

RĪGAS TEHNISKĀ UNIVERSITĀTE
Materiālzinātnes un lietišķās ķīmijas fakultāte
Tekstilmateriālu tehnoloģiju un dizaina institūts

Inga ĻAŠENKO

**SPIEDIENU
RADOŠAS TRIKOTĀŽAS TEHNOĻIŠKO
PARAMETRU
BIOMEHĀNISKAIS PAMATOJUMS**

Promocijas darba kopsavilkums

Zinātniskie vadītāji
Dr. habil. sc. ing., RTU profesors
B.OKS
Dr. habil. sc. ing., RTU profesore
S.KUKLE

RTU Izdevniecība
Rīga 2005

VISPĀRĪGAIS DARBA RAKSTUROJUMS

Tēmas aktualitāte. Medicīnas nozīmes kompresijas trikotāžas izstrādājumus plaši pielieto hroniskās venozās mazspēja un limfostāzes ārstēšanas procesā, kā arī atbalsta - kustības aparāta fiksācijai, t.i. tie paredzēti arī atsevišķu ķermeņa daļu fiksācijai. Viena no galvenajām medicīnas prasībām saistīta ar norādīto izstrādājumu pielietošanu ir stingra spiediena dozēšana uz cilvēka ķermeni saglabājot pastāvīgu spiedienu laika gaitā.

Mūsdienu kompresijas trikotāžas izstrādājumi ne vienmēr atbilst šai prasībai. Esošās kompresijas trikotāžas izstrādājumu aprēķinu teorijas un to izgatavošanas tehnoloģijas pilnībā nenodrošina stingrās medicīnas prasības, jo izstrādes procesā netiek ņemta vērā izstrādājumu virsmas mijiedarbība ar cilvēka ķermeni. Tā ir arī galvenā problēma, kuras risināšanai veltīts izstrādātais darbs.

Ir zināmas mediķu zinātnieku publikācijas, kurās norādīts, ka projektējot kompresijas trikotāžas izstrādājumus jāņem vērā vēnu struktūras īpatnības un slimības pakāpe. Pamatojoties uz cilvēka vēnu sistēmas morfoloģisko uzbūvi pierādīts, ka varikozei pakļauta distālā trešā daļa no apakšstilba.

Kompresijas izstrādājumus galvenokārt izgatavo no trikotāžas. To medicīniskās iedarbības efektivitāti nosaka faktoru kopa: izejvielas veids, pinums, elastomēra pavedienu nostiepums, adījuma blīvums izstrādājuma posmos, adāmmašīnu tehnoloģiskās iespējas. Zinātniski pamatotas kompresijas trikotāžas izstrādājumu veidošanas priekšnosacījums ir pareiza pavedienu izvēle, lai nodrošinātu praktiski jebkuru deformāciju.

Līdz šim nav atrisināta problēma kompresijas trikotāžas izstrādājumu veidošanai ņemot vērā hroniskās venozās mazspējas un limfostāzes saslimstības stadijas un specifiku, kas nosaka nepieciešamību nodrošināt kompresiju uz konkrēta vēnu mezgla vai arī vēnas virzienā uz konkrētu lokālu posmu.

Daudzu gadu gaitā medicīnā par strīdīgu jautājumu kļuva spiediena optimālais sadalījums pa izstrādājuma posmiem. Katra ražotājfirma piedāvā savu spiediena gradāciju sadalījumu. Tas apgrūtina izstrādājuma izvēli, kas savukārt var novest pie audu tūskas, būtiski palielinās iekaisumu procesu iespējamība, iespējama vēnu tromboze. Latvijas medicīnas zinātnieku darbos šie rādītāji ir optimizēti un tie ir pieņemti par pamatu kompresijas trikotāžas izstrādājumu aprēķinos.

Kompresijas trikotāžas izstrādājumu efektīva iedarbība ārstēšanas procesā ir atkarīga no tehnoloģiskās projektēšanas iespējām ņemt vērā pacientu vecuma grupas un dzimumu, ķermeņa ģeometriskās īpatnības, biomehānisko stāvokli un muskuļu pakļāvīgumu.

Problēmas risinājuma aktualitāte balstās uz to, ka hroniskā venozā mazspēja ir viena no visizplatītākajām saslimstībām, bet ārstēšana - viens no mūsdienu medicīnas svarīgākajiem uzdevumiem.

Latvijas medicīnas zinātnieku ("Latvijas Fleboloģijas Biedrība", 2000) statistiskie dati parāda, ka praktiski katra trešā sieviete un katrs piektais vīrietis slimo ar hronisko venozo mazspēju dažādās stadijās. Tādejādi hroniskā venozā mazspēja skar 20-30% Latvijas pieaugušo iedzīvotāju. Tajā pašā laikā ar hronisko venozo čūlu, kas ir smagākā saslimstības stadija, slimo 2-3% Latvijas iedzīvotāju. Dziļo vēnu tromboze skar 3% vīriešu un 8% sieviešu.

Pēc Eiropas statistiskajiem datiem ("Society for Vascular Surgery (SVS) and International Society for Cardiovascular Surgery" (JSCVS), 1988) 20-50% Eiropas iedzīvotājiem novērojami dažāda veida un stadiju hroniskā venozā mazspēja. Ir uzskats, ka gada laikā dziļā vēnu tromboze skar vienu no katra tūkstoša.

Šie fakti un skaitļi parāda skaidru ainu, ka hroniskā venozā mazspēja ir viena no galvenajām sociālās medicīnas un nacionālās ekonomikas problēmām un vērš zinātnieku uzmanību uz to, lai atrastu ceļus slimības novēršanai, profilaksei un apkopei.

Pašlaik Latvijā kompresijas trikotāžas izstrādājumi tiek ražoti ierobežotā daudzumā. Mūsdienīgi kompresijas trikotāžas izstrādājumi hroniskās venozās mazspējas un limfostāzes ārstēšanai, kā atzīmēts iepriekš, nepilnīgi atbilst medicīnas prasībām, jo projektējot izstrādājumus netiek ņemti vērā cilvēka ķermeņa individuālie ģeometriskie parametri un biomehāniskās īpatnības, slimības stadija un apakšējo ekstremitāšu vēnu sistēmas morfoloģija. Acīm redzot līdz šim nav zinātniski pamatotas teorijas par bioloģiskās vides, t.i. cilvēka ķermeņa, mijiedarbību ar kompresijas trikotāžas izstrādājumiem, netiek ņemta vērā uzdevuma nelinearitāte, kā arī cilvēka ķermeņa deformācijas kompresijas trikotāžas izstrādājuma iespaidā.

Zinātniski pamatotas teorijas izstrāde kompresijas trikotāžas izstrādājumu projektēšanai un to ražošanas tehnoloģijai veicinās hroniskās venozās mazspējas un limfostāzes profilakses ārstniecības problēmu risināšanu un, tādejādi būs virzīta un cilvēku dzīves apstākļu uzlabošanu.

Iepriekšēja marketinga izpēte liecina par šo izstrādājumu ražošanas rentabilitāti Latvijā un konkurētspēju ne tikai Baltijas valstīs, bet ar ES.

Pētījuma mērķi uzdevumi. Šī darba mērķis ir risināt virkni zinātnisku un zinātniski-tehnisku jautājumu ar zināmu skaitu pieļāvumu, kas saistīti ar kompresijas trikotāžas izstrādājumu projektēšanu, aprēķinu un īpašību izpēti, lai nodrošinātu hroniskās venozās mazspējas ārstēšanas efektivitātes palielināšanu. Šajā virzienā paredzēts:

1. Izstrādāt kompresijas trikotāžas ražošanas tehnoloģiju, ievērojot izstrādājuma (apvalka) savstarpējo mijiedarbību ar kājas modeli.
2. Izstrādāt teorētisko pamatu kompresijas trikotāžas izstrādājumu projektēšanai un aprēķinam, kas nodrošina nepieciešamo lokālo spiedienu dažādos izstrādājuma posmos.
3. Novērtēt ārstniecība efektu izmantojot kompresijas trikotāžas izstrādājumus aprobāciju uz pacientiem.

Lai veiktu augšminēto nepieciešams atrisināt sekojošus uzdevumus:

1. Veikt kompleksu kompresijas trikotāžas izgatavošanas tehnoloģiju analīzi.
2. IZanalizēt mūsdienu kompresijas trikotāžas izstrādājumu projektēšanas un aprēķina metodes.
3. Balstoties uz medicīnas zinātnisko literatūru veikt apakšējo ekstremitāšu vēnu sistēmas analīzi, lai noskaidrotu kompresijas trikotāžas izstrādājumiem nepieciešamās īpašības.
4. Veikt dažādu pinumu trikotāžas paraugu analīzi, lai izvēlētos optimālo pinumu, kas vispilnīgāk nodrošina nepieciešamo spiediena sadalījumu kompresijas trikotāžas izstrādājuma kontaktā ar cilvēka kāju.
5. Veikt kompresijas trikotāžas izstrādājumu tehnoloģisko aprēķinu ņemot vērā bioloģiski inerti tekstilpavedienu (LYCRA®) stiepjamību un pārbaudīt tehnoloģisko parametru atbilstību eksperimenta datiem.
6. Izstrādāt trikotāžas paraugu fizikāli - mehānisko raksturlielumu pētniecības metodiku.
7. Izpētīt un izanalizēt apakšstilba muskuļaudus pakļāvīgumu, lai to ņemtu vērā aprēķinot spiedienu, ko rada kompresijas trikotāžas izstrādājums uz ķermeņa virsmu.
8. Izpētīt un izanalizēt apakšstilba muskuļaudu cietības rādītājus, lai tos ņemtu vērā kompresijas trikotāžas izstrādājuma spiediena aprēķinos uz ķermeņa virsmu.
9. Radīt izstrādājuma un cilvēka kājas ģeometriskos modeļus un metodiku, kā ņemt tos vērā pie kompresijas trikotāžas izstrādājumu projektēšanas.
10. Uz programmas ANSYS bāzes izstrādāt kontaktprieguma aprēķina metodiku un veikt spiediena aprēķinu, kuru veido projektējama kompresijas trikotāžas izstrādājums.

11. Veikt eksperimentālu kompresijas trikotāžas izstrādājumu laboratorisku analīzi ar mērķi pārbaudīt teorētisko aprēķinu pareizību un novērtēt to pielietojamības efektivitāti slimību profilaksē un ārstēšanā.

Pētniecības metodes. Darbā lietotas teorētiskas un eksperimentālas pētniecības metodes, balstītas uz deformējama cieta ķermeņa vispārīgajiem aprēķina principiem.

Disertācijas metodoloģiskie un teorētiskie pamati balstās uz kompresijas trikotāžas izstrādājumu tehnoloģijas zinātniskajiem pamatiem un eksperimentālu izstrādājuma materiāla un cilvēka kājas mehānisko raksturlielumu izpēti.

Trikotāžas paraugu izpētē izmantotas kompleksas materiālzinību, tehnoloģiskās un fizikāli - mehāniskās pārbaudes atbilstoši ISO (Internationale Standarten Organisation ©, 2003) prasībām.

Eksperimentāli izpētītas apakšstilba muskuļaudu biomehāniskās īpašības, izmantojot šos datus izstrādājuma un kājas modeļa savstarpējās mijiedarbības aprēķinā.

Spiediena sadalījums uz kontakta virsmas izstrādājums-kājas modelis pētīts lietojot matemātisko modelēšanu. Teorētiskā un eksperimentālā pētniecība veikta laboratorijas apstākļos izmantojot speciālas ierīces un tipveida aparātus.

Kompresijas trikotāžas izstrādājumu aprobācija veikta Rīgā, slimnīcā "Biķernieki".

