

**“EXTREMITY-PROSTHESIS” – THE SYSTEM AND ANALYSIS
OF THEIR INTERACTION DURING MOVEMENTS****„EKSTREMITĀTE-PROTĒZE” KĀ SISTĒMA UN TĀS
MIJIEDARBĪBU ANALĪZE KUSTĪBAS LAIKĀ**

Victor Mihnovich, assistant, master of Bionics and Prosthetics
Riga Technical University, Institute of Mechanics
Laboratory of Atypical Prosthetics, “APL”
Address: 13/30 Pilsonu Street, LV – 1002, Latvia
Phone: +371 67069970
E-mail: apl@stradini.lv

Evgueni Dukendjiev, professor, Dr.habil sc.ing. (biomechanics)
Head of Laboratory of Atypical Prosthetics, “APL”
Address: 13/30 Pilsonu Street, LV – 1002, Latvia
Phone: +371 67069970
E-mail: apl@stradini.lv

Atslēgas vārdi: gūžas protēze, pieņēmējčaula, sistēma „cilvēks – protēze”

1. Ievads

Fizioloģiski un biomehāniski labvēlīgu apstākļu radīšana stumbra kā orgāna, kas tieši mijiedarbojas ar protēzi, dzīvotspējai un funkcionēšanai vēl aizvien ir viena no aktuālākajām protezēšanas problēmām. Šīs mijiedarbības rezultāti daudzējādā ziņā ir atkarīgi no dažādiem faktoriem – pieņēmējčaulas (telpiskas) formas un relatīvas stumbra atbalsta virsmas izmantošanas, čaulas sienīņu spiediena sadalīšana uz stumbra mīkstajiem audiem, iespējas mainīt čaulas formu un apjomu atkarībā no muskuļu masas sadales staigāšanas laikā.

Tādējādi netradicionāli sadalot slodzi pa stumbru un mehāniski traumējot mīkstos audus ar uztveršanas čaulas sienīņām, lielai daļai pacientu (35-40%) rodas stumbra saslimšanas; praktiski visiem invalīdiem uz ādas ir izteiktas pārmērīga lokālā spiediena pēdas, sevišķi iekšpusē kontakta vietā ar iestādīšanas gredzenu.

Galvenā protēzes slodzes daļa balsta - kustību aparātā (BKA) tiek vērsta uz iegurņa kaula sēžas pauguru un lielo sēžas muskuli, mazākā daļa – uz gūžas locītavu. Tā rezultātā BKA traucējumu shēma pacientiem ar gūžas protēzi atšķiras no normas. Šī iemesla dēļ pieaugušajiem rodas atrofiskas kaulu audu izmaiņas (osteoporoze), bet bērniem ir novērojama gūžas kaula un iegurņa daļas nepilnīga attīstība amputācijas pusē.

Stāvēt un staigājot gurna protēzē ir ievērojami palielinātas tādas kompensējošās reakcijas kā iegurna slīpuma leņķis sagitālā virsmā un jostasvietas lordozes lielums. Ir novērots, ka stāvēt iegurna slīpuma leņķis protēzē visos gadījumos ir par 5-10° lielāks nekā bez protēzes, pat ar optimālu pieņemējāulu. Vertikālā pozā šādas negatīvas parādības galvenais iemesls ir BKA slodzes līnijas sagitālās virsmas novirzīšanās uz aizmuguri no gūžas locītavas.

Pieņemējčaulas formas un tās mehānisko īpašību izvēle kļūst sevišķi svarīga, izmantojot kustību korekcijas metodes, kad staigājot palielinās attiecīgo muskuļu grupu aktivitāte uz stimulējošo faktoru rēķina.

