

Aušanas tehnoloģiskā procesa parametru ietekme uz inovatīvas strukturas aortas implanta biomehāniskām īpašībām

Andreys Lukyanchikovs, *Riga Technical University*, Viktoriya Kantsevicha, *Riga Technical University*,
Alberts Auzans, *Latvian Agricultural University*

Kopsavilkums. Zināms, ka ķirurģiska iejaukšanās patoloģiski izmainītu, vai traumatiski bojātu maģistrālo asinsvadu segmentu aizvietošanai ar kvalitatīvu protēzi, spēj novērst bīstami izteiktu asins cirkulācijas nepietiekamību un atjaunot pilnvērtīgu tās plūsmu. Tomēr klīnikās izmantotām asinsvadu protēzēm biomehāniskās un fizioloģiskās īpašības neatbilst cilvēka asinsvadu īpašībām un to sienīņu struktūra neļauj protēzei pulsēt, kas rada nespēju dzēst augsta pulsa viļņa svārstības un nodrošināt ilgstoši hemodinamiskus procesus pacienta organismā. Lai radītu inovatīvas struktūras aortas implantus, galvenokārt vēdera dobuma aortas daļas rekonstrukcijai, tika izgatavoti dažādi protēžu paraugi. Šo implantu sienīņu struktūru, kas spēj darboties analogi nelineāri – atspēriņai cilvēka aortas sienīņai, atšķirās ar pinuma rakstu, ar poliestera un lycras pavedienu attiecību šķēru un audu kūlīšos. Veidojot mikstu un deformēties spējīgu implantu, visiem protēžu paraugiem par papildpavedieniem, kas ievērti āķa actīnās, tika izmantots lycras šķiedru materiāls. Visiem izgatavotiem implanta paraugiem tika izpētīti un aprēķināti sienīņu galvenie biomehāniskie raksturlielumi.

Atslēgas vārdi: aorta, biomehānika, deformācija, elastības modulis, hemodinamika

I. IEVADS

Gada laikā mūsu valstī veic ap 10 000 dažādas asinsvadu operācijas. ASV šādu operāciju skaits koronāriem asinsvadiem ir 600 000 gadā, bet perifērijas asinsvadiem – 300 000 gadā.

Lai atjaunotu normālu asinsriti, mediķi izmanto dažādas metodes un dažādus materiālus. Viena no šīm metodēm ir patoloģiski skarto asinsvada posmu aizstāj ar sintētisku protēzi. Zināms, ka aterosklerozes process maģistrālo asinsvadu segmentos saglabājas ilgstoši, kas dod iespēju šo bojājumu rekonstruēt. Tātad ķirurģiska iejaukšanās patoloģiski izmainītu, vai traumatiski bojātu maģistrālo asinsvadu segmentu aizvietošanai ar protēzi, spēj novērst bīstami izteiktu asins cirkulācijas nepietiekamību un atjaunot pilnvērtīgu tās plūsmu.

Šodien pasaulē piedāvāto asinsvadu protēžu biomehāniskās un fizioloģiskās īpašības neatbilst cilvēka asinsvadu īpašībām, to sienīņu struktūra neļauj protēzei pulsēt, kas rada nespēju dzēst augsta pulsa viļņa svārstības un ilgstoši nodrošināt hemodinamiskus procesus dzīvā organismā. Šo protēžu izmantošana praktiskajā ķirurģijā uzrāda līdz 25% gadījumos

agrīnās vai vēlīnās trombozes. Tāpēc viena no galvenajām šodienas medicīnas problēmām ir organisma funkcionālās vienotības atjaunošana pēc asinsvadu sistēmas rekonstruēšanas.

Zinātnieki ir pierādījuši, ka mehāniskie faktori – asins pulsa viļņa triecieni un asins plūsmas virpuļi aortas sazarojumu vietās visagrāk rada aterosklerozes procesu vēdera daļas aortā.

Cilvēka organismā aorta iesākas no kreisā sirds kambara un lielajā asinsrites lokā tai ir vislielākais diametrs. Šī asinsvada vidējais šķēsgriezums visbiežāk līdzinās 24 mm. No aortas atdalās visas artērijas, kas veido lielo asinsrites loku.