Darba zinātniskie jaunumi balstās uz to, ka pirmoreiz:

- izstrādāta kompresijas trikotāžas izstrādājumu projektēšanas teorija, kura aptver medicīnas prasības un izveidota kompresijas trikotāžas izstrādājumu ražošanas tehnoloģija;
- izstrādāta principiāli jauna kompresijas trikotāžas izstrādājumu izgatavošanas tehnoloģija, kura nodrošina lokālu spiediena dozēšanu uz dažādām cilvēka ķermeņa daļām un saglabā pastāvīgu spiedienu laika gaitā;
- teorētiski pamatota masāžas efekta radīšana pateicoties spirālveida joslu radītajam lokālam spiedienam;
- noteikti elastomēra pavedienu optimālie nostiepumi, lai nodrošinātu spiediena sadalījumu pa izstrādājuma posmiem izstrādājuma izgatavošanas laikā;
- veikta elastomēra drānas cilpu struktūras parametru kompleksa izpēte atkarībā no elastomēra pavedienu nostiepuma izmaiņām adīšanas laikā;
- atrastas analītiskas un grafiskas sakarības, kuras nosaka elastomēra pavedienu nostiepuma ietekmi uz cilpu struktūras parametriem un uz kompresijas trikotāžas veidoto spiedienu;
- atrasta matemātiska sakarība elastomēra cilpas garuma aprēķinam ņemot vērā elastomēra pavediena nostiepumu, kas dod iespēju aprēķināt elastomēra pavediena cilpas garumu pie jebkura cilpu struktūras elementu sakārtojuma;
- atrasta funkcionāla sakarība, kas dod iespēju izmantojot pārejas koeficientu atrast vajadzīgos elastomēra pavediena cilpu struktūras parametrus bez papildus eksperimenta;
- izstrādāta eksperimentāla metodika cilpas garuma noteikšanai izejot no cilpu rindas pavediena masas;
- izstrādāta elastomēra drānas materiāla fizikāli - mehānisku raksturlielumu eksperimentāla noteikšanas metodika;
- izstrādāta apakšstilba muskuļaudu pakļāvīguma un cietības eksperimentāla raksturlielumu noteikšanas metodika balstoties uz tā biomehāniskām īpašībām;
- izstrādāta metodika kājas ģeometriskā modeļa noteikšanai izejot no kājas perimetra dažādos tā augstumos.

Darba praktiskā vērtība:- lietojot izstrādāto tehnoloģiju izgatavoti kompresijas trikotāžas izstrādājumi ar sadalītu spiedienu pa tā posmiem, kuru projektēšanā ņemta vērā izstrādājuma un kājas modeļa savstarpējā mijiedarbība;

- izveidota kompresijas trikotāžas izstrādājumu izgatavošanas zinātniskā teorija un tehnoloģija, kas nodrošina lokālā spiediena dozēšanu noteiktā izstrādājuma posmā ņemot vērā medicīnas zinātnes un prakses prasības;
- zinot izstrādājuma materiāla mehāniskos rādītājus un ņemot vērā pieļaujamā spiediena līmeni pēc sadalītā spiediena vienādojumu atrisināšanas iespējams:
 - rekomendēt izstrādājuma cilpu struktūras ģeometriskos parametrus;
 - rekomendēt gatavā izstrādājuma izmēru ņemot vērā reāla cilvēka kāju un pieļaujamos spiediena līmeņus uz kāju.

Darba aprobācija. Jaunā kompresijas trikotāžas izstrādājumu aprobācija veikta slimnīcā "Biķernieki", Rīga, Latvija.

Par teorētisko un eksperimentālo pētniecības darbu rezultātiem ziņots un materiāli publicēti:

RTU TAT institūta padomē (1999.g. 20. jūnijā);

RTU TAT institūta padomē (2000.g. 9. jūnijā);

RTU TAT institūta padomē (2003.g. 3. jūnijā);

RTU 40. studentu zinātnes un tehnikas konferencē;

RTU TTD institūta zinātniskajā seminārā (2005.g. 16. maijā);

Medical Textiles'99 International Conference Bolton. United Kingdom (August 24 & 25, 1999);

International Conference for Young Scientists on Mechanics. Biomechanics and Bionics Varna, Bulgaria (June 5-7, 2000);

Fibrous Products in Medical and Health Care International Conference Tampere, Finland (June 12-14, 2000);

1st International Textile Clothing & Design Conference Dubrovnik, Croatia (October 6-9, 2002);

World Textile Conference 3rd AUTEX CONFERENCE Gdansk, Poland (June 25-27, 2003);

The first International Conference of Applied Research on Textile, CIRAT-1, Monastir, Tunis (December 3-5, 2004);

83rd World Conference Shanghai, China (May 23-27, 2004);

Magic World of Textiles, 2nd International Textile, Clothing & Design Conference Dubrovnik, CROATIA (October 3-6, 2004).

Darba struktūra un saturs. Disertācijas darbu veido ievads, 6. nodaļas ar darba satura izklāstu un secinājumiem, bibliogrāfijas saraksts no 136. nosaukumiem un 12. pielikumi. Darbs izklāstīts uz 159. lpp. Darbs satur 38. zīm., 33. tabulu, 90. formulu.

Publikācijas.

1. I. I. Lyashenko, B. Oks Medicīniska pielietojuma pusgarās zeķes spiediena aprēķināšana // Tekstiltehnoloģijas procesu pētījumi un optimizācija, - Rīga, 1998 - p. 114 - 119.

2. B. Oks, I. Lyashenko Methods of calculation of local pressure of elastomer products // Woodhead Publishing Limited, Proceedings - Cambridge, England, 1999 - p. 82-91.

3. B. Oks, I. Lyashenko Using frequency description of muscles to project Knitted Items for medical purposes // Int.conf., Proceedings - Riga - Varna, 2000 - p. 29 - 32.

4. B. Oks, I. Lyashenko Scientific Bases of Medical Purpose Knitted Items Production Technology // TTKK - PAINO, Proceedings - Tampere, 2000 - p. 266 - 275.

5. Lyashenko Inga; Gonca Vladimir & Oks Boris Designing Medical Knitwear in View of Geometrical and Biomechanical Characteristics of Rounded Surfaces // Int.conf., Proceedings - Zagreb, 2002 - p. 517 - 521.

6.B.Oks, I.Lyashenko Compressive solid - knitted wares for treatment of varicose veins. Structure and technology // A.C.G.M.Lodart S.A., Proceedings - Lodz, 2003 - p. 330 - 335.

7.Inga Ļašenko, Boris Oks & Mark Smith Adīts viengabala kompresīvs izstrādājums varikozo vēnu ārstēšanai // LV Patent 12856 B, Int.Cl. A 61F13/08, - Rīga, 2002 - p. 14.

8.Inga Lyashenko The Medical Functional Features of Compressive Knitted Product // Int.conf., Book of Proceedings - CIRAT-1, - Tunisie, 2004 - p. 121 - 124.

9.Inga Lyashenko Therapeutic stocking // World.Conf., Proceedings - Shanghai, 2004 - p. 1042- 1047.

10.10. Inga Lyashenko, Vladimir Gonca & Janis Viba Functional Features of Compressive Knitted Product // Int.conf., Book of Proceedings - Dubrovnik. 2004 - p. 749 - 753.

DARBA SATURS

Pirmā nodaļa veltīta kompresijas trikotāžas izstrādājumu tehnoloģisko procesu analīzei, kas deva iespēju noskaidrot, ka paaugstināt izstrādājumu "darba efektivitāti" iespējams uzlabojot izstrādājumu aprēķinu un izgatavošanas tehnoloģiju, kam savukārt nepieciešama padziļināta izstrādājumu izgatavošanas tehnoloģijas procesa projektēšanas integrācija ar aprēķina metodēm, balstoties uz deformējama cieta ķermeņa mehānikas teorijas un medicīnas zinātnes virzieniem, kas cieši saistīti ar hroniskās venozās mazspējas un limfostāzes profilaksi un ārstēšanas problēmām.

Zinātniskā teorija un kompresijas trikotāžas izstrādājumu izgatavošanas tehnoloģija izklāstīta A.S. Daļidoviča, I.I. Šalova, L.A. Kudrjavina, M.S. Genzera, V.N. Filatova, A.I. Kobļakova, V.M. Lazarenko u.c. darbos, kuros atzīmēts, ka hroniskās venozās mazspējas un limfostāzes profilaksē un ārstēšanā plaši lietoto kompresijas trikotāžas izstrādājumu ražošana pieaug par 3-4% gadā.

Ārzemju autori neatklāj izstrādājumu izgatavošanas tehnoloģijas procesa būtību un to materiāliem ir patentu raksturs.

Analizējot medicīnas zinātnisko literatūru noskaidrotas galvenās prasības kompresijas trikotāžas izstrādājumiem un īpaši nepieciešamība sadalīt spiedienu, tajā skaitā veidot dozētu lokālu spiedienu izstrādājuma kontaktos ar cilvēka ķermeni, kā arī nodrošināt šī spiediena nemainību laika gaitā.. Daudzi autori atzīmē, ka šo prasību neievērošana var izsaukt patoloģiskas izmaiņas apakšējo ekstremitāšu vēnu sistēmā.

Ņemot vērā kompresijas trikotāžas izstrādājumu specifiku (saites, bandāžas, kompresijas trikotāžas izstrādājumi) izveidota izstrādājumu klasifikācija pēc to lietojuma (ārstnieciskie un profilaktiskie), miera stāvokļa un kustības darba spiediena uz cilvēka ķermeni. Šī klasifikācija dod iespēju paplašināt izstrādājumu asortimentu, tai ir būtiska atšķirība no citām klasifikācijām, kurās ņemta vērā tikai viena noteikta izstrādājumu cilpu struktūras īpatnības.

Analizējot Eiropas klasifikācija vadoties no spiediena, ko veido izstrādājums uz cilvēka ķermeni, noskaidrots, ka balstoties uz Latvijas medicīnas zinātnieku klasifikāciju (spiediena pakāpēm) iespējams eksportēt izstrādājumus uz Eiropas valstīm, jo katra spiediena pakāpe korelē ar atbilstošu spiedienu, kas raksturīgs jebkurai trikotāžas ražošanas kompānijai.

Apskatot mūsdienīgu kompresijas trikotāžas hronisko venozo mazspēju un limfostāzes ārstēšanai izgatavošanas paņēmienus tika analizētas kompresijas trikotāžas izstrādājumu aprēķina un izgatavošanas metodes; sadalītā spiediena noteikšanas metodes, ko rada izstrādājums uz ķermeņa virsmu un rezultātā noskaidrots, ka:

- nav kompresijas trikotāžas izstrādājumai, kas veido valkāšanas laikā nemainīgu lokālu dozētu spiedienu pa izstrādājuma posmiem;

- nav noskaidrota funkcionāla sakarība starp elastomēra pavediena nostiepumu, cilpu struktūras ģeometriskajiem parametriem un elastomēra drānas veidoto spiedienu uz ķermeni, kas nepieciešams, lai projektētu un aprēķinātu izstrādājumu ar iepriekš noteiktām kompresijas īpašībām;

-projektējot kompresijas trikotāžas izstrādājumus netiek ņemts vērā kājas virsmas liekums un tās kā bioloģiskas konstrukcijas cietība, kā rezultātā reāli veidotais spiediens uz cilvēka ķermeni atšķiras no aprēķinātā.

Nepieciešamību atrast funkcionālas sakarības starp elastomēra pavediena nostiepumu un cilpu struktūras ģeometriskajiem parametriem, kā arī spiedienu, ko rada izstrādājums uz aptverto ķermeņa virsmu, kas dotu iespēju projektēšanas stadijā aprēķināt elastomēra pavedienu patēriņu un projektēt izstrādājumu ar iepriekš dotām kompresijas īpašībām, uzsver virkne pētnieku. Šis uzdevums risināts ar dažādām metodēm; kopējais trūkums kā eksperimentāliem, tā arī teorētiskiem risinājumiem ir tas, ka aprēķins balstīts uz adījuma cilpu struktūras "ideālas shēmas parametriem".