2. Protēžu pieņemējčaulu klasifikācija

Pastāvošā gūžas čaulas konstrukciju daudzveidība sniedz lielu izvēli, nodrošinot invalīdus ar protēzēm. Izgatavojot protēzi, ir jāņem vērā vienas vai otras konstrukcijas lietderība atkarībā no invalīda īpatnībām – viņa stāvokļa, vecuma un fiziskās aktivitātes. Piedāvātie protēžu uztveršanas čaulu izgatavošanas virzieni tiek klasificēti sekojoši [1]:

1. Pieņemējčaulas ar cietām sienām:

1.1. Neslīdošas čaulas;

1.2. Protēzes, kas veic vakuuma stiprinājumu;

2. Pieņemējčaulas ar mainīgu ģeometriju:

2.1. Elastīgas čaulas ISNY tipa gūžas protēzei;

2.2. Skeletētas nesošas protēzes čaulas ar elastīgu ieliekamo pieņemējčaulu;

3. Pieņemējčaulas ar mainīgu apjomu:

3.1. Viengabalaina čaula ar dažādiem ieliktniem, gaisa un hidrauliskām kamerām;

3.2. Šķeltas regulējamās (šņorējama tipa) pieņemējčaulas;

3.3. Skeletētas uztveršanas protēzes čaulas.

Analizējot uztveršanas čaulu īpašības, ir lietderīgi izmantot sekojošus kritērijus: izmēru pastāvība, cietība, elastība, stumbra un čaulas daļu balsta un kontakta elementi, šķērsriezuma forma iestādīšanas gredzena apvidū, dziļās ievietošanas princips.

Šobrīd liela uzmanība tiek pievērsta pieņemējčaulai un elastīgām sienām, kam pagātnē ir daudz analoģu. Zināmā mērā par elastīgo čaulu analoģu pēc savām funkcionālajām īpašībām var uzskatīt skeletētās čaulas un nestandarta tipa čaulas, kuru īpatnība ir nišas čaulas sienas, kas paredzētas stumbra muskuļiem, kas palielinās to virzienā uz balsta fāzi. Šis apstāklis jāņem vērā, izgatavojot stumbra atveidojumu, piedāvājot pacientam sasprindzināt muskuļus tā, lai imitētu atbalstu.

Pieņemējčaulas ar elastīgām sienām veicina muskuļu aktivitātes palielināšanos, palielina ērtību sēdēšanas laikā, netraucē normālu asinsriti, samazina protēzes svaru, nepieciešamības gadījumā var tikt vienkārši nomainītas bez protēzes uzbūves shēmas izjaukšanas.

3. Pieņemējčaulu izpētes metodes

Elastīgā čaula sastāv no cieta karkasa un pašas čaulas. Šāda sistēma ir jākonstruē pēc “virsmu sakritības” principa: t.i., tajās vietās, kur stumbra audi ir stingi (cieti), tiem var piekļauties karkasa cietās daļas, bet ar mīkstajām un elastīgajām stumbra daļām jāsavieno pieņemējčaulas elastīgās daļas.

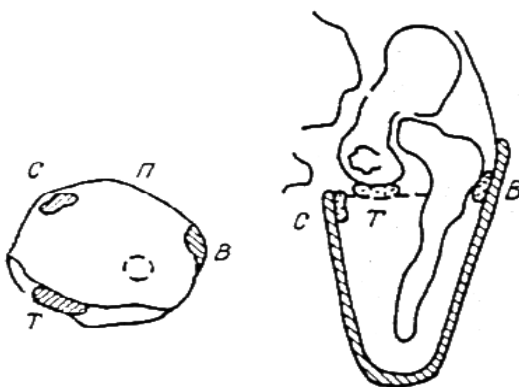
Pēc amputācijas gūžas līmenī, kad zūd ekstremitātes apgabali, kas pieraduši pie slodzes iedarbības stāvēt un staigājot (pēda, celis), rodas jautājums par tādu stumbra un iegurna apgabalu atrašanu, kas var uzņemties smaguma un atbalsta reakcijas iedarbību ar vismazāko piepūli. Empīrisko meklējumu rezultātā protēzisti ir izgatavojuši pilna kontakta čaulu, kurā slodze tiek

sadalīta apmēram šādi: 50% uz sēžas pauguru, pārējie 50% daļēji uz kaunuma kaulu, pieskrūvēšanas vietu un sānu virsmu.

