

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Примењена механика и аутоматско управљање

Предмет: Основи биоинжењеринга

Број индекса: 86/2014

Милош З. Анић

**Неуронске мреже примењене на аорти са
абдоминалном анеурзимом
завршни рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Ненад Филиповић
2. Проф. Др Весна Ранковић
3. Проф. Др Гордана Јовичић

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Препоручена литература:

Филиповић Н., Основи биоинжењеринга, Факултет Инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2012.

Ранковић В., Интелигентно управљање, Машински факултет у Крагујевцу, I издање, Крагујевац, 2008.

Крагујевац, датум

Ментор:

Име, презиме и звање ментора

Изјављујем да је Завршни рад, Формални оквир управљања комуникацијом са аспекта заштите интелектуалне својине, као и ауторских права на високошколским и факултетским институцијама у оквиру територије републике Србије, резултат мог, сопственог рада, а да су библиографске референце јасно наведене и сумиране у оквиру Литературе.

Захваљујем се ментору проф. др Ненаду Филиповићу на стипендирању у току израде завршног рада, као и на корисним саветима, пруженој подршци и примедбама током израде овог рада.

Захваљујем се својој породици на указаној подршци током израде рада и студирања, као и колегама и пријатељима са факултета на указаној помоћи и подршци.

Захваљујем се Николи Јовићу и Бојани Анђелковић Ћирковић на указаној помоћи и подршци при изради овог завршног рада.

Кандидат:

Анић Милош

Резиме

Експериментални поступци за одређивање ризика руптуре аорте са абдоминалном анеуризмом су непоуздани, зато што се као фактор ризика користи дијаметар саме аорте који као додатан фактор не узима модул еластичности ткива, који је различит од особе до особе. Из тог разлога, поузданије је, као фактор ризика руптуре аорте, користити максимални смичући напон на зиду аорте. У овом раду приказано је одређивање тог напона помоћу неуронских мрежа, које, у овом раду, раде са моделима аорте са абдоминалном анеуризмом генерисаним у софтверу CAD. Циљ рада је предвиђање критичне вредности смицајног напона на зиду аорте, као и локације истог, који показује место на коме аорта може да руптира.

Кључне речи: Аорта, анеуризма, неуронске мреже.

Abstract

Experimental procedures for determining the risk from aorta with abdominal aneurysm (AAA) rupture are unreliable, because only the diameter of aorta is taken into consideration as a critical factor for rupture of aorta, therefore the module of elasticity, which differs from person to person, is not taken into account. Thus, its more reliable to use maximum wall shear stress as a critical factor for rupture of AAA. This paper represents one of the ways to determinate that stress using neural networks, which are, in this paper, using models of AAA generated in software CAD. Aim of this paper is prediction of critical wall shear stress, and its location, which represent the indicators of the place where aorta may rupture.

Key words: Aorta, aneurysm, neural networks.

Садржај

Увод.....	7
1 Аорта	8
1.1 Делови аорте	9
1.1.1 Усходна грудна аорта	9
1.1.2 Аортни лук	9
1.1.3 Нисходна грудна аорта	10
1.1.4 Абдоминални део аорте	10
1.2 Грађа зида аорте	11
1.2.1 Адвентиција	11
1.2.2 Медиа.....	12
1.2.3 Интима.....	12
1.3 Болести артерија.....	12
1.3.1 Артеросклероза.....	12
1.3.2 Анеуризма	13
1.3.2.1 Подела анеуризми	13
1.3.2.2 Аорта са абдоминалном анеуризмом (ААА)	15
1.3.3 Дијагностиковање и лечење ААА	16
1.3.4 Генерисање модела ААА у софтверу CAD	16
2 Неуронске мреже.....	18
2.1 Неурони.....	18
2.2 Вештачки неурони и неуронске мреже	19
2.2.1 Вештачки неурони.....	19
2.2.2 Вештачке неуронске мреже.....	21
2.3 Креирање неуронске мреже	24
3 Резултати.....	26
Закључак.....	28
Литература	29
Прилог 1	30
Прилог 2	32
Прилог 3	33

Увод

Неуронске мреже представљају занимљиво подручје у компјутеризованој механици, и укратко представљају системе за рачунање засноване на биолошким неуронским мрежама које се налазе у мозгу.

