po podatkih Svetovne zdravstvene organizacije so najpomembnejši dejavniki za nastanek srčne in možganske kapi prekomerno uživanje hrane z visoko energijsko vrednostjo (maščob), telesna nedejavnost, kajenje, stres, prekomerna telesna masa, visok krvni tlak, prav tako pa tudi sladkorna bolezen, starost, motnje v strjevanju krvi, obstoječe srčno-žilne bolezni in genska pogojenost (WHO, 2023).

2.2.3 Venska tromboza (VT)

V venskem sistemu lahko nastane strdek tako v globokih venah kot v povrhnjih venah in slednji trombozi pravimo površinski tromboflebitis, ki jo lahko spremlja le bolečina, občutljivost, otekla in rdeča koža, a ne povzroča hujših zapletov. Zdravljenja zanj ne predpišejo, razen če se raznosi do mest v prebodnih venah, kjer je možnost, da se prenese v globoke vene (Tratar, 2017). Globoka venska tromboza (GVT) najpogosteje prizadene globoke vene spodnjih okončin, v zgornjih udih pa predstavlja približno 10 % vseh venskih tromboz, torej je precej redkejša v primerjavi s pojavnostjo venske tromboze v spodnjih udih. Za vensko trombozo zbolí letno v Sloveniji okoli 3000 oseb – 1,6 oseb na 1000 prebivalcev.

GVT v venah spodnjih okončin delimo glede na mesto nastanka. Če strdek nastane v iliaikalni, femoralni ali poplitealni veni, govorimo o proksimalni GVT ven spodnjih okončin, o distalni pa, če strdek nastane v globokih venah goleni (Granda, 2022).

2.2.4 Zapleti in zdravljenje venske tromboze

Resnejša posledica GVT je pljučna embolija, ki jo v približno 90 % povzroči proksimalna GVT v venah spodnjih udov in se običajno pojavi v akutni fazi obdobja bolezni pri 50 % bolnikov, ki niso zdravljeni (Jeraj, 2018). Skupno ime za pojav venske tromboze in pljučne embolije je venska trombembolija, kjer se strdek (v prosto gibajočem stanju se imenuje embolus) popolnoma ali deloma odlepi od mesta nastanka, pretok krvi ga prenaša po telesu ter zamaši eno ali več pljučnih arteriol (Embolus, 2022). Ustrezno zdravljenje globoke venske tromboze je ključnega pomena, saj je zaplet pljučne embolije tudi usoden (Tratar, 2017).

Lokalni zaplet venske tromboze v kronični fazi je potrombotični sindrom, ki se razvije pri 20 % (po nekaterih podatkih tudi do 50 %) bolnikov z GVT (Jeraj, 2018). Bolnikom okončine otekajo (edem), pojavi se rdečica, temna cianoza, krči, krčne žile ter imajo občutek težkih in utrujenih nog, pri težjih oblikah se pojavijo razjede na golenih (Kahn, 2016).

Zdravljenje venske tromboze temelji na antikoagulacijskih zdravilih, ki zavirajo strjevanje krvi, kot je heparin ali zaviralci vitamina K, na primer varfarin (Granda, 2022).

2.2.5 Dejavniki za nastanek venske tromboze

GVT sprožajo kronične bolezni, kot so rak, predhodne venske tromboembolije, debelost (Cushman, 2007) in nagnjenost k trombozam oziroma trombofilija (pomanjkanje antitrombina, proteina C, proteina S, mutacija v genu za faktor V Leiden, za protrombin, prisotnost antifosfolipidnih protiteles) (Mavri idr, 2013 in Kahn, 1998). Tveganje za nastanek GVT se poveča ob prehodnih dejavnikih, kot so imobilizacije, operacije, poškodbe, akutna internistična obolenja, vstavljeni intravenski katetri, nosečnost in porod, uporaba zaščitnih sredstev proti zanositvi, hormonsko zdravljenje v menopavzi, letalski poleti nad osem ur, ležanje več kot 3 dni ipd (Kozak idr., 2016). Venska tromboza je bila v zadnjem času epidemije s Covidom-19 v porastu, saj je pogost zaplet pri okužbi s Covidom-19 z incidenco kar 20 % pri intenzivno zdravljenih bolnikih (Hanff, 2020 in Whiteley idr., 2022).

2.3 Postopki diagnosticiranja venske tromboze

2.3.1 Klinična slika venske tromboze

Klinična slika venske tromboze je zelo obširna. Znanstveniki so razvili več postopkov diagnosticiranja venske tromboze, kjer so uporabili kombinacije različnih metod, saj noben posamičen test ni dovolj zanesljiv. Podatki v literaturi so nekonsistentni in raznoliki, saj so izvedli ogromno študij na tem področju, vendar še niso odkrili načina, ki bi sam zadostil verodostojnemu diagnosticiranju GVT. Slovenska priporočila za odkrivanje in zdravljenje venske tromboze iz leta 2016 na primer vključujejo oceno klinične verjetnosti, določanje koncentracije D-dimera in ultrazvočni pregled (Kozak idr., 2016).

Ob prisotnosti venske tromboze v spodnjih udih bolniki čutijo napetost in oteklino (edem). Če je krvni strdek v poplitealni veni, oteklina zajame golen, meča in stopalo, če pa je v femoralni in iliakalni veni, pa se raztegne tudi na področje stegen. Spremembe so tudi v temperaturi, saj postane koža toplejša, in barvi kože, ko je modrikasto ali rdečkasto obarvana (slika 7).



Slika 7: Primer kliničnih znakov globoke venske tromboze (Eržen, 2020 in Strijkers, 2011)



Značilna je nabreklost podkožnih ven, bolečina vzdolž obolele vene in občutljivost na gnetenje mišičja, vendar pa ti znaki niso zadosten pokazatelj prisotnosti venske tromboze. Študija je namreč dokazala, da se je bolečina pojavila pri 50 % bolnikov s trombozo in pri enakem odstotku brez, občutljivost na gnetenje pa pri 75 % bolnikov z vensko trombozo in pri 50 % tistih, ki so imeli druge bolezni (Hirsh idr., 1986).

Na vensko trombozo kažejo tudi znaki, poimenovani po znanstvenikih, ki so jih prvi opisali – Homansov znak, Lowenbergov znak, Perthesov test. Najbolj znan izmed teh je Homansov znak, ki nakazuje na globoko vensko trombozo, če je prisotna bolečina ob pasivni dorzalni fleksiji stopala (ko je stopalo dvignjeno navzgor) in upognjenosti kolena (Mlačak, 2002). Klinična diagnoza venske tromboze je nezanesljiva, razlog za to pa je, da noben od simptomov ali znakov venske tromboze ni edinstven za to stanje, kar pomeni, da so lahko posledica netrombotičnih motenj, kot so na primer krvavitve v mišičju, celulitis, Bakerjeva cista, mišično-skeletna bolečina itd. (Kozak idr., 2016).

2.3.2 Prvi korak diagnoze

Kvantitativno vrednotenje dejavnikov tveganja in pregled kliničnih znakov sta prva koraka diagnostičnega postopka. V novejših priporočilih predlagajo uporabo kliničnega točkovnika, t.i. Wellsovega točkovnika (slika 8), ki se je v kliničnih raziskavah izkazal za uspešnega (Wells idr., 1995). Smernice so relevantne le za venske tromboze zgornjih in spodnjih udov, ne pa za portalno veno, votlo veno, možganske vene itd. (McCormac idr., 2020). Vključuje že omenjene dejavnike za nastanek venske

Klinični podatki	Točke
Rak (aktivno ali paliativno zdravljeno v zadnjih 6 mesecih)	+1
Paraliza, pareza ali mavčna imobilizacija spodnjega uda	+1
Ležanje več kot 3 dni ali večji kirurški poseg v zadnjih 4 tednih	+1
Občutljivost v poteku globoke vene	+1
Otekline celotnega spodnjega uda	+1
Otekline goleni (več kot 3 cm večji obseg, merjeno 10 cm pod mestom <i>tuberositas tibiae</i>)	+1
Vtisljivi edem simptomatske noge	+1
Povrhnje nevarikozne kolateralne vene	+1
Predhodno dokumentirana VT	+1
Druga diagnoza vsaj tako verjetna kot VT	-2
Ocena verjetnosti VT	
Majhna (< 5 %)	0-1
Večja (> 5 %)	2 ali več

Slika 8: Wellsov točkovnik (Kozak idr., 2016)

tromboze, kot so obolenje z rakom, paraliza, imobilizacija, občutljivost, neaktivnost, edem ipd. Zdravnik na podlagi odgovorov doda eno točko k posamezni trditvi iz slike 8, če zanj le-ta velja, odšteje pa dve točki, če iz klinične preiskave sumi na kakšno drugo bolezen. Če oseba zbere dve točki ali več, ga test razvrsti v kategorijo velike klinične verjetnosti za pojav venske tromboze.

2.3.3 Objektivne metode diagnosticiranja

Sum na vensko trombozo je potrebno potrditi ali ovreči z objektivnimi metodami diagnosticiranja, kot so določanje D-dimerov, ultrazvočna preiskava ven, rentgenska ascendentna flebografija, radiotopska flebografija, impedančna pletizmografija in še druge



(Hull idr., 1984). Po pregledu literature smo se odločili, da veliko postopkov diagnosticiranja venske tromboze ni primernih, da bi jih lahko izvajal kdorkoli, saj za izvedbo ni opreme v splošni uporabi ali pa povprečno razgledan posameznik nima zadostnega znanja. Invazivne tehnike smo prav tako ocenili za neustrezne, saj bi pri raziskovalni nalogi brez ustreznega znanja posegali v telo preiskovancev.

Proces razgrajevanja strdkov se imenuje fibrinoliza, ko se razgrajuje fibrin v strdku. D-dimer je eden od razgradnih produktov fibrina, ki nastajajo pri procesu, zato je koncentracija le-tega pri bolnikih z akutno GVT povišana (Tratar, 2017). V primeru majhne klinične verjetnosti lahko negativni D-dimer (majhna koncentracija D-dimera) izključi GVT brez potrebe po potrditvi z ultrazvokom. Nasprotno, če je verjetnost po Wellsovem točkovniku visoka, je ultrazvočna preiskava priporočena. Ta preiskava ni primerna za potrjevanje suma na vensko trombozo, saj je koncentracija D-dimera višja tudi pri na primer vnetjih, tumorjih, krvavitvah, a le pomaga izključiti vensko trombozo (Di Vilio idr., 2021). V nalogi se te metode nismo poslužili, saj nastopa v kombinaciji z drugimi in nimamo ustreznih kapacitet za izvedbo.

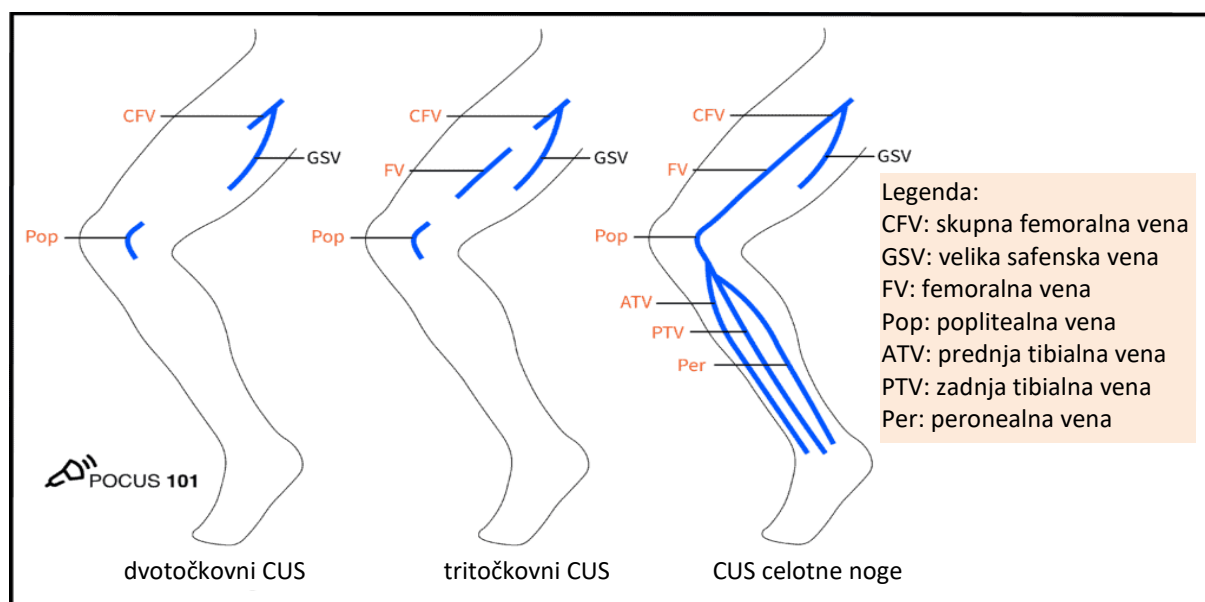
Invazivna tehnika je na primer rentgentska ascendentna flebografija, pri kateri v veno v nartu vbrizgajo kontrastno sredstvo. Na podlagi tega so pozorni na prisotnost zapore v poteku ven do medenice (Kozak in Vene, 1999). Velja za zlati standard, vendar je težko izvedljiva in zahteva veliko izkušenj. Študija iz leta 1986 daje kot glavnemu testu prednost impedančni pletizmografiji in ultrazvočni Doppler preiskavi (Hirsh idr., 1986), vendar sta bili obe tehniki zame nedosegljivi. Impedančna pletizmografija temelji na spremembi električnega upora med dvema elektrodama, kar nakazuje na spremembe prostornine različnih struktur v telesu (Impedance pletismography, 2022). Trenutno je ena izmed glavnih metod za diagnosticiranje GVT Dopplerjeva ultrazvočna preiskava, ko s pomočjo ultrazvočnih valov ugotovijo smer pretoka in hitrost gibanja krvi, pri čemer zvočne valove računalnik spremeni v različne barve, ki pokažejo smer pretoka krvi (Wang idr., 2005).

2.3.4 Tlačna ultrasonografija (CUS)

Hitra diagnoza GVT je bistvena, saj zmanjšuje tveganje za trombembolijo pri kritičnem bolniku, ki morda nima znakov in zmanjšanje s tem povezane umrljivosti. Po raziskavah sodeč je tlačna ultrasonografija (ang. compression ultrasonography) ali CUS hitra metoda, ponovljiva, nizko stroškovna, ultrazvok je prenosljiv ter varen. Metode se poslužujejo na urgencah, kjer so prav tako lahko omejeni pogoji, saj nimajo dovolj znanja ali pa opreme (Di Vilio idr., 2021).

Na ultrazvočni sliki se strdek ne vidi vedno, zato le z opazovanjem ultrazvočnih slik venske tromboze ne moremo potrditi. **Tlačna ultrazvočna preiskava temelji na nestisljivosti zamašene vene kot najzanesljivejšemu znaku venske tromboze, saj če je v veni strdek, le-te ne moremo zapreti. Če veno lahko popolnoma stisnemo, lahko pri diagnostiki bolezni vensko trombozo izključimo. Ena pogostih težav pri izvajanju postopka CUS je,**

da izvajalec ne pritiska dovolj na žilo ali da ultrazvočne sonde ne postavi pravokotno, kar poveča možnost, da vene ne zapre popolnoma, zaradi česar napove, da je v njej strdek, čeprav ga v resnici ni. Njegova napoved venske tromboze je tako rekoč *lažno pozitivna*. CUS je zelo točkovna preiskava, torej lahko vensko trombozo ugotovimo le na mestu, kjer s sondo pritiskamo, zato morajo postopek CUS pri sumu na GVT ponoviti na vseh dostopnih globokih venah spodnjih udov, saj ni zadostna preiskava le ene žile (Dinh, 2022). Prav tako morajo CUS ponoviti v času 7 - 10 dni, če je ultrazvočni pregled negativen, a so prisotni klinični znaki ali pa je predhodno pozitivna vrednost D-dimera (Kozak idr., 2016). Na sliki 9 so prikazana mesta različnih preiskav, pri katerih je vedno vključena preiskava skupne femoralne vene in poplitealne vene, saj se GVT v okoli 92 % pojavi v tem predelu (Chebl idr., 2021). Uporabljajo 2-točkovni ultrazvočni pregled, ki se ga poslužujejo na urgencah, vendar je 3-točkovni kompresijski protokol najbolj pogost, saj je dovolj zanesljiv tudi v primerjavi s pregledom celotne noge (Dinh, 2022).



