

КЛАСИФИКАЦИИ И ТЕХНИЧЕСКИ РЕАЛИЗАЦИИ НА ПРОТЕЗИ ЗА ЧОВЕШКИТЕ КРАЙНИЦИ

Иван Аврамов Лилия Нецова Цветелина Първанова

езюме: Докладът е продължение от започналата инженерна дискуссия по тематиката за протезирането на човешките крайници. Включена е една многокритериална класификация на протези. Представени са още и някои от техническите особености на типични протезни изпълнения. В заключението, са направени обобщения по основните проблеми на тази недостатъчно позната в България инженерна област, която днес е считана за прогресивен момент в развитието в съвременната автоматика, роботика и биомедицинско инженерство.

CLASSIFICATIONS AND TECHNICAL EVENTS OF THE ARTIFICIAL LIMBS PROSTHESIS

Ivan Avramov, Lilia Netsova, Tsvetelina Parvanova

abstract: The paper is an extension on the engineering discussion on the problems of the artificial limbs prosthesis. A poly-criterion classification of the prosthesis is included. Some technical peculiarities of typical prosthesis realizations are presented. Generalizations on the principal problems of this scientific field less known in Bulgaria connected with modern automatic, robotic and biomedical engineering are made in the conclusion.

1. Увод.

При използването и създаването на нови протези за човешките крайници, е необходимо да се разполага с научно-издържана и проверена методика, чрез която да се подпомага типичната дейност на лекарите-ортопеди, а така също и изследователската и конструкторска работа на инженерите-протезисти. Информацията по схемите, материалите и данните за нови протези и техните патенти, засега са концентрирани в няколко известни по света фирми, водени за създатели и производители на най-съвременните протези за човешките крайници (например, Blatchford-Endolite, Otto Bock, Ossur и др. [1-3]). В последните години, в областта на протезирането се правят много нови патенти [4], като същевременно, научните изследвания и публикации в тази област, като че ли все още са ограничени и недостатъчно конкретни. Поменатите по-горе имена на водещи фирми-производители на протези, имат голям практически опит, който е полезно да бъде популяризиран и пренесен в България. Като се включи производството на някои видове *ендопротези за тазобедрената става* на долния крайник, все още в България няма изяви фирми-производители на протези, предназначени за човешките крайници. За ограничен кръг пациенти, у нас се закупуват само по прости протези за ръката, които са предимно с *пасивно задвижване*. Внедряването на модерни протези, например *надколени протези за крака с активно задвижване*, изглежда засега е непосилно за валидите в България, главно по финансови причини.

Чуждият опит показва, че не може да се приеме тезата: *пациентите състоятелно да вземат за себе си най-подходящата по тип, функции и размер протеза*, така както се вземат дрехи или обувки. В помощ на пациента-инвалид, биха могли да бъдат изследванията препоръките, които лекарят-ортопед ще трябва да извърши предварително и многократно. За вземането на окончателно решение, ще бъде необходима и консултационната помощ на специалист в областта на протезирането. За да се вземе добро решение по избора на подходящата протеза за конкретния пациент, е необходимо да се разполага не само с *научно-издържана методика за избор на протези*, но и с *технически обоснована класификация*, включваща голяма част от характерните параметри и особености на съществуващите по света протезни устройства. По тази причина, в настоящата работа, в резултат на проучаванията, извършени в [11], [13-14], е синтезирана в таблична форма една *многокритериална класификация на протезни устройства за човешките крайници*. В контекста на тази

класификация, се обсъждат и някои особености в техническите реализации на съвременните протези. В края на изложението по доклада, се споменава още и за новите тенденции в протезирането, като са представени в обобщен вид основните проблеми на тази нова област на техниката. Настоящият доклад би следвало да се приеме като втора част на доклада [5], поради което, формулираната основна цел в [5], и тук си остава почти същата, като се дообогатява и обобщава.

2. Една многокритериална класификация на протезите.