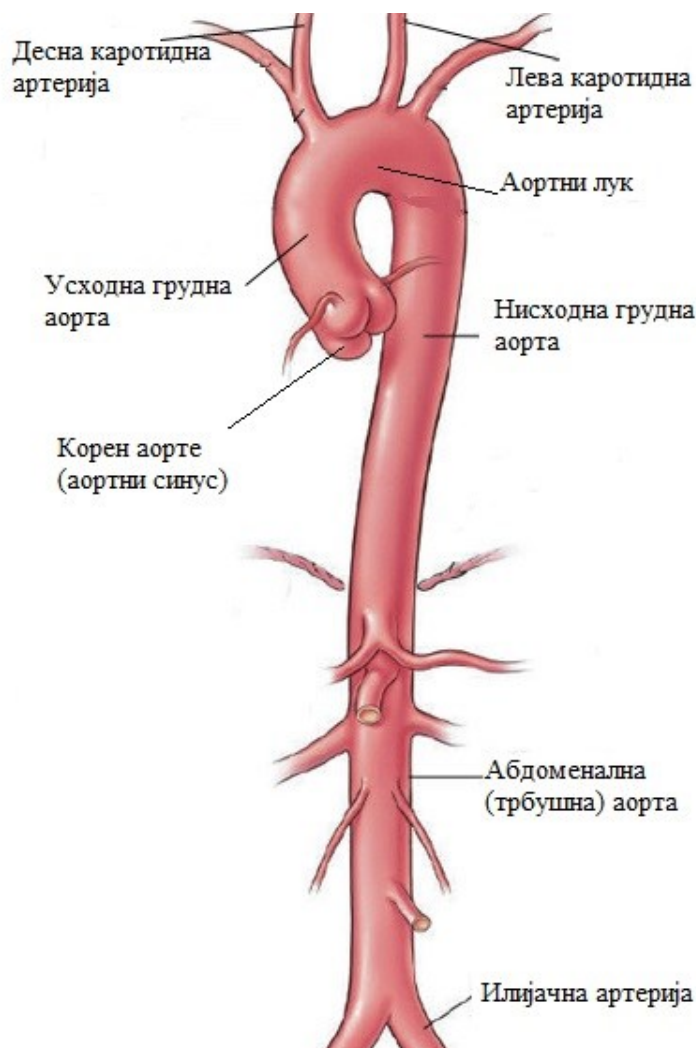
У овом раду, неуронске мреже се користе за предвиђање вредности максималног смичућег напона на зиду аорте као критичног фактора руптуре аорте са абдоминалном анеуризмом (ААА), и његове локације. Као улазни параметри мреже узети су геометријски параметри (дужина аорте, дужина анеуризме као и остале димензије анеуризме), а вредности максималног напона на зиду аорте, и координате чвора у коме се он налази, као излазни параметри неуронске мреже. Ови параметри су узети са модела ААА претходно генерисаних у софтверу CAD, који методом коначних елемената (FEM анализом) прорачунава вредности смичућег напона на зиду аорте.

Коришћењем ових параметара, неуронска мрежа се тренира у циљу прецизног одређивања вредности максималног смичућег напона и координата чвора у коме се налази.

1 Аорта

Кардиоваскуларни систем осим улоге довођења крви до ткива, има и улогу размене кисеоника и хранљивих материја. Поред тога, крвни систем уклања и отпадне и штетне производе. Крвни судови унутар кардиоваскуларног система су класификовани на два начина, према смеру крви коју проводе и према величини. Према смеру крви коју проводе, крвни судови су подељени на судове који одводе крв из срца и оне које доводе крв до срца. У крвне судове који одводе крв из срца спадају артерије и артериоле, док у крвне судове који доводе крв до срца спадају вене, венуле и капиларе. Артерије под великим притиском преносе одводе крв из срца све до капилара у органима и ткивима. Највећа и најважнија артерија у људском организму је аорта.