Bez tam, analizējot medicīnas zinātnisko literatūru noskaidrots, ka projektējot kompresijas trikotāžas izstrādājumus nepieciešams ņemt vērā vēnu sistēmas morfoloģiju un saslimšanas pakāpi, kas dotu iespēju mērķtiecīgi veikt vēnu sistēmas mazspējas un limfostāzes profilaksi un ārstēšanu.

Vispusīgas zinātniski-tehniskās, medicīnas zinātnes un patentu literatūras analizēs rezultātā secināts, ka kompresijas trikotāžas izstrādājumu "darba" efektivitātes paaugstināšanas pētniecības pirmajā etapā nepieciešams:

- dziļāk izpētīt kompresijas trikotāžas izstrādājumu tehnoloģiskās projektēšanas metodes;
- atrast universālu sakarību starp elastomēra pavediena cilpu struktūras ģeometriskajiem parametriem ņemot vērā tā nostiepumu un spiedienu, no veido elastomēra drāna;
- pamatot kompresijas trikotāžas funkcionālās īpašības balstoties uz vēnu sistēmas morfoloģiju.

Otrā nodaļa veltīta kompresijas trikotāžas izstrādājumu funkcionālo īpašību pamatojumam - radīt lokāla spiediena spirālveida joslas, kas nodrošina masāžas efektu.

Lai pamatotu kompresijas trikotāžas izstrādājumiem nepieciešamās funkcionālās īpašības, balstoties uz medicīnas zinātniskās literatūras analītiska apskatu, apakšējo ekstremitāšu vēnas apskatītas trijos aspektos: vēnu forma un virziens, vārstu skaits, vēnu sieniņu histoloģiskā uzbūve. Rezultātā noskaidrots, ka klīniski visvairāk pakļautas varikozēm perforantās vēnas Koketa (I, II, III) PV, kuras lokalizētas apakšstilba daļā; zem ceļgala atrodas perforantā Boida PV vēna; gurnu augšējā daļā mediāli atrodas Doda un Hantera PV vēna.

Noskaidrots, ka venozo asiņu plūsmu no perifērijas uz sirdi nodrošina spiediena gradients, kura liekums ir atkarīgs no ķermeņa pozīcijas, muskuļu darbības un locītavu kustības. Savukārt, virsējām vēnām un to anastomozēm atņemts apkārtējo muskuļu atbalsts, kā arī aksiālo gravitācijas spēku darbība, vēdera konstrukcijas spiediens, ārējo vēnu mazspējas mehānismi rada pretēju iedarbību normālai vēnu fizioloģijai. Bez tam noskaidrots, ka pie vienkāršām bezvārstu anastomozēm ceļgalu un gūžu locītavu rajonā, kā arī pie iespējamās locītavas ankilozes, savienojšo audu fascijas vājuma palielinās venozo asiņu plūsmas apstāšanās risks un var rasties pretēja plūsma, kuras rezultāts ir venozās nepietiekamības attīstība.

Pēc analogijas ar vēnu sieniņu histoloģisko uzbūvi teorētiski pamatots, ka kompresijas trikotāžas izstrādājumu funkcionālo īpašību uzlabošanai nepieciešams izstrādāt trikotāžas izstrādājumus ar paralēli augšupejošām spirālveida joslām. Veiktā apakšējo ekstremitāšu vēnu

sistēmas morfoloģiskā analīze deva iespēju formulēt pamata nosacījumus lokālu spirālveida joslu izstrādei:

- spirālveida joslas nepieciešams izstrādāt 1-1.5 cm platumā, kas iet pa visu kompresijas trikotāžas izstrādājumu, pie kam šīm joslām pilnīgi jāaptver ceļgala un apakšstilba posmi, joslu sākums - apakšstilba distālā trešdaļa;
- spirāles pacēlums 58° leņķī;
- balstoties uz to, ka spirālveida joslā spiedienam ir jābūt lielākam nekā pašā izstrādājumā (apvalkā), noteikt, kas lokālais kompresijas spiediens katrai spirāles joslai jāveido pakāpeniski palielinot spiedienu no proksimālā uz distālo posmu.

Pamatojoties uz P.Stradiņa universitātes Klīniskās slimnīcas mediķu - zinātnieku pētījumu rezultātiem un venozās sistēmas morfoloģisko analīzi pierādīts, ka:

- katras spirālveida joslas spiediens uz ķermeni nedrīkst pārsniegt 3-5 mm dzīvsudraba stabiņa;
- ņemot vērā kompresijas trikotāžas izstrādājumu samazināto elastību lokālajos posmos un atspereidīgo joslu uzbūvi veidojas liela pretestība muskuļaudu kustībai lokālos posmos un tas nodrošina vēnu sistēmas masāžu, kas sevišķi svarīga posmos, kuros palielinās iespēja rasties trofiskajai čūlai;
- kompresijas trikotāžas izstrādājuma spirālveida joslu atspereidīgā funkcija rada labvēlīgu iespaidu arī celulīta novēršanai, pie tam aktivizējas limfas attece un šūnu iekšienes apmaiņas procesi, nostiprinās savienjošie audi.

Trešā nodaļa veltīta elastomēra pavedienus saturošas kompresijas trikotāžas izstrādājumu tehnoloģiskās projektēšanas un procesu analīzei; balstoties uz teorētiskiem un eksperimentāliem pētījumiem noteikti apstākļi mūsdienu medicīnas prasībām atbilstošu augstas kvalitātes izstrādājumu izlaidei.

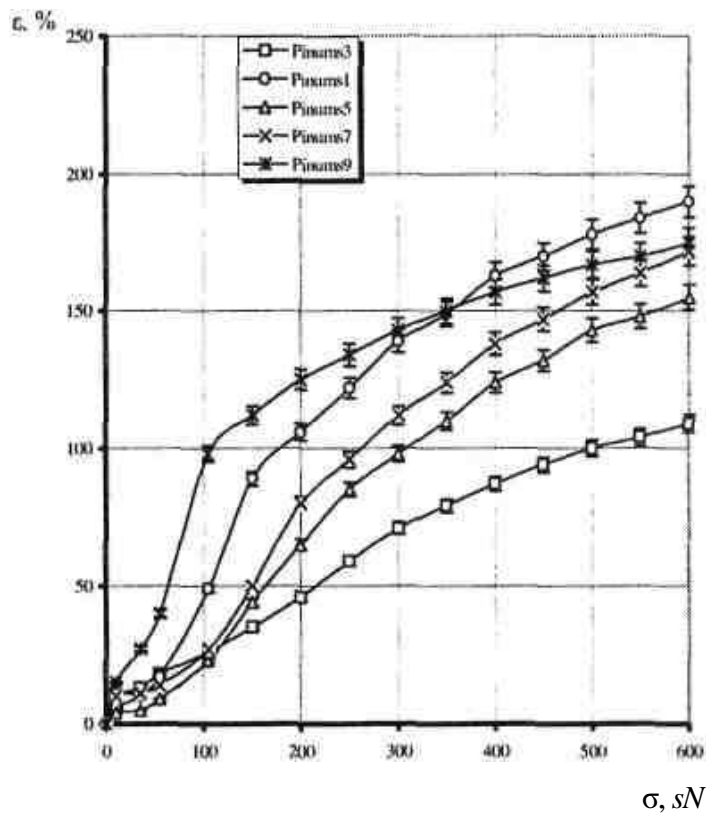
Apskatīti kompresijas trikotāžas izstrādājumu kvalitātes pamatrādītāji ar mērķi noskaidrot izstrādājumu spēju saglabāt funkcionālās īpašības. Rezultātā noskaidrots, ka izstrādājumu kvalitāti vispirms nosaka fizikāli - mehāniskās pavedienu materiāla īpašības kopā ar to ģeometriskajiem raksturlielumiem, kā arī adīšanas un apdares tehnoloģiskie parametri, kas nostiprināti starptautiskajos standartos (ISO) šo izstrādājumu izgatavošanai.

Teorētiskā pavedienu materiāla fizikāli - mehānisko īpašību un prasību analīze deva iespēju noteikt optimālos poliamīdu un poliuretānu pavedienu lineāros blīvumu kompresijas trikotāžas izstrādājumu pamatposmu adīšanai:

- poliuretāna elastomēra pavediens LYCRA® (DUPOND, France), lineārais blīvums 15.6 tekss, ar divslāņu kompleksiem kaprona pavedienu (mazs grodums, groduma virzieni S un Z) armējumu, lineārais blīvums 3.3 tekss x 2;
- galvenā posma - stilba daļai par optimāliem atzīti kaprona kompleisie pavedieni, lineārais blīvums - 5.0 tekss (TU 6-13-32-90) ar labisko un kreilisko grodumu, lai novērstu griezes momentu, elementāro šķiedru skaits 5;
- lai veidotu lokālas augšupejošas paralēlas spirālveida joslas, kas iet pa visu kompresijas trikotāžas izstrādājumu, nepieciešams papildus pamata pavedienam pievienot kaprona (komplekso) pavedienu ar lineāro blīvumu 10.0 tekss, ar S un Z grodumu;
- papēdi un purngalu pastiprina ar komplekso kaprona pavedienu, lineārais blīvums 10.0 tekss. groduma virziens S un Z;
- apmales un zemapmales adīšanai par optimālu atzīts teksturētais (elastisks) poliamīda pavediens, lineārais blīvums 8.2 tekss (TU-6-13-31-90) (elementāro šķiedru skaits 14) ar labisko un kreilisko grodumu (S un Z).

Lai praktiski novērtētu elastomēra pavedienu ietekmi pinuma struktūrā uz elastomēra drānas ekspluatācijas īpašībām (elastomēra drānas elastība, atgriezeniskās un neatgriezeniskās

deformācijas daļa no pilnās deformācijas) veikta dažādu pinumu elastomēra drānu deformāciju eksperimentāls pētījums (1., 2. att.).

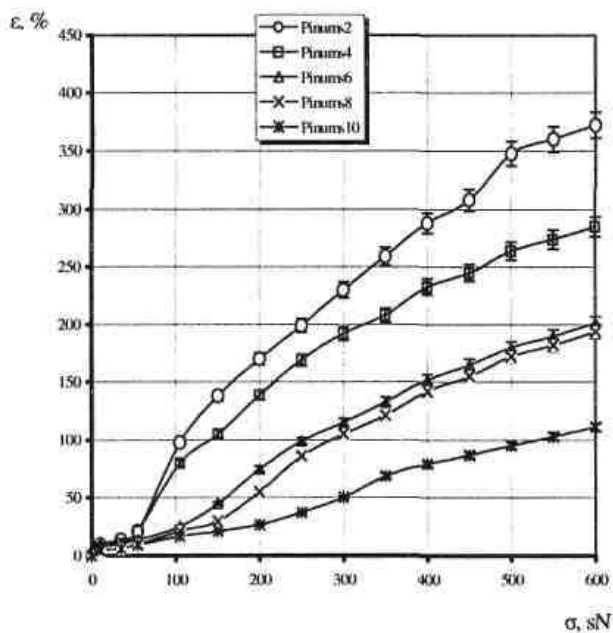


1. att. Experimentālās sakarības starp slodzi un deformāciju stiepjot paraugus šķērsām cilpu rindām

kur **Pinums 1** - gludpinums; **Pinums 3** - oderpinums ar oderes pavediena klāšanu raportā 1+1; **Pinums 5** - prespinums ar vienu uzmetumu raportā 1+1; **Pinums 7** - gludais noseğuma pinums; **Pinums 9** - žakarda pinums, raports 1+1.