Съществува голямо разнообразие на протезни устройства, доближаващи се по функционалност и външен вид до естествените движения на крайниците. Разнообразни и непълни са съществуващите класификации на протезите за горния и долния крайник на човека, а и по принцип, доста различни и противоречиви са класификационните критерии, използвани при съставянето на подобни класификации.

Таблица № 1.

КЛАСИФИКАЦИЯ НА ПРОТЕЗНИ УСТРОЙСТВА (горни и долни човешки крайници)						
1. Според степента на функционалната замяна:						
1.1. Протеза (замяна във висока степен)		1.2. Ортеза (частична замяна, главно, на функциите на увредените мускули)				
2. Според разположението на протезата в живата тъкан (на крайника):						
2.1. С вътрешно, респ. имплантирано разположение (ендопротеза)		2.2. С външно, респ. скелетно разположение				
		С иззявено структурно-кинематично подобие (от екзоскелетонен тип)		Без иззявено структурно-кинематично подобие (от ендоскелетонен тип)		
3. Според нивото на ампутация:						
3.1. На отделен пръст (на ръката), респ. (на крака).	3.2. На всички пръсти или на част от пръстите (на ръката), респ. (на крака).	3.3. На цялата локална част (китка + ръка - длан), респ. (глезен + стъпало на крака).	3.4. Подлакътна протеза (без и с ръка+длан и китка), респ. подколянна протеза (без и със стъпало и глезен).	3.5. Надлакътна протеза (без и със лакът, китка и ръка), респ. надколянна протеза (без и със стъпало и глезен).	3.6. Раменна протеза (без и със лакът, подлакътна единица-китка и ръка), респ. тазобедрена протеза (за крака).	3.7. Цялостна протеза едностранна (дясна/лява), респ. двустранна (дясна/лява).
4. Според възрастовата група:						
4.1. Протези / Ортези за деца			4.2. Протези / Ортези за възрастни			
5. Според степента на функционалност:						
6.1. Многофункционални (универсални)			6.2. Еднофункционални (тясно специализирани)			
<ul style="list-style-type: none"> За ежедневна самообслужваща дейност – двукрака локомоция, манипулации с една или с две ръце, хавчане и др.; За упражняване на по-обща трудова дейност. 			<ul style="list-style-type: none"> За упражняване на конкретна професионална дейност (прости трудови операции); За практикуване на конкретен спорт; За практикуване на конкретно хоби. 			

6. Според особеностите на системата за задвижване:			
5.1. Пасивни	5.2. Активни		
Ендопротези и имплантанти (по-голямата част са пасивни)	Задвижване само от функциониращи мускулни групи: <ul style="list-style-type: none"> с мускулни групи от протезирания крайник; с мускулни групи от здравия крайник. 	Задвижване само от външни двигатели. <ul style="list-style-type: none"> С един външен двигател С повече от един външен двигател С електрическо, пневматично или хидравлично задвижване.	Хибридно задвижване (използване както на външни двигатели, така и на функциониращи мускулни групи).
7. Според особеностите на системата за управление:			
7.1. С директно управление (пряко, чрез команди на човека)	7.2. С индиректно управление <ul style="list-style-type: none"> Сервоуправляеми Интелигентно - компютърно управление 	7.3. С хибридно управление (миеоелектрично) <ul style="list-style-type: none"> превключване с помощта на ремъци приключване с микроключове 	
8. Според особеностите на сензорните системи:			
8.1. Без вградени технически сензори. (само чрез човешка сензорика.)	8.2. Само с вградени технически сензори. <ul style="list-style-type: none"> С тактилни сензори; Със силови сензори; С друг тип сензори. 	8.3. С хибридно изпълнение на сензориката. (разчита се на човешката сензорика, но така също и на вградените технически сензори.)	
9. Според вида на използваните Предавателни Механизми (ПМ):			
9.1. С ПМ от кинематичен тип (без и с кинематичен излищък).	9.2. С ПМ от силово тип.	9.3. С ПМ от комбиниран (силово-кинематичен) тип.	
<ul style="list-style-type: none"> За фиксирани (заключване); За реализирани на прецизни движения и микродвижения; За реализирани на бързи движения. 	<ul style="list-style-type: none"> За предаване на двигателни сили и моменти към ставите; За уравнивяване на силата на теллото; За балансиране на динамичните сили; За гасене на колебанията; За бързо установяване в покой - без и с демфиране; За реализирани на други силово-кинематични функции. 		
10. Според особеностите на кинематично-заместващите механизми на основните стави:			
10.1. Моноцентрични		10.2. Полицентрични	
Без и със фиксирани в зададено положение (със и без наличие на заключване).		Без и със фиксирани в зададено положение (със и без наличие на заключване)	
Без и с балансиране на външни сили и моменти.		Без и с балансиране на външни сили и моменти.	
С лостови четиризвезни механизми (от равнинен тип).			
С лостови шестзвезни и повече-звезни механизми (от равнинен тип, главно за колянни протези).			
С комбинирани гъбно-лостови и/или лостово-гърбични механизми (от равнинен тип)..			
С механизми, включващи гъвкави и еластични звена (от равнинен тип).			
11. Според производствената цена:			
Много скъпи		Средно скъпи	Нормално скъпи