Као што је већ наглашено, аорта је највећи крвни суд у људском организму. Од ње настају све гране великог системског крвотока (крвоток који снабдева крвљу сва ткива изузев плућа). Дијаметар аорте износи 3 cm на њеном самом почетку, тј. излазу из срчаног мишића, сужава се на око 2,5 cm док силази низ грудни кош, и на око 1,8 cm у трбушном делу. На слици 1.1 се може видети аорта са њеним означеним деловима.



Слика 1.1. Приказ аорте са издвојеним деловима [1]

На самом излазу из леве коморе срчаног мишића налази се мало проширење које се назива булбус аорте из кога полазе лева и десна коронарна артерија. Након тога следи усходни део, потом лук аорте, са кога полазе лева и десна каротидна артерија. Након лука аорте следи нисходни део који пролази кроз грудни кош, због чега се назива грудна аорта. По изласку из грудног коша, аорта улази у трбух. Тај део аорте се назива абдоминална односно трбушна аорта, после које се аорта грана на илијачне артерије.

1.1 Делови аорте

Као што је већ поменуто, основни делови аорте су: усходни део, лук, нисходни део и абдоминални део.

1.1.1 Усходна грудна аорта

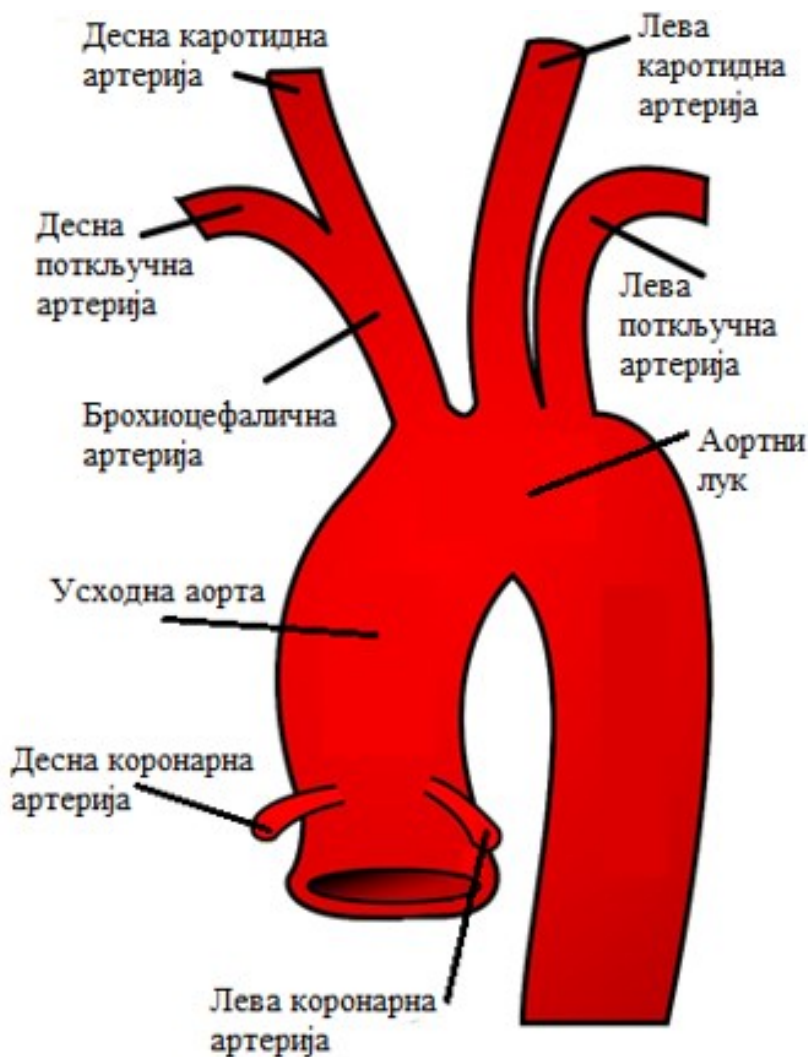
Усходна грудна аорта (слика 1.2), или *aorta ascendens*, представља део аорте који се простире од леве коморе срчаног мишића све до висине другог ребра и налази се 6 cm иза грудне кости, после чега се нагло савија у леву страну и према кичменом стубу при чему гради лук аорте, или *arcus aortae*. Укупна дужина овог дела аорте је 5 cm. Из усходне грудне аорте такође полазе лева и десна срчана артерија, тј. лева и десна коронарна артерија.