Visu asinsvadu sienīņu morfoloģiskais pamats ir īpašas struktūras kolagēna elastīgs karkass, kas sastāv no trim apvalkiem – iekšējā (*intima*), vidējā (muskulādi) un ārējā (*adventicija*).

Iekšējo asinsvadu apvalku veido endotēlijs, zemendotēlija slānis un iekšējā elastīgā membrāna.

Karkasa vidējais slānis sastāv no savstarpēji saistītām koncentriski izvietotām elastīgām membrānām. Šāda vidējā slāņa struktūra nodrošina asinsvada sienīņas atgriešanos izejas stāvoklī pēc katra asins pulsa viļņa trieciena (palpātācijas).

Uz vidējā un ārējā apvalka robežas izvietota elastīgā membrāna, kas sastāv no garenvirzienā izvietotām rupjām elastīgām šķiedrām un spirālveidīgi izvietotām kolagēna fibrillām.

Aortas ārējais apvalks izpilda trīs uzdevumus: 1) nodrošina kapilāru ieaugšanu, kas baro apvalku (*vasa vasorum*); 2) piedalās proksimālo aortas atzaru posmu veidošanā; 3) var uzņemt asins pulsācijas viļņa triecienus.

Cilvēkam novecojot aortas sazarojumu vietās sākas aterosklerozes process, kā rezultātā atzaru gultne sašaurinās un asins plūsma izmainās, bet atzara diametrs nedaudz palielinās.

Audi vēdera dobuma aortas daļā noveco intensīvāk, kā krūšu kurvja aortas daļā. Jau pēc 40 gadiem pasliktinās aortas deformatīvās īpašības aploces virzienā, bet pēc 50 gadiem – arī ass virzienā.

ASV, Japānā un citās valstīs intensīvi tiek veikti pētnieciskie darbi, lai izstrādātu jaunus armēšanas principus sintētiskam kompozītam konstrukcijas materiālam, kas varētu veidot optimālu asinsvadu sienīņu struktūru. Tomēr zinātniskajās publikācijās ļoti maz datu par aortas implantu biomehāniskiem raksturlielumiem.

II. AORTAS IMPLANTU PARAUGU IZGATAVOŠANA

Mūsu piedāvātā asinsvadu implantu inovatīvā sienīņu struktūra [1] ir maksimāli pietuvināta cilvēka asinsvadu sienīņu struktūrai. Materiāls tiek veidots ar aušanas tehnoloģiju, izmantojot bioloģiski nekaitīgus un mehāniski saderīgus kompleksos poliestera un *lycras* pavedienus. Aortas implantus izstrādājām ar dobu pinuma rakstu, karkasu veidojot ar audekla vai saržas pinumu (sk. 1. attēlu).

Lai radītu optimālu aortas implanta sienīņu struktūru, kas spēj darboties analogi ortotropai un nelineāri - atsperīgai cilvēka aortas sienīņai, mēs izgatavojām trīs sērijas protēžu paraugus:

- pirmajā protēžu sērijā katrs šķēru un audu kūlītis sastāvēja no viena poliestera un diviem *lycras* pavedieniem, bet dobā karkasa veidošanai par bāzi izmantojām audekla pinumu;

- otrā protēžu paraugu sērijā atšķīrās no pirmās ar to, ka dobais karkass tika veidots uz saržas pinumu, kas ļauj ārējā protēzes apvalkā iestrādāt garākas pavedienu pārsedes, padarot implantu mīkstāku un deformēties spējīgāku;

- trešā protēžu paraugu sērijā atšķīrās no otrās ar to, ka audu kūlītis sastāvēja tikai no diviem *lycras* pavedieniem.



1. att. Dažāda diametra austi aortas implanta stobri ar inovatīvu sienas struktūru

Aušanas automāta iekārtojumā, visu sēriju aortas implantu paraugiem, katrā āķa adatas actiņā tika ievērts viens *lycras* papildpavediens, tas nodrošināja protēzes kvalitatīvu malu struktūru un stabilizēja implanta deformatīvās īpašības ass virzienā.