Pielietojot vienādus tehnoloģiskos apstākļus izgatavojot dažādu pinumu elastomēru drānas rodas iespēju salīdzināt to īpašības. Elastomēra drānu deformāciju īpašības noteiktas viencikla pārbaudēs vienvirziena stiepē uz standarta iekārtām. No paraugu stiepšanas diagrammām notiekts, ka:

- materiālu paraugu stiepjamībai ir eksponenciāls raksturs, it sevišķi pie elastomēra drānu stiepšanas šķērsām cilpu rindām;
- pamatojoties uz eksperimentāliem pētījumiem noskaidrots, ka stiepjamība cilpu rindu virzienā (līdz 400%) praktiski divas reizes pārsniedz (līdz 200%) attiecīgo rādītāju cilpu stabiņu virzienā, kas saistīts ar pavedienu pārstiepšanu cilpās;
- lielākā atgriezeniskā deformācija ir elastomēra drānai, kas izstrādāta žakarda pinumā, sastādot = 98% pie stiepšanas šķērsām cilpu rindām, = 94% stiepjot cilpu rindu virzienā;
- žakarda pinuma elastomēra drānas neatgriezeniskā deformācijas daļa sastāda 7% stiepjot paraugus cilpu rindu virzienā, kas praktiski ir gandrīz divas reizes lielāka, kā neatgriezeniskā daļa 4% stiepjot paraugus šķērsām cilpu rindām. Tas liecina, ka kompresijas trikotāžas izstrādājumi var relaksēties un pieņemt praktiski izejas izmērus bez papildus mitruma apstrādes.



2. att. Eksperimentālas sakarības starp slodzi un deformāciju
stiepjot paraugus cilpu rindu virzienā

kur **Pinums 2** - gludpinums; **Pinums 4** - oder pinums ar oderes pavediena noklāšanu raportā 1+1; **Pinums 6** - prespinums ar vienu uzmetumu raportā 1+1; **Pinums 8** - gludais noseģuma pinums; **Pinums 10** - žakarda pinums, reports 1+1.

Pamatojoties uz cilpu struktūras analīzi noteikti parametri, kuri ietekmē elastomēra drānu elastību un pierādīts, ka drānu relaksācijas procesam pēc stiepšanas cilpu rindu virzienā ir daudz sarežģītāks mehānisms, kā pie stiepšanas šķērsām cilpu rindām. Relatīvi elastīga cilpu pārvietošanās pēc stiepšanas slodzes noņemšanas notiks tik ilgi, kamēr berzes spēku starp pavedieniem cilpu struktūrā nelīdzsvaros deformēto pavedienu elastības spēks.

Lai noteiktu fizikāli - mehāniskos materiālu raksturlielumus ekspluatācijas apstākļos ar inženieraprēķiniem nepieciešamo precizitāti, interesi izraisa lineārais stiepšanas diagrammas posms pie deformācijas abos virzienos (rindu un šķērsām cilpu rindām) (pie pirmā tuvinājuma). Pētot uz kājas uzvilktā kompresijas trikotāžas izstrādājuma posmu, pierādīts, ka relatīva izstrādājumu deformācija pie ekspluatācijas slodzēm nepārsniedz 100%.

Pamatojoties uz analīzi,

Izpētot elastomēra drānu paraugu relatīvās deformācijas abos virzienos (rindu un cilpu stabiņu) stiepē pie deformācijām līdz 100% un ekspluatācijas slodzes līdz 300 sN noteikts, ka žakarda pinumā izstrādātā materiāla stiepes diagrammai pirmajā tuvinājumā ir lineārs raksturs. Tas dod iespēju pamatot optimālā pinuma izvēli kompresijas trikotāžas izstrādājumu adīšanai - vienkārtas regulārais pilnais žakards ar raportu 1+1. Kompresijas trikotāžas izstrādājuma stilba daļu nepieciešams adīt piemērojot kombinētu pinumu: noseģuma pinumu uz žakarda pinuma bāzes. Pierādīts, ka elastomēra drānas augstu elastību stiepes deformācijā nodrošina žakarda pinums ar elastomēra pavedienu elastīgajām īpašībām, to optimālu

sakārtojumu pinuma struktūrā un īpatnēju paša pinuma etapveida "darbu" zem pieliktās slodzes.

Veicot kompresijas trikotāžas izstrādājumu tehnoloģiskās projektēšanas un aprēķina pamatmetožu analīzi noteikts, ka neviena no esošām kompresijas trikotāžas izstrādājumu aprēķina metodēm nevar būt pilnībā izmantota šo izstrādājumu projektēšanā, mērķtiecīga ir kompleksa aprēķina metožu pielietošana.

Ievērojamu interesi kompresijas trikotāžas izstrādājumu aprēķinos izsauc elastomēra pavediena cilpas garuma aprēķina metode. Elastomēra pavediena ietekme uz cilpas formu apskatīta noteiktam pinumam, izejvielai un izstrādājuma posmam konkrētos apstākļos. Balstoties uz superpozīcijas metodi, izstrādāta un izvesta formula elastomēra pavediena cilpas garuma aprēķinam, kas dod iespēju atrast elastomēra pavediena cilpas garumu ar jebkuru cilpas struktūras elementu sakārtojumu:

$$\lambda_L = 4 \cdot \int_0^{A_L/4} \sqrt{1 + c^2 \cdot \left(4 \cdot \frac{\pi^2}{A_L^2}\right) \cdot \left(\cos\left(\frac{2\pi}{A_L} \cdot x\right)\right)^2} dx, \quad (1)$$

Kur λ_L - elastomēra pavediena cilpas garums, (mm);

ω - sinusoidas frekvence, kas vienāda ar $2\pi/A_L$, (mm^{-1});

A_L - cilpas solis, ko nosaka eksperimentāli katram konkrētam kompresijas trikotāžas izstrādājuma posmam, (mm);

c - amplitūda, kas vienāda ar sinusoidas arkas augstumu, $c = B_L/2$, (mm);

B_L - elastomēra pavediena viļņa augstums pinuma raportā, kas noteikts eksperimentāli un ir vienāds ar attālumu starp max un min elastomēra cilpas lokiem, (mm).

Lai iegūtu ģeometriskas sakarības, kas apraksta elastomēra pavedienu cilpu struktūras parametru (A_L un $B_L/2=c$) atkarību no tā nostiepuma adīšanas procesā un parādītu saistību starp elastomēra pavediena nostiepumu un kompresijas trikotāžas izstrādājuma veidoto spiedienu uz cilvēka ķermeni veikts eksperiments un analizēti iegūtie dati.

Pie faktoriem, kas būtiski ietekmē elastomēra drānas veidotā spiediena lielumu, pieskaitāmi:

- izstrādājuma pinuma veids;

K_L - elastomēra pavediena cietība;

F_L - elastomēra pavediena nostiepums;

K_M - iegūtās drānas cietība;

cilpu struktūras parametri:

ℓ_L - elastomēra pavediena cilpas garums;

A_L - cilpas solis pinuma raportā;

B_L - cilpas augstums pinuma raportā.

Lai atrisinātu augstāk minētos uzdevumus izstrādāta eksperimentāla pētīšanas metodika, kas dod iespēju izpētīt spiediena raksturu, ko veido elastomēra drāna uz cilvēka ķermeni atkarībā no iepriekš minētiem faktoriem, un noteikt katra tā ietekmes pakāpi uz veidotā spiediena lielumu.

Optimālais elastomēra pavediena nostiepuma F_L variēšanas diapazons pie ieejas cilpu veidošanas sistēmā robežās no 10 līdz 25 sN izvēlēts vadoties no eksperimenta rezultātiem, kurā tika pētīta elastomēra pavediena stiepes deformācija.

Lai noteiktu sakarības starp cilpu struktūras parametriem A_L (cilpas solis pinuma raportā, cm), B_L (cilpas augstums pinuma raportā) tieši elastomēra pavedienam un nostiepumu F_L uz zeķu automāta tika izstrādāti žakarda pinuma paraugi. Par bāzes pavedienu elastomēra

drānas adīšanai lietots kompleksais poliamīda pavediens 5.0 tekss, bet katrā otrajā sistēmā ar raportu 1 + 1 padoti ar poliamīda pavedienu 3.3 tekss $\times 2$ apvīti Lycra © 140 Den paveidieni. Visi paraugi izstrādāti ar pieciem kulirēšanas dziļumiem $h_k = 1.17 - r 0.62$ mm saglabājot nemainīgu kulirēšanas dziļumu kā poliamīda, tā arī elastomēra pavedienam Lycra ® katrā variantā. Katra eksperimenta variantā pie padeves adīšanas sistēmā tika mainīts elastomēra pavediena nostiepums trijos līmeņos 10; 15; 20 ± 0.2 sN.

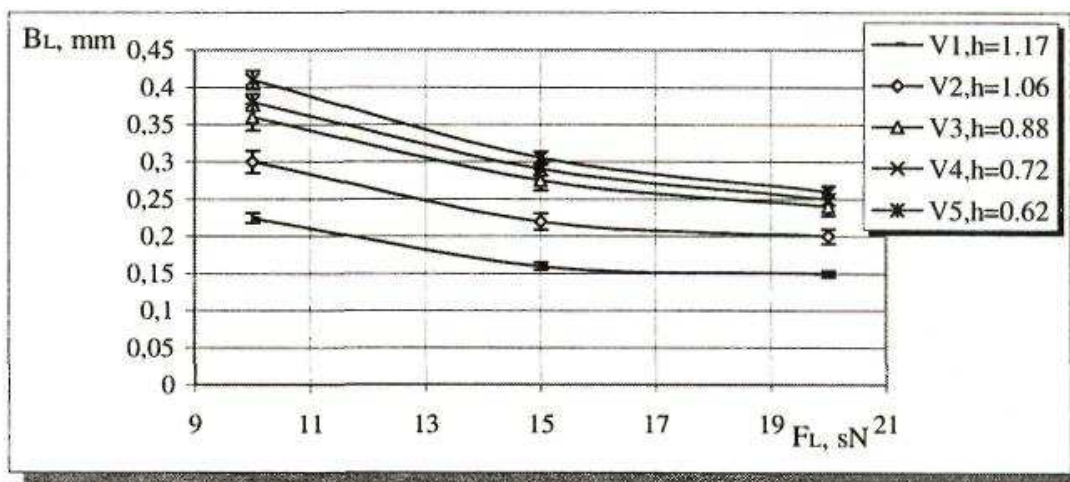
Cilpu struktūras parametri tika noskaidroti pēc sekojošas metodikas: A_L (elastomēra pavediena cilpas solis), B_L (elastomēra pavediena cilpas augstums) mērīts ar mikroskopu LEICA DMRM ar palielinājumu 270^{\times} , kas aprīkots ar fotokameru. Tas deva iespēju uzņemt paraugu fotogrāfijas un savstarpēji salīdzināt pētītos parametrus: tu (elastomēra pavediena cilpas garums) tika noteikts pēc iegūtas formulas ar programmas MathCAD Professional. Spiediens P_L , ko veido elastomēra drāna uz aptverto virsmu, atkarībā no elastomēra pavediena nostiepuma F_L pie padeves cilpu veidošanas sistēmā, tika izmērīts eksperimentālā stendā ar aparātu ID-5, izpētes rezultāti parādīti 1. tabulā.