1.1.2 Аортни лук

Лук аорте (слика 1.2), или хоризонтални део аорте представља део аорте између усходног и нисходног дела аорте.

Лук се креће уназад ка кичменом стубу, односно лево од душника. Важност овог дела аорте је у томе што се од њега гранају брохиоцефалична артерија, од које даље настају десна поткључна артерија као и десна каротидна артерија, лева каротидна артерија и лева поткључна артерија.

Десна каротидна артерија полази од брохиоцефаличне артерије и креће се углавном бочном страном душника и гркљана и дели се на спољашњу и унутрашњу десну каротидну артерију. Лева каротидна артерија полази од самог лука аорте и, као и десна каротидна артерија, грана се на спољашњу и унутрашњу каротидну артерију. Улога унутрашње каротидне артерије јесте да доводи крв у мозак, док спољашња има улогу да доводи крв у лице и врат.



Слика 1.2. Усходна аорта и аортни лук [2]

1.1.3 Нисходна грудна аорта

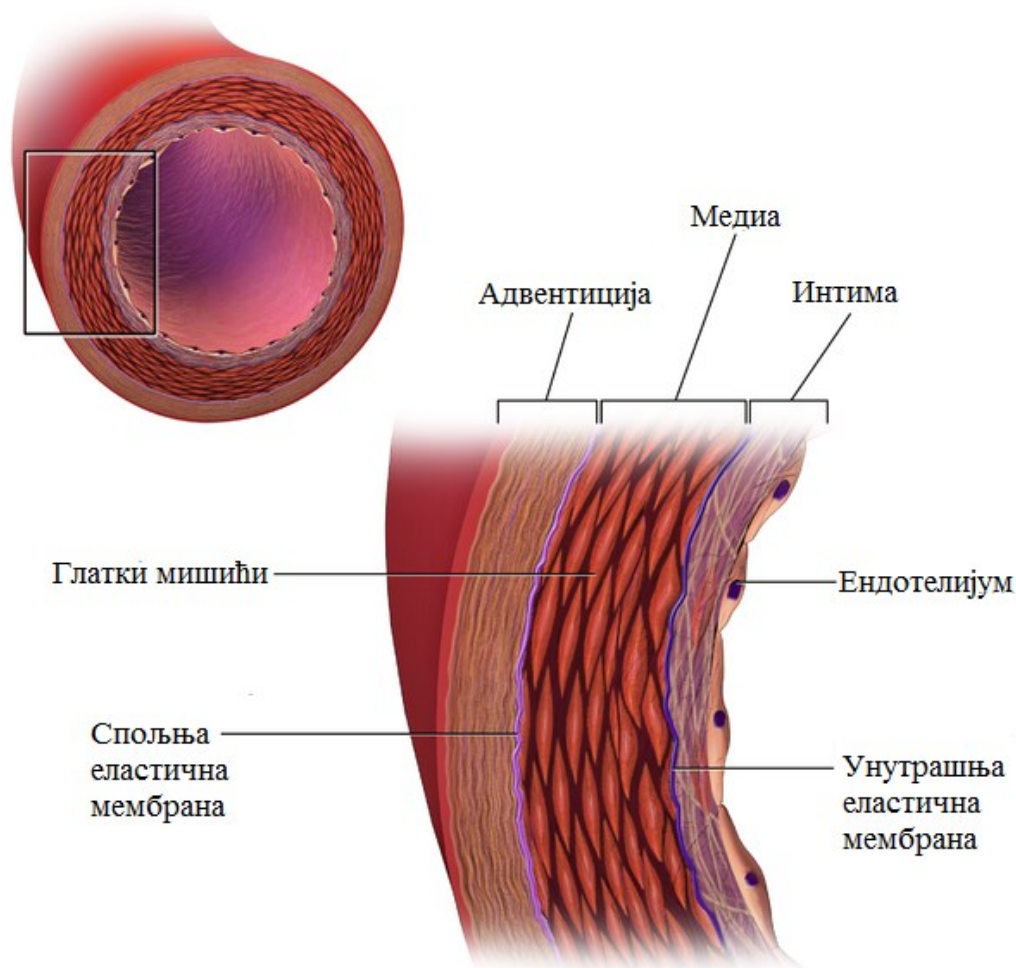
Нисходни део аорте, или *aorta descendens*, пролази кроз две дупље, грудну и трбушну. Та два дела нисходног дела аорте су раздвојени дијафрагмом на горњи, грудни део, и доњи, трбушни део (абдоминални део). Грудни део се на путу ка дијафрагми грана на две врсте артерија. Прву групу чине артерије које иду до појединих органа који су смештени у грудној дупљи попут плућа (бронхијална грана), срчане кесе (једњачна грана), итд. Другу групу чине артерије које исхрађују зидове грудног коша, којих има десет пари (леве и десне).