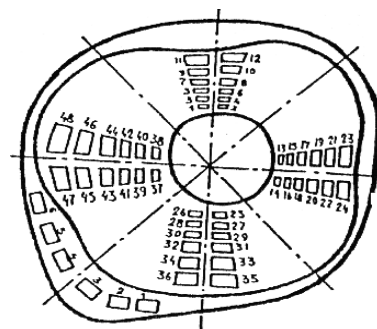
Pētījumi, kas veikti pēdējos gados, ir apliecinājuši stumbra zemgrozītāja vietas izmantošanas perspektīvu, lai palielinātu slodzi uz tās pieņemējčaulu ar dažām principiāli pilnveidotas uzbūves protēzēm. Sevišķu interesi izraisa darbs, kad uz laterālas virsmas čaulas iekšpusē veidojas zemgrozītāja pelots (1. attēls). Šāda slodze izrādās nevajadzīga, jo uz noslogotās gūžas proksimālās daļas nav maģistrālo asinsvadu un nervu, bet lielā sēžas un ārējā platā muskuļa maišata trakts (zarnkaula un lielā lielkaula trakts) un cīpslas spēj izturēt ievērojamas slodzes.

Iegūtie dati par cietības virspusēju sadali uz stumbra virsmu ļauj sniegt vairākus ieteikumus minētās slimnieku kategorijas protezēšanai.

Pirmkārt, minimālā slodze tiek vērsta uz gūžas iekšējo virsmu, sevišķi uz priekšmediālo zonu proksimālajā daļā. Otrkārt, dorsāli mediālās, aizmugures un priekšējās gūžas stumbra virsmas relatīvi augsti cietības rādītāji sniedz izdevīgus priekšnosacījumus pieņemējčaulas atbalstam tieši šajās vietās. Treškārt, perspektīvu gūžas stumbra pieņemējčaulas modeļu izstrādāšana ir pamats turpmākai minētā jautājuma izpētei; sevišķi funkcionālās cietības jomā, jo muskuļu saspringums var mainīt apkārtējo audu topogrāfiju, kā arī to cietības lielumu.



1. attēls. Čaula ar zemgrozītāju pelotu.



2. attēls. Devēju izvietojuma shēma pieņemējčaulā.

Vairāki avoti ziņo par pētniecības darbu veikšanu, lai noteiktu gūžas stumbra spiedienu uz uztverošo dobumu sienām. Šajā virzienā vairāki pētījumi ir veikti [2], ar mazgabarīta tenzometrisko devēju palīdzību, kas izvietoti pēc 2. attēla shēmas: 48 devēji un 8 lentas; pa 6 devējiem uz katrām divām lentām uz priekšējās, ārējās, aizmugures un iekšējās sienām. Bez tam, 6 devēji izvietoti uz sēdekļa. Tādējādi tika aplūkoti VI horizontāli griezumi, kas izvietoti viens no otra 30 mm attālumā, un uz katra griezuma atradās 8 devēji, pie tam horizontālais griezums bija izvietots uzstādīšanas gredzena līmenī. Katra devēja izmērs ir 10x10 mm, biezums 0,5 mm. Tika pētītas dažādas formas uztveršanas čaulas, pie kam čaulas bija izgatavotas ar vienādu perimetru 17 izmeklējamajiem un tika uzmontētas uz protēzēm, kas izgatavotas katram indivīdam pēc individuāli piemēklētas shēmas.

Analoģiski pētījumi tika veikti ASV [3, 4]. Tika izmantoti devēji, kas izgatavoti no polivinilhlorīda joslas, kuras pretestība mainās atkarībā no mehāniskā sprieguma. Devēji tika izvietoti uz gūžas čaulas iekšējās virsmas.

4. Optimālas čaulas formas izvēle

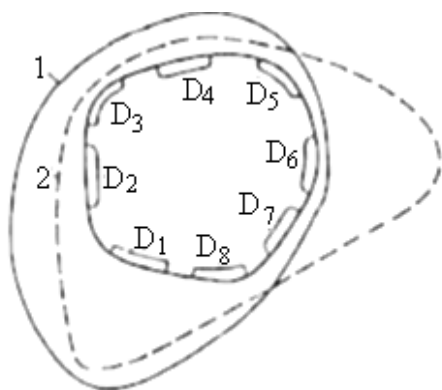
Izmēģinājumi rāda, ka sumbra čaulas adekvātuma aptuvenai un iepriekšējai novērtēšanai, kad spiediens uz stumbra audiem ir uzskatāms par pieļaujamu, ir nepieciešams, lai pieņēmējčaulas iekšējais perimetrs (vai stumbra atlējuma perimetrs) starpenes apvidū būtu mazāks par stumbra perimetru (1. tabula).