1. tabula

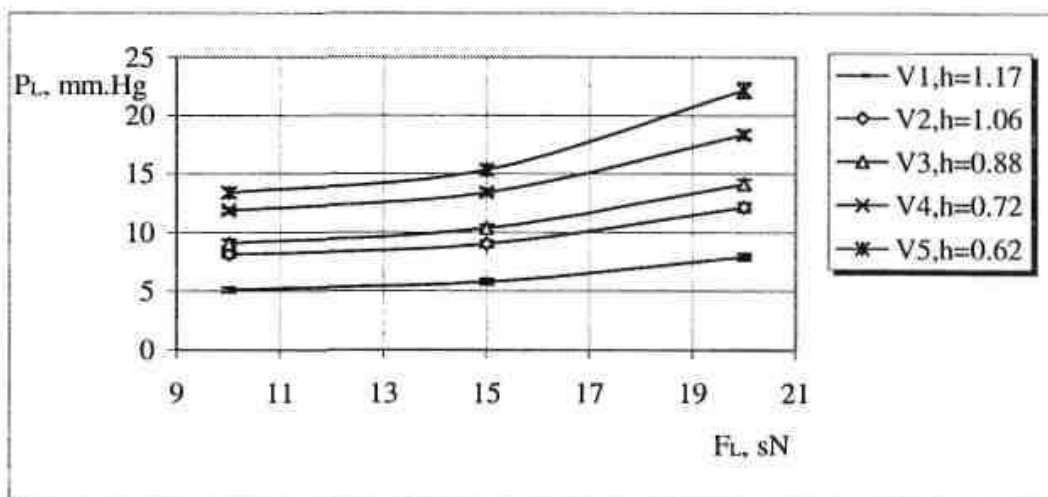
Cilpu struktūras eksperimentālie parametri
un elastomēra drānas mehāniskie raksturlielumi

Varianta kods	Parauga	$A_L + \Delta A_L$, mm	$B_L + \Delta B_L$, mm	$c = B_L/2$, mm	t_L , mm	$F_L \pm 0.2$, sN	$P_L \pm 0.5$, mm.Hg
VI	1	1.68+0.03	0.225+0.008	0.1125	1.752	10	5.14
“	2	1.68 \pm 0.03	0.16+0.008	0.08 i	1.717	15	5.8
“	3	1.68+0.03	0.15+0.008	0.075	1.713	20	7.9
V2	4	1.30+0.03	0.3 \pm 0.01	0.15	1.457	10	8.1
”	5	1.30+0.03	0.22+0.01	0.11	1.387	15	9.01
”	6	1.30 \pm 0.03	0.20+0.01	0.10	1.373	20	12.13
V3	7	1.24 \pm 0.03	0.36 \pm 0.02	0.18	1.467	10	9.1
”	8	1.24+0.03	0.275 \pm 0.02	0.138	1.38	15	10.35
”	9	1.24+0.02	0.24 \pm 0.02	0.12	1.348	20	14.1
V4	10	1.20+0.02	0.38+0.025	0.19	1.457	10	11.85
”	11	1.20 \pm 0.02	0.29+0.025	0.145	1.358	15	13.4
”	12	1.20 \pm 0.02	0.25 \pm 0.025	0.125	1.32	20	18.3
V5	13	0.87+0.02	0.41 \pm 0.022	0.205	1.236	10	13.4
”	14	0.87+0.02	0.305+0.022	0.153	1.094	15	15.3
”	15	0.87+0.02	0.26 \pm 0.022	0.13	1.038	20	22.15

Pēc dotajiem rezultātiem, kas parādīti 1. tabulā konstruēti grafiki (3., 4. att.).



3.att. Cilpu struktūras parametra B_L atkarība no elastomēra pavediena nostiepuma



4.att. Elastomēra drānas spiediena atkarība no elastomēra pavediena nostiepuma

Pamatojoties uz eksperimenta datu analīzi noskaidrots, ka:

- adot kompresijas trikotāžas izstrādājumus un palielinot elastomēra pavediena nostiepumu pie padeves adīšanas sistēmā elastomēra drānas spiediens uz aptverto ķermeņa virsmu palielinās apmēram 1.5 reizes visos pētītajos variantos;
- visā mērīšanas diapazonā cilpas garums pētāmajos paraugos mainās no $\ell_{\min} = 1.038$ mm līdz $\ell_{\max} = 1.752$ mm; variējot elastomēra pavediena nostiepumu robežās no 10 līdz 20 sN var izmainīt spiedienu uz aptverto ķermeņa virsmu no 1.4 ÷ 1.7 reizes;
- elastomēra pavediena cilpas solis A_L pinuma raportā pie viena un tā paša kulirēšanas dziļuma mainot elastomēra pavediena nostiepumu robežās no 10 ÷ 20 sN katrā variantā paliek nemainīgs;
- palielinoties elastomēra pavediena nostiepumam pie viena un tā paša kulirēšanas dziļuma, pinuma ietekme uz spiedienu palielinās, bet palielinoties elastomēra cilpas augstumam pinuma raportā spiediens samazinās;

-eksperimenta gaitā iegūtās spiediena ekstremālās vērtības $P_{\min}= 5.14$ mm.Hg un $P_{\max}=22.15$ mm.Hg apstiprina, ka praksē var izmainīt trikotāžas drānas īpašības mainot elastomēra pavidienu nostiepumu un kulirēšanas dziļumu tā, ka tās veidotais spiediens uz aptverto ķermeņa virsmu var palielināties vairāk nekā četras reizes.

Uz eksperimenta datu pamata izskaitļotas empīriskas formulas (2), kas atspoguļo elastomēra pinuma cilpas augstumu pinuma raportā atkarībā no elastomēra pavidiena nostiepuma $B_{Li} = f(F_{Li})$:

$$\begin{aligned} B_{L1}, &= 0.0011(F_{L1})^2 - 0.0405F_{L1} + 0.52; \\ B_{L2} &= 0.0012(F_{L2})^2 - 0.046F_{L2} + 0.64; \\ B_{L3} &= 0.0012(F_{L3})^2 - 0.042F_{L3} + 0.68; \\ B_{L4} &= 0.0011(F_{L4})^2 - 0.0405F_{L4} + 0.52; \\ B_{L5} &= 0.0012(F_{L5})^2 - 0.051F_{L5} + 0.8; \end{aligned} \quad (2)$$

un sakarības starp elastomēra pavidiena nostiepumu un elastomēra drānas spiedienu (3) $P_{Li} = \varphi(F_{Li})$:

$$\begin{aligned} P_{L1}, &= 0.0288(F_{L1})^2 - 0.588F_{L1} + 8.14; \\ P_{L2} &= 0.0442(F_{L2})^2 - 0.923F_{L2} + 12.91; \\ P_{L3} &= 0.05(F_{L3})^2 - F_{L3} + 14.1; \\ P_{L4} &= 0.067(F_{L4})^2 - 1.365F_{L4} + 18.8; \\ P_{L5} &= 0.099(F_{L5})^2 - 2.095F_{L5} + 24.45. \end{aligned} \quad (3)$$

Izstrādātais elastomēra pavidiena cilpas garuma aprēķins ietver sekojošus etapus:

-praksē projektējot kompresijas trikotāžas izstrādājumus atbilstoši pieprasītajam spiedienam nepieciešams noteikt elastomēra pavidiena nostiepumu. Tādēļ balstoties uz 1. tabulas datiem programmā MathCAD Professional atrastas apgrieztais empīriskās formulas (4) $F_{Li}=\xi(P_{Li})$:

$$\begin{aligned} F_{L1} &= - 1.3448(P_{L1})^2 + 20.99P_{L1} - 62.075; \\ F_{L2} &= - 0.7117(P_{L2})^2 + 16.772P_{L2} - 78.886; \\ F_{L3} &= - 0.4264(P_{L3})^2 + 11.829P_{L3} - 62.147; \\ F_{L4} &= - 0.2912(P_{L4})^2 + 10.289P_{L4} - 70.89; \\ F_{L5} &= - 0.1803(P_{L5})^2 + 7.5112P_{L5} - 58.072; \end{aligned} \quad (4)$$

kuras atspoguļo saiti "elastomēra pavidiena nostiepums F_{Li} - elastomēra pavidiena spiediens P_{Li} uz aptvertā cilvēka ķermeņa virsmu".

- saskaņā ar aprēķināto elastomēra pavidiena nostiepumu tiek atrasts elastomēra pavidiena cilpas augstums pinuma raportā katram kompresijas trikotāžas izstrādājuma posmam. Elastomēra pavidiena cilpas soli pinuma raportā atkarībā no kulirēšanas dziļuma nosaka no 1. tabulas

- cilpu struktūras parametru skaitliskās vērtības tiek izmantotas, lai aprēķinātu elastomēra pavidiena cilpas garumu t_L .

Elastomēra pavidiena cilpas garuma aprēķināšanas metode dod iespēju jau kompresijas trikotāžas izstrādājuma projektēšanas stadijā plānot elastomēra pavidienus patēriņu, kā arī projektēt izstrādājumu ar iepriekš dotiem gatavo izstrādājuma izmēriem un diferencētu spiediena sadalījumu pa kompresijas trikotāžas izstrādājuma posmiem.

Zinot elastomēra pavediena mehāniskos raksturlielumus un tā ģeometriju var noteikt jaunus elastomēra pavediena ģeometriskos parametrus bez papildus eksperimentālas pētīšanas. Noformulēts pārejas koeficienta jēdziens un atrasta funkcionāla sakarība $B_{L2i} = f[K \cdot \xi(P_{Li})]$, kas dod iespēju aprēķināt elastomēra pavediena cilpu struktūru un elastomēra drānas vajadzīgos parametrus bez papildus eksperimentālas pētniecības.

Ceturtajā nodaļā daļā veikts pilns trikotāžas izstrādājuma tehnoloģiskais aprēķins sieviešu kompresijas zeķēm; vajadzīgais spiediens tievākajā daļā 22 ± 2 mm.Hg. Izstrādājuma lielums 5 (augums 170 - 176 cm, pēdas lielums 39-40, masa 75-85 kg, kājas garums L - virs 70 cm).

Galvenie nosacījumi kompresijas trikotāžas aprēķinam sekojoši:

- Kompresijas trikotāžas izstrādājums aprēķina laikā tiek apskatīts pabeigtā veidā. Izstrādājuma forma un lielums atbilst tipveida kājai un lielumam.

- Poliamīda pavediena cilpas garums noteikts izstrādājuma galvenajiem posmiem ņemot vērā tā stiepjamību, atbilstību kājas izmēriem un uz dotās konstrukcijas zeķu automāta praktiski iegūstamajiem cilpu garumiem.

- Cilpu rindu skaits katrā izstrādājuma posmā noteikts izejot no cilpu rindas augstuma, kas noteikts pēc empīriskas formulas.

- Aprēķinātais elastomēra pavediena cilpas garums noteikts katram kompresijas trikotāžas izstrādājuma posmam atkarībā no tā nostiepuma un nepieciešamā elastomēra drānas spiediena uz aptverto ķermeņa virsmu.

- Cilpas garumi pa kompresijas trikotāžas izstrādājumu posmiem aprēķināti ar precizitāti līdz 5%.

Atbilstoši kompresijas trikotāžas izstrādājuma tehnoloģiskās projektēšanas metodei darbā iegūts:

- noteikts automāta adatu skaits un diametrs atbilstoši dotā bāzes pavediena lineārajam blīvumam un tā veidam kompresijas trikotāžas izstrādājuma daļā;

- pamatojoties uz noteiktajiem pavedienu lineārajiem blīvumiem izstrādāta adīšanas tehnoloģiskā karte visiem kompresijas trikotāžas izstrādājuma posmiem;

- izstrādāta karte pavedienu iekārtojumam pa sistēmām;

- izejot no zeķu automāta EVA-4PM konstruktīvajām iespējām un balstoties uz veikto eksperimentālo darbu pamatojot pinuma izvēli, izstrādāta kompresijas trikotāžas izstrādājuma adīšanas karte, kurā parādīti pinumu grafiskie pieraksti pa izstrādājuma posmiem;

- izejot no mediķu rekomendācijām un zeķu automāta konstruktīvajām iespējām noteiktas īpatnības spirālveida joslu adīšanai.

Aprēķināta kompresijas trikotāžas izstrādājuma masa pa posmiem un izejvielu izlietojums. Aprēķināts izejvielu patēriņš desmit pāru adīšanai ņemot vērā atgāju daudzumu un sastādīta izejvielu patēriņa tabula.

Aprēķina rezultātā iegūts, ka pilns izejvielu patēriņš desmit pāru adīšanai pirms krāsošanas sastāda 475.54 g.

Piektajā nodaļā, lai novērtētu kompresijas trikotāžas izstrādājumu aprēķināto tehnoloģisko parametru un spiediena ticamību, ko veido izstrādājums uz aptverto ķermeni, ņemot vērā izstrādājuma materiālu ģeometriskos un mehāniskos raksturlielumus un kājas modeli izstrādātas eksperimentālas pētniecības metodikas un veikta iegūto rezultātu analīze.