В Таблица № 1 по-горе, е представена една сравнително пълна класификация на протезните устройства, като за нейното построяване, са използвани *единадесет критерия*: медико-анатомични (от 1 до 5), технически (от 6 до 10) и експлоатационно-икономически (само 11). Тази класификационна таблицата, може да се използва както при изграждането на *методика за избор на нови протези*, така и като *елемент от инженерна методика за проектиране на нови видове протези за човешките крайници* [1]. За да се ползва успешно класификационната таблица при избора на нова протеза, необходимо е, да се разполага с достатъчно диагностични и медикобиологични данни и епикризи за пациента, който подлежи на протезиране. Например, необходимо е да се познава състоянието на костите, ставите и мускулите на липсващия и на здравия крайник; цялостното клинично състояние на пациента, да е налична цялостната прогнозна оценка за функциите, които ще се възстановяват частично чрез протезирания крайник (или крайници) и др. Освен това, при избран подходящ вид протеза, необходимо е да се проведе *търсене на подходящ фирмен протезен образец, отнovo като се ползва класификационната таблица № 1*. При такова *целенасочено търсене на най-подходящата протеза за конкретен пациент*, следва да се отчетат и някои други характеристики, като например, цената на протезата, надеждността ѝ, естетическия ѝ външен вид и др.

При създаване на *методика за проектиране на нови протези*, вкл. и за репроектиране и адаптация на предлаганият от фирмите индивидуални протези, необходимо е да се извършат следните *инженерни дейности*:

- предварителни механо-математични изследвания, вкл. биомеханично моделиране на здравите човешки крайници;
- диагностициране на нарушенията в манипулациите на ръката след нейната пълна или частична ампутация, респ. на движенията на клинично болния или ампутиран долен крайник;
- генериране на идейни варианти за подходящи решения по протезирането и съответна обосновка;
- сравнителен анализ на избраните варианти по протезирането;
- избор на един или повече оптимални варианти за решенията и др.

Трябва да се държи сметка още и за постигане на *баланс в техническите идеи и решения* на протезите, което означава, да се потърси отговор на следния въпрос:

В каква степен, задачите по протезирането се решават напълно или частично, чрез съчетаното използване на методите и средствата на механиката, биомеханиката, управлението и сензориката? Това означава, че ще се предпчете да се използва една *"мехатронно-обоснована методика"*. Чрез подобна методика може да се оцени, *до каква степен, задвижването и управлението на протезата е изцяло предоставено на пациента, напр. на неговата здрава ръка или неговия здрав крак?* Възможно е също, функциите по задвижването и управлението да са частично или напълно "предоставени" на изграденото *високо техническо ниво*, наричано още *"интелигентно ниво на управление"*, като винаги е уместно, да се търси благоприятното съчетаване на тези две тенденции

3. Разсъждения върху някои технически особености на протезите.