1. tabula. Stumbra un čaulas perimetri

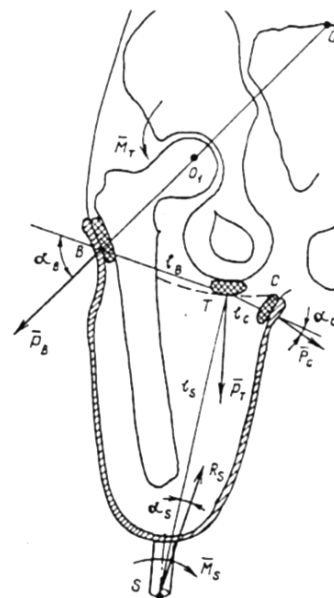
Stumbra perimetrs, cm	Čaulas perimetrs, cm
20 – 29	18 – 26
30 – 39	26 – 35
40 – 48	35 – 45
50 – 59	44 – 54
60 – 69	54 – 63

Slodzes sadalījums pa vertikālajām zonām: priekšējā – 24,3%; ārējā – 29,5%; aizmugures – 22,9%; iekšējā – 23,3%. Tika pētītas čaulas, kuras viena no otras būtiski atšķīrās, un konkrēti: CNIP–M, korporācija “Hosmer” (ASV) muskuļotam stumbram (“Hosmer-1”), firma “McKenzie” (Anglija), Bērklījas universitāte (ASV).

Rezultāti liecina, ka izmantojot visas čaulas, galvenā slodzes daļa ir vērsta uz sēžas paugura, lielā sēžas muskuļa un starpenes apgabalu. Izlīdzinātais raksturojums slodzes sadalījumam pa stumbru, izmantojot tādas čaulas, kas nodrošina apjomīgu čaulas iekšējā dobuma atbilstību stumbra formā un novietošanu uz attiecīga čaulas laukumiņa, ir redzams 3. attēlā, kur: 1 – vidējais spiediena sadalījums, 2 – vēlamais spiediena sadalījums, D_1 – D_8 spiediena devēji.



3. attēls. Spiediena sadalījums pieņēmējčaulā



4. attēls. Spēku shēma, kas darbojas pieņēmējčaulā

Spēka projekcija uz frontālo virsmu, kas darbojas uz pieņēmējčaulu sēžas paugura, lielā ciskas kaula galviņas un garā pievadošā muskuļa zonā, ir sniegta 4. attēlā, kur R_s – saspiedošais spēks; M_s – atliecošais moments; P_B – kontakta spiediena spēku izlīdzinājums zemgrozītājā zonā; P_T – kontakta spiediena spēku izlīdzinājums sēžas paugura zonā; P_C – kontakta spiediena spēku

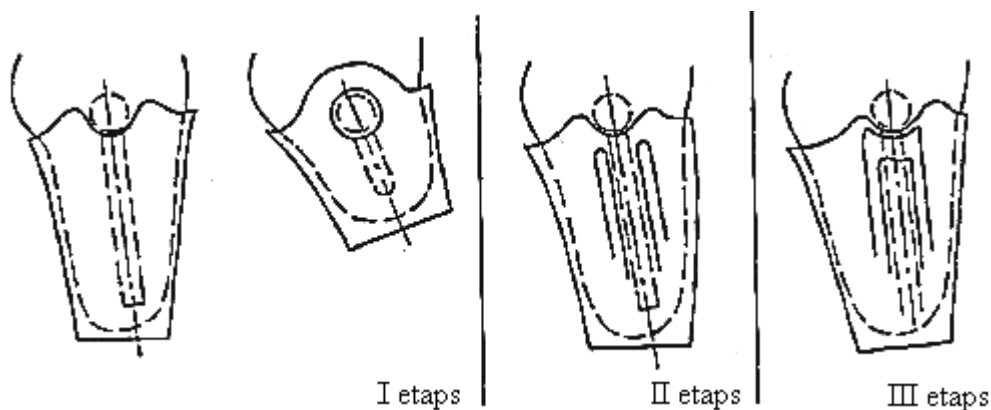
izlīdzinājums pievadošā muskuļa apvidū.