Pētniecības objekts bija kompresijas trikotāžas izstrādājums, kas izstrādāts atbilstoši aprēķinātajai tehnoloģiskai kartei un nodrošina kompresijas spiedienu zeķes stilba tievākajā posmā 22 ± 2 mm.Hg.

Kompresijas trikotāžas izstrādājumu izgatavošanas procesā un pēc adīšanas tiek veikta aprēķināto struktūras rādītāju atbilstība īstenībai. Pie kontrolētiem gatava izstrādājuma struktūras rādītājiem attiecas:

- ℓ_C - cilpas garums, (mm);
- B_h un B_v - blīvums pa horizontāli un vertikāli;
- elastomēra pavediena ϵ_{LP} izlietojums cilpu rindā, (mm).

Noskaidrots, ka tradicionāli lietota eksperimentāla pavediena lineāro izmēru mērīšana cilpu rindā dod lielu kļūdu, it sevišķi tas attiecas uz tekstūrētiem un elastomēra pavedieniem. Ņemot to vērā, izstrādāta eksperimentāla cilpas garuma aprēķina metodika, kura dod iespēju ar augstu precizitāti noteikt cilpas garumu jebkura veida pavedieniem. Cilpas garums pa posmiem noteikts izejot no attiecīgā kompresijas trikotāžas izstrādājuma posma vienas cilpu rindas masas un tiek aprēķināts pēc formulas (5):

$$\ell = M/C_{sk} \cdot T \cdot 10^{-6} \quad (5)$$

kur M - vienas cilpu rindas masa, (g);

C_{sk} - cilpu skaits vienā rindā;

ℓ cilpas garums, (mm);

T - nominālais lineārais pavediena blīvums, (tekss).

Pavediena masa noteikta atbilstoši Starptautiskajam standartam ISO 6348 1980-09 (Textiles; Determination of mass).

Lai novērtētu kompresijas trikotāžas izstrādājumu kvalitāti pārbaudīts, vai izstrādājums atbilst stiepjamības prasībām, kas sevišķi svarīga kompresijas trikotāžas izstrādājuma stilba tievākajai daļai. Lai noteiktu izstrādājumu posmu stiepjamību aprēķina ceļā nepieciešams aprēķināt materiāla fizikāli - mehāniskos raksturlielumus katrā kompresijas trikotāžas izstrādājuma posmā pie slodzēm, kuras mazākas par trūkšanas slodzi cilpu rindu un šķērsām cilpu rindām.

Pretstatot eksperimentālos pētījumu datus par paraugu stiepjamību, kas veikta pēc strip-metodes noskaidrots:

- pētāmā parauga stiepjamība cilpu rindu virzienā palielinās palielinoties attālumam no raušanas mašīnas spīlēm;

- pētot paraugus pēc strip-metodes iespējama malējo cilpu iršana, kas negatīvi ietekmē dinamometra rādījumu ticamību.

Tas atļāva secināt, ka nepieciešams izstrādāt metodiku eksperimentālai fizikāli - mehānisko īpašību noteikšanu, kas dotu iespēju noskaidrot paraugu īsto deformāciju. Pierādīts, ka, lai noskaidrotu paraugu stiepjamību, nepieciešams palielināt paraugu lielumu līdz 100×200 mm ar darba zonu, kurā notiek mērījumi - 50×100 mm.

Izstrādāts izstrādājuma (apvalka) sadalīto spriegumu aprēķina algoritms apvalka kontaktā ar kājas modeli, kas dod iespēju daudz pamatotāk aprēķināt un projektēt kompresijas trikotāžas izstrādājumu tehnoloģiskos raksturlielumus jebkura izmēra kājai. Apskatāmā tipa izstrādājuma (apvalka) aprēķins ir sarežģīts deformējamu nepārtrauktas vides mehānikas uzdevums. Lai vienkāršotu risinājumu, bet saglabātu vajadzīgo precizitāti un būtu iespējams iegūt analītisku risinājumu slēgtā formā tika izmantota superpozīcijas metode, kura deva iespēju iegūt tuvinātu sarežģīta galēja uzdevuma risinājumu.

Uzdevums tika risināts divos etapos:

- pirmajā etapā sastādīts kājas matemātiskais modelis un izstrādātas metodikas spēka un cietības raksturlielumu aprēķināšanai kājai;

- otrajā etapā sastādīts izstrādājuma (apvalka) matemātiskais modelis un izstrādāta metodika spēka un cietības raksturlielumu aprēķināšanai izstrādājuma materiālam.

Lai izveidotu sadalošā sprieguma aprēķina metodiku izstrādājumā (apvalkā) pie tā kontakta ar kājas modeli vispirms izveidots konstrukcijas matemātiskais modelis, kurš ļauj adekvāti aprakstīt visas konstrukcijas funkcionēšanu, ko veido kompresijas trikotāžas izstrādājums (tālāk - izstrādājuma apvalks) un bioloģiskā cilvēka kāja (tālāk - kājas modelis). Lai matemātiskie modeļi pilnīgāk atbilstu reālajai augstāk minētajai konstrukcijai, pētījumu sākumetapā noskaidroti materiālu mehāniskie raksturlielumi un visi konstrukciju raksturojošie ģeometriskie parametri, kuri ietekmē spiediena lielumu, ko veido kompresijas trikotāžas izstrādājums uz kontakta virsmas ar cilvēka ķermeni.

Pamatojoties uz mehāniskās konstrukcijas "izstrādājuma apvalks - kājas modelis" elastības spēku sadalījumu, noskaidrots, ka izstrādājuma apvalka spiedienu uz cilvēka ķermeni nosaka ne tikai stiepjošo spēku sadalījums, kas darbojas izstrādājuma apvalkā; spiediens atkarīgs arī no cilvēka ķermeņa virsmas ģeometrijas un, tādejādi, arī no paša izstrādājuma apvalka ģeometrijas.

Kompresijas trikotāžas izstrādājuma radītā spiediena uz cilvēka kājas virsmu aprēķina algoritma izstrādes procesā pierādīts, ka nepieciešams ņemt vērā ne tikai kājas ģeometriju, bet arī bioloģiskā materiāla cietības ietekmi uz kopējo kājas modeļa pakļāvīgumu laika gaitā. Tam nolūkam izstrādāta eksperimentāla metodika apakšstilba muskuļaudu cietības raksturlielumu noteikšanai pamatojoties uz to biomehāniskajām īpašībām.

Lai noskaidrotu apakšstilba muskuļaudu pakļāvīgumu un laika faktora ietekmi uz spiedienu izstrādāta metodika muskuļaudu pakļāvīguma izpētei, izvestas analītiskas formulas, kas dod pilnīgu izstrādājuma apvalka un kājas modeļa matemātisku aprakstu jebkurā laika momentā $f(t)$.

Izstrādāta eksperimentāla metodika materiāla mehānisko rādītāju noteikšanai izstrādājumam. Pierādīts, ka mehāniskās pamatrādītājus: elastības moduli $E_{1,2}$ (MPa) un Puasona koeficientu $\nu_{1,2}$ nepieciešams noteikt pēc parauga materiāla stiepšanas diagrammas stiepjot paraugu cilpu stabiņu virzienā.

Lai modelētu izstrādājuma apvalka, kurš uzvilts uz kājas modeļa, aprēķinu spriegoti-deformētā stāvoklī pamatojoties uz kompresijas trikotāžas izstrādājuma aprēķinātajiem tehnoloģiskajiem parametriem izveidota izstrādājuma apvalka shēma un cilvēka kājas reālie ģeometriskie izmēri uz standarta galīgo elementu programmas ANSYS pamata.

Metodes galvenā ideja ietverta sekojošajā. Katra konstrukcijas daļa tiek aprakstīta ar atsevišķu galīgo elementu kopumu, kas savstarpēji iedarbojas uz galīgo punktu skaitu, kurus sauc par mezglu punktiem. Visplašāk izplatītais metodes variants, kas balstīts uz pārvietojumu metodi ar pilno potenciālās enerģijas minimumu lietošanu. Šajā gadījumā par nezināmiem izvēlas mezglu punktu pārvietojumus. Pārvietojumi, deformācijas un spriegumi brīvos ķermeņa punktos tiek izteikti izmantojot galīgā elementa funkciju formas caur meklētajiem mezglu punktu pārvietojumiem. Tādejādi, lai atrisinātu uzdevumu par pārvietojumu atrašanu konstrukcijas deformētā stāvokļa noteikšanai izmantojot galīgo elementu metodi, pietiekami atrast pārvietojumus visos mezglu punktos. Savukārt mezglu pārvietojumi tiek izskaitļoti no līdzsvara vienādojumiem, kuri, izmantojot pilnās potenciālās enerģijas minimuma principu, novesti līdz lineārai algebrisko vienādojumu sistēmai. Dotās metodes priekšrocība balstās uz relatīvi vienkāršu visa ķermeņa līdzsvara vienādojumu sastādīšanu kā galīgo elementu līdzsvara vienādojumu kopumu.

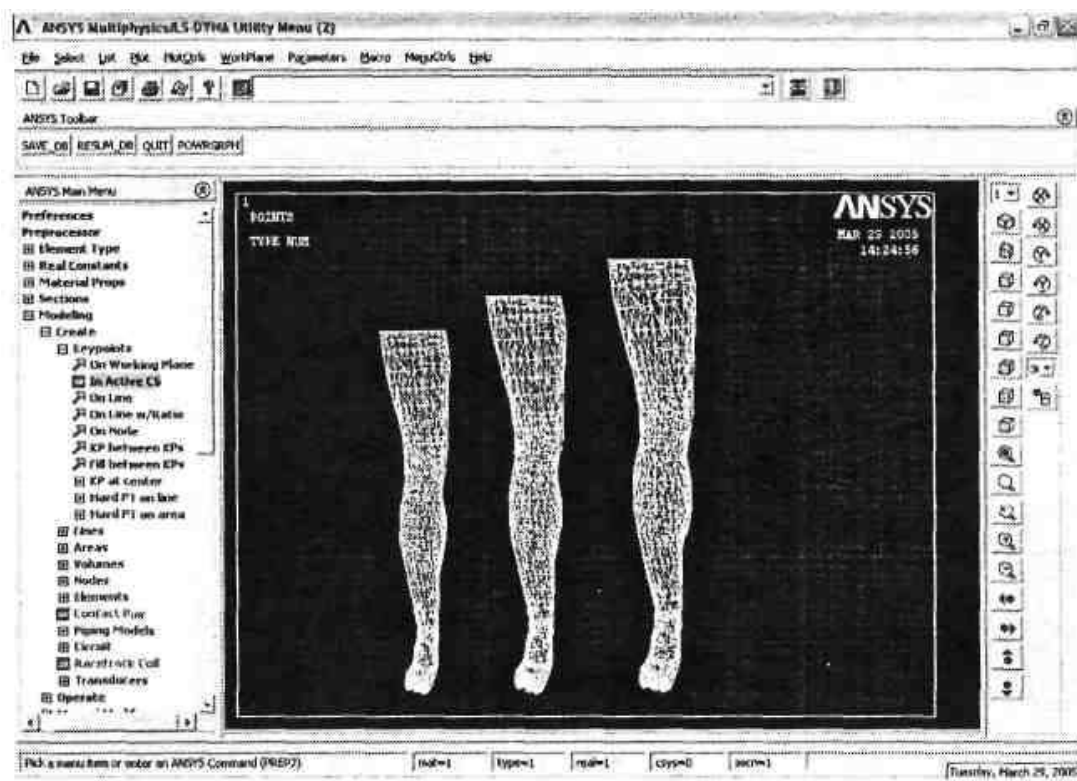
Aprēķins tiek veikts sekojošā secībā:

- pētāmo objektu sadala galīga skaita elementos, kuri aprakstīti ar noteiktu mezglu punktu salikumu;
- mezglu punktiem ieviesti meklējamo mezglu salikuma pārvietojumi, caur kuriem aprakstīti sprieguma komponenti katram galīgam elementam;

- izvēloties atbilstošas formas funkciju galīgajiem elementiem, tiek sastādītas lokālās un globālās cietība matricas;
- atbilstoši izvēlētajam variācijas principam tiek sastādīta globālā algebrisko vienādojumu sistēma;
- no iegūtās algebrisko vienādojumu sistēmas tiek atrasti visu mezglu punktu mezglu pārvietojumi;
 - caur atrastajiem mezglu punktu pārvietojumiem tiek izskaitļoti pārvietojumi, deformācijas un spriegumi pētāmās konstrukcijas dotajos punktos.