III. EKSPERIMENTĀLĀ DAĻA

Izmantojot *Zwick/Roell* mašīnu un speciālu stendu, visu sēriju aortas implantu paraugiem tika izpētītas biomehāniskās īpašības. Zemāk uzrādīti eksperimentālo aortas implanta paraugu sienīņu galvenie raksturlielumi (tabula 1).

Eksperimentālo datu analīze (sk. 2. un 3. attēlu) liecina, ka aortas implanta sienīņu pieskares elastības moduļa un relatīvās deformācijas vērtība, kas vislabāk raksturo materiāla

biomehāniskās īpašības, ir cieši saistīta ar aušanas tehnoloģijas parametru izvēli.

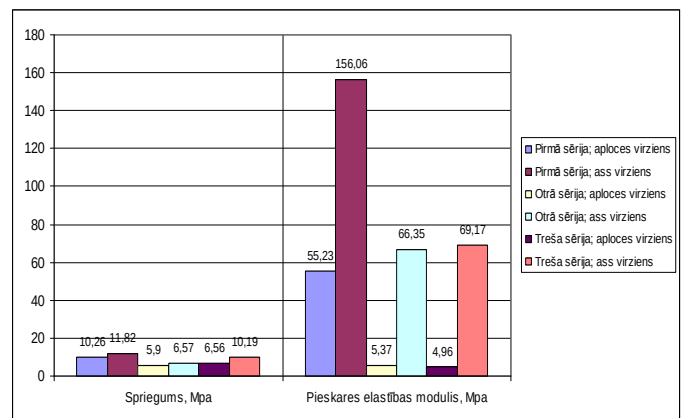
1. TABULA

AORTAS IMPLANTA BIOMEHĀNISKIE RAKSTURLIELUMI

Sērijas Nr.	Deform. virziens	Maks. spriegums MPa	Maks. deformācija %	Pieskares elastības modulis MPa
Pirmā sērija	Aploces virziens	10,26	17,66	55,23
Pirmā sērija	Ass virziens	11,82	13,67	156,06
Otrā sērija	Aploces virziens	5,90	97,75	5,37
Otrā sērija	Ass virziens	6,57	27,83	66,35
Trešā sērija	Aploces virziens	6,56	120,67	4,96
Trešā sērija	Ass virziens	10,19	28,79	69,17

Piemēram, ja par bāzi dobā karkasā izmanto saržas rakstu, salīdzinājumā ar audeklu, tad aortas implanta pieskares elastības moduļa vērtība aploces virzienā samazinās gandrīz desmitkārtīgi. Attiecīgi pirmās sērijas implantam $E_{t1}=55,23$ MPa, bet otrās sērijas implanta pieskares elastības modulis $E_{t2}=5,37$ MPa. Savukārt implantu sienīņu deformācija aploces virzienā palielinās 5,54 reizes. Attiecīgi pirmās sērijas implantam $\epsilon M_1=17,66$ %, bet otrās sērijas implantam $\epsilon M_2=97,75$ %.

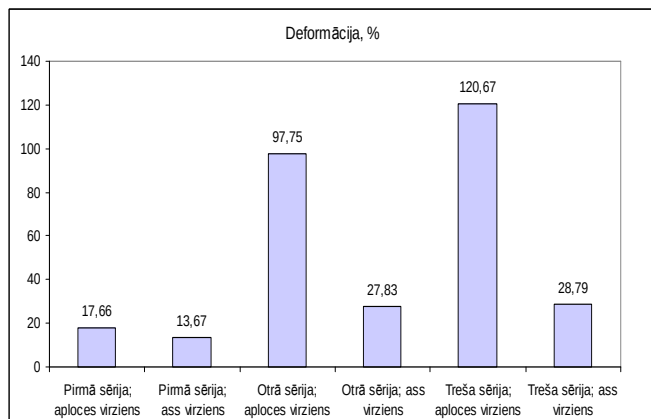
Pieskares elastības moduļa vērtība aortas implantam ass virzienā visu sēriju protēzēm ir lielāka kā aploces virzienā, bet materiāla deformācija sagraušanas momentā – mazāka.