Slika 10: Mesta izvajanja postopka CUS (Dinh, 2022)

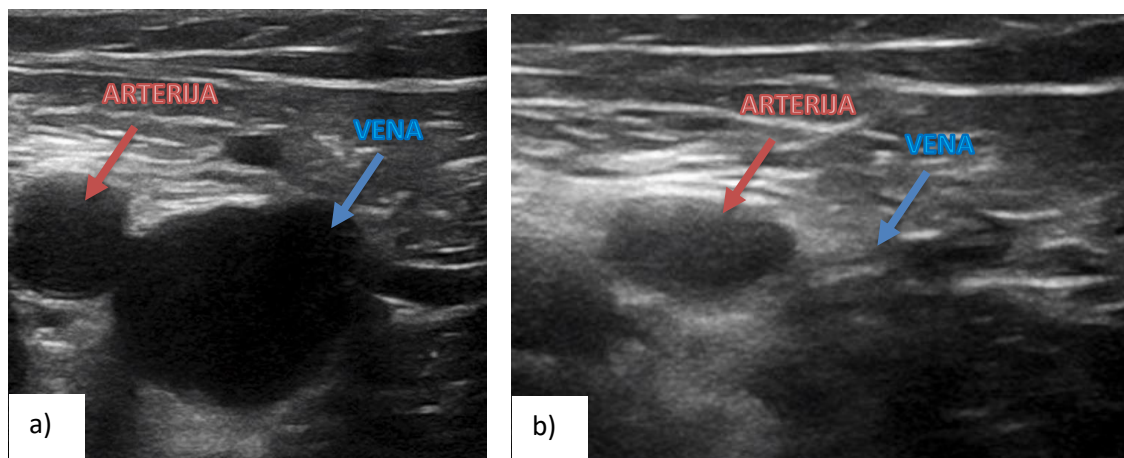
Pri postopku CUS femoralne vene preiskovanec leži na hrbtu, navzven ima obrnjeno nogo ter upognjeno koleno, kot kaže slika 10. Izvajalec postopka nanese gel na sondo in jo položi pravokotno na predel femoralne vene, torej na dimlje (oziroma ingvinalni ligament) (Dinh, 2022).

Na ekranu ultrazvoka se mora videti prečni prerez femoralne arterije, ki je leva žila, in vene na desni, kot kaže slika 11a. Arterije in vene se vidijo drugače, in sicer je femoralna arterija bolj okrogla in manjša, vena pa nekoliko bolj ovalna in večja. Za uspešno izvedbo



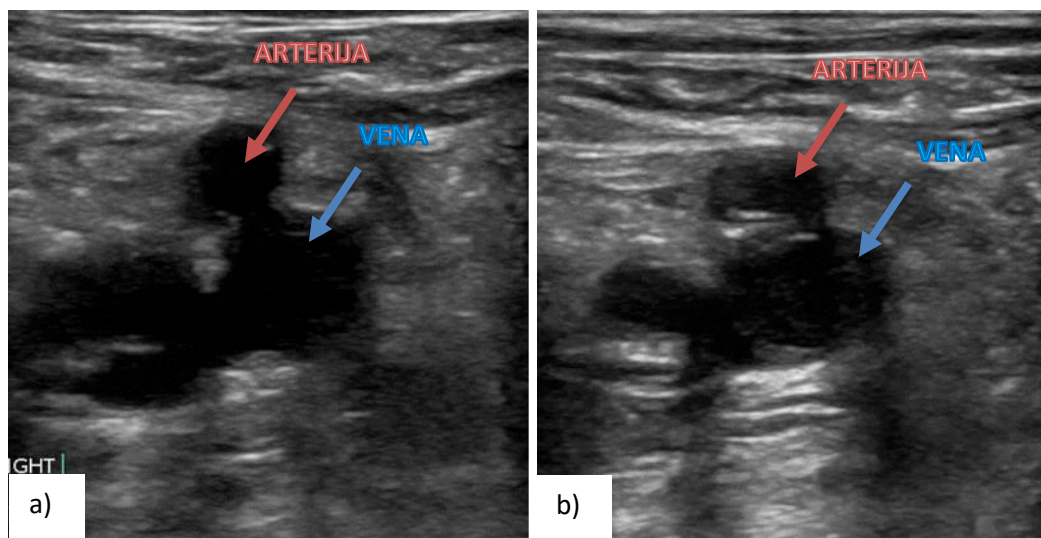
Slika 9: Postopek CUS na femoralni veni (Dinh, 2022)

postopka mora preiskovalec najprej poiskati z ultrazvočno sondo takšno strukturo, kot je na sliki 11a, nato pa začne s pritiskanjem na obe žili enakomerno. **Merilo postopka CUS za negativno diagnozo GVT je, da je vena popolnoma stisnjena, arterija pa delno,** kot prikazuje slika 11b (Dinh, 2022).



Slika 11: Brez venske tromboze. a) Nestisnjeni žili, b) žili ob pritisku – vena se zapre (Carter, 2019)

Če vene pri pravem postopku ni mogoče povsem stisniti, arterija pa je že delno deformirana, je verjetno, da ima bolnik v tem predelu strdek, čeprav ga na sliki ne vidimo, kar je razvidno iz slike 12.



Slika 12: Venska tromboza. a) Nestisnjeni žili, b) žili ob pritisku – vena se ne zapre (Dinh, 2022)

2.3.5 Občutljivost in specifičnost

V nadaljevanju bom uporabljala termina občutljivost in specifičnost za posamezne postopke diagnosticiranja in ju bom razložila za lažje razumevanje. Občutljivost je merilo verjetnosti, da bo test pozitiven pri osebah, ki so resnično bolne, specifičnost pa je merilo verjetnosti, da bo test negativen pri osebah, ki niso bolne. Postavimo lahko lažno pozitivno diagnozo, kar pomeni, da smo diagnosticirali bolezen pri nekom, ki je nima. Test je lahko tudi lažno negativen, kjer določimo, da oseba ni obolela, čeprav je. Če se na podlagi lažno pozitivne



diagnoze venske tromboze uvede napačno zdravljenje, ima to lahko neželene posledice (Petek Šter, 2016). V raziskovalni nalogi ciljamo na pojav lažno pozitivnih diagnoz, želja pa je to število omejiti.

Občutljivost in specifičnost za proksimalne vene (poplitealno, femoralno) je 97 % (Scarvelis in Wells, 2006), kar pomeni, da bi dobro usposobljeni zdravniki z veliko verjetnostjo pravilno diagnosticirali vensko trombozo. Pri venah v mečih je specifičnost le 73 %, za nezanesljiv postopek pa se je izkazal tudi v medeničnih venah. Vendar za tiste, ki niso izkušeni ali pa jim primanjkuje znanja, obstaja še večja možnost, da bodo diagnosticirali lažno pozitivno (Scarvelis in Wells, 2006).

2.3.6 Ultrazvok

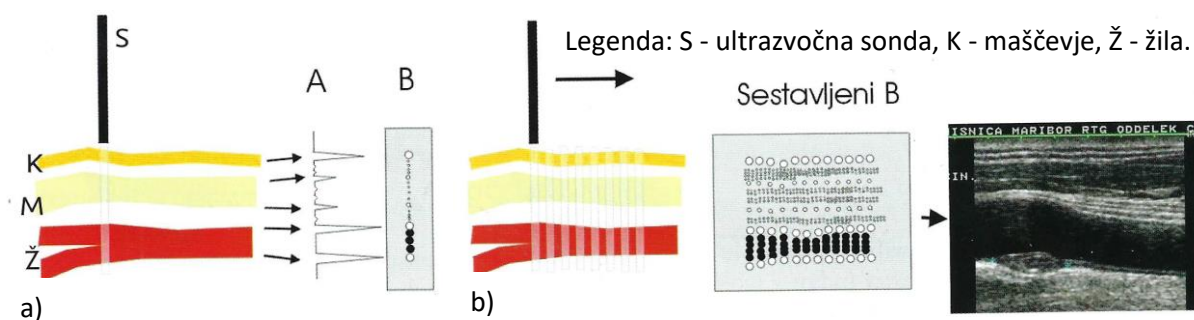
Ultrazvok (UZ) je neinvazivna diagnostična preiskava, s katero opazujemo globlje organe in tkiva v telesu ter pretok krvi po žilah. V medicini je preiskava široko uporabljena, saj je cenovno dostopna, enostavna, hitra in omogoča slikanje v času izvajanja preiskave, zato jo uporabljajo tudi pri biopsijah in aspiracijah. Ne deluje na principu radioaktivnega sevanja, zato je metoda varna tudi za nosečnice (Novak, 2013).

Ultrazvok je nihanje zraka s frekvenco nad 20 kHz, ki ga človek ne sliši, saj je frekvenca višja od našega slušnega območja. Zvok je longitudinalno valovanje, kar pomeni, da deli sredstva nihajo vzporedno s smerjo širjenja motnje (Kladnik, 1997). Ultrazvok slišijo nekatere živali, kot na primer netopirji, ki oddajajo zvok s frekvenco med 20 in 160 kHz, delfini in kiti uporabljajo ultrazvok s frekvenco okoli 150 kHz (Flis idr., 2010). Ultrazvok so se naučili proizvajati tudi ljudje s pomočjo t. i. piezoelektričnosti. To je sposobnost določenih kristalov, na primer kremena oz. SiO_2 , barijevega titanata oz. BaTiO_3 in drugih (Types of Piezo Electric Materials, 2023), da zavibrirajo in oddajajo zvočni val zaradi hitrega premika pozitivnega in negativnega naboja v kristalu ob električnem toku, torej lahko spremenijo električno energijo v mehansko in obratno (The Piezoelectric Effect, 2023).

Kristali so nameščeni na ultrazvočno sondo, iz katere potuje valovanje v preiskovane strukture, kjer se na različno gostih tkivih ali »mejnih površinah« del valovanja odbije, deloma pa prehaja skozi dotično tkivo. Kristali so sprejemniki odbitih valov iz telesa, ki jih pretvarjajo nazaj v električni signal, ki omogoča nastanek dvodimenzionalne slike (Novak, 2013). Odbojnost je odvisna od sestave strukture, torej akustične impedance, ki je lastnost, odvisna od gostote tkiva in hitrosti širjenja zvoka v njem (Bastar, 2012). Jakost odboja poimenujemo ehogenost, torej če je struktura gosta, hitrost potovanja pa hitra, se bo pretežni del ultrazvoka odbil, kar na sliki vidimo kot svetlo oziroma ehogeno strukturo. Voda in plin sta redki snovi, hitrost širjenja zvoka je tam majhna in sta manj odbojni, to pa vidimo kot črne oziroma anehogene strukture, kot na primer notranjost žil. Med drugim je zato pri ultrazvočni preiskavi potreben gel na osnovi npr. poliakrilne kisline, ki preprečuje, da bi med ultrazvočno sondo in kožo prišli mehurčki zraka. Gel na ta način izboljša prehod valov in posledično

sliko, saj se sicer brez gela ne vidi tkiv ali organov v telesu. Ultrazvok ima pomanjkljivosti pri ljudeh s prekomerno težo, ker valovi ne presegajo skozi obilico maščevja, zato je slika manj kvalitetna (Kaj je ultrazvok ..., 2023). Pri preiskavi abdomna se pojavljajo težave zaradi plinov v pljučih, jetrih ali črevesju, rezultat pa je slabša vidljivost. Preiskovalci morajo zato poiskati iskane strukture skozi druge strukture (»akustična okna«), skozi katere prodiranje ultrazvoka v tkivu ni ovirano (Flis idr., 2010). V medicini uporabljamo ultrazvoke s frekvenco od 2 do 20 MHz, odvisno od globine strukture, ki jo želimo preiskovati. Pri preiskavi venske tromboze na femoralni veni se ni potrebno bati, da bi preiskavo ovirale omenjene strukture, napolnjene s plinom in ne potrebujemo posebnega znanja pri iskanju kvalitetne slike skozi akustična okna.

Elektronsko vezje izmeri čas potovanja odbitega vala, nato pa iz časa in hitrosti zvoka v tkivu izračuna globino iskane strukture (Novak, 2013). Na sliki 13 sta razvidna dva načina obdelave, in sicer pri A-načinu dobimo nekakšen graf z različno velikimi vrhovi, ki ponazarjajo jakost odboja, razdalja med njimi pa predstavlja čas, ki ga je valovanje potrebovalo do naslednje strukture. B-način je podoben, le da namesto grafa pokaže pike, ki so bele, če je močnejši odboj, torej na steni žile, in črne na področju brez odboja, torej v krvi. Jakost odboja je na zaslonu prikazana še v odtenkih sive, kot na primer podkožno maščevje na sliki 13b. Sestavljeni B-mode je slika, ki jo vidimo pri ultrazvočni preiskavi, saj se pike iz signalov sestavijo v sliko (Flis idr., 2010).

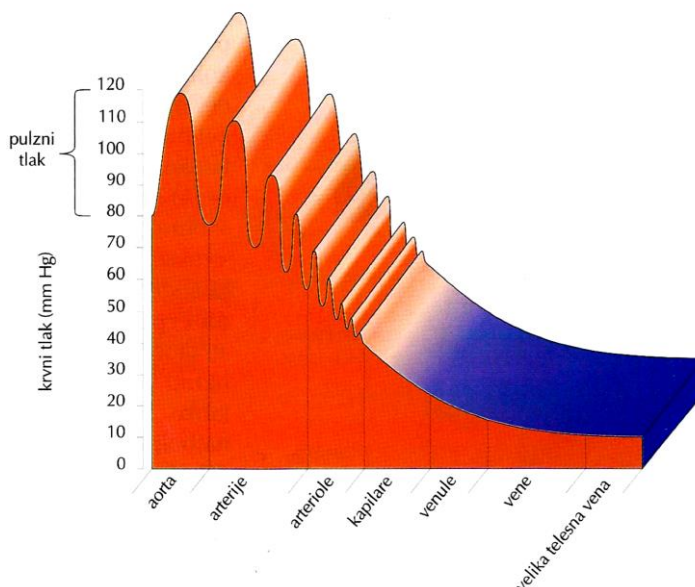


Slika 13: Kako nastane ultrazvočna slika. a) A- in B-način, b) Sestavljeni B-način (Flis idr., 2010).

2.4 Elastičnost žil in krvni tlak

Srce skrbi za stalno gibanje krvi od arterij do kapilar in nato v vene, torej kri teče v smeri padajočega gradienta tlaka. Krvni tlak je sila, s katero kri v notranjosti žile deluje na površino žilne stene. Meri se v milimetrih živega srebra (mmHg). Srce se krči in sprošča ter neposredno potiska kri v arterijo, to pa ustvarja krvni tlak, ki je tam najvišji. V arteriji merimo dva tlaka: sistolični tlak je višji tlak in je prisoten, ko se srce krči, običajno je med 90 in 120 mmHg; ter diastolični tlak, ki je tlak, ko se srce sprosti in meri pri zdravih ljudeh med 60 in 80 mmHg. Britannica navaja, da se vrednosti krvnega tlaka pridobiva med drugimi v

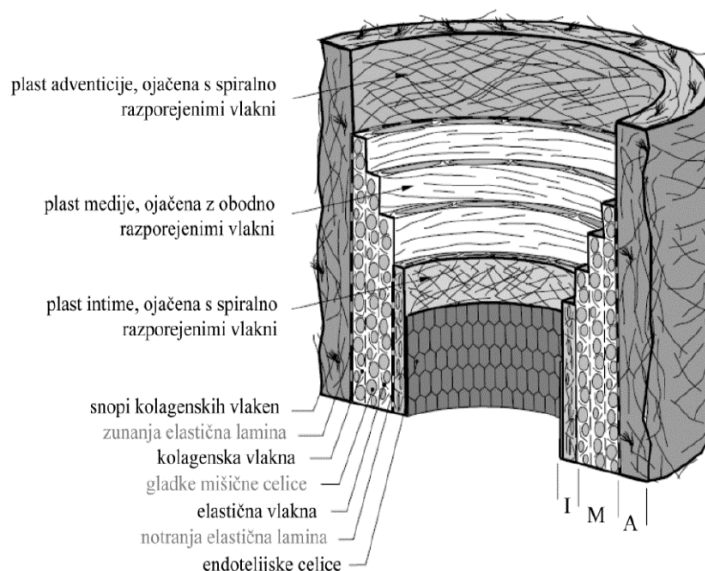
femoralni arteriji (Capillary, 2023). Poleg srca krvni tlak v arteriji ustvarja tudi žilna stena, ki se krči in širi v ritmu srca ter tako potiska kri naprej. Kri preide v manjše kapilare, kjer se tlak in hitrost zmanjšata, vendar je tlak še vedno višji od tistega zunaj žile. Ker snovi prehajajo iz področja z višjim tlakom na področje z nižjim tlakom, tako tudi tekočina in snovi pronicajo iz notranjosti kapilar v okolico. Proces se obrne na koncu kapilar, kjer se združujejo v venule, saj beljakovine iz zunajcelične tekočine, ki ne morejo preiti skozi celično membrano, ustvarjajo pritisk na zunanjo površino kapilar. Tlak je tu višji zunaj žil kot notri, zato lahko odpadne snovi prehajajo v notranjost kapilar (Tansey idr., 2019). V venah je tlak zelo nizek in meri približno 10 mmHg (Tucker idr., 2022). Velikost tlaka v posameznih vrstah žil prikazuje slika 14. Glede na tlak je prilagojena zgradba žilnih sten, saj večji kot je tlak, bolj kompaktna mora biti žilna stena, da lahko takšen tlak prenese.



Slika 14: Velikost tlaka v žilah (Stušek, 2005)

2.4.1 Zgradba žil

Žile so votle, steno arterij in ven sestavljajo trije sloji (slika 15), kapilare pa imajo le eno, saj mora biti stena dovolj tanka za izmenjevanje snovi z difuzijo. Notranjo plast arterij in ven (*tunica intima*) tvorijo ploščate celice endotelija in bazalna membrana. Srednja plast (*tunica media*) sestoji iz gladkih mišic ter vlaken vezivnega tkiva kolagena, ki ojača steno žil, ter elastina, ki jim daje elastičnost.