No griezuma S nosacījumiem 4. attēlā ir iegūts optimālas čaulas noslogojuma vienādojums [2], kad iegūst starpenes apgabala 2 - 4 kārtīgu atslogošanu:

$$P_B = \frac{1}{l_B \sin \alpha_B} (M_S - R_S l_S \sin \alpha_S).$$

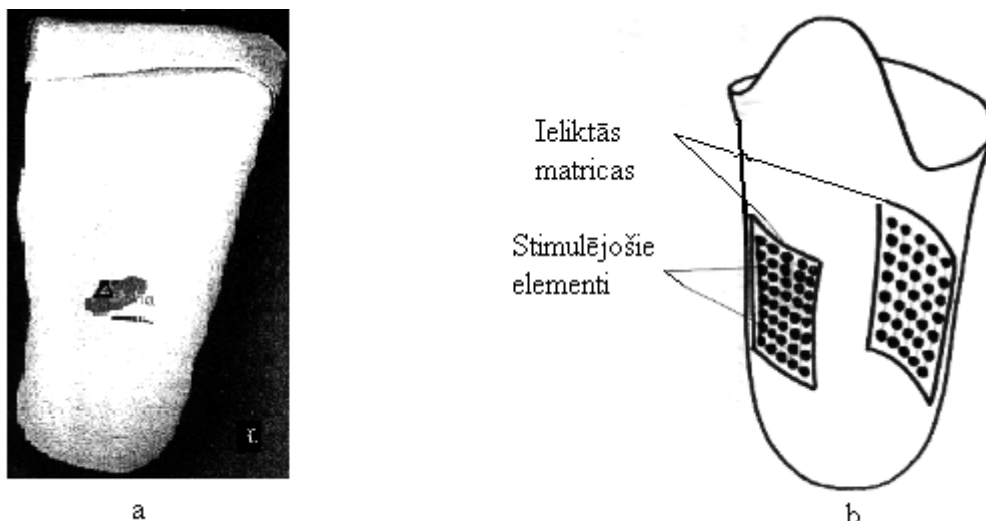
5. Optimizācija aktīvas mijiedarbības gadījumā sistēmā “cilvēks-protēze”

Staigāšanas laikā notiek normāla muskuļu masas sadale čaulas uztveršanas dobumā – muskuļi, kas realizē atsevišķas soļa fāzes, rada lokāla pārlieka spiediena apgabalus uz pieņēmējčaulas sienām. Šī efekta daļēju samazināšanu var panākt, izmantojot mainīgu formu un apjomu čaulas, kā arī panākot optimālu uzstādīšanas gredzena noslogošanu. 5. attēlā: I etaps – iesēdgredzena augšējās malas formēšana īsam un garam stumbenim un iezīmēšanas operācijas; II etaps – garenisko pelotu formēšana; III etaps – zemgrozītāja pelota formēšana. Gadījumā, kad tiek izmantota aktīva ekstremitātes mijiedarbība ar protēzi, paaugstinot stumbra muskuļa tonusu noteiktās soļa fāzēs ar vibromehāniskās matricas [5] palīdzību, papildus slodze izkropļo spiediena attēlu. Tas ir īpaši saistīts ar vibrāciju. Rezultātā tiek apgrūtināts un traucēts rehabilitācijas process. Tādējādi var izmantot tikai čaulas ar mainīgu ģeometriju un optimālu



5. attēls. Tehnoloģisko operāciju shēma augšstilba protēzes pieņēmējčaulas iekšējās sienas reljefa formēšanai

telpisko formu, lai panāktu aktīvu un mērķtiecīgu sistēmas „cilvēks – protēze” dzīvā un tehniskā elementa mijiedarbību. Jau šodien tiek izgatavotas protēzes, kuru čaulā ir silikona ieliktnis, 6. attēls [6]. Ieliktna sienīņu biezums ir 5 – 7 mm. Tam piemīt želejveidīgas masas īpašības, kas pietiekošā mērā kompensē muskuļu masu, ievērojot optimāluma nosacījumus stingriem čaulas balsta apgabaliem (sēžas paugurs, zemgrozītāja vieta un starpene).