2. att. Eksperimentā iegūtās maksimālā sprieguma un pieskares elastības moduļa vidējās vērtības

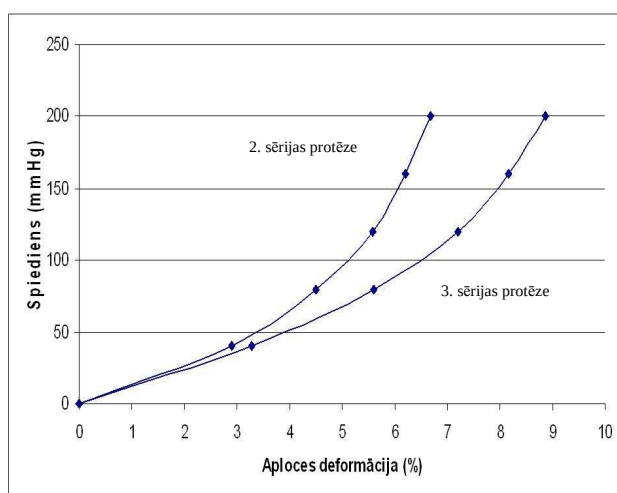
Kopējie eksperimenta rezultāti liecina, ka trešās sērijas asinsvadu implanta tehnoloģiskie parametri ļauj izgatavot

protēzi ar biomehāniskām īpašībām, kuru vērtības pietuvinātas cilvēka asinsvadu raksturlielumiem.



3.att. Eksperimentā iegūtās maksimālās deformācijas vidējās vērtības

Lai iegūtu vairāk informācijas par aortas implantu uzvedību fizioloģiski reālos apstākļos, Biomateriālu un biomehānikas laboratorijā uz speciāla stenda, pieslēgta pie datora ar speciālu programmu, izpētījām iekšējā spiediena un deformāciju saistību otrās un trešās sērijas protēzēm (sk. 4. attēlu). Eksperimenta laikā iekšējais spiediens tika mainīts pakāpeniski – ar soli 50 mmHg vienas minūtes laikā. Rezultātu analīze parādīja, ka reālā fizioloģiskā spiediena robežās līdz 200 mmHg, trešās sērijas aortas implants, salīdzinājumā ar otrās sērijas protēzi, aploces virzienā deformējas labāk. Tas nozīmē, ka inovatīvās struktūras aortas implanta biomehāniskās īpašības ir cieši saistītas ar audu sistēmā izmanto materiāla veidu.



4. att. Otrās un trešās sērijas implantu deformācijas un iekšējā spiediena saistība

IV. SECINĀJUMI

Izstrādāti trīs sēriju inovatīvas struktūras aortas implantu paraugi, kuri atšķiras ar aušanas procesa parametriem. Izpētītas šo implantu biomehāniskās īpašības, kas turpmāk ļaus izgatavot asinsvadu protēzes, ar cilvēka aortai vistuvākām biomehāniskām īpašībām.

LITERATŪRAS SARAKSTS

1. Kantsevicha, V., et al. *Vascular prosthesis*. US Pat. 6,863,696 B2, 2007.

Andrejs Lukjanchikovs. Chief researcher of Riga Technical University. Scientific degree: Dr. sc. ing. (1998, H-11, RTU). Research direction: blood vessels prosthesis manufacturing and properties research. E-mail: Andrejs.Lukjancikovs@rtu.lv

Viktorija Kantsevicha. Professor of Riga Technical University. Scientific degree: Dr. habil. sc. ing. (1994, H-11, RTU). Research direction: blood vessels prosthesis manufacturing and properties research. E-mail: Viktorija.Kancevica@rtu.lv

Alberts Auzans. Assoc. Professor of Latvian Agricultural University. Scientific degree: Dr. vet. med. (1993, H-5, LAU). Research direction: radiology in veterinary medicine. Email: vmf@llu.lv