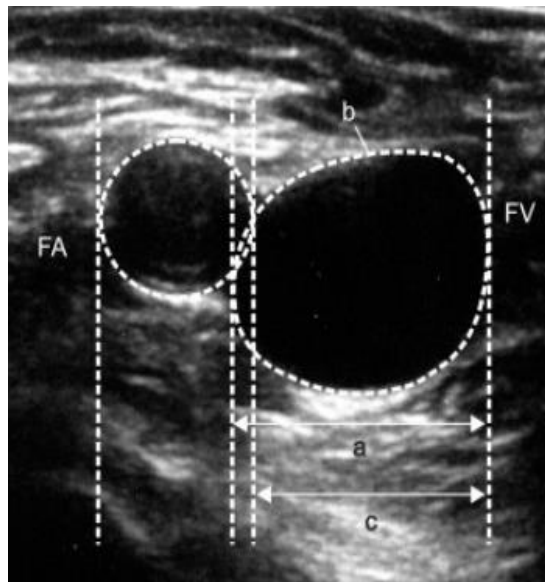


Slika 15: Zgradba žile (Urevec, 2016)

V telesu najdemo elastične arterije in mišične arterije, med slednje pa spada femoralna arterija. Mišične arterije vsebujejo več gladkih mišičnih celic v srednji plasti kot elastične arterije, kot so aorta in pljučne arterije, ki imajo več elastina (Structure ..., 2022). Kolagen

zagotavlja podporo tako v arteriji kot v veni, poleg tega pa imajo tudi mišice te plasti pomembno vlogo pri vazokonstrikciji in vazodilataciji oziroma spreminjanju premera arterije za uravnavanje pretoka krvi in krvnega tlaka, zato imajo to plast debelejšo kot vene (Classification ..., 2022). Zunanja plast (*tunica adventitia*) je zgrajena iz kolagena, ki dajo togost žilam, in preprečuje, da bi se preveč razširile. V venah je tunica media tanjša od adventitije, medtem ko je v arterijah ravno obratno, saj morajo z debelejšo mišično plastjo žilne stene in večjo vsebnostjo elastina zadržati visoke tlake, vene pa potrebujejo trdno oporo, da se ne razširijo preveč, zato imajo višje razmerje med kolagenom in elastinom kot arterije (Structure ..., 2022).

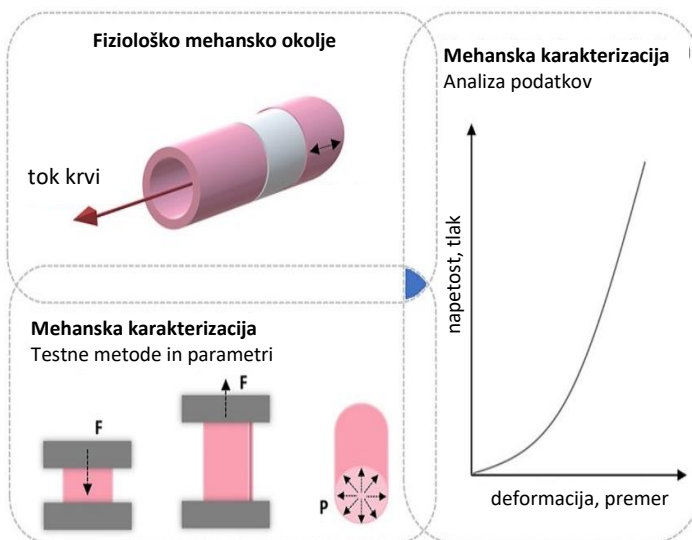
Lumen femoralnih ven je večji od lumna femoralnih arterij, zato lahko vene zadržijo več krvi v obtoku. Premer femoralne arterije je tako med 6,1 in 8,9 mm (Prunč idr., 2019), femoralne vene pa okoli 12 mm (Frontek idr., 2001), torej je premer arterije manjši od premera vene, kot je razvidno na sliki 16.



Slika 16: UZ slika femoralne arterije (leva žila) in vene (desna žila) (Kim idr., 2011)

2.4.2 Elastičnost žil

Tlak v arterijah in venah se razlikuje za skoraj 10-krat, zato je tudi različna zgradba žil. Posledično je elastični modul arterije okoli 5-krat večji od elastičnega modula vene (Camasao idr., 2021). Če bi hipotetično opazovali enako veliki žili (arterijo in veno) in če nobena ne bi bila obremenjena s tlakom krvi, bi pri arteriji potrebovali 5-krat večjo silo za enako deformacijo kot pri veni. Tkivo arterije je torej že samo po sebi bistveno bolj togo, kar merijo z različnimi mehanskimi preizkusi, kot prikazuje slika 17.



Slika 17: Elastičnost žil (Camasao idr., 2021)

Za izvedbo CUS je pomembno razumeti, da se **arterija ob enaki sili deformira manj kot vena** iz dveh vzrokov. Prvi vzrok je večji elastični modul arterije, drugi pa je večji tlak v njej.



Podobno kot gumijasto vrtno cev težje sploščimo, če je priklopljena na vodovod, tudi arterijo težje prečno stisnemo kot veno z nizkim tlakom. Oba razloga kažeta na to, da je veno enostavno sploščiti in bi torej lahko vsak laik preveril, ali lahko veno povsem stisne (zapre) in s tem potrdi, da ni strdka.

A zadeva ni tako preprosta, saj se žile obnašajo nelinearno elastično (Urevc, 2016), kar **neveščega preiskovalca zavede do te mere, da misli, da pri določeni sili naleti v veni na oviro in da je ne more bolj stisniti**. Graf na sliki 17 kaže, da pri majhni sili kmalu dobimo določeno deformacijo, nato pa potrebujemo bistveno večjo silo, če želimo žilo še naprej deformirati, s čimer postane žila bolj toga. Ampak deformiranje ene same žile še ne bi zmedlo preiskovalca; pri CUS pa pritiskamo na arterijo in veno hkrati. **V tem primeru na začetku potrebujemo zelo majhno silo, s katero praktično zapiramo samo veno, ker je bistveno manj toga. Ko pa veno delno zapremo, se začne deformirati tudi arterija, ki pa z večanjem deformacij postaja vedno bolj toga. Preiskovalec ima tako občutek, da je naletel na oviro, saj mora pritisniti nesorazmerno bolj kot prej, če želi veno do konca zapreti. V bistvu pa ni nujno, da je prisotna ovira, ampak je samo potrebna sila za stisnitev arterije toliko večja od te, s katero je preiskovalec pritiskal doslej.** Iz slike 12b je razvidno, da je vena povsem stisnjena šele takrat, ko je tudi arterija stisnjena do približno polovice začetnega premera.

Eden ključnih raziskovalnih izzivov v nalogi bo ugotoviti, v kolikšni meri neizkušene izvajalce CUS zavede ta pojav. **Ali bodo vztrajali pri povečevanju pritiska na veno, dokler je ne bodo povsem zaprli, ali pa bodo sklepali, da to ni možno, ker ni logično, da bi vena postala nenadoma toliko bolj toga?**

2.5 Statistična analiza meritev

Izmerjene podatke vrednotimo s statističnimi orodji. Srednja vrednost je povprečna vrednost ali aritmetična sredina vseh izmerjenih podatkov. Modus je vrednost podatka, ki se največkrat ponovi. Kadar eksperiment izvajamo zato, ker želimo spremljati neodvisnost spremenljivk (npr. ali prisotnost zdravila vpliva na izid zdravljenja), naredimo Hi-kvadrat test neodvisnosti. V raziskavi nas zanima, ali obstaja statistično pomembna razlika med dvema spremenljivkama in ali je izbran vzorec reprezentativen. V ta namen si postavimo dve hipotezi, torej ničto hipotezo, ki pravi, da sta spremenljivki neodvisni, alternativna hipoteza pa bi se glasila, da sta spremenljivki odvisni. Vrednost Hi-kvadrat, ki predstavlja odstopanje izmerjenih vrednosti od pričakovanih, primerjamo s kritično vrednostjo za določeno stopnjo zanesljivosti. Če je vrednost Hi-kvadrat večja od kritične, zavrnemo ničto hipotezo, kar pomeni, da lahko z npr. 95 % zanesljivostjo trdimo, da sta spremenljivki odvisni (npr. zdravilo vpliva na izid zdravljenja) (Chi-Square Test of Independence, 2023).



2.6 Ali bi lahko CUS izvajali laiki?

Če povzamem, je postopek CUS zanesljiv, varen, dostopen in hiter, glavna ideja pa temelji na popolni stisljivosti vene, ko v njej ni strdka. V zadnjem obdobju je ultrazvočna preiskava zaradi cenovne dostopnosti postala pomembna metoda za diagnosticiranje, sčasoma bi se morda UZ še bolj pocenili, da bi ga lahko imel vsakdo doma, kot imamo termometre, oksimetre, merilnike krvnega tlaka in podobno. V principu bi lahko ljudje izvedli neškodljiv postopek CUS sami doma, a vendarle realizacija ni tako enostavna, saj ima CUS na skupni femoralni veni lahko tudi lažno pozitivne rezultate okoli 3 % pri usposobljenih (Fischer idr., 2019), kar lahko privede do nepotrebnega zdravljenja z antikoagulantmi in tveganja za krvavitve (Roy, 2021). Omeniti velja več možnih vzrokov za lažno pozitivno oceno CUS za GVT. Kakovost preiskave je odvisna od izvajalčeve izkušenosti, znanja anatomije, saj lahko narobe prepozna žili ali na primer misli, da so povečane dimeljske bezgavke ali Bakerjeva cista vena s strdkom. Težava je prav tako subjektivnost, točkovnost preiskave ter nestisljivost vene zaradi drugih vzrokov, kot na primer tvorbe rouleaux oziroma kopičenja eritrocitov. *"Izvajalci CUS, ki se učijo diagnosticiranja DVT, morajo vedeti, koliko pritisniti veno. Če ne pritiskajo dovolj, ali če ultrazvočna sonda ni pravokotna na veno, lahko to povzroči lažno pozitivne rezultate"* (Varrias idr., 2021, str. 9). Uporaba ustrezne sile je odvisna od predhodnih ponovitev CUS, da se preiskovalec nauči, koliko sile je dovolj. Problem je pri neveščih, ki CUS ne izvajajo pogosto in se s trombozo še niso srečali, zato ne vedo, koliko je potrebno pritisniti z ultrazvočno sondo na žile.

V raziskavi smo izločili omenjene problematične faktorje, na katere ne moremo vplivati, torej na primer anatomije bi se moral vsak posameznik pred uporabo UZ naučiti, če bi želel diagnosticirati pravilno. Preiskava poteka na predelu skupne femoralne vene, saj lahko po študijah zdravniki v 97 % postavijo pravilno diagnozo GVT v femoralni veni (Scarvelis in Wells, 2006), vendar le če so dobro izurjeni, torej za nevešče ni verjetno, da bi lahko tako uspešno diagnosticirali. Vseeno smo zaradi dobre statistike predvidevali, da je ultrazvočna preiskava tam najlažja tudi v našem primeru za laike, ker z našo pomočjo nimajo težav pri razpoznavanju pravilne anatomije. CUS nismo večkrat ponavljali ali ga izvajali na več mestih poleg femoralne vene, saj diagnosticiranje GVT laikov ni bilo predmet naše raziskave.

V nalogi smo se osredotočili na dejavnik uporabe zadostne sile, saj je dovolj velika sila predpogoj za pravilno diagnostiko. Ali bodo nevešči res dovolj pritisnili in zaprli žilo, če jim to naročimo, ali bodo pri pol zaprti veni rekli, da je ne morejo bolj stisniti? Ali bi pomagalo, če bi sonda imela silomer, ki bi povedal, koliko sile je dovolj? Ali bi to pomagalo neveščim, da bi res stisnili dovolj in tako zmanjšali odstotek lažno pozitivnih diagnoz? Odgovore na vprašanja bomo poskušali raziskati z metodologijo, ki je opisana v naslednjem poglavju.



3 EKSPERIMENTALNI DEL

Z naslovnim vprašanjem smo namigovali na možnost, da bi lahko v bližnji prihodnosti zaradi razvoja dostopnih ultrazvočnih naprav tudi nevešči uporabniki diagnosticirali vensko trombozo z metodo CUS. Po pregledu literature pa smo ugotovili, da lahko celo usposobljeno zdravstveno osebje diagnosticira vensko trombozo napačno zaradi vpliva mnogo dejavnikov. Pregled po metodi CUS je potrebno izvesti na dveh ali celo treh mestih, kar od izvajalca zahteva dobro poznavanje anatomije. Prav tako se lahko zgodi, da druga bolezenska stanja zamenja za vensko trombozo, npr. povečane dimeljske bezgavke, rouleaux tvorbe, Bakerjevo cisto in podobno. Zgodi se lahko tudi, da opazuje in pritiska na napačno strukturo, npr. na arterijo, misleč, da pritiska na veno. Druga težava za nevešče uporabnike je prepoznavanje struktur na ultrazvočni sliki, saj lahko zaradi ehogenosti artefakte zamenjajo za strukture. Tretji vzrok za napačno diagnozo tiči preprosto v tem, da preiskovalec pritisne premalo, s čimer pusti veno odprto in je njegova diagnoza lažno pozitivna.

Zaradi navedenega bi bilo preučevanje uspešnosti diagnosticiranja laikov zelo obsežno in bi presegalo okvire te raziskovalne naloge. V nalogi smo se zato omejili na dejavnik, ki za neizkušene ne bi smel predstavljati prevelike težave, torej na jakost pritiskanja s sondo na žilo. V nalogi smo raziskali, kolikšen bi bil odstotek lažno pozitivnih diagnoz pri neizkušeni populaciji, ki bi z ultrazvočno napravo rokovali prvič, in ali bi se odstotek izboljšal, če bi uporabljali nadgrajeno sondo s silomerom.

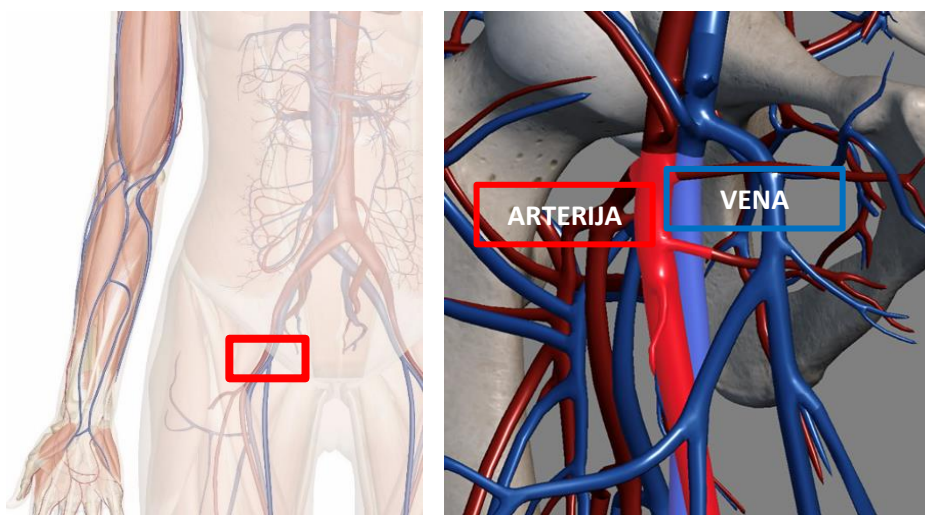
3.1 Zasnova eksperimenta

Če bi želeli ugotoviti stopnjo lažno pozitivnih diagnoz venske tromboze, ki bi jo postavili neizkušeni preiskovalci, bi morali preiskovalci izvajati preglede tudi na bolnikih z vensko trombozo, kar pa bi bilo za namen raziskave v tej nalogi neizvedljivo. Eksperiment je bilo zato potrebno zasnovati na način, da ga lahko v celoti izvedemo sami s pomočjo prostovoljcev v vlogi neizkušenih preiskovalcev. Pri snovanju eksperimenta se je pojavilo več dilem, zato naj najprej navedem razmislek ob vsaki, saj to vpliva na končno zasnovo:

- **Rokovanje z ultrazvočno napravo:** Med preiskovalci smo izbrali takšne, ki še **nikoli niso imeli izkušenj z rokovanjem z ultrazvočno napravo**, zato smo izdelali **fantomski model iz želatine, v katerem sta dve cevki različne togosti**. Na začetku preizkusa smo vsakega preiskovalca **uvedli v delo z ultrazvočno napravo** tako, da je sondo prislonil na fantomski model in našel obe cevki. Strukturo je opazoval na elektronski tablici med premikanjem sonde, pa tudi med pritiskanjem sonde na fantomski model. Seznanjen je bil s tem, da cevki predstavljata arterijo in veno, in med pritiskanjem je lahko opazil pojav, da je možno eno cevko bolj stisniti kot drugo. S tem smo želeli zmanjšati strah in nelagodnost preiskovalcev pred prvim rokovanjem z napravo, ki je ne poznajo, in na ta

način zmanjšati vpliv dejstva, da se nekateri ljudje novih in neznanih stvari lotevajo pogumneje od drugih.