6. attēls. Silikona ieliktnis (a) un ieliktnis ar izvietotām stimulējošām matricām (b)

6. Secinājumi

Protezēšanas jomā daudz darbu ir veltīti protēžu konstrukciju un to elementu radīšanai, lai tuvinātu tās izmantojošo cilvēku dabiskajai gaitai. Tas attiecas gan uz protēžu uzbūves telpiskajām shēmām, gan pieņemējāulu konstrukcijām. Tās ir savienošais elements uz dzīvā un nedzīvā mijiedarbības robežas. Tādēļ šeit ir īpaši svarīgi, lai amputētās ekstremitātes struktūras pildītu sev raksturīgas funkcijas. Tās cietajiem elementiem jāveic atbalsta funkcija, bet muskuļiem pēc iespējas jāpiedalās kustību realizācijā. Liela nozīme ir atgriezeniskās saites modelēšanai, lai nodotu informāciju un iedarbību no tehniskās sastāvdaļas puses, jo pēc amputācijas trūkst liela daļa formācijas, ko centrālā nervu sistēma izmanto kustību koriģēšanai reālā laikā. Optimālas sistēmas “cilvēks-protēze” elementu mijiedarbības izveidošanas darbi ir vērsti šo uzdevumu atrisināšanai.

Literatūra

1. Дюкенджи́ев Е. Проектирование протезов – Рига: РТУ, 2001.
2. Фарбер Б. и другие. Теоретические основы построения протезов и ортезов нижних конечностей – М, 1995.
3. Murray K. and Convery P. The calibration of ultrasound transducers used to monitor motion of the residual femur with a trans – femoral socket during gait // In: Prosthetics and Orthotics International, 2000, 24 (1) – p. 55-62.
4. Polliack A. et al. Scientific validation of two commercial pressure sensor systems for prosthetic socket fit // In: Prosthetics and Orthotics International, 2000, 24 - p. 63-73.
5. Айварс Ю., Дюкенджи́ев Е., Михнович В. Совместное активное взаимозависимое участие элементов системы «конечность протез/ортез» в процессе реализации двигательного акта // In: Proceedings of the 2nd Baltic – Bulgarian Conference on Bionics, Biomechanics and Mechanics, 2001, 2.
6. Hatfield A. G. and Morrison J. D. Polyurethane gel liner usage in the Oxford Prosthetic Service // In: Prosthetics and Orthotics International, 2001, 25 - p. 41-46.

Mihnovičs V., Djukendžijevs J. "Ekstremitāte-protēze" kā sistēma un tās mijiedarbību analīze kustības laikā

Rakstā aplūkoti protēzes un amputētas cilvēka ekstremitātes savstarpējās ietekmes jautājumi, to mijiedarbības izpēti metodes ar nolūku noteikt optimālu gūžas protēzes čaulas formu, ņemot vērā slodzes sadalījumu uz stumbra virsmas, kā arī priekšnoteikumu radīšana aktīvas sistēmas "cilvēks-protēze" elementu mijiedarbības realizācijai kustību laikā.

Mihnovich V., Dukendjiev E. "Extremity-prosthesis" – the system and analysis of their interaction during movements

The article deals with the issue of mutual effect of a prosthetic appliance and amputated human limb, investigation methods of their interaction with the aim to determine the optimal shape of a hip prosthetic shell considering distribution of the load along the surface of the trunk, as well as creation of preconditions for realization of active interaction of the elements of the system "person-prosthetic appliance" during movements.

Михнович В., Дюкенджиев Е. «Конечность – протез» - как система и анализ их взаимодействия во время движения

В статье рассматриваются вопросы взаимного влияния протеза и усеченной конечности человека, методы изучения их взаимодействия с целью определения оптимальной формы гильзы протеза бедра с учетом распределения нагрузки на поверхность культи, а также создания предпосылок для реализации активного взаимодействия элементов системы «человек-протез» во время движения.