Kompresijas trikotāžas izstrādājumu rūpnieciskai ražošanai projektēšanas stadijā, nepieciešams izskaitļot sadalīto spiedienu, ko dod izstrādājuma elastīgi deformējama apvalks uz kājas modeli visiem cilvēka kāju izmēriem.

Balstoties uz pieņemto aprēķināto kājas modeli, kas aprakstīts ar 1359 atslēgas punktiem, izmantojot programmu ANSYS, automatizēts kājas modeļa virsmas apraksts, kas ļauj adaptēt programmu ANSYS jebkuras kājas modeļiem. Ar šo mērķi kājas virsmas apraksta modeļa aprēķina programmā ievesta virkne fiksētu kājas perimetru dažādos līmeņos, kuri atbilst kājas modeļa posmu garumiem z ass virzienā. Saskaņā ar izstrādāto algoritmu datu ievadei programmā 5. att. parādīti adaptētie kājas 3., 5. un 7. lieluma modeļu ģeometriskās shēmas. Jāatzīmē, ka izstrādātais algoritms atļauj ģeometriski aprakstīt jebkura indivīda kājas modeli, ievadot papildus kājas perimetrus pa līmeņiem.



5. att. Kājas 3., 5. un 7. izmēra ģeometriskie modeļi

Sestajā nodaļā veikta izstrādājuma ģeometrisko un fizikāli - mehānisko raksturlielumu eksperimentāla pētniecība, kā arī apakšstilba muskuļaudu cietības raksturlielumu noteikšana. Veikts kājas modeļa un izstrādājuma apvalka kontakta spieģuma -deformēta stāvokļa aprēķins.

Eksperimentāli noteiktie poliamīda pavedienu cilpu garumi parādīja, ka teorētiski aprēķinātie poliamīda pavedienu cilpu garumi visos kompresijas trikotāžas izstrādājuma posmos tuvi eksperimentāliem un aprēķina kļūda nepārsniedz 5 %.

Analizējot iegūtos datus jāatzīmē, ka, jo īsāks poliamīda cilpas garums, jo augstāka aprēķina kļūda. Piem., borta nostiprinošā daļā kļūda 0.507 %, bet stilba tievākajā daļā - 1.41 %. Tāds kļūdas pieaugums izskaidrojams ar to, ka tehnoloģiskajā cilpas garuma aprēķina blīvumu attiecības koeficientu C_a iegūts pieņemot hipotēzi par pavediena elastību neņemot vērā cilpu savstarpējo mijiedarbību kontaktu punktos un hipotēzi par vienādu cilpu konfigurāciju neņemot vērā to izmērus un trikotāžas drānas izejvielas viedu un to, ka struktūra atrodas līdzsvaru stāvoklī. Īstenība tekstilpavedieniem piemīt elastīgi plastiskas īpašības, bet kompresijas trikotāžas izstrādājumi tiek izlaisti nevis līdzsvara stāvoklī, bet gan fiksētā. Galvenais iemesls tam, ka izstrādājumi izlaisti nevis līdzsvara stāvoklī, bet fiksētā izskaidrojams ar nepietiekami pilnveidotu adīšanas tehnoloģiju, apdari, šūšanu un kvalitātes novērtējumu.

Aprēķinātais elastomēra pavediena garums cilpu rindā visos kompresijas trikotāžas izstrādājuma posmos tuvs eksperimentāli noteiktajam garumam, kļūda nepārsniedz 5 %. Tas dod iespēju apstiprināt, ka izstrādātā metode elastomēra pavediena cilpas garuma aprēķinam ir adekvāta un var tikt lietota kompresijas trikotāžas izstrādājumu ar elastomēra pavedieniem struktūrā aprēķiniem.

Pamatojoties uz to, ka kompresijas trikotāžas izstrādājumi tiek izlaisti fiksētā stāvoklī, blīvuma pa horizontāli un vertikāli (B_h un B_v) noskaidroti eksperimentāli.

Lai veiktu kompresijas trikotāžas izstrādājuma modelēšanu sprieguma - deformētā stāvoklī uzvilktu uz kājas modeļa eksperimentāli izpētīti drānas materiāla fizikāli - mehāniskie raksturlielumi: drānas stiepjamība, kas mazāka par trūkšanas slodzi cilpu rindu un šķērsām cilpu rindām. Eksperimenta rezultāti attēloti 6. un 7. att. grafikos.

Kompresijas trikotāžas izstrādājuma modelis ir izstrādājuma apvalks, kurš atkarībā no kompresijas trikotāžas izstrādājuma režīmiem sadalīts četrās zonās. Ņemot vērā, ka vairāk interesē kompresijas trikotāžas izstrādājuma radītā spiediena sadalījums uz ķermeņa aptveramo virsmu apakšstilba zonā, šis posms ir sadalīts papildus zonās. Izstrādājuma apvalks sadalīts pa zonām pēc šādas shēmas:

Izona - borta nostiprinošā daļa, stilbs (no borta nostiprinošās daļas līdz celim);

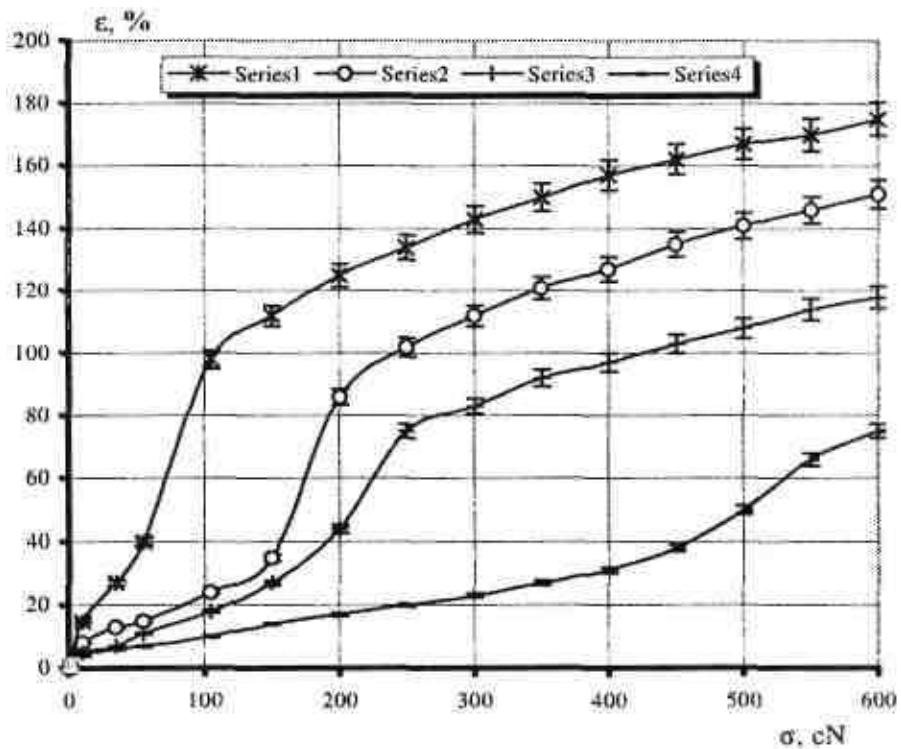
IIzona - stilbs (no ceļa līdz sašaurinājumam);

IIIzona - stilba sašaurinājums;

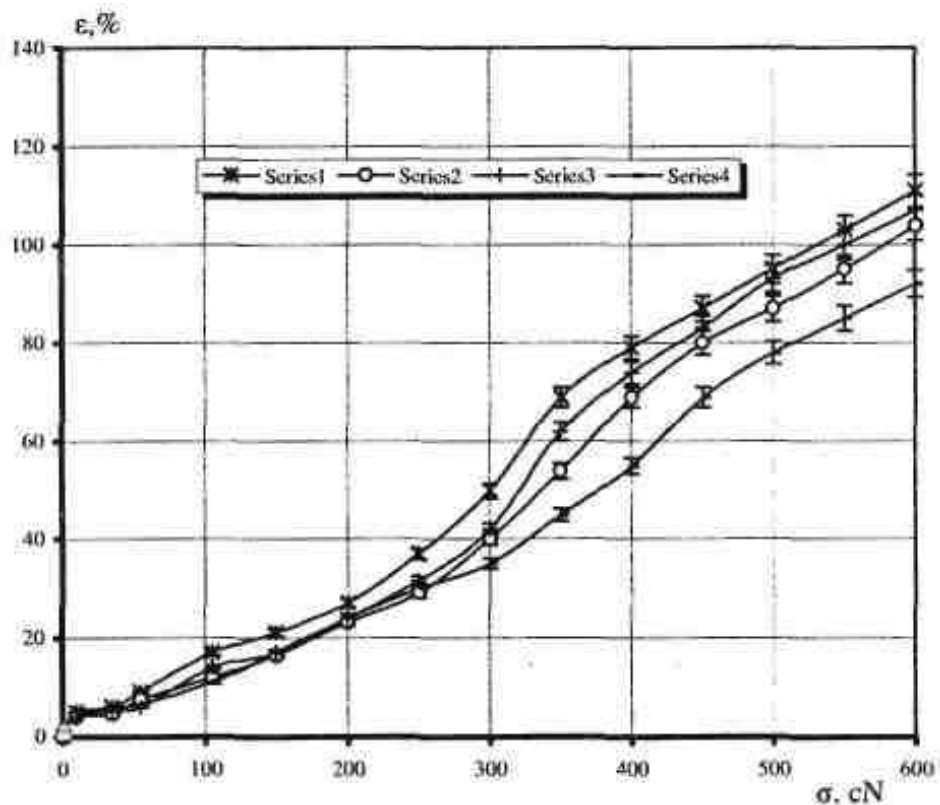
IVzona - stilba tievākā daļa, pēda.

Kompresijas trikotāžas izstrādājuma drānas materiāla pētniecība notika saskaņā ar augstāk minēto dalījumu katrā no četrām zonām. Relatīvā paraugu stiepjamība $\epsilon \pm 5\%$ notika pie noslodzes 600 sN. Apvalka materiāls pieņemts kā ortotrops.

Analizējot materiāla paraugu stiepjamību (skat. 6. un 7. att.) paraugu stiepjot cilpu rindu virzienā un šķērsām cilpu rindām secināts, ka teorētiski aprēķinātā un eksperimentāli noteiktā paraugu stiepjamība kompresijas trikotāžas izstrādājumu posmiem atbilst esošajiem starptautiskajiem standartiem. Paraugu stiepjamība 1.85 reizes lielāka kā kājas apkārtmērs kompresijas trikotāžas izstrādājumu atbilstošiem posmiem diapazonā, kas atbilst uzstādītajai noslodzei.



6.att. Eksperimentālās sakarības starp slodzi un deformāciju pie paraugu stiepšanas šķērsām cilpu rindām



7. att. Eksperimentālās sakarības starp slodzi un deformāciju pie paraugu stiepšanas cilpu rindu virzienā

kur Series 1 - paraugs no I zonas - borta nostiprinošā daļa; stilbs (no borta nostiprinošās daļas līdz celim);

Series 2 - paraugs no II zonas - stilbs (no ceļa līdz sašaurinājumam);
 Series 3 - paraugs no III zonas - stilba sašaurinājums;
 Series 4 - paraugs no IV zonas - stilba tievākā daļa; pēda.