1.1.4 Абдоминални део аорте

Абдоминални део аорте, односно део аорте у трбушној дупљи се у нивоу четвртог слабинског пршљена (пршљенови између грудног коша и карлице [3]) грана на леву и десну илијачну артерију (слика 1.1). И леве и десна илијачна артерија се деле на унутрашњу и спољашњу илијачну артерију. Унутрашња илијачна артерија, или хипогастрична артерија, исхрађује зидове и органе мале карлице, док спољашња силази до препонске везе и постаје бутна артерија или *femoralis*.

1.2 Грађа зида аорте

Зидови свих крвних судова, па самим тим и аорте, изграђени су од три различита ткива: танки спољни слој (*adventitia*), средњи, дебљи слој (*media*) и унутрашњи, танак слој (*intima*) [4]. На слици 1.3, приказана је грађа зида аорте са назначеним слојевима.



Слика 1.3. Графички приказ грађе зида аорте са издвојеним позицијама [7]

1.2.1 Адвентиција

Адвентиција представља спољашњи слој артерија који прекрива средњи слој, медију, од које је одвојен спољњом еластичном мембраном. Углавном је сачињен од колагенских влакана, односно колагена чија је основна улога да крвни суд причврсти за орган и тиме суду да стабилност, које формирају фиброзно влакно. У неоптерећеном стању, и када је изложена ниским притисцима, адвентиција има знатно нижу чврстоћу у односу на медиу. Разлог овога је зато што су колагенска влакна у том стању скупљена и распоређена у хеликалне структуру. Међутим, при вишим притисцима, колагенска влакна се издужују, и тиме се адвентиција претвара у чврст омотач. Према томе, колагенска влакна спречавају прекомерно истезање артерија.

1.2.2 Медиа

Медиа представља средњи слој артерија, и налази се између адвентиције и интима од којих је одвојена спољашњом и унутрашњом еластичном мембраном. У случају артерија, медиа је најдебљи слој крвног суда, који се састоји од мреже глатких влакана, која изграђују глатке мешиће, мреже еластичних и колагенских влакана и еластичне ламине којом се, овај слој, раздваја у више влакнасто – ојачаних слојева. Веза и оријентација између еластина, колагена и глатких мишићних ћелија заједно чине континуални фиброзни хеликс који има мала померања, што даље резултује кружну оријентацију влакана у средини медије. Овакав структурни распоред обезбеђује медији велику чврстоћу, еластичност као и способност да издржи оптерећења. Према томе, медиа, са механичне тачке гледишта, представља најзначајнији слој здраве артерије.