При протезирането на човешките крайници, освен *основната (носеща) отворена кинематична верига*, която замества основните кости и стави на крайниците, се включват и голям брой *локално-затворени кинематични вериги на механизми*, които имат различно предназначение. Например, *двигателите за активните протезни устройства*, се купират в много редки случаи непосредствено в ставите (в осите на кинематичните двоици) на основната верига на протезния механизъм. Обикновено и тук, както е и при повечето работи, се прилага известния принцип *"двигателите да се разполагат максимално близо до основата"*. Прилагането на *двигателните моменти и сили към звената, образуващи протезираната става* (в случая изпълнителните звена), се реализира чрез *задвижващите предавателни механизми* [9-11]. Тези механизми могат да са: *лостови, зъбни, зъбно-ремъчни, зърбично-лостови, верижни,*

лъентови, въжени и др., като част от тях имат *постоянно кинематично предавателно отношение* (като напр. зъбните, ремъчно-зъбните, винтовите и др.), а други, са с *променливо кинематично предавателно отношение* (напр. лостовите и лостово-гърбичните). Тук би могло да се направи *аналогия с мускулите на човека*, които също задвижват *непряко ставите* на да се направи *аналогия с мускулите на човека*, които също задвижват *непряко ставите* на *реалния човешки крайник*. Мускулите, заедно с костите и ставите, също образуват *предавателни механизми*, но те са от друг, нетехнически тип, който условно може да се нарече *"биологичен тип"*. Предавателните механизми много често се използват в протезите и като *"уравновесяващи механизми"*. С тяхна помощ се *уравновесяват силите на теглото, двигателните сили, моменти и др.* [9-11]. Проблемите за *статичното уравновесяване на сложните механични системи* (въсъщност такива са са протезните механизми и някои от механизмите в роботиката), в последно време стават все по-актуални. Много автори, с основание считат, че *механизмите с гъвкави и еластични звена* са извънредно подходящи при статичното *уравновесяване* и лансират тяхното използване в протезирането [11-14].

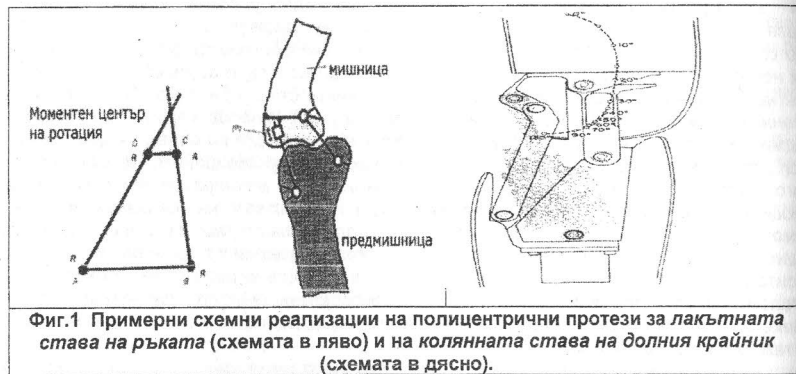
Можем да отделим *две основни групи от частично заместващи протезни механизми* [4], [11-14]:

- **моноцентрични (single-axis)**, които включват една *условно отворена кинематична верига*, състояща се само от въртяща (R) кинематична двоица, чиято ос на ротация, заема *едно относително постоянно положение в условно-неподвижната равнина на движението*. В тази неподвижна равнина, се реализира *сгъването (флексията) и разгъването (екстензията)* на лакътната става при ръката, респективно, на колянната става при крака. Приема се също, че *раменната става* (респективно, *тазобедрената*), са условно неподвижни. При тези механизми, *предмишницата на ръката* (респ. *бедрото при крака*), се завърта по една ос спрямо мишницата (респ., спрямо *подбедрицата за крака*). Например, при протезирането на лакътната става, много често се използва т. нар. *лакътно-заключващи механизми*, които обикновено са *моноцентрични*. Основната им функция е, да предостави на пациента допълнителни възможности за *селективно фиксиране на положението на предмишницата спрямо мишницата в краен брой позиции*. Това е от голямо значение за хора, които работят в строителния, земеделския или друг вид отрасли, в които се извършва многократно повдигане на големи тежести, при шофирането и при др. еднообразни дейности, изискващи *неподвижност в лакътя*. Подобни *заключващи протезни механизми*, макар и по-рядко се използват и в протезите на колянната става.