Pamatojoties uz eksperimentālajiem datiem aprēķināti mehāniskie drānas materiāla raksturlielumi pa kompresijas trikotāžas izstrādājuma dalījuma zonām un aprēķina rezultāti parādīti 2. tabulā.

2. tabula

Mehāniskie drānas materiāla raksturlielumi pa kompresijas trikotāžas izstrādājuma dalījuma zonām

Nr. zonas	tg α_i	$E_i + \Delta E_i$, MPa	$\mu_i \pm \Delta \mu_i$	G_n MPa
I	Tg = 42°	0.090 ± 0.002	0.453 ± 0.008	0.032
II	tg = 70°	0.275 ± 0.005	0.407 ± 0.006	0.098
III	tg = 72°	0.308 ± 0.008	0.408 ± 0.006	0.109
IV	tg = 82°	0.712 ± 0.016	0.404 ± 0.005	0.259
	tg' α_i	$E'_i \pm \Delta E'_i$, MPa	$\mu'_i \pm \Delta \mu'_i$	G'_i , MPa
I'				
II'	tg = 75°	0.373 ± 0.009	0.400 ± 0.002	0.136
III'	tg = 78°	0.471 ± 0.01	0.440 ± 0.007	0.165
IV'	tg = 77°	0.433 ± 0.01	0.441 ± 0.007	0.152
	tg = 79°	0.515 ± 0.012	0.360 ± 0.001	0.193

kur I zona - borta nostiprinošā daļa: stilbs no borta nostiprinošās daļas līdz celim;

II zona - stilbs, celis līdz sašaurinājumam;

III zona - stilba sašaurinājums;

IV zona - stilba tievākā daļa; pēda.

I - IV - paraugu pētniecība veikta stiepes deformācijā šķērsām cilpu rindām;

I' - IV' - paraugu pētniecība veikta stiepes deformācijā cilpu rindu virzienā;

α_i - materiāla parauga stiepes deformācijas diagrammas nolieces leņķis abscisas ass virzienā;

E_i - elastības modulis, $E_i = \text{tg} \alpha_i$; MPa;

μ_i - Puasona koeficients;

G_i - bīdes elastības modulis, MPa.

Pētot paraugu stiepes deformāciju (cilpu rindu virzienā un šķērsām cilpu rindām) intervālā no 20 - 50 % noskaidrots, ka paraugu materiāla stiepes deformācijas diagrammām ir lineārs raksturs, kas dod iespēju inženieraprēķinos ar pietiekamu ticamības pakāpi noteikt statistiskos elastības moduljus E_i (MPa) pa kompresijas trikotāžas izstrādājuma dalījuma zonām.

Puasona koeficienta μ_i aprēķinam pa kompresijas trikotāžas izstrādājuma dalījuma zonām deformāciju diapazonā no 20-50 % atrasta relatīvā paraugu deformācija garenvirzienā un šķērsvirzienā.

Eksperimentāla apakšstilba muskuļaudu svārstību biežuma izpēte liecina par muskuļaudu svārstību biežuma dinamiku atkarībā no cilvēka dzimuma un vecuma, kā arī par individuālām muskuļu īpašībām. Pamatojoties uz apakšstilba muskuļaudu svārstībām aprēķināta muskuļaudu cietība.

Eksperimentāli veikti muskuļaudu pakļāvīguma pētījumi un pierādīts, ka pakļāvīgums un spiediens uz kājas virsmu būtiski atkarīgs no dienas laika.

Izmantojot apakšstilba muskuļaudu pakļāvīguma vienādojumus:

$$y_c^f(t) = 0.0075t^4 - 0.148t^3 + 0.6157t^2 + 1.1545t - 0.1833. \quad (6)$$

$$y_c^m(t) = 0.0029t^3 - 0.1595t^2 + 1.3471t - 0.2159, \quad (7)$$

sieviešu un vīriešu kājām un ievadot to kājas modeļa sprieguma - deformācijas stāvokļa aprēķina algoritmā (izstrādājuma projektēšanas stadijā) var optimizēt kompresijas trikotāžas izstrādājumu izgatavošanu ņemot vērā laika kontinuumu.

Saskaņā ar izstrādājuma apvalka aprēķinātajiem mehāniskajiem rādītājiem lietojot apvalka modeli, apakšstilba muskuļaudu cietības raksturlielumus, ņemot vērā apakšstilba muskuļaudu pakļāvīguma pēc vienādojuma aprēķinātās vērtības $y_c^f(t)$ (6) fiksētā diennakts laikā, kurā notika mērīšana, pamatojoties uz izstrādātās kājas modeli aprēķināts spiediens, ko veido izstrādājuma apvalks uz kājas modeli apakšstilba daļā.

Apakšstilba daļa izvēlēta divu iemeslu dēļ:

- pēc kompresijas trikotāžas izstrādājumu izgatavošanas kvalitātes kontroli (fizikāli-mehāniskie raksturlielumi) veic apakšstilba tievākajā daļā, kas dod iespēju spriest par pareizu izstrādājumu izgatavošanas tehnoloģisko režīmu;
- sakarā ar to, ka visbiežāk hroniskai venozai mazspējai pakļauta pirmā distālā apakšstilba trešdaļa un saskaņā ar medicīnu rekomendācijām spiedienam šajā daļā jābūt maksimālam ar pakāpenisku samazinājumu uz proksimālo apakšstilba daļu.

Zināšanas par spiediena sadalījumu pa kājas modeļa kontakta virsmu ar izstrādājumu apvalku dod iespēju ne tikai nodrošināt hroniskās venozās mazspējas un limfostāzes efektīvu konservatīvu ārstēšanu, bet arī veidot komforta apstākļus pēcoperācijas periodā.

Sprieguma - deformētā stāvokļa analīze apskatītajam kājas modelim un izstrādājuma apvalkam dod iespēju secināt, ka kompresijas trikotāžas izstrādājuma 5. izmērs (augums 170-176 cm, pēdas izmērs 39-40, svars 75-85 kg, kājas garums L - virs 70 cm) izgatavots saskaņā ar disertācijas darbā izstrādātajām metodikām, nodrošina spiedienu apakšstilba tievākajā daļā 22.3 mm.Hg ar pakāpenisku spiediena samazinājumu proksimālajā posmā (18.7 mm.Hg). Rezultāts apstiprina ne tikai kompresijas trikotāžas izgatavošanas tehnoloģiskā režīma pareizību, bet arī liecina par aprēķina konstrukcijas, aprēķinu metodiku un mehānisko parametru izvēles adekvātumu.

Zinot izstrādājuma apvalka materiāla mehāniskos rādītājus, ņemot vērā pieļaujamā spiediena līmeni atrisinot iegūtos vienādojumus iegūst sadalīto spiedienu starp izstrādājuma apvalku un kājas modeli, pēc aprēķina rezultātiem varam:

- rekomendēt cilpu struktūras ģeometriskos parametrus;
- ņemot vērā cilvēka kājas reālo ģeometriju un ārstnieciski pieļaujamus spiedienus uz kājas virsmu iespējams rekomendēt gatavā izstrādājuma izmēru.

Kompresijas trikotāžas izstrādājumu lietošanas ārstnieciskais efekts vērtēts aprobējot tos uz slimnīcas "Biķernieki" pacientiem. Saņemta pozitīva atsauksme par kompresijas trikotāžas izstrādājumiem, kas izgatavoti saskaņā ar disertācijas darbā izveidoto metodiku. Piedāvātie kompresijas trikotāžas izstrādājumi rekomendēti lietošanai hroniskās venozās nepietiekamības un limfostāzes profilaksei un ārstēšanai.

SECINĀJUMI

1. Pamatojoties uz zinātniski - tehniskās literatūras analīzi noskaidrots, ka esošie kompresijas trikotāžas izstrādājumi hroniskās venozās nepietiekamības un limfostāzes ārstēšanai un profilaksei pilnībā neatbilst pieprasītajām prasībām, jo projektējot izstrādājumus netiek ņemti vērā kājas bioloģiskās konstrukcijas cietības raksturlielumi, nepilnīgi tiek ņemti vērā cilvēka kājas ģeometriskie parametri, esošie izstrādājumi nodrošina spiediena sadalījumu pa izstrādājumu, bet nenodrošina lokālu spiediena dozēšanu pa izstrādājuma posmiem, kas

ievērojami samazina hroniskas venozās nepietiekamības un limfostāzes ārstēšanas un profilakses efektivitāti.

2. Pamatojoties uz apakšējo ekstremitāšu venozās sistēmas un vēnu sieniņu histoloģisko uzbūvi analītisko apskatu noskaidrots, ka vēnu sieniņu muskuļaudiem ir sarežģīta spirālveida uzbūve, kas deva iespēju pamatot spirālveida josliņu adīšanu kompresijas trikotāžas izstrādājumos, kuras ieadītas drānā naseguma pinumā ar $T = 10.0$ tekss pavedieniem un spirāles vijuma pacēlumu 58° leņķī.

3. Izstrādāta principiāli jauna kompresijas trikotāžas izstrādājumu ar sadalītu lokālu spiedienu izgatavošanas tehnoloģija, pie tam:

- bāzes pinuma aprēķins balstās uz galvenajiem kompresijas trikotāžas izstrādājumu izgatavošanas aprēķina metodēm;
- balstoties uz superpozīcijas metodi pirmoreiz piedāvāta aprēķina metode un izvesta elastomēra pavediena cilpas garuma aprēķina formula ņemot vērā nostiepumu un stiepjošo spēku iedarbību, kas dod iespēju aprēķināt elastomēra pavediena cilpas garumu pie jebkura tā veida un cilpu struktūras elementu sakārtojuma.

4. Eksperimentāli noteiktas sakarības starp cilpu struktūras ģeometriskajiem parametriem atkarībā no elastomēra pavediena nostiepuma un elastomēra drānas spiediena, kā rezultātā secināts, ka:

- palielinot elastomēra pavediena nostiepumu pie padeves cilpu veidošanas sistēmā no $10 \div 20$ sN kompresijas trikotāžas izstrādājuma adīšanas laikā tā spiediens uz ķermeni palielinās apmēram 1.5 reizes;
- mainot cilpas garumu diapazonā no $\ell_{\min} = 1.038$ mm līdz $\ell_{\max} = 1.752$ mm un variējot elastomēra pavediena nostiepumu no $10 \div 20$ sN iespējams izmainīt spiedienu uz ķermeni $1.4 \div 1.7$ reizes;
- izvestas empīriskas formulas, kas atspoguļo elastomēra pavediena cilpas augstumu pinuma raportā no elastomēra pavediena nostiepuma $B_{Li} = f(F_{Li})$. un sakarības starp elastomēra pavediena nostiepumu un elastomēra drānas spiedienu $F_{Li} = \xi(P_{Li})$.

5. Noformulēts pārejas koeficienta jēdziens un pirmoreiz izvesta funkcionāla sakarība $B_{L2i} = f[K \cdot \xi(P_{Li})]$, kas dod iespēju aprēķināt vajadzīgo elastomēra pavediena vai elastomēra drānas cilpu struktūras parametrus bez eksperimentālas pētniecības.

6. Pamatojoties uz izstrādājām metodikām muskuļaudu pakļāvīguma un cietības raksturlielumu noteikšanai, uz izveidoto kājas ģeometrisko modeļi un kompresijas trikotāžas izstrādājuma tehnoloģiskā aprēķinu iespējams kompleksi projektēt un izstrādāt izstrādājumus ar plānotu lokālu spiedienu pa izstrādājuma posmiem. Zinot apvalka materiāla mehāniskos rādītājus ar noteiktu pieļaujamā spiediena līmeni pēc iegūto kājas modeļu un apvalka virsmas kontakta spiediena sadalījuma vienādojumu atrisināšanas var:

- rekomendēt cilpu struktūras ģeometriskos parametrus;
- ņemot vērā cilvēka kājas reālo ģeometriju un ārstniecībā pieļaujamus spiedienus uz kāju rekomendēt gatavā izstrādājuma lielumu.