1.2.3 Интима

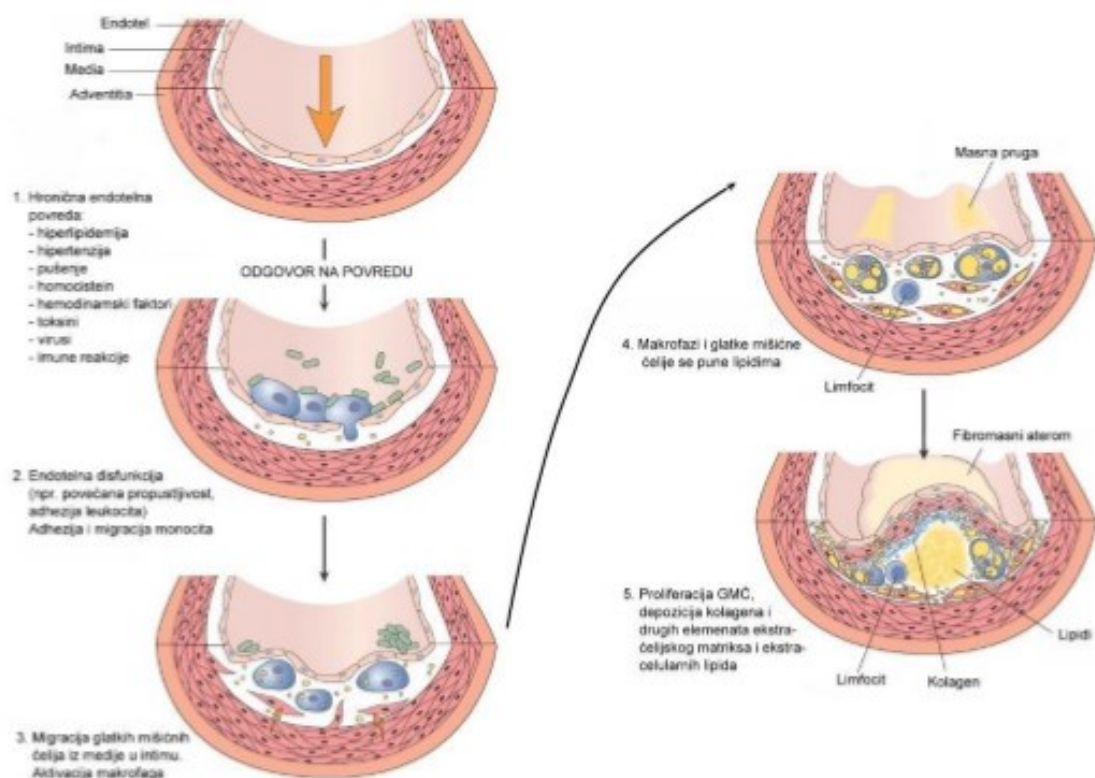
Интима представља унутрашњи слој артерија који је сачињен од ћелија ендотелијума, при чему постоји и субендотелни слој чија дебљина зависи од старости и болести. У случају здраве особе, интима је веома танка, и, као таква, не доприноси механичким особинама ткива зида артерије. Са старењем, масне насlage и калцијум се таложи у субендотелном слоју чиме се дебљина самог слоја интима повећава. Резултат овога је додатан допринос интима у механичким карактеристикама ткива зида артерија, али и настанак артеросклеротичног плака.

1.3 Болести артерија

Болести артерија представљају углавном болести дегенеративног типа, при чему се дегенеришу ћелије у самом зиду аорте. У најчешће болести које захватају аорту спадају анеуризме аорте, дисекција аорте, артеросклероза, итд. Главни резултат болести артерија представља смањење протока крви кроз артерију, као и задебљање зида артерија, сужење пречника артерије као и њено повећање.

1.3.1 Артеросклероза

Атеросклероза је прогресивна болест коју карактерише акумулација липида и влакнастих елемената у зидовима артерија, односно акумулација плака (слика 1.4). Услед акумулације плака долази до сужавања лумена артерије, при чему је најопасније сужавање главног стабла леве коронарне артерије, чиме се спречава нормалан доток крви до одређеног дела срчаног мишића. При великом физичком напору, односно када се повећа потреба срчаног мишића за кисеоником, оболеле (сужене) артерије не могу да допреме довољно крви једном делу срца. У ћелије, које у току метаболизма остану без кисеоника, нагомилава се лактат (млечна киселина) који надражује нерве у срцу при чему ће оболела особа осетити јак бол у грудима познатији као ангинозни бол.



Слика 1.4. Графички приказ акумулације и развоја плака [4]

1.3.2 Анеуризма

Анеуризма је дегенеративна болест која узрокује појаву локализованог, крљу испуњеног, мехура у зиду крвног суда. Код ове болести, ткиво артерије губи своју еластичност, слаби, па према томе и слабије врши контракције. Осим урођених болести везивног ткива као што су Марфанов или Ехлер – Данлосов синдром, које могу узроковати, односно бити основа за настанак анеуризме, анеуризма може настати и дегенеративним путем, старости и понекад инфекција.