- **полицентрични (polycentric)**, които включват *моноконтурни или поликонтурни затворени кинематични вериги*, състоящи се от няколко R кинематични двоици, при които, *моментният център на ротацията* между двете ротиращи звена AD и BC, е *подвижен* (вж. фиг.1- най-лявото изображение), като той описва в абсолютната равнина, в която е разположена и основата AB, *единствена отворена равнинна крива*, наречена *центроида*. Тази крива играе важна роля в синтеза и проектирането на полицентричните протези [8],[11-13]. *Полицентричния лакътно-заместващ* (при ръката) *четиризвезнен лостов механизъм*, обикновено е тип RRRR (наричан в теорията на механизмите *шарнирен четиризвезненник*), който може да се използва не само като *лакътно-заместващ механизъм*, но и като *колянно-заместващ механизъм*, използван при протезиране на колянното на крака (вж. фиг.1 – схемата в дясно). Четиризвезният лостов механизъм от вида PRRR (вж. фиг.1 – схемата в ляво), който има в структурата си *една призматична P двоица*, по същество е *Кулисен механизъм*, който стои най-близо до някои опростени схемни решения, имащи отношение към тематиката за *изкуствените мускули* [14]. Освен механизми с един затворен контур, може да се използват и *многоконтурни кинематично-заместващи протезни механизми*, въпреки че засега, подобни решения се прилагат главно при протезирането на *колянната става*.

В последно време, *ключът за постигане на основните цели в протезирането на човешките крайници*, се търси и в посоката към използване на *изкуствените мускули*, които представляват новия клас *"биологично инспирирани двигатели"*. Големите преимущества на *изкуствените мускули* са изключително малкият им размер, обем и тегло, голямата им мускулна сила, в сравнение с теглото, приемливата цена и отличното им функциониране при

изпълнение на основните анатомични човешки движения. Съществуват засега някои ограничения и недостатъци, като например: голямата дължина, необходима за извършване на значителни пространствени движения, ограничения живот и редицата специфични ограничения по отношение на тяхната всеобхватност и ефективност. Чрез изкуствените мускули се оказва възможно да се изпълняват някои от основните пространствени движения и при роботите. Създават се нови прототипи на протези, добре имитиращи човешката скелетна структура, които са задвижвани от изкуствени мускули. Един такъв нов прототип представлява "раменният механизъм" на ръката от вида "сферична става". Известно е, че сферичните стави в механичните системи се задвижват много трудно. Когато се наложи извършване на сферично движение в една механична система, често пъти това става чрез специален сферичен пространствен механизъм, който се състои от подходящо разположени R двоци (2 или 3 броя R двоци с постоянно пресичащи се оси на ротация), задвижвани от електрически двигатели. Последствията от такова усложнено решение се изразяват в необходимостта от проектиране на тежки, обемни и сложни механични системи, необходими за кинематичното възпроизвеждане на движенията.



Фиг.1 Примерни схемни реализации на полицентрични протези за лакътната става на ръката (схемата в ляво) и на колянната става на долния крайник (схемата в дясно).

3. Нови тенденции и обобщения в проблемите на протезирането.

Проучените научни публикации, книги, статии, фирмена, рекламна информация и специализирани интернет-адреси [1-14], показваха, че тематиката, свързана с протезирането на човешките крайници, присъства едновременно в техническите, биологичните и медицинските бази от информация. Тази информация все още е неподредена (вероятно поради различните научни области), липсва ѝ необходимата конкретика, особено за инженерни цели терминологично е хетерогенна и освен това, като цяло, тя е недостатъчна.