- Izbira objekta preizkušanja: Ker izvajanje takšnih preizkusov na pacientih ni bilo možno, saj bi za vsakršno preiskovanje na ljudeh potrebovali soglasje komisije za medicinsko etiko, smo se odločili, da bom **sama objekt preizkušanja**, kar pomeni, da so **preiskovalci z ultrazvokom opazovali moje žile**. Prednost takšnega pristopa je tudi ta, da so vsi preiskovalci opazovali anatomsko isto strukturo, s čimer smo izločili vpliv razlik v anatomiji in elastičnosti tkiv na rezultat.
- Izbira mesta preizkušanja na telesu: Ker smo želeli v raziskavi ugotavljati samo vpliv jakosti pritiskanja preiskovalcev na žilo, CUS nismo izvajali na vseh predvidenih mestih, ampak samo na enem mestu, in sicer na **skupni femoralni veni** (slika 18). Za to mesto smo se odločili, ker ga je anatomsko najlažje poiskati in ker usposobljeni preiskovalci tam v 97 % pravilno diagnosticirajo. To lokacijo smo ocenili kot najprimernejšo za laike, ki ultrazvočno napravo uporabljajo prvič, s čimer smo najlažje zagotovili enake razmere za vse preiskovalce.



Slika 18: Mesto preizkušanja na telesu (Anatomy 3D Atlas, 2023)

- Izbira preiskovalcev: Za preiskovalce smo izbrali **prostovoljke (ženske) v starostnem intervalu med 17 in 18 let**. Takšno populacijo nam je bilo najlažje zagotoviti med sošolkami in prijateljicami, poleg tega pa se je mesto preizkušanja nahajalo v dimljah in bi bilo lahko pri izvajanju eksperimenta, ko sta objekt in preiskovalec različnega spola, sodelujočim nerodno, kar bi lahko vplivalo na rezultat. Rezultati torej veljajo za žensko populacijo v omenjenem starostnem intervalu.
- Vpliv nepoznavanja anatomije: Cevki v fantomskem modelu je bilo tudi neizkušenim enostavno najti, **skupno femoralno arterijo in veno pa smo jim pomagali poiskati**. K temu je sodila tudi **pomoč pri nanašanju prave količine gela in drugih nastavitev ultrazvočne naprave**, da vsaka preiskovalka jasno vidi obe žili. Na ta način smo čimbolj



izločili subjektivni vpliv uporabe naprave, nepoznavanja anatomije in razbiranja ultrazvočnega posnetka, s čimer se je preiskovalka dejansko osredotočila samo na jakost pritiska sonde na obe žili in oceno njune stisnitve.

- Razdelitev preiskovalk v dve skupini: Ker smo primerjali jakost pritiska sonde na žili v primeru osnovne izvedbe ultrazvočne naprave in v primeru nadgrajene sonde s silomerom, smo prostovoljke razdelili v **dve skupini**.
- Vprašanje za preiskovalke: Preiskovalkam nismo smeli naročiti, naj diagnosticirajo vensko trombozo, saj bi bilo morda očitno, da je kot mlada in zdrava preiskovanka nimam, tako pa bi pravilen odgovor uganili. Rezultat tako ne bi bil primerljiv s situacijo v resničnem življenju, ko preiskovalec ne more vedeti, ali ima človek vensko trombozo ali ne. Do odgovora o tem, ali dograditev silomera na sondo vpliva na lažno pozitivno diagnozo venske tromboze, smo morali priti drugače. **Preiskovalkam sploh nismo povedali, da preučujemo karkoli v zvezi z vensko trombozo, ampak smo jim rekli, da preučujemo elastičnost žil.** Seznanjene so bile, da so nekatere žile bolj toge kot druge, torej je nekatere lažje stisniti kot druge, kar so lahko opazovale med svojim uvajanjem na fantomskem modelu, ki vsebuje dve cevki različne togosti. Poleg tega so izvedle tudi, da lahko včasih katere žile v telesu povsem stisnemo (zapremo), včasih pa tudi ne. Nato so izvedle opazovanje še na meni, pred tem pa so dobile nekaj napotkov. Navodilo za prvo skupino, ki je uporabljala običajno sondo, se je glasilo: **»stisni tako močno, da poskušaš katero od žil zapreti«**, za drugo, ki je uporabljala nadgrajeno sondo s silomerom, pa: **»stisni vsaj tako močno, da zaslišiš pisk«**. Preiskovalke obeh skupin se je ob dilemah »ali smem še bolj«, »ali res nič ne boli« ipd. spodbujalo, naj le pritisnejo, kolikor morejo, da katero od obeh žil zaprejo, če gre. Preiskovalke iz obeh skupin so na koncu izpolnile enak **vprašalnik z navodilom**, naj označijo, do katere stopnje sta bili stisnjeni žili. Na tak način smo simulirali diagnosticiranje venske tromboze: naše preiskovalke so imele tako kot izvajalci CUS jasno navodilo, da morajo veno zapreti, in če se odločijo, da pri največji sili vena še ni zaprta, bi lahko sklepali na prisotnost strdka, ki preprečuje popolno zaprtje. Slednjega seveda ne moremo z gotovostjo trditi, a če je razlika v rezultatih med obema skupinama izrazita, upravičeno domnevamo, da bi nadgraditev sonde s silomerom zmanjšala število lažno pozitivnih diagnoz, s čimer bi potrdili prvo hipotezo.
- Kalibracija silomera: Silo, pri kateri je moja vena **povsem zaprta**, smo predhodno izmerili in znaša **30 N**. Na to vrednost smo nastavili **sprožitev piska pri drugi skupini**, ki je uporabljala nadgrajeno sondo. Vrednost seveda ni splošna in tudi nismo preiskovali, kolikšna bi bila ustrezna nastavitev sile pri splošni populaciji.

Jedro metodologije raziskave so bile torej ultrazvočne meritve, kjer so preiskovalke prvič rokovala z ultrazvočno sondo, povezano z elektronsko tablico oz. računalnikom. Zasnova eksperimenta je predvidevala **dve skupini prostovoljk**, ki sta se na kratko **seznanili z uporabo UZ na fantomskem modelu**, nato pa **izvedli preiskavo na človeku**. Preiskovalkam



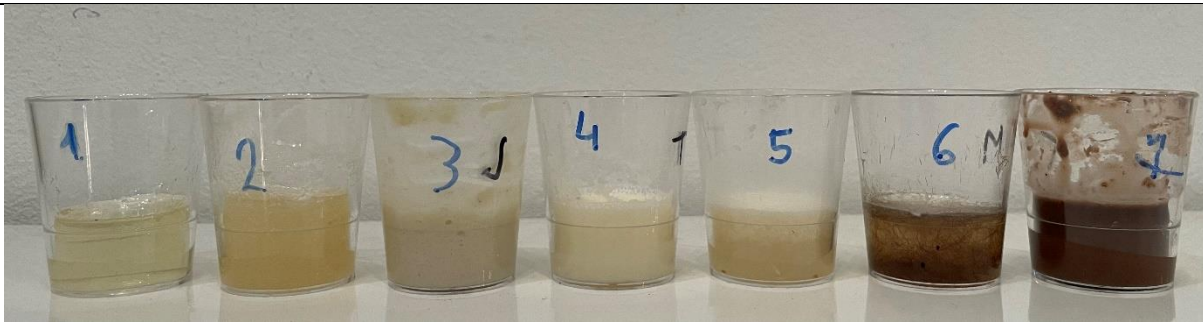
obeh skupin se je **pomagalo najti pravo opazovano strukturo**, da smo izločili vpliv nepoznavanja anatomije in napačne uporabe UZ. Preiskovalki prve skupine smo dali navodilo, da **naj stisne toliko, da poskusi žilo zapreti**. Preiskovalka druge skupine pa je uporabljala nadgrajen UZ s silomerom, ki je bil predhodno umerjen na potrebno silo pritiskanja, zato smo ji **naročili, da naj stisne vsaj tako močno, da zasliši pisk**, ki se sproži pri vnaprej predpisani sili. Vse so na koncu izpolnile **vprašalnik**, kjer so označile sliko, ki prikazuje, koliko je žila še odprta, ko pritiskajo najmočneje. **Cilj preizkusa ni preverjanje, ali bi nevešči pravilno diagnosticirali vensko trombozo, temveč ali bi sploh zmogli zapreti žilo, če jim to naročimo. Če menijo, da tega ne zmorejo, bi sklepali, da je venska tromboza prisotna, saj je vena očitno nepopolno stisnjena.** Nadgrajena sonda s silomerom, ki bi bila umerjena tako, da bi preiskovalcu sporočila, kdaj dovolj močno pritiska, bi morda lahko zmanjšala lažno pozitivne diagnoze, ki se pojavljajo zaradi vpliva neustrezno uporabljene sile. Na tem temelji prva hipoteza, kjer smo sklepali, da bodo neizkušeni preiskovalci z ultrazvočno sondo s silomerom bolj zaprli žilo kot preiskovalci brez silomera.

3.2 Izdelava fantomskega modela

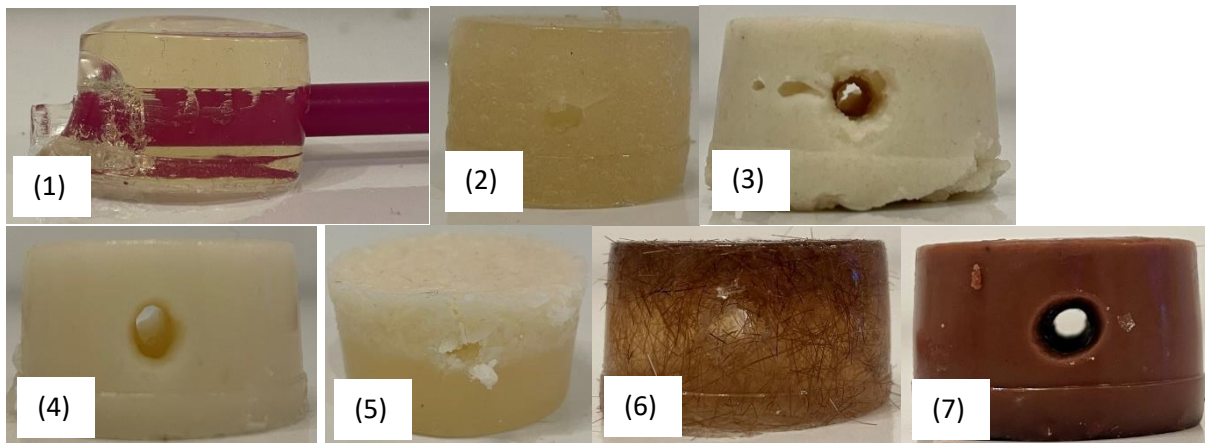
Vsaka od preiskovalk je prvič rokovala z ultrazvočno napravo, zato smo se odločili izdelati **fantomski model (maketo)**, na kateri se je vsaka preiskovalka seznanila z uporabo UZ sonde. Ker celoten eksperiment od preiskovalk ni zahteval od njih nič drugega kot pritiskanje na žile, si nismo želeli, da bi bile v kakršnikoli zadregi zaradi neznanja uporabe naprave. Z uporabo sonde na fantomskem modelu se torej lahko opazovale strukture v njej, prepoznale dva črna krožca kot predmet opazovanja, spoznale velikost premikanja po površini in tudi razumele, da lahko s pritiskanjem žilo ovalizirajo oz. sploščijo. Ker smo v maketo vgradili dve cevki različnih togosti, so imele možnost opaziti razliko med deformiranjem obeh cevk, če pritisnejo na obe hkrati.

Izdelava fantomskega modela iz želatine je pogosta v medicini za npr. uporabo igel in brizg v učne namene. V literaturi obstaja več receptov za izdelavo, a po prvih poskusih smo ugotovili, da ti recepti dajejo premehko strukturo za naš namen, ko naj bi s sondo na maketo tudi pritiskali in ne samo opazovali strukture v njej. Zato smo se odločili, da recept dopolnimo z nekaterimi sestavinami, ki naj bi osnovno strukturo ojačale, a jo še vedno ohranile elastično.

Izvajanje tega dela preizkusa ni ključen za končno preverjanje hipotez, zato ga bomo le na kratko opisali. Pripravili smo sedem vzorcev, prikazanih na sliki 19, v katere smo kasneje naredili luknje (slika 20), ročno pritiskali nanje in s tem preverili njihovo trdnost. Osnovni sestavini sta bili želatina in voda (vzorec 1), dodajali pa smo še sestavine: (2) več želatine, (3) moko, (4) gustin, (5) lase, (6) kokosovo moko in (7) čokoladni puding, za katere smo domnevali, da bodo izboljšale trdnost, a ohranile elastičnost. Poskusi ne temeljijo na predhodnih raziskavah in smo poskušali različne sestavine ter razmerja, ki jih tu zaradi jedrnatosti predstavitve ne bomo navajali.



Slika 19: Vzorci materiala za fantomski model. (1) Osnovni vzorec, (2) dvojna vsebnost želatine, (3) dodana moka, (4) dodan gustin, (5) dodani lasje, (6) dodana kokosova moka, (7) dodan puding



Slika 20: Struktura vzorcev po prebadanju s plastično slamico.

Ugotovitve glede lastnosti posameznih struktur med prebadanjem, stiskanjem in opazovanjem z UZ:

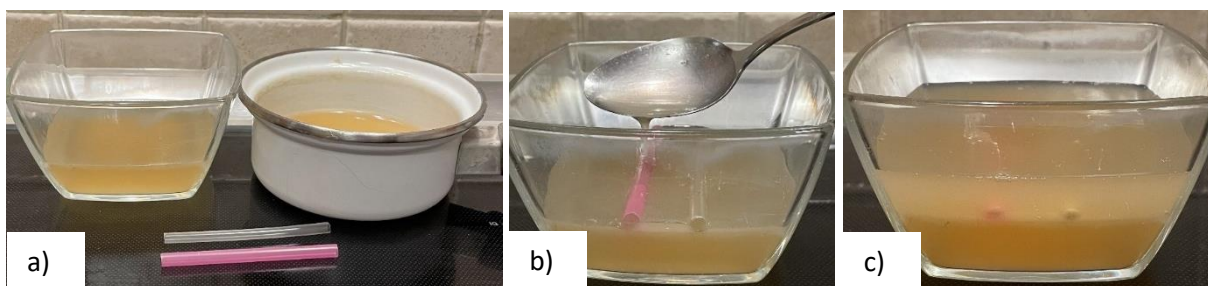
- (1) vzorec razpade že pri prebadanju, pri stiskanju je neoporen na obremenitve, pri pregledu z UZ je zaradi prevelike prozornosti pretemen;
- (2) če koncentracijo želatine povečamo za dvakrat, postane vzorec pretog in ga težko deformiramo;
- (3) dodatek moke zmanjšuje elastičnost, vzorec postaja lepljiv kot testo;
- (4) dodatek gustina se odlično obnese glede elastičnosti strukture, saj vzorec dobro prenaša stiskanje in ne razpade. Slabost pa je nepreglednost strukture na UZ sliki;
- (5) s kokosovo moko smo želeli dobiti vlaknasto strukturo, kakršno imajo kompoziti, saj vlakna izrazito povečajo trdnost osnovne strukture. Žal se kokosova moka loči od želatine in splava na vrh, ta del je krhek;
- (6) dodajanje na kratko narezanih las izrazito izboljša trdnost in elastičnost, a je žal struktura na UZ nepregledna;
- (7) dodatek pudinga vpliva podobno kot dodatek gustina pri vzorcu (4).

Po več poskusih smo ugotovili, da željeno prožnost in trdnost lahko dobimo samo z ustrezno koncentracijo želatine, manjšo količino moke pa dodamo samo zato, da zrnca moke

povzročijo ehogenost ultrazvočne slike in s tem razpoznavnost struktur. Če moke ne dodamo, je celotna UZ slika črna, kot je bila pri vzorcu (1). Na koncu smo prišli do naslednje recepture:

- 300 ml vode
- 45 g goveje jedilne mlete želatine tipa B, pridobljene z delno hidrolizo kolagena iz govejih kož
- 4 g moke

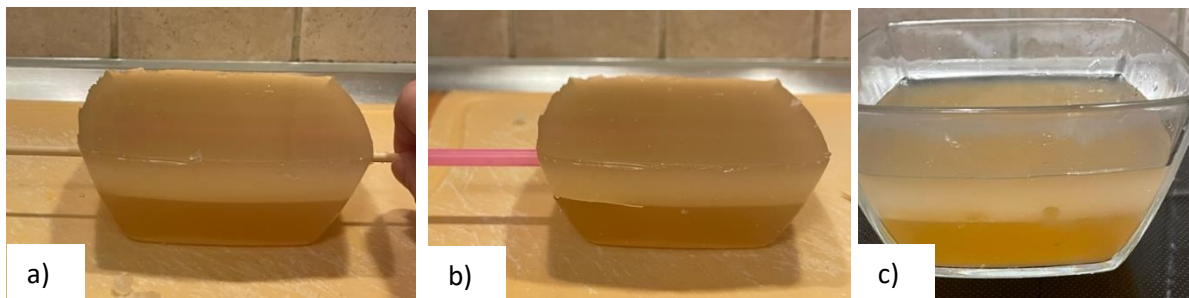
Pri večkratni izdelavi mase smo ugotovili, da moramo biti pozorni na način in postopek priprave mase, saj je kar nekaj dejavnikov, ki povzročajo neustrezno maso. Bistveno je, da se ne naredijo grudice moke, saj bi neenakomerno razporejena zrnca ovirala jasnost ultrazvočne slike. Moko je zato potrebno dodati čisto na začetku v hladno vodo, tako pa se izognemo sprijemanju moke, kot se zgodi, če jo dodamo v bolj viskozno zmes vode in želatine. Poleg tega je ključna tudi hitrost mešanja, kajti pri hitrejšem mešanju nastajajo mehurčki, ki bi se na ultrazvočni sliki videli kot črne pikice, to pa bi ponovno motilo razločnost slike, torej moramo mešati počasi. Naslednji korak vključuje pripravo želatine, ki je bila zmleta neenakomerno na drobna in prevelika zrnca, zato smo jo presejali skozi cedilo za čaj in nato uporabili samo drobno zmleto želatino. V prejšnjih poskusih se je prevelika želatina raztapljala dlje časa kot drobna, prav tako pa so prej ostajali koščki neraztopljenih primesi. Hitrost raztapljanja povečamo tudi, če segrejemo zmes vode in moke ter vanjo dodamo želatino, a zopet moramo biti pozorni na hitrost mešanja zaradi mehurčkov. Ko je masa pripravljena, jo najprej vlijemo samo do polovice posodice, saj bosta na tej višini ležali cevki (slika 21a). Maso postavimo v hladilnik, da se strdi.