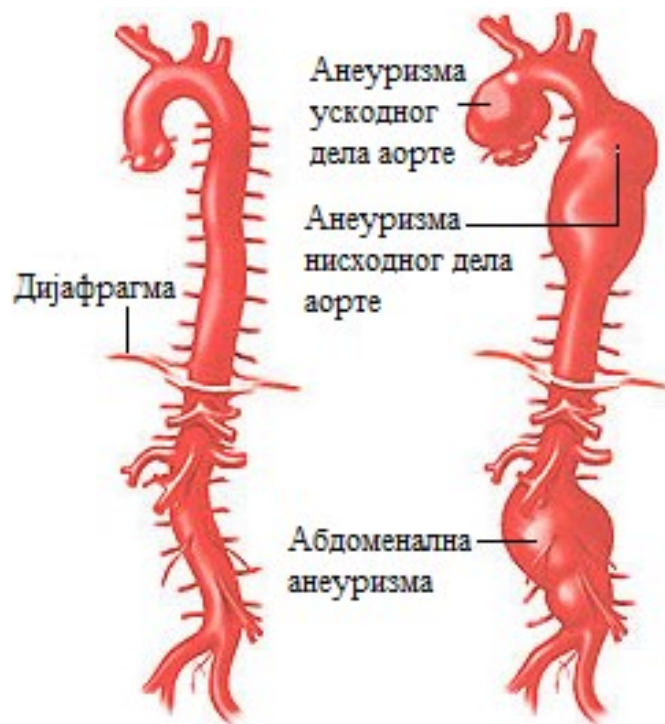
Услед повећања пречника артерије, сила притиска на зид артерије расте. Овај проблем, у случају не лечења болести, може узроковати руптуру артерије, што се углавном завршава смрћу.

1.3.2.1 Подела анеуризми

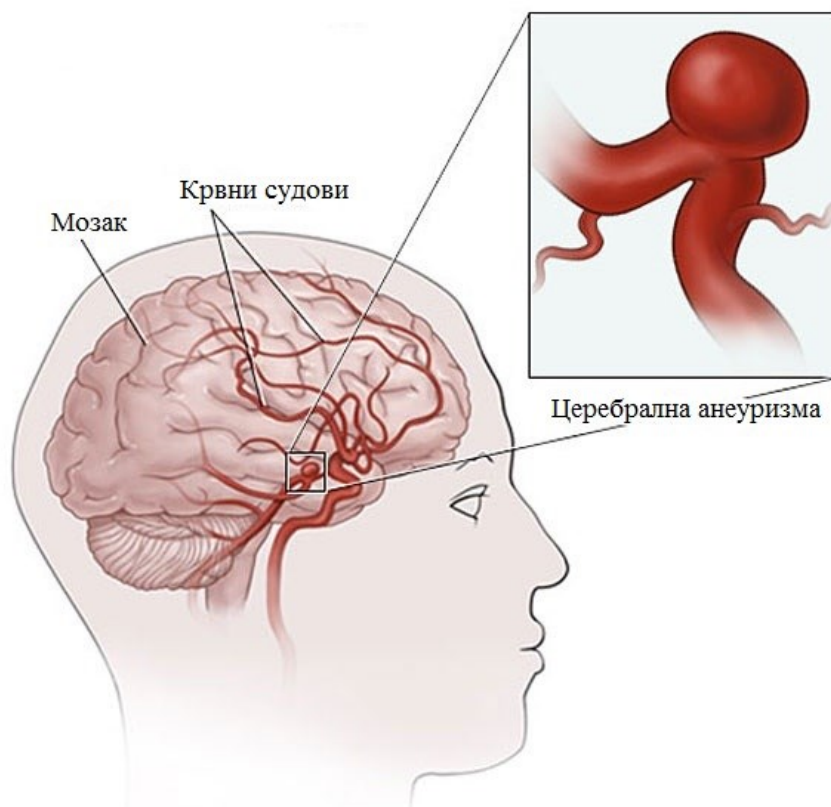
Права анеуризма је она која захвата сва три слоја зида артерија, односно адвеницију, медиу и интиму. Остале врсте анеуризми захватају најчешће само један слој зида артерије. Такође, постоје и псеудоанеуризме, или лажне анеуризме, које представљају анеуризме настале услед излива крви из артерије на местима где се артерија налази уз ткиво. Ово резултује појаву мехура који ће се претворити у тромб, или ће руптирати, чиме ће се крв излити у околна ткива.