Накратко, по-долу се обобщават тенденциите и основните проблеми на протезирането.

- **Теглото на протезата** е от съществено значение, като към по-леките протези се прилагат по-малки сили. Съвременните материали, от които се изграждат протезите, позволяват, те да стават все по-олекотени, по-издръжливи, по-яки, по-надеждни, по-износостойчиви и с намалено триене.
- Протезите трябва да са **максимално адаптивни**, като не протезата "управлява индивида", а индивидът има "пълен контрол" над нея. Главно заради прецизността на извършваните движения, **пропорционалният тип управление** е предпочитаният метод при изграждането на **миоелектричните протези**. Поясняваме, че "пропорционален тип" означава, силата да е пропорционална на мускулното съкращение

- Съществува **голямо разнообразие от технически решения и оригинални конструкции на протези и протезни устройства, изградени на модулна принцип или представляващи цялостни технически решения**, значителна част от която са патентовани в различни страни по света. Протезите могат да се класифицират по различни признаци. Липсват, обаче, частични, а още повече пълни класификации, чрез които да се подпомогне избора на подходящата протеза, както и идейното проектиране на нови протези;

В допълнение на горния извод, може да се каже още, че;

- **Изборът на протезата** е най-добре да се прави съобразно индивидуалните нужди и потребности на пациента, съобразно нивото на ампутация на крайника, и не на последно място, според финансовите му възможности;
- При човешката ръка, най-често се протезира лакътната става, за да може да се осигури поне една основна степен на свобода на ръката ("флексия-екстензия"). На следващо място по **степен на протезиране**, е китковата става и пръстите, обособени като един цялостен модул, а най-рядко се протезира **раменната става**, поради сложно организираната ѝ анатомична и биомеханична структура. Въпреки че тази става е най-подвижна, тя е причина за чести травми, понеже стабилизацията ѝ се осъществява главно от мускули, а не от лигаментни връзки, които са слаби. Тук основно приложение намират **ендопротезите-имплантанти**;
- При **човешкия крак**, най-често се протезира **тазобедрената става** и то главно чрез вграждане на **имплантантни ендопротези**. На второ място, това е **колянната става**, при която също съществуват възможности за вграждане на **ендопротези**, но в последно време, усилно се разработват и произвеждат **външни моноцентрични или полицентрични протезни колена**;
- Основните изисквания към протезните устройства са: добра функционалност, управляемост, естествен външен вид и размери, малко тегло, висока надеждност и приемлива цена. Тези изисквания са твърде противоречиви и все още трудно достижими. Всички тези изисквания могат да бъдат изпълнени чрез вграждане на различни технически устройства (механизми, двигатели, сензори и устройства за измерване и управление) в тялото на протезата, чиято форма, размер и външен вид се доближават максимално до тези на естествения здрав крайник. Първата стъпка към постигане на тази цел се състои в подобряване сръчността на протезирания крайник чрез увеличаване степените на свобода на протезата и чрез намаляване нейната големина. Главният проблем тук се състои в ограниченото пространство на протезния крайник, в който са разположени основните задвижващи механизми
- Полезно е да се разработят **методики за структурно-функционален избор, за проектиране, конструиране и производство на протези и протезни устройства за човешките крайници**;
- Полезно е да се разработят още и **методики за структурно-метричен синтез на нови видове протези** с отчитане на някои от основните биомеханични характеристики на крайника като: структурно-функционални характеристики, геометрични характеристики, масово-инерционни характеристики и др. Подобни методики са базирана на статистическата обработка на големи съвкупности от антропометрични данни за сегментите на живи хора или трупове, като един от най-използваният подход при статистическата обработка е регресионният анализ.
- Необходимо е да се създават **оптимални по вид и размери протезни механизми**, които да са подходящи и за решаване на основните задачи по протезиране, като задължително се изясняват и особеностите и новите тенденции в задвижването, управлението и сензориката, с цел създаване на евтини и сравнително леки протези;
- Протезирането на човешките крайници подпомага развитието на **антропоморфните и хуманоидни роботи** и по тази причина, връзката на протезирането и роботиката, би следвало да се поощрява, тъй като взаимното проникване на достиженията от двете области е перспективно;

4. Заключение.