Slika 21: Izdelava fantomskega modela. a) Spodnja polovica, b) Dodajanje cevk, c) Zgornja polovica

Roza in prozorno cevko položimo na površino, da je med njima približno centimeter in pol razdalje. V začetnih poskusih smo ugotovili, da če zlijemo celotno drugo polovico mase na cevki, ti seveda odplavata na vrh, zato v tem postopku z žlico dodamo tanko plast želatine, ki bo po strjevanju pritrdila cevki na spodnjo polovico želatine (slika 21b). Maso ponovno postavimo v hladilnik in ko se strdi, vlijemo še preostalo polovico v posodo (slika 21c) in jo ponovno ohladimo.

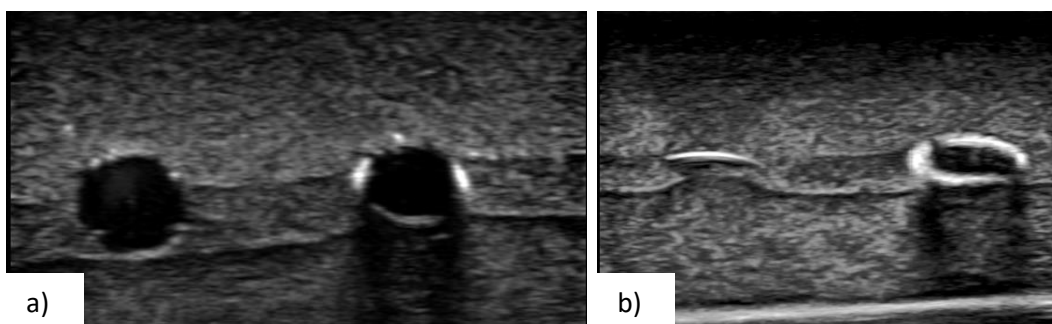
Ko je masa popolnoma strjena, jo previdno vzamemo ven iz posode in z dolgo leseno palčko očistimo notranji del cevki, v katere je prišla masa, saj morata biti votli (slika 22a). Previdno tudi izvlečemo roza cevko iz modela (slika 22b).



Slika 22: Izdelava fantomskega modela. a) Odstranjevanje želatine iz cevki, b) Odstranjevanje plastične cevke, c) Izdelan fantomski model

Fantomski model nato vstavimo nazaj v posodo in vlijemo vodo, da gladina prekrije vrhno površino modela (slika 22c), saj tekočina preprečuje, da bi med ultrazvočno sondo in modelom prišli mehurčki zraka, tako pa omogoči ultrazvočno sliko. Voda mora priti tudi v notranji del cevki, saj se tako cevki na ultrazvočni sliki vidita kot dva črna krogca. Na ta način v fantomskem modelu ni zraka, poleg tega pa voda na površini opravlja funkcijo gela, zato ga pri uporabi ultrazvočne sonde na modelu nismo potrebovali.

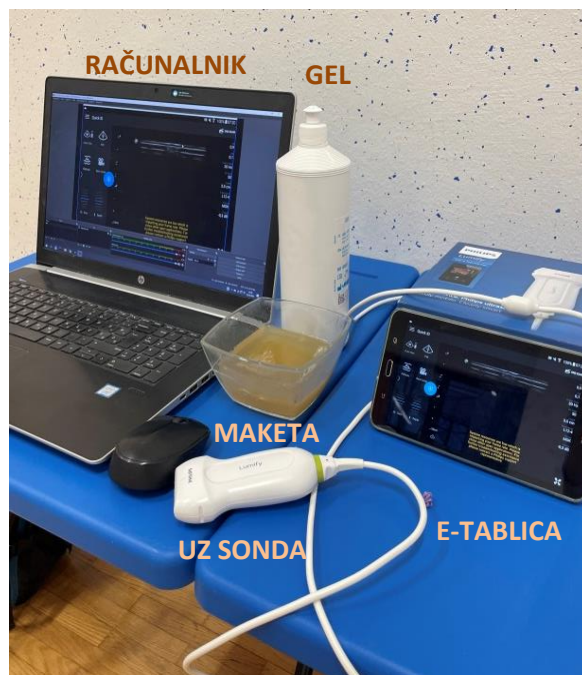
Fantomski model vsebuje prozorno silikonsko cevko, medtem ko smo plastično roza cevko izvlekli in naredili luknjo. Zaradi lažjega poimenovanja bomo tudi luknjo poimenovali votla cevka in rekli, da model vsebuje dve cevki. Ko pogledamo model od zunaj, se zdi, kot da model vsebuje dve na videz enaki cevki (slika 22c). V bistvu tudi na ultrazvočni sliki težko ločimo eno cevko od druge, kar kaže slika 23a. V resnici pa je silikonska cevka bolj toga in se pri pritisku s sondo manj deformira kot votla cevka, kar kaže slika 23b. Silikonska cevka v modelu torej predstavlja arterijo, votla cevka pa veno.



Slika 23: Deformiranje cevki v fantomskem modelu pri pritisku s sondo. a) Nedeformirano stanje, b) Stanje ob pritisku s sondo

3.3 Oprema

Za eksperimentalni del je bila bistvena linearna ultrazvočna sonda Phillips Lumify L12-4, ki je bila povezana na elektronsko tablico Samsung Galaxy SM-T280. Nanjo smo naložili aplikacijo Lumify, s katero smo opazovali ultrazvočno sliko. Posnetek izvajanja smo želeli shraniti, saj je bil pomemben za nadaljnjo obdelavo. S svojim mobilnim telefonom smo vzpostavili dostopno točko brezžičnega sistema in preko njega povezali tablico in računalnik. Na obe napravi smo namestili aplikacijo LetsView, ki omogoča, da zaslon tablice vidimo na računalniku v posebnem oknu. Dogajanje na tablici smo lahko opazovali na računalniškem zaslonu in ga snemali z aplikacijo OBS Studio.



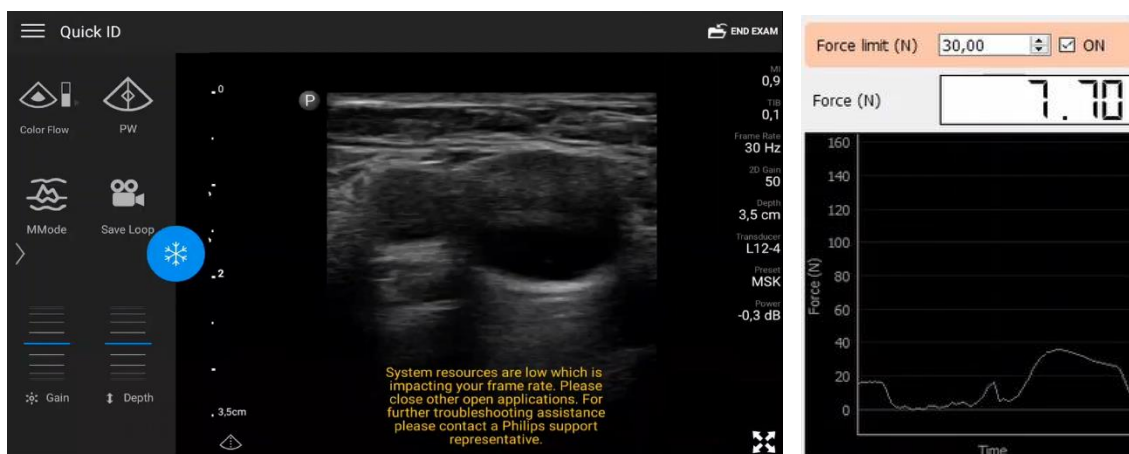
Slika 24: Osnovna oprema za izvajanje

Na ta način smo dobili videoposnetek celotnega izvajanja vsake preiskovalke v formatu mp4. Poleg opreme smo pri izvedbi potrebovali ultrazvočno prevoden gel G007 ECO in fantomski model. Celotna postavitev opreme je prikazana na sliki 24.

Druga skupina je rokovala s silomerom in zvočnikom nadgrajeno ultrazvočno sondo, ki so jo izdelali na Fakulteti za strojništvo (slika 25). Silomer na sondi je bil povezan s krmilnikom Arduino, ki smo ga povezali z računalnikom preko USB vhoda. Merjeno silo smo zasledovali v aplikaciji na računalniku (slika 26) in nastavili mejno silo, pri kateri krmilnik zapiska.



Slika 25: Nadgrajena ultrazvočna sonda s silomerom



Slika 26: Izhodni podatki. A) Ultrazvočni posnetki (aplikacija Lumify), b) Aplikacija za prikaz izmerjene sile

3.4 Navodila za preiskovalke

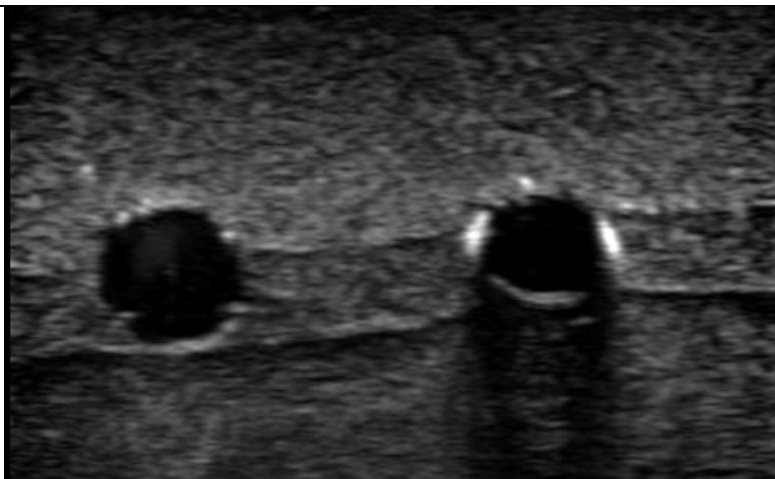
Pomemben del poskusa so tudi navodila za preiskovalke, ki smo jih pripravili za dvodelni eksperiment. Preiskovalkam nismo želeli povedati, da preiskujemo vensko trombozo, saj bi bil odgovor očiten, zato smo jim dejali, da preučujemo elastičnost žil. Izvajalke poskusa so bile seznanjene, da se žile v telesu različno deformirajo ob pritisku, nekatere lažje popolnoma stisnemo, druge pa težje. Preprosto delovanje in pravilni prijem ultrazvočne sonde smo jim razložili s pomočjo fantomskega modela v prvem delu poskusa, kjer so preiskovalke morale pravokotno položiti UZ sondo na maketo in najti dve cevki. Ker je bila pozneje preiskovalkina naloga, da stisne žili na človeku, smo jim tudi pri opazovanju slik makete naročili, da naj pritiskajo model do različnih stanj cevk, kot jih lahko vidijo na anketnem vprašalniku (preglednica 3). Drugi del poskusa je potekal na človeku oziroma na meni, a tokrat so bila navodila prilagojena posamezni skupini. Sprva smo našli pravilno strukturo in nato je preiskovalka v skupini z UZ brez silomera morala pritisniti na žili tako močno, da je poskušala katero od njiju zapreti. Ko je najmočnejše pritisnila, si je morala ogledati slike "žil" na vprašalniku in označiti, katera oblika slike žile se ji zdi po sploščenosti najbolj podobna levi žili in katera desni. Izvajalka v skupini z nadgrajeno UZ sondo je dobila nalogo, naj stiska vsaj tako močno, da sliši pisk. V tem stanju naj si zapomni sploščenost žil in naj izbiro označi na enakem vprašalniku kot preiskovalke prve skupine.

POSKUS NA MAKETI – Navodila za preiskovalke:

"Cilj poskusa je preiskava elastičnosti žil. Žile so elastične, zato jih lahko z ultrazvočno sondo do neke mere stisneš. Arterija in vena se ob pritisku različno deformirata.

Z ultrazvočno sondo prepoznavamo strukture v telesu. Preden bo izveden test na človeku, boš za vajo najprej izvedla test na fantomskem modelu (maketi). S sondo boš poiskala dve cevki, ki predstavljata dve žili, in opazovala, kako se pri stiskanju deformirata."

Preglednica 1: Navodila za preizkus na maketi

1	Ultrazvočno sondo postavi pravokotno na fantomski model, kot kaže slika.	
2	Poišči cevki, ki izgledata kot dva črna krogca kot na sliki.	
3	S sondo pritiskaj na maketo in opazuj, kako se spreminja oblika cevk oziroma koliko se lahko katera od njiju splošči.	
4	Oglej si vprašalnik (preglednica 3). Tvoja naloga pri ponovitvi poskusa na človeku bo spremljati, koliko se bosta žili sploščili.	

POSKUS NA ČLOVEKU – Navodila za preiskovalke:

"Na človeku poskus poteka podobno kot na maketi. Našla boš dve žili in ju s sondo stisnila. Včasih nam uspe katero od žil povsem stisniti, včasih pa tudi ne. Z eksperimentom boš preverila, koliko lahko žili stisneš. Ko boš torej žili našla, stisni tako močno, da poskušaš katero od njiju zapreti. Skupina s silomerom pa ima navodilo: Sonda meri tudi pritiskno silo. Stisniti boš morala vsaj toliko, da merilec sile aktivira pisk. V trenutku, ko boš najmočneje pritiskala, boš ocenila sploščenost obeh žil (gl. vprašalnik, preglednica 3)."

Preglednica 2: Navodila za preizkus na človeku

1	Ultrazvočno sondo postavi pravokotno na nogo, kot kaže slika.	
2	Poišči žili, ki izgledata kot dva črna krogca kot na sliki.	
3	Za skupino brez silomera: stisni tako močno, da poskušaš katero od njiju zapreti. Za skupino s silomerom: stisni vsaj tako močno, da zaslišiš pisk.	
4	V levem in desnem stolpcu vprašalnika s križcem označi , koliko sta bili žili sploščeni, ko si pritiskala najmočneje.	



	LEVA ŽILA	SPLOŠČENOST ŽILE	DESNA ŽILA
1			
2			
3			
4			
5			

3.5 Izvedba eksperimenta

Eksperiment smo izvedli med urami pouka na naši šoli (slika 27). Za prostor smo se dogovorili s profesorico za športno vzgojo, tako da je poskus potekal v garderobi telovadnice ali v eni izmed manjših telovadnic. Trideset vrstnic iz tretjega letnika, starih 17 do 18 let, je bilo preiskovalk, in sicer petnajst preiskovalk je uporabljalo le ultrazvok, drugih petnajst pa ultrazvok s silomerom. Pri eksperimentu je bilo pomembno varovanje informacij, zato so preiskovalke posamično hodile na približno 10 minutni poskus, ki ga izvajala vsaka sama ob naši prisotnosti. Naročeno ji je bilo, da nikomur ne pove, kaj je počela, še posebej pa ne, kaj je obkrožila. Tega popolnoma nismo mogli zagotoviti, vendar smo bili pozorni, ali je kdo o poskusu že kaj slišal. Neskladnost njihovih odgovorov in UZ videoposnetkov eksperimenta bi pokazala, da je posameznik subjektivno presojal glede na poznavanje odgovorov predhodnikov.

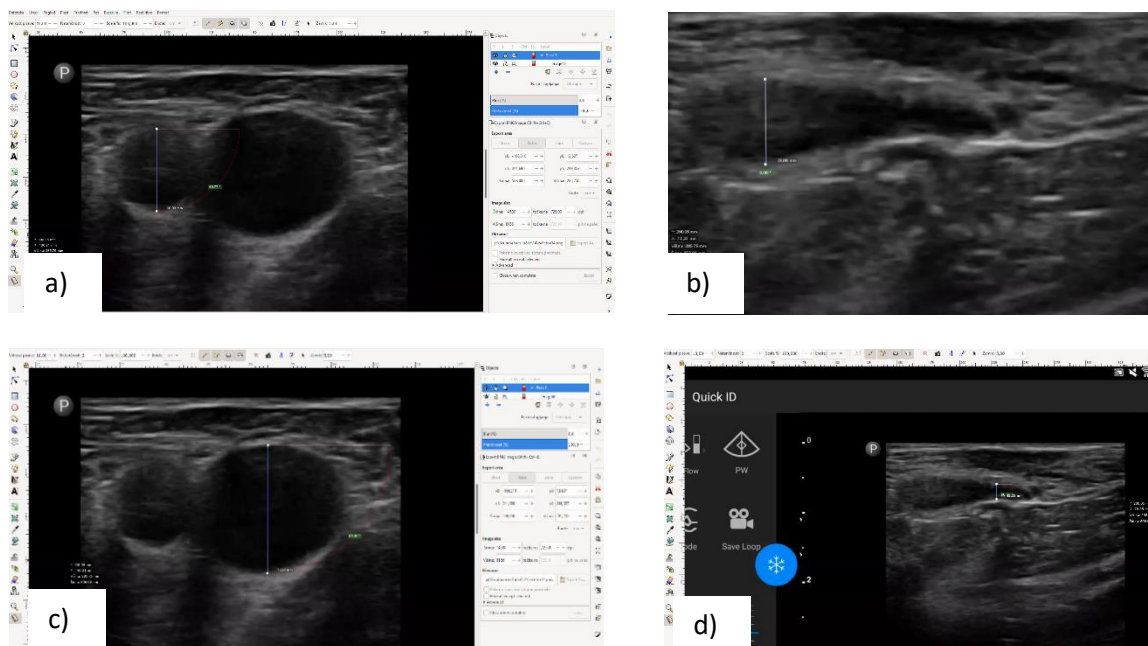


Slika 27: Izvajanje eksperimenta na šoli

3.6 Obdelava merjenih podatkov

Računalniški zaslon, kjer se je izrisovala ultrazvočna slika, smo zato snemali in dobili video celotnega preizkusa posameznega preiskovanca. Po izvedbi vseh eksperimentov smo kasneje meritve obdelali. Na videu smo poiskali arterijo in veno v stanju, ko preiskovalka še ni pritiskala na žili, ter napravili zajem zaslona in dobili sliko. Nato smo na njej z aplikacijo InkScape s funkcijo ravnila **izmerili premer posamezne žile pri diastoličnem tlaku, ko še ni bila stisnjena** (slika 28). Dobljene meritve premerov v milimetrih ne predstavljajo dejanske velikosti žil, ampak izmerjene velikosti premerov posamezne žile na sliki v InkScapu. **Potem smo se postopno po videu premikali dalje in ponovili postopek še za štiri vmesna stanja med stiskanjem in končno stanje arterije in vene, ko je izvajalka pritiskala najmočneje in je glede na to sliko presodila o stisnjenosti posamezne žile.** Izmerili smo premere posamezne žile v teh različnih stanjih ter jih vnašali v preglednici 8 in 9 za preiskovalke skupine brez silomera ter preglednici 10 in 11 za preiskovalke skupine s silomerom. Preglednice se nahajajo v prilogi te naloge. Merjene ultrazvočne slike smo obdelali z namenom, da bi dobili tudi objektivne rezultate in iz tega presodili, ali je

preiskovalka zares stisnila veno oziroma ali je v kakšnem primeru tudi presodila drugače, kot je bilo realno deformirano stanje žil. Obdelava slik je pomembna tudi kasneje za preverjanje druge hipoteze, za katero potrebujemo podatke o stisnjenosti arterije in vene.



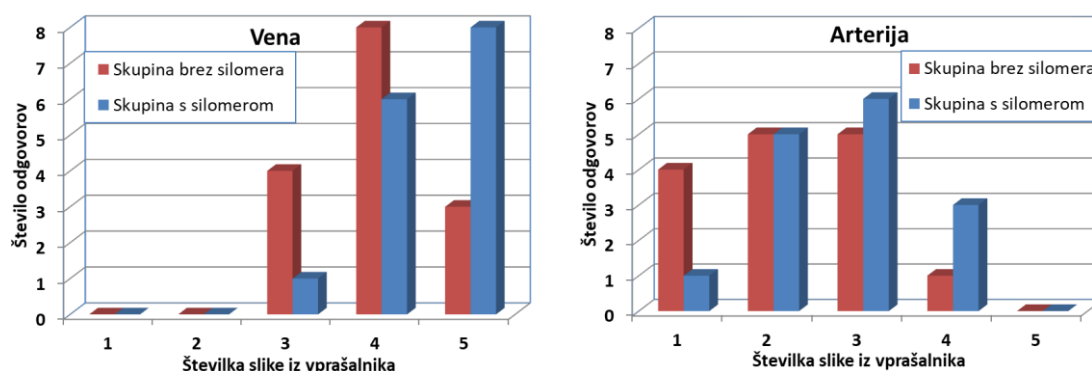
Slika 28: Prikaz postopka merjenja dimenzij žil na slikah. a) Začetna dimenzija arterije, b) Končna dimenzija arterije, c) Začetna dimenzija vene, b) Končna dimenzija vene

4 REZULTATI IN RAZPRAVA

Namen poskusa je bilo preveriti obe zastavljeni hipotezi iz začetka naloge. Prva hipoteza predvideva, da uporaba nadgrajene ultrazvočne sonde s silomerom zmanjša delež lažno pozitivnih diagnoz venske tromboze. Druga hipoteza pa se nanaša na to, da bi lahko diagnosticiranje izboljšali s spremljanjem razmerja stisnjenosti arterije in vene. Prvo hipotezo bomo preverjali z analizo odgovorov, ki so jih podale preiskovalke, drugo hipotezo pa z obdelavo ultrazvočnih posnetkov, kar bo opisano v nadaljevanju.

4.1 Obdelava odgovorov preiskovalk

Pri eksperimentu je sodelovalo trideset dijakin iz tretjega letnika, ki so izpolnile vprašalnik, kjer so izbirale med petimi različnimi stanji žile glede na presojo, koliko je zaprta leva žila, torej arterija, in koliko desna, torej vena. Število 1 se nanaša na okroglo, nedeformirano žilo, število 5 pa na tisto, ki je popolnoma zaprta, števila od 2 do 4 pa na vmesna stanja žil, kot je označeno v preglednici 3. Odgovore preiskovalk iz obeh skupin smo prikazali v preglednici 7 v prilogi in v dveh stolpičnih diagramih na sliki 29, posebej za arterijo in veno.



Slika 29: Odgovori preiskovalk. a) Stopnja stisnjenosti arterije, b) Stopnja stisnjenosti vene

Zbrane podatke smo statistično obdelali, torej izračunali smo modus in srednjo vrednost za posamezni žili. Modus odgovorov pri preiskavi vene z ultrazvokom brez silomera je pri četrti sliki na vprašalniku (preglednica 3), pri preiskavi vene z ultrazvokom s silomerom pa pri peti sliki. Srednja vrednost odgovorov skupine z ultrazvokom brez silomera za veno je 3,93, za odgovore skupine z ultrazvokom s silomerom pa 4,47. Modusa odgovorov pri preiskavi arterije z ultrazvokom brez silomera sta pri drugi in tretji sliki, pri preiskavi arterije z ultrazvokom s silomerom pa pri tretji sliki. Srednja vrednost odgovorov skupine z ultrazvokom brez silomera za veno je 2,20, za odgovore skupine z ultrazvokom s silomerom pa 2,73. **Vsi ti rezultati vključno s stolpičnimi diagrami nakazujejo, da je bila v skupini s silomerom uporabljena večja sila kot v skupini brez silomera.** A pri tako majhnem statističnem vzorcu (dvakrat po 15 preiskovalk) moramo opraviti **dodatne statistične analize**, da preverimo, ali je med rezultati obeh skupina značilna razlika.

Če preiskovalka ni popolnoma zaprla vene in je presodila, da je še nekoliko odprta, upravičeno domnevamo, da bi diagnosticirala, da obstaja možnost pojava venske tromboze, torej bi bila diagnoza lažno pozitivna. Pri tem delu naloge zato odgovora o stanju arterije nismo potrebovali, so pa toliko bolj pomembne presoje o zaprtosti vene. **Kot edini pravilni odgovor zato upoštevamo sliko vene v stanju 5, ko je preiskovalka presodila, da je popolnoma stisnila veno, vse preostale odgovore pa štejemo za napačne, ker dopuščajo dvom o prisotnosti strdka.** V preglednici 4 je prikazano, koliko preiskovalk vsake skupine je odgovorilo, da se da veno popolnoma stisniti in koliko je označilo nepravilne podane možnosti. Rezultati kažejo, da je 20 % preiskovalk brez silomera izjavilo, da so uspele veno povsem stisniti, medtem ko se je ta delež med preiskovalkami s silomerom dvignil na 53 %.

Preglednica 4: Odgovori preiskovalk

Število odgovorov v skupini:	brez silomera	s silomerom	Σ vrstice
Veno se da popolnoma stisniti.	3	8	11
Vene se ne da popolnoma stisniti.	12	7	19
Σ stolpca	15	15	30

Zanimalo nas je, ali bi se skupina brez silomera po pravilnih odgovorih razlikovala od skupine s silomerom tudi v primeru, ko bi preizkus izvedli na dovolj velikem vzorcu. Za preverjanje uporabimo statistični **Hi-kvadrat test** (Chi-Square Test of Independence, 2023). **Z njim preverimo, ali do izmerjenih razlik med skupinama pride po naključju ali pa gre vendarle za statistično značilno razliko zaradi uporabe silomera.** Hi-kvadrat test predvideva postavitve ničte in alternativne hipoteze:

- H_0 : Odgovori o tem, ali se da veno popolnoma stisniti ali ne, so neodvisni od uporabe silomera.
- H_A : Odgovori o tem, ali se da veno popolnoma stisniti ali ne, so odvisni od uporabe silomera.

Po enačbi $\frac{\Sigma \text{vrstice} * \Sigma \text{stolpca}}{\text{število vseh meritev}}$ izračunamo pričakovane vrednosti in jih vnesemo v preglednico 5.

Preglednica 5: Pričakovane vrednosti za Hi-kvadrat

Število odgovorov v skupini:	brez silomera	s silomerom
Veno se da popolnoma stisniti.	5,5	5,5
Vene se ne da popolnoma stisniti.	9,5	9,5

Po tem izračunu najprej preverimo, ali je statistični vzorec dovolj velik, da so vse pričakovane vrednosti večje od 1 in da je vsaj 80% teh vrednosti vsaj 5. Iz preglednice 5 razberemo, da sta oba pogoja izpolnjena, zato lahko izračunamo vrednosti Hi-kvadrat po enačbi $\chi^2 = \sum \frac{(\text{merjeno} - \text{pričakovano})^2}{\text{pričakovano}}$, pri čemer pomožne delne rezultate vnesemo v preglednico 6.



Preglednica 6: Pomožne vrednosti za izračun Hi-kvadrat

Število odgovorov v skupini:	brez silomera	s silomerom
Veno se da popolnoma stisniti.	1,14	1,14
Vene se ne da popolnoma stisniti.	0,66	0,66

Seštevek vseh števil v preglednici 6 predstavlja vrednost $\chi^2 = 3,60$, ki jo primerjamo s kritično vrednostjo. Zanj najprej določimo število prostostnih stopenj (ang. degree of freedom) $df = (\text{št. stolpcev} - 1) \cdot (\text{št. vrstic} - 1) = 1$, nato pa iz preglednice kritičnih vrednosti (Chi-Square Table, 2023) razberemo, da je pri 95% zanesljivosti kritična vrednost 3,481. Ker je $3,60 > 3,481$, zavrnemo hipotezo H_0 , da so odgovori neodvisni od uporabe silomera. To pomeni, da sprejmemo hipotezo H_A , s čimer z najmanj 95% zanesljivostjo potrdimo, da silomer dejansko zmanjša število napačnih odgovorov o zaprtosti vene. Ker je odločitev o zaprtosti vene pri CUS bistveni kriterij za diagnosticiranje tromboze, **potrdimo hipotezo 1 naloge**, ki se glasi: *Če skupina neizkušenih preiskovalcev izvaja postopek CUS z nadgrajeno ultrazvočno napravo s silomerom in zvočnikom, ki zapiska ob predpisani sili, bo manj lažno pozitivnih diagnoz kot v skupini, ki izvaja postopek CUS z običajno ultrazvočno sondo.*

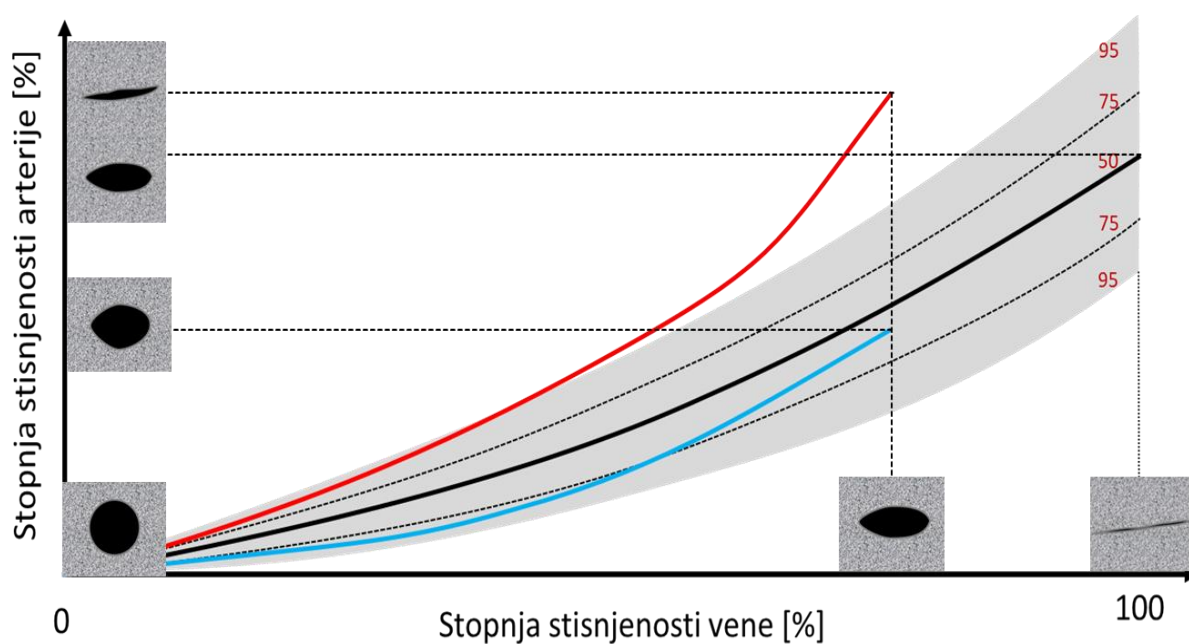
4.2 Obdelava slik iz videoposnetkov eksperimenta

V literaturi smo prebrali, da vene pri venski trombozi zaradi prisotnosti strdka ne moremo popolnoma zapreti in se obnaša bolj toga kot vena pri zdravem človeku. V teoretičnem delu naloge smo namreč prikazali ultrazvočni sliki pri venski trombozi (slika 12) in brez nje (slika 11). **V primeru, kjer ni venske tromboze, je vena popolnoma zaprta, poleg tega pa je tudi arterija delno stisnjena, in sicer približno do polovice začetnega premera (slika 11b). Pri primeru z vensko trombozo (slika 12b) je sila dovolj velika, da je arterija prav tako stisnjena do polovice, vendar vena še ni zaprta.** V diagnostiko bi zato lahko poleg deformiranosti vene vključili tudi deformiranost arterije.

S pomočjo ultrazvočnega posnetka eksperimenta lahko spremljamo **premere arterije in vene ter posledično stopnjo stisnjenosti arterije in vene pri vsakem trenutku stiskanja**. Stopnjo stisnjenosti žile definiramo kot *razmerje med spremembo premera žile glede na začetni premer*. Rezultate meritev in izračune stopenj stisnjenosti smo vnesli v preglednici 8 in 9 za preiskovalke skupine brez silomera ter preglednici 10 in 11 za preiskovalke skupine s silomerom. Stopnja stisnjenosti ima vrednost 0 v začetnem stanju in 100 % pri popolni stisnjenosti. **Osnova za postavitev hipoteze 2 je bila ideja, da je pri venski trombozi razmerje med stopnjo stisnjenosti arterije in stopnjo stisnjenosti vene bistveno večje kot pri zdravem človeku.**

Prednost ultrazvočnega posnetka je, da lahko razmerje med stopnjama stisnjenosti obeh žil spremljamo in bi ga zato lahko uporabili v diagnostične namene. **Graf na sliki 30 kvalitativno prikazuje odvisnost stopnje stisnjenosti arterije glede na stopnjo**

stisnjenosti vene pri zdravem človeku in pri človeku z vensko trombozo. Pri zdravih ljudeh se mora vena popolnoma zapreti, arterija pa delno, a ne poljubno. **Predvidevamo, da za splošno zdravo populacijo velja karakteristično območje, znotraj katerega se morajo vrednosti razmerja nahajati med izvajanjem stiskanja.** Če bi preiskovalec pravilno izvedel eksperiment na zdravem človeku, bi se krivulja, ki ponazarja potek stiskanja, nahajala v sivem območju do konca grafa, torej do 100 % stisnjenosti vene. **Pri ljudeh z vensko trombozo se vene ne bi dalo popolnoma zapreti, hkrati pa bi se premer arterije vedno bolj manjšal.** Graf prikazuje, da se rdeča krivulja na grafu ne nahaja v sivem območju, ampak je bistveno bolj strma, saj je togost vene zaradi prisotnosti strdka vedno večja. Če pa preiskovalec zaradi kakršnih koli razlogov ne bi mogel zapreti vene pri zdravem človeku, bi se modra krivulja nahajala v sivem območju, ne bi pa potekala do konca. V obeh primerih bi bila vena stisnjena do približno treh četrtin, torej bi oba preiskovalca sklepala na vensko trombozo, saj vene nista mogla zapreti. Njuna odločitev bi bila različna, če bi svoje rezultate ponazorila v takšnem diagramu. Preiskovalec, ki je stisnil žili po modri krivulji, ne bi podal lažno pozitivne diagnoze, saj se njegova krivulja nahaja v sivem območju, kar pomeni, da bi test moral ponoviti. **Če bi preiskovalci naknadno obdelali ultrazvočne slike postopka, predvidevamo, da bi zmanjšali delež lažno pozitivnih diagnoz.**



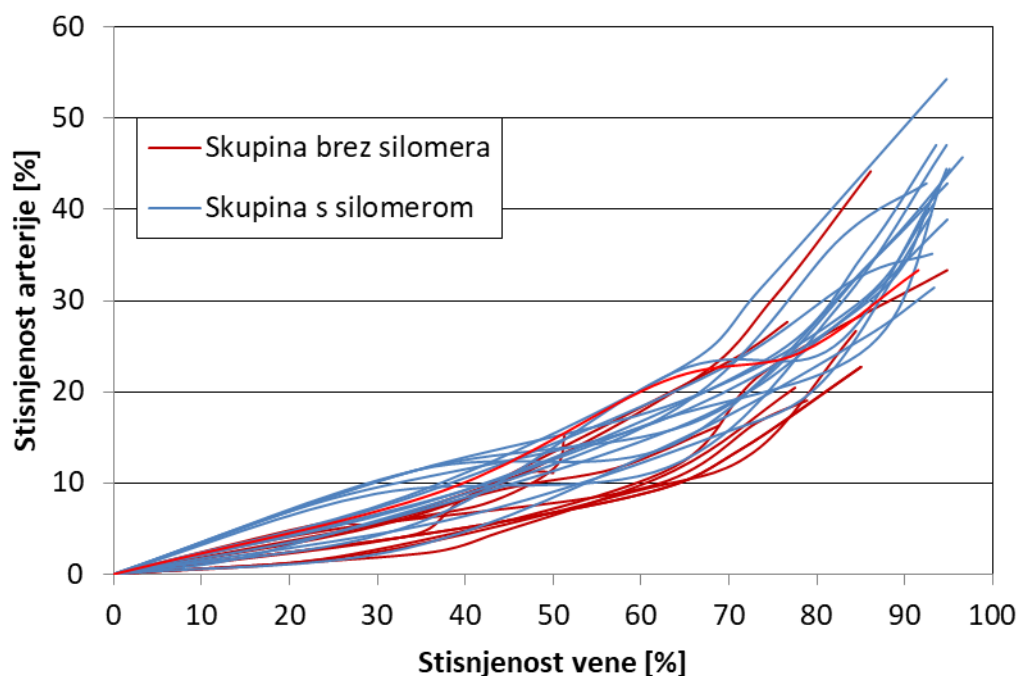
Slika 30: Odvisnost stopnje deformiranosti arterije in vene med preiskavo

Pri našem eksperimentu smo naredili ultrazvočni posnetek celotnega poskusa, izmerili premere posamezne žile in izračunali stopnje stisnjenosti obeh žil, zato lahko za vse preiskovalke narišemo takšen graf. Stopnje deformacije žil, ki so jih izmerile preiskovalke z nadgrajeno sondo, so predstavljene na sliki 31 z modrimi krivuljami, stopnje deformacije žil, ki so jih izmerile preiskovalke s sondo brez silomera, pa z rdečimi.

Iz grafa razberemo naslednje:

- Modre krivulje ležijo v določenem pasu in potekajo skoraj vedno do konca grafa, kar dokazuje, da je **silomer pripomogel k temu, da so uporabile dovolj veliko silo in veno zadosti stisnile**.
- Rdeče krivulje imajo podoben potek kot modre, a so opazno krajše od modrih, kar dokazuje, da **so preiskovalke stisnile premalo**.

Preiskovalke, za katere veljajo rdeče krivulje, nimajo razloga, da bi s pomočjo obdelave ultrazvočnih slik lažno pozitivno diagnosticirale vensko trombozo. Preiskovalka bi z analizo ultrazvočnega posnetka ugotovila, da je krivulja prekratka, a še vedno v karakterističnem območju, zato bi test ponovila, namesto da bi diagnosticirala lažno pozitivno.



Slika 31: Izmerjene vrednosti stisnjenosti obeh žil med preiskavami vseh preiskovalcev

Po obdelavi ultrazvočnih slik in pregledu rezultatov smo opazili, da ima subjektivnost pri gledanju struktur vpliv na izbiro odgovora, koliko sta deformirani posamezni žili. Nekatere preiskovalke so se na primer pri pravilno izvedenem postopku ne glede na to, da so popolnoma stisnile veno, še vedno odločile, da je niso popolnoma zaprle, podobno pa nekatere preiskovalke niso zaprle vene, vendar so se odločile, da so jo. Čeprav smo preiskovalkam z željo po izogibu nerazumevanja posameznih struktur nazorno razložili navodila in pokazali, kaj je leva in kaj desna žila, sta se dve preiskovalki odločili, da sta arterijo bolj deformirali od vene, čeprav je objektivna analiza slik pokazala, da sta stisnili pravilno in da bi se morali odločiti za ravno obratni odgovor.



Pri obdelavi ultrazvočnih slik smo zaznali eno izmed težav, ki je nismo opazili med samo izvedbo postopka. UZ slik nismo mogli analizirati pri treh preiskovalkah, ki so uporabljale ultrazvok brez silomera, in pri eni, ki je uporabljala ultrazvok s silomerom, kajti preiskovalke so pritisnile na strukturo tako, da se je ta izmikala. Začetni žili in žili v najbolj stisnjenem stanju nista bili v časovnem in krajevnem sosledju oziroma kot rezultat enega povezanega pritiska. Iz nerazločnih deformiranih stanj zato nismo mogli izračunati razmerij sploščenosti posameznega stanja arterije in vene glede na začetno stanje, zato v preglednice 8, 9, 10 in 11 nismo mogli vnesti rezultatov. Ker so žili do določene stopnje uspele stisniti in izpolniti vprašalnik, smo njihove odgovore upoštevali, nismo pa mogli narisati krivulj na sliki 31 za te primere.

Kaj ugotovitve pomenijo za potrjevanje hipoteze 2? Ta se glasi: *"Spremljanje stopnje sploščenosti arterije in vene s pomočjo obdelave ultrazvočnih posnetkov preiskave zmanjša lažno pozitivne diagnoze venske tromboze."* **Rezultati so obetavni**, a prikazane aktivnosti v okviru te naloge ostajajo na stopnji predštudije iz objektivnih razlogov. **V raziskovalni nalogi nismo mogli določiti karakterističnega območja, ki bi bil reprezentativen za celotno populacijo, saj smo meritve izvajali le na meni. Če bi želeli določiti to območje, bi morali poskus ponoviti na dovolj velikem vzorcu zdravih posameznikov različne starosti in spola. Druga težava je, da nimamo dostopa do izvajanja poskusov na vzorcu pacientov z vensko trombozo, da bi preverili, ali se rdeča krivulja na sliki 30 statistično značilno razlikuje od karakterističnega območja. Če takšnih razlik ni, potem hipoteza zagotovo ni pravilna, a tega ne moremo preveriti. V tej fazi raziskave zato sklenemo, da hipoteze 2 še ne moremo ovreči, a je tudi ne moremo potrditi. Rekli bomo, da smo hipotezo 2 delno potrdili.**



5 SKLEPI IN POTRDIČEV HIPOTEZ

Hipoteza 1: *Če skupina neizkušenih preiskovalcev izvaja postopek CUS z nadgrajeno ultrazvočno napravo s silomerom in zvočnikom, ki zapiska ob predpisani sili, bo manj lažno pozitivnih diagnoz kot v skupini, ki izvaja postopek CUS z običajno ultrazvočno sondo.*

POTRJENA

Odgovori neizkušenih preiskovalk, ki so rokovale z nadgrajeno ultrazvočno sondo, so bili značilno ustrežnejši od odgovorov neizkušenih preiskovalk, ki so preiskovale le z ultrazvokom, kar smo dokazali s Hi-kvadrat testom. Po pregledu rezultatov, kjer so se preiskovalke odločale, do kolikšne mere je posamezna žila pri največjem pritisku zaprta, in z naknadno obdelavo ultrazvočnega posnetka smo tudi ugotovili, da so preiskovalke skupine z ultrazvočno sondo brez silomera uporabile signifikantno manj sile kot preiskovalke z umerjeno silo in tako na podlagi opažene premajhne deformacije pogosto označile, da vena ni bila popolnoma zaprta, kar je ekvivalentno postavitvi lažno pozitivne diagnoze venske tromboze. S tem smo pokazali, da bi lahko z nadgrajeno ultrazvočno sondo izključili vpliv neustreznega pritiska, posledično pa zmanjšali verjetnost lažno pozitivne presoje o venski trombozi.

Hipoteza 2: *Spremljanje stopnje sploščenosti arterije in vene s pomočjo obdelave ultrazvočnih posnetkov preiskave zmanjša lažno pozitivne diagnoze venske tromboze.*

DELNO POTRJENA

Obdelovanje ultrazvočnih posnetkov se je izkazalo za dragocen vir informacij, ki bi lahko pomagale pri izvedbi CUS. S spremljanjem stopnje sploščenosti arterije in vene lahko za vsako izvajanje poskusa izrišemo krivuljo, ki povezuje stopnje sploščenosti arterije in vene. Ugotovili smo, da je oblika krivulj za vse preiskovalke enaka in neodvisna od prisotnosti silomera, razlika je samo v tem, da so krivulje za skupino brez silomera krajše, saj so preiskovalke premalo pritisnile. Če bi bile preiskovalke seznanjene, da njihova krivulja leži v karakterističnem območju, bi preiskavo ponovile in ne bi takoj izjavile, da vene ne morejo zapreti. Čeprav so rezultati obetavni, ne moremo hipoteze dokončno potrditi, saj nismo mogli določiti karakterističnega območja za zdrave posameznike in ker nismo mogli pokazati, da krivulja pacientov z vensko trombozo leži izven tega območja.



6 ZAKLJUČEK

Si na koncu raziskovalne naloge lahko odgovorimo na naslovno vprašanje, ali lahko vensko trombozo diagnosticira vsakdo? Vensko trombozo lahko diagnosticiramo napačno zaradi več razlogov. V naši raziskavi smo se osredotočili na enega od problemov, in sicer na to, da preiskovalci premalo pritisnejo na veno in je ne zaprejo popolnoma, na podlagi česar postavijo lažno pozitivno diagnozo venske tromboze. V raziskovalni nalogi smo:

- zasnovali eksperiment, pri katerem smo preučevali vpliv jakosti pritiska na skupno femoralno veno, pri čemer smo izločili vse druge vplive, ki bi vplivali na preiskovalnikino odločitev o tem, koliko je vena zaprta;
- potrdili hipotezo 1 tako, da smo dokazali, da nadgradnja ultrazvočne sonde s silomerom bistveno izboljša pravilno jakost pritiska, saj na ta način preiskovalke veno popolnoma zaprejo, kar zmanjša možnost, da bi diagnosticirale lažno pozitivno;
- opazovali stopnje sploščenosti arterije in vene z obdelavo ultrazvočnih posnetkov testiranja, s čimer smo želeli potrditi hipotezo 2. Rezultati so obetavni, saj so si krivulje, ki ponazarjajo razmerje med stopnjami sploščenosti arterije in vene zdravega človeka, podobne. To nakazuje, da bi bilo možno določiti karakteristično območje, kjer se nahajajo krivulje zdravega človeka, medtem ko bi krivulja človeka z vensko trombozo bistveno odstopala. Preiskovalka bi z naknadno analizo razmerij geometrij žil s pomočjo ultrazvočnega videoposnetka preverila, ali krivulja leži v karakterističnem območju. Verjetnost, da bi preiskovalka podala lažno pozitivno diagnozo venske tromboze, je tako manjša.

Raziskovalna naloga predstavlja dobro osnovo za nadaljnje raziskave. Če bi želeli hipotezo 2 dokončno potrditi, bi morali preizkuse izvesti na večji populaciji zdravih posameznikov, da bi določili karakteristično območje, nato pa še na skupini pacientov z vensko trombozo. Med drugim bi bilo koristno, če bi za večjo populacijo zdravih posameznikov določili mejne sile za vse predele telesa, na katerih se izvaja CUS, saj nadgradnja ultrazvoka s silomerom bistveno izboljša pravilnost diagnoze. Študijo smo izvajali z neveščimi srednješolkami, smiselno pa jo bi bilo ponoviti z izkušenim medicinskim osebjem.

Ideja, da bi bil vsakdo sposoben pravilno diagnosticirati vensko trombozo, je zaenkrat preoptimistična, a je študija kljub temu relevantna za klinično prakso, saj bi lahko že z manjšo nadgradnjo obstoječih ultrazvočnih naprav s silomerom močno zmanjšali lažno pozitivne diagnoze venske tromboze. Nadgradnja ultrazvočne sonde omogoča hkratno opazovanje deformiranja tkiv ter zaznavanje njegove togosti, kar morda odpira možnost izboljšanja diagnostike tudi na drugih področjih medicine.



7 LITERATURA IN VIRI

- Alpha Sport. *Philips Lumify Portable Ultrasound (L12-4 linear)*. [internet]. [citirano 7. 11. 2022]. Dostopno na naslovu: <https://www.alphasport.com.au/product/philips-lumify-portable-ultrasound>
- Anatomy 3D Atlas: mobilna aplikacija. [internet]. [citirano 3. 2. 2023]. Dostopno na naslovu: <https://anatomy3datlas.com/>
- Artery vs. Vein: What's the Difference? 2018. [internet]. [citirano 5. 12. 2022]. Dostopno na naslovu: <https://www.healthline.com/health/artery-vs-vein#takeaway>
- Bastar, B. 2012. *Zasnova numeričnega modela umetne žile: diplomsko delo*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.
- Boc, A., Čebašek, V. 2013. Vene spodnjih udov – anatomija in nova terminologija. *Zdravstveni Vestnik*, št. 82, str. 31–40
- Camasao, D.B. idr. 2021. The mechanical characterization of blood vessels and their substitutes in the continuous quest for physiological-relevant performances: Critical review. *Material Today Bio*, let.10, 100106
- Capillary. Encyclopædia Britannica. [internet]. [citirano 7. 11. 2022]. Dostopno na naslovu: <https://www.britannica.com/science/capillary>
- Cardiovascular diseases. World Health Organization (WHO). [internet]. [citirano 10. 1. 2023]. Dostopno na naslovu: https://www.who.int/health-topics/cardiovascular-diseases#tab=tab_1
- Carter, J. 2019. *US Probe: Pearls and Pitfalls for Point-of-Care Ultrasound Evaluation of Deep Vein Thrombosis*. emDocs. [internet]. [citirano 11. 1. 2023]. Dostopno na naslovu: <http://www.emdocs.net/us-probe-pearls-and-pitfalls-for-point-of-care-ultrasound-evaluation-of-deep-vein-thrombosis/>
- Chebl, R. B. idr. 2021. Two-point compression ultrasonography: Enough to rule out lower extremity deep venous thrombosis? *World Journal of Emergency Medicine*, let. 12, št. 4, str. 268-273.
- Chi-Square Test of Independence. Statistic Online Support. [internet]. [citirano 5. 2. 2023]. Dostopno na naslovu: <http://sites.utexas.edu/sos/guided/inferential/categorical/chi2/>
- Chi-Square (χ^2) Table | Examples & Downloadable Table. Scribbr. [internet]. [citirano 5. 2. 2023]. Dostopno na naslovu: <https://www.scribbr.com/statistics/chi-square-distribution-table/>
- Classification & Structure of Blood Vessels. National Institutes of Health & National Cancer Institute. [internet]. [citirano 20. 11. 2022]. Dostopno na naslovu: <https://training.seer.cancer.gov/anatomy/cardiovascular/blood/classification.html>
- Cunder, K. idr. 2021. Zapleti pri pacientih po težki obliki Covid–19. Rehabilitacija, let. XX, št. 1. Ljubljana: URI Soča
- Cushman, M. 2007. Epidemiology and Risk Factors for Venous Thrombosis. *Seminars in Hematology*, let. 44, št. 2, str. 62-69.
- Dinh, V. *DVT Ultrasound Made Easy: Step-By-Step Guide*. [internet]. [citirano 7. 12. 2022]. Dostopno na naslovu: <https://www.pocus101.com/dvt-ultrasound-made-easy-step-by-step-guide/>
- Di Vilio, A. idr. 2021. Incremental value of compression ultrasound sonography in the emergency department. *World Journal of Critical Care Medicine*, let. 10, št. 5, str. 194-203.
- Embolus. [internet]. [citirano 17. 12. 2022]. Dostopno na naslovu: <https://en.wikipedia.org/wiki/Embolus>
- Eržen, L. 2020. *Kdaj vas lahko krvni strdek ogroža, četudi ste mladi?* [internet]. [citirano 3. 2. 2023]. Dostopno na naslovu: <https://vizita.si/bolezni/venska-tromboza.html>
- Ferlič Žgajnar, B. 2021. Mladenka zaradi strdkov in krvavitev umrla. *Delo*. [internet]. [citirano 1. 11. 2022]. Dostopno na naslovu: <https://www.delo.si/novice/slovenija/cepljenje-s-cepivom-janssen-se-poteka/>
- Fischer, E. A. idr. 2019. Hospitalist-Operated Compression Ultrasonography: a Point-of-Care Ultrasound Study (HOCUS-POCUS). *Journal of General Internal Medicine*, let. 34, št. 10, str. 2062-2067.
- Flis, V. idr. 2010. *Osnove ultrazvočne anatomije trebušne votline*. Maribor: Založba Pivec.
- Fronek, A. idr. 2001. Common femoral vein dimensions and hemodynamics including Valsalva response as a function of sex, age, and ethnicity in a population study. *Journal of Vascular Surgery*, let. 33, št. 5, str. 1050-1056.



- Granda, S. *Diagnostika in osnovno ukrepanje pri povečanem tveganju za trombotične dogodke*. UKC Maribor. [internet]. [citirano 7. 12. 2022]. Dostopno na naslovu: https://www.zd-mb.si/Portals/0/Docs/Zborniki/12_%20Samo%20Granda%20Diagnostika%20in%20osnovno%20ukrepanje%20pri%20povecanem%20tveganju%20za%20tromboticne%20dogodke.pdf
- Hanff, T.C. idr. 2020. Thrombosis in COVID-19. *Americal Journal of Hematology*, št. 95, str. 1578–1589.
- Hirsh, J. idr. 1986. Clinical Features and Diagnosis of Venous Thrombosis. *Journals of the American College of Cardiology*, let. 8, št. 6, str. 114B-127B.
- Hull, R.D. idr. 1984. The diagnosis of clinically suspected venous thrombosis. *Clinics in Chest Medicine*, let. 5, št. 3, str. 439-456.
- Impedance pletismography*. [internet]. [citirano 18. 12. 2022]. Dostopno na naslovu: <https://medical-dictionary.thefreedictionary.com/impedance+plethysmography>
- Jeraj, L. 2018. *Potrombotični sindrom pri bolnikih z globoko vensko trombozo in z njim povezani dejavniki: doktorska disertacija*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Medicinska fakulteta.
- Kaj je ultrazvok in kdaj se uporablja*. Klinika Omnia. [internet]. [citirano 2. 1. 2023]. Dostopno na naslovu: <https://estetika-omnia.si/ultrazvok/>
- Kahn, S.R. 1998. The Clinical Diagnosis of Deep Venous Thrombosis - Integrating Incidence, Risk Factors, and Symptoms and Signs. *Archives of internal medicine*, let. 158, št. 21, str. 2315-2323.
- Kahn, S.R. 2016. The post-thrombotic syndrome. *Hematology*. ASH Education Program, let. 2, št. 1, str. 413–418.
- Kim, W. idr. 2011. The effects of hip abduction with external rotation and reverse Trendelenburg position on the size of the femoral vein; ultrasonographic investigation. *Korean Journal of Anesthesiology*, let. 61, št. 3, str. 205-209
- Kladnik, R. 1997. *Fizika za srednješolce 2: Energija*. Ljubljana: DZS
- Knežević, A. 2009. *Vpliv predanalitskih dejavnikov na agregacijo trombocitov: diplomsko delo*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za farmacijo.
- Kozak, M. in Vene, N. 1999. Diagnostični postopki pri sumu na vensko trombozo – priporočila za klinično delo. *Onkologija*, let. 3, št. 2, str. 45-47
- Kozak, M. idr. 2016. Slovenska priporočila za odkrivanje in zdravljenje venske tromboze. *Zdravniški vestnik*, št. 85, str. 443–457.
- Lenasi, H. 2017. Homeostaza. *Medicinski razgledi*, let. 56, št. 2, str. 197–214.
- Makovec, M. 2018. *Prebodne vene*. Dolenjske toplice: Konferenca združenja za žilne bolezni. [internet]. [citirano 7. 12. 2022]. Dostopno na naslovu: <https://venula.si/img/Aktualno/2018/DT/Prebodne%20vene%20PPT%20Makovec.pdf>
- Mavri, A. idr. 2013. Priporočila za določanje testov trombofilije pri bolnikih z vensko trombembolijo. *Zdravniški vestnik*, let. 82, št. 2, str. 65-79.
- McCormack, T. idr. 2020. Venous thromboembolism in adults: summary of updated NICE guidance on diagnosis, management, and thrombophilia testing. *BMJ*. 19;369:m1565.
- Mlačak, B. 2002. *Bolezni venskega sistema*. Družinska medicina. Ljubljana: Združenje zdravnikov družinske medicine, str. 450-462
- Mlakar, B. in Ravnik, D. 1999. Femoralni trikotnik. *Medicinski razgledi*, št. 38, str. 545–554.
- Motnje cirkulacije*. 2013. Portal za izobraževanje iz zdravstvene nege. [internet]. [citirano 13. 12. 2022]. Dostopno na naslovu: <https://www.zdravstvena.info/vsznj/motnje-cirkulacije-ami-cvi-edemi-infarkt-kap-anevrizma-trombi/>
- Novak, A. 2014. *Uporaba izometrične vadbe pri bolnikih s povišanim krvnim tlakom: diplomsko delo*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport.
- Novak, P. 2013. Ultrazvočna preiskava mišičnoskeletnega sistema v fizikalni in rehabilitacijski medicini. *Rehabilitacija*, let. XII, št. 1, str. 16-20. Ljubljana: URI Soča.
- Petek Šter, M. 2016. *Interpretacija rezultatov statističnih testov: predstavitev*. [internet]. [citirano 15. 1. 2023]. Dostopno na naslovu: https://www.mf.uni-lj.si/application/files/9315/3842/0966/EBM_petek_2.pdf
- Philips. *The Lumify solution*. [internet]. [citirano 3. 2. 2023]. Dostopno na naslovu: <https://www.philips.co.uk/healthcare/sites/lumify>
- Pintarič, G. 2012. *Osveščenost starih ljudi o rizičnih dejavnikih za nastanek bolezni srca in ožilja v domu starejših: diplomsko delo*. Maribor: Univerza v Mariboru, Fakulteta za zdravstvene vede.



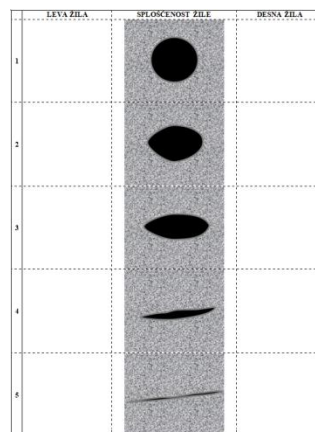
- Preložnik Zupan, I. 2022. *Hemostaza skozi klinične primere*. Ljubljana: Združenje hematologov Slovenije
- Pruná, I. idr. 2019. Common femoral artery diameters determined by doppler ultrasonography. *ARS Medica Tomitana*, let. 1, št. 25, str. 1 – 5.
- Rajamahendran, R. 2013. *Long Cases in General Surgery: Chapter-08 Varicose Veins*. Yaipee Digital
- Roy, P. M. 2021. Triaging acute pulmonary embolism for home treatment by Hestia or simplified PESI criteria: the HOME-PE randomized trial. *European Heart Journal*, št. 42, str. 3146–3157.
- Scarvelis, D. in Wells, P.S. 2006. Diagnosis and treatment of deep-vein thrombosis. *Canadian Medical Association Journal*, let. 175, št. 9, str. 1087–1092.
- Shutterstock. [internet]. [citirano 25. 2. 2023]. Dostopno na naslovu: <https://www.shutterstock.com/search/thrombus>.
- Stone, J. idr. 2017. Deep vein thrombosis: pathogenesis, diagnosis, and medical management. *Cardiovascular Diagnosis & Therapy*, let. 7, št. 3. str. 276-284.
- Strijkers, R. H. W. 2011. Management of deep vein thrombosis and prevention of post-thrombotic syndrome: Clinical Review. *BMJ*. 343:d5916
- Structure and Function of Blood Vessels*. OER Services. [internet]. [citirano 20. 11. 2022]. Dostopno na naslovu: <https://courses.lumenlearning.com/suny-ap2/chapter/structure-and-function-of-blood-vessels/>
- Stušek, P. 2005. *Biologija človeka: učbenik za gimnazije*. Ljubljana: DZS.
- Stušek, P. idr. 2011. *Zgradba in delovanje organizma: učbenik za pouk biologije v gimnazijskem in strokovnem izobraževanju*. Ljubljana: DZS.
- Tansey, E.A. idr. 2019. Understanding basic vein physiology and venous blood pressure through simple physical assessments. *Advances in Physiology Education*, let. 43, št. 3, str. 423-429.
- The Piezoelectric Effect*. Nanomotions. [internet]. [citirano 2. 1. 2023]. Dostopno na naslovu: <https://www.nanomotion.com/nanomotion-technology/the-piezoelectric-effect/>
- Tratar, G. 2017. *Venska trombembolija - Bolezni ven*. Ljubljana: Društvo za zdravje srca in ožilja.
- Tucker, W.D. idr. 2022. *Anatomy, Blood Vessels*. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing.
- Types of Piezo Electric Materials – Properties, and Characteristics*. [internet]. [citirano 2. 1. 2023]. Dostopno na naslovu: <https://www.elprocus.com/what-are-piezo-electric-materials-types-properties-and-characteristics/>
- Vošnjak, A. 2018. Venska tromboza pogosto spremlja bolnišnično zdravljenje. *Dnevnik*. [internet]. [citirano 13. 12. 2022]. Dostopno na naslovu: <https://www.dnevnik.si/1042843884>
- Urevec, J. 2016. *Karakterizacija mehanskega odziva humane karotidne arterije v fiziološkem stanju: doktorska disertacija*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo.
- Varrias, D. idr. 2021. The Use of Point-of-Care Ultrasound (POCUS) in the Diagnosis of Deep Vein Thrombosis. *Journal of Clinical Medicine*, št. 10, 3903.
- Wang, H.-K. idr. 2005. B-flow Ultrasonography of Peripheral Vascular Diseases. *Journal of Medical Ultrasound*, let. 13, št. 4, str. 186-195.
- Wells, P.S. idr. 1995. Accuracy of clinical assessment of deep-vein thrombosis. *The Lancet*, let. 27, št. 345(8961), str. 1326-1330.
- Whiteley, W. in Wood A. 2022. Risk of arterial and venous thromboses after COVID-19. *The Lancet - Infectious Diseases*, let. 22, št. 8, str. 1093-1094.
- Žagar, H. 2016. Kaj je krvni strdek? *ABC Zdravja*, let. 16, št. 11, Freising, d.o.o.



PRILOGA

Preglednica 7: Odgovori preiskovalk, ki so jih podale na vprašalniku v preglednici 3

Skupina brez silomera			Skupina s silomerom		
N	leva (arterija)	desna (vena)	N	leva (arterija)	desna (vena)
1	3	5	16	3	5
2	1	4	17	4	5
3	1	3	18	3	4
4	2	4	19	2	5
5	4	3	20	4	5
6	3	5	21	2	5
7	1	4	22	3	4
8	2	3	23	2	4
9	3	4	24	3	5
10	1	4	25	1	5
11	2	4	26	4	3
12	2	3	27	3	4
13	2	4	28	3	5
14	3	4	29	2	4
15	3	5	30	2	4





Preglednica 8: Meritve geometrije vene med stiskanjem za skupino preiskovalk brez silomera

N	Stanja sploščenosti vene [mm]					Stopnje sploščenosti vene [%]			
	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₂ : V ₁	V ₃ : V ₁	V ₄ : V ₁	V ₅ : V ₁
1	60	41	35	30	29	31,6	42,1	50,0	51,3
2									
3	69	53	49	36	34	23,5	29,4	47,1	50,0
4	63	41	36	23	14	35,0	43,8	63,8	77,5
5	61	45	34	26	19	26,0	44,2	57,1	68,8
6	61	44	23	16	3	27,3	62,3	74,0	94,8
7	56	43	22	15	12	23,9	60,6	73,2	78,9
8									
9									
10	63	40	24	18	9	36,3	61,3	71,3	85,0
11	61	43	25	17	9	28,6	58,4	72,7	84,4
12	64	44	41	28	25	30,9	35,8	56,8	60,5
13	61	40	36	18	14	33,8	40,3	70,1	76,6
14	57	36	20	14	8	36,1	65,3	75,0	86,1
15	59	37	22	13	5	37,3	62,7	78,0	91,5

Legenda:

V₁: začetno stanje vene, preden preiskovalka pritisne nanjo

V₅: končno stanje vene pri njeni največji deformiranosti

V₂₋₄: vmesna stanja vene

Preglednica 9: Meritve geometrije arterije med stiskanjem za skupino preiskovalk brez silomera

N	Stanja sploščenosti arterije [mm]					Stopnje sploščenosti arterije [%]			
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₂ : A ₁	A ₃ : A ₁	A ₄ : A ₁	A ₅ : A ₁
1	41	39	38	36	35	5,8	7,7	11,5	15,4
2									
3	36	34	34	32	32	5,6	5,6	11,1	11,1
4	35	34	33	31	28	2,3	4,5	11,4	20,5
5	34	32	31	30	28	4,7	9,3	11,6	16,3
6	36	35	32	28	24	2,2	11,1	22,2	33,3
7	33	32	30	28	27	4,8	9,5	16,7	19,0
8									
9									
10	35	33	32	30	27	4,5	9,1	13,6	22,7
11	36	35	32	31	26	2,2	8,9	13,3	26,7
12	37	35	33	26	26	6,4	10,6	29,8	29,8
13	37	36	34	28	27	4,3	8,5	23,4	27,7
14	34	32	27	24	19	7,0	20,9	30,2	44,2
15	33	30	26	25	22	9,1	21,2	24,2	33,3

Legenda:

A₁: začetno stanje arterije, preden preiskovalka pritisne nanjo

A₅: končno stanje arterije pri njeni največji deformiranosti

A₂₋₄: vmesna stanja arterije



Preglednica 10: Meritve geometrije vene med stiskanjem za skupino preiskovalk s silomerom

	Stanja sploščenosti vene [mm]					Stopnje sploščenosti vene [%]			
N	V ₁	V ₂	V ₃	V ₄	V ₅	V ₂ : V ₁	V ₃ : V ₁	V ₄ : V ₁	V ₅ : V ₁
16	57	40	21	10	3	29,8	63,2	82,5	94,7
17	58	38	19	8	2	34,5	67,2	86,2	96,6
18	61	40	22	11	3	34,4	63,9	82,0	95,1
19	57	38	20	15	3	33,3	64,9	73,7	94,7
20	57	35	18	11	4	38,6	68,4	80,7	93,0
21	62	38	16	9	4	38,7	74,2	85,5	93,5
22	58	38	21	8	3	34,5	63,8	86,2	94,8
23	60	45	23	8	4	25,0	61,7	86,7	93,3
24	58	39	19	9	4	32,8	67,2	84,5	93,1
25	57	36	22	8	3	36,8	61,4	86,0	94,7
26	53	43	20	9	4	18,9	62,3	83,0	92,5
27									
28	60	40	22	9	4	33,3	63,3	85,0	93,3
29	58	41	20	10	3	29,3	65,5	82,8	94,8
30	59	40	21	9	4	32,2	64,4	84,7	93,2

Legenda:

V₁: začetno stanje vene, preden preiskovalka pritisne nanjo

V₅: končno stanje vene pri njeni največji deformiranosti

V₂₋₄: vmesna stanja vene

Preglednica 11: Meritve geometrije arterije med stiskanjem za skupino preiskovalk s silomerom

	Stanja sploščenosti arterije [mm]					Stopnje sploščenosti arterije [%]			
N	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	A ₅	A ₂ : A ₁	A ₃ : A ₁	A ₄ : A ₁	A ₅ : A ₁
16	34	31	30	24	18	8,8	11,8	29,4	47,1
17	35	31	29	23	19	11,4	17,1	34,3	45,7
18	36	34	28	27	20	5,6	22,2	25,0	44,4
19	35	32	27	24	16	8,6	22,9	31,4	54,3
20	33	31	28	26	20	6,1	15,2	21,2	39,4
21	34	31	26	22	18	8,8	23,5	35,3	47,1
22	35	31	30	23	20	11,4	14,3	34,3	42,9
23	36	33	30	25	21	8,3	16,7	30,6	41,7
24	37	34	29	25	24	8,1	21,6	32,4	35,1
25	36	33	30	27	20	8,3	16,7	25,0	44,4
26	35	34	29	22	20	2,9	17,1	37,1	42,9
27									
28	35	34	30	26	24	2,9	14,3	25,7	31,4
29	36	34	30	26	22	5,6	16,7	27,8	38,9
30	37	33	30	26	22	10,8	18,9	29,7	40,5

Legenda:

A₁: začetno stanje arterije, preden preiskovalka pritisne nanjo

A₅: končno stanje arterije pri njeni največji deformiranosti

A₂₋₄: vmesna stanja arterije