Анеуризма углавном настаје на аорти, при чему разликујем следеће анеуризме: анеуризма корона аорте, усходне аорте, аортног лука, нисходног дела аорте и абдомена аорте. Такође, према неким поделама, у анеуризме се сврстава и дисекција аорте која представља цепање интима аорте услед протока крви под високим притиском. Осим

анеуризми које настају на аорти, анеуризме могу настати и у околини мозга, на делу каротидне артерије, при чему се то назива церебрална анеуризма (слика 1.6). На слици 1.5, приказане су неке од претходно поменутих анеуризама аорте.



Слика 1.5. Анеуризме аорте [9]



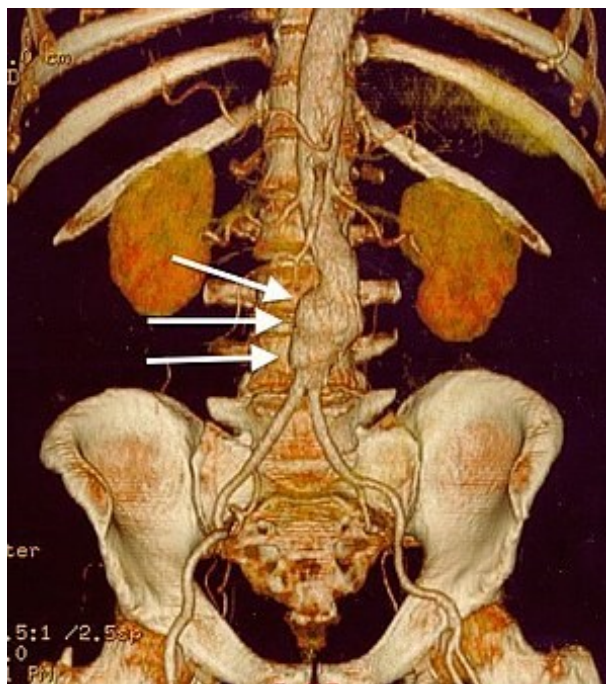
Слика 1.6. Графички приказ церебралне анеуризме [10]

1.3.2.2 Аорта са абдоминалном анеуризмом (ААА)

Анеуризма, као што је већ наглашено, представља дегенеративну болест која углавном захвата аорту и неке артерије. Услед губитка еластичности ткива зида аорте у абдоминалном делу, као и услед старости и још неких фактора, ствара се погодно подручје за стварање ААА (слика 1.7). Анеуризма на абдоминалној аорти представља увећање пречника аорте више од 50 % од њеног нормалног пречника. Као што је претходно показано на слици 7, абдоминална анеуризма се налази на трбушном, односно абдоминалном делу аорте, по чему је ова болест и добила име. Углавном, ова анеуризма нема никакве симптоме, осим могућег повремениог бола у абдоминалном делу леђа као и бола у ногама. У случају руптуре анеуризме, ствара се бол у абдоминалном делу леђа, могућ губитак свести услед губитка притиска, и углавном се завршава смрћу.

Анеуризма на абдоминалном делу аорте се јавља углавном код особа које имају 50 и више година, и код људи који имају генетску подлогу за развој ове дегенеративне болести. Додатни фактори који утичу на појаву и развој ААА, осим старости, представљају пушење, висок крвни притисак као и друге болести које захватају срчани мишић и крвне судове.

Анеуризма се углавном класификује према величини на мале дијаметра <30 mm, средње 30 mm – 50 mm и велике >50 mm. Као што је већ наглашено, оваква класификација није поуздана, а разлог за то је што постоје индивидуе код којих анеуризми дијаметра >50 mm није руптирала, а такође и индивидуе код којих је анеуризма пречника 30 mm руптирала. Такође, ова класификација не узима у