Създаването на нови видове протези за човешките крайници, изисква едно сериозно предварително изследване на техните свойства и поведение при изпълнение на основните физиологични, манипулативни и локомоиционни функции от ползващите се от постиженията на протезостроенето инвалиди. По този начин, ще се осигури възможност за благоприятно съчетаване на проблемите на роботиката, мехатрониката и биомеханиката във високотехнологичен технически продукт на съвременното биомедицинско инженерство.

Темата за протезирането на човешките крайници е много переспективна и отворена към нови изследвания. Това с особена сила важи за България, тъй като тази нова проблематика у нас не е застъпена нито в университетските програми, нито в научните лаборатории на Медицинска Академия и БАН. Надяваме се още, че роботиката може да провокира нашето въображение и желание за започване на сериозна работа и по тези така актуални и важни проблеми от съвременната биомедицинска техника.

Благодарности:

Разискваните в доклада научни проблеми са включени в отчетните материали и са финансирани по договор № 453-8 НК/2003 г. – НИС – ТУ – София.

Литература:

1. Kramer et al., Knee Joint Mechanism For Knee Disarticulation Prosthesis United States Patent, Patent No 5,746,774, May 5, 1998.
2. Blatchford-Endolite: <<http://www.endolite.com>>
3. Otto Bock: <<http://www.ottobockus.com>>
4. Ossur: <<http://www.ossur.com>>
5. Аврамов И., Нецова Л., Първанова Ц., Основни проблеми при протезиране на човешките крайници - биологични обекти - еталони и биомеханични модели, Сборник доклади пред юбилейната сесия на ФА, ТУ-София, 2004 г.
6. Тошев, Ю., Биомеханика на движенията на човека, Югозападен университет - Благоевград, Благоевград, 1994.
7. Зациорский, М., Аруин, С, Селуянов, Н., Биомеханика двигателного аппарата человека, Москва, 1981.
8. Radcliffe, W., Above-knee prosthetics, The Knud Jansen Lecture, Department of Mechanical Engineering, University of California, Berkeley, New-York, 1977.
9. Гълъбов, В., Синтез на механизми в робототехниката, София, 1992.
10. Павлов В., Проектиране на промишлени роботи, София, 1993.
11. Аврамов И., Гълъбов В., Нецова Л., Николов Н., Основни технически проблеми при протезиране на човешкия крак, Сборник доклади от научна конференция "Роботика и мехатроника 2002", 09+11 окт., Дряновски манастир, 2002.
12. Стайков Е., Райков П., Протези на горен крайник на човека – обзор на съществуващи технически решения, Сборник доклади от научна конференция "Роботика и мехатроника 2002", 09+11 окт., Дряновски манастир, 2002.
13. Нецова Л., Анатомичен и биомеханичен обзор на човешкия крак, проучване на някои идеи и съвременни решения за неговото протезиране, бакалавърска дипломна работа, ТУ-София, 2002.
14. Първанова Ц., Протезиране на човешката ръка, бакалавърска дипломна работа, ТУ-София, 2003.

Автори:

- Иван Иванов Аврамов - *доцент д-р инженер*, ТУ - София, ФА, секция Роботика, сл.тел. +359 2 965 39 91, <iavramov@tu-sofia.bg>
- Лилия Венелинова Нецова – *магистър инженер*, тел. +359 2 840 8003, <lili_netz@abv.bg>
- Цветелина Тодорова Първанова - *бакалавър инженер*, студент-магистър в ТУ-София, ФА, секция Роботика, тел. +359 886 965154, <tsurit@abv.bg>