Andreys Lukyanchikovs, Viktoriya Kantsevicha, Alberts Auzans. Parameters of weaving technological process influence on biomechanical properties of aorta prosthesis structures innovation

Is known that surgical operation in pathologically changed main sites of vessels and replacement of the damaged segments with qualitative prosthesis can restore a normal bloodstream having prevented threat of heavy consequences. Now, biomechanical and physiological properties of blood vessels prosthesis, used in world medicine, mismatch properties of human blood vessels. It means, that earlier offered structures of a wall of prosthesis are not capable to pulse, that does not allow to dissipate high wave fluctuations of a blood flow and, as consequence, to provide long hemodynamic process in an human organism after implantation. During given development have been offered innovation of prosthesis wall structures intended for reconstruction of a site of abdomen aorta, most often influence sclerous pathological changes. The wall of implant, capable to functionate as anisotropic, nonlinear-elastic system, it has differs weave and structure of polyester and elastic in warp and weft ends. Lycra is applied as additional warp ends, that allows to made soft and well deformed implant. The main biomechanical parameters of prosthesis wall samples have been investigated during this research work by special stand and by Zwick / Roell machine. Results of experimental data have shown that the value of the module of elasticity and relative deformation of a wall of aorta prosthesis depends from technological parameters of weaving. For example, if the wall of a prosthesis is made by twill weave, in comparison with a linen interlacing, the module of elasticity of a wall decreases approximately ten times, and relative deformation increases five times. At the same time, results of research have shown dependence of biomechanical properties of a innovation structures prosthesis of an aorta from the fibrous material used in weft ends. Results of experiment allow to approve that biomechanical properties of offered implant alike to properties of human aorta, when for construction of aprosthesis wall is used twill weave and a fibrous lycra material for weft bundles and additional warp ends.

Андрей Лукьянчиков, Виктория Канцевича, Албертс Аузанс. Влияние технологических параметров ткачества на биомеханические свойства импланта аорты инновационной структуры

Известно, что своевременное хирургическое вмешательство в патологически измененные магистральные участки сосудов, в том числе замена поврежденных сегментов качественными протезами, может восстановить нормальный кровоток, предотвратив тем самым угрозу возможных тяжелых последствий сосудистой патологии. Биомеханические и физиологические свойства протезов кровеносных сосудов, используемых в настоящий момент в мировой медицине, в полной мере не соответствуют свойствам кровеносных сосудов человека. Например, предлагаемые сегодня структуры стенок искусственных протезов не способны пульсировать в условиях реального кровотока. Стенки таких протезов не позволяют гасить высокие волновые колебания и, как следствие, обеспечивать длительный равномерный гемодинамический процесс в организме человека. В ходе данной работы были предложены инновационные структуры стенок импланта кровеносного сосуда, предназначенного для реконструкции участка аорты брюшной полости, наиболее часто подвергающегося влиянию склеротических патологических изменений. Стенка данного импланта, способная работать как анизотропная, нелинейно-упругая система, отличается рисунком переплетения и структурой нитей основы и утка. В качестве дополнительных нитей применяется *lycra*, что позволяет создавать мягкий, способный хорошо деформироваться имплант. В процессе работы на специальном стенде, при помощи машины *Zwick/Roell* были исследованы главные биомеханические показатели стенок изготовленных образцов протезов. Результаты эксперимента показали, что величина касательного модуля упругости и величина деформации стенки импланта аорты зависят от выбора технологических параметров ткачества. Например, если стенка протеза изготовлена при помощи саржевого переплетения, по сравнению с полотняным переплетением, модуль упругости стенки снижается почти в десять раз, а показатель максимальной деформации увеличивается в пять раз. Результаты исследования показали также зависимость биомеханических свойств протеза аорты инновационной структуры от волокнистого материала, используемого в нитях утка. Результаты эксперимента позволяют утверждать, что биомеханические свойства предлагаемого импланта наиболее близки биомеханическим свойствам аорты человека в том случае, когда для изготовления стенки протеза используется саржевое переплетение, а в системах основы и утка используется высокоэластичный волокнистый материал *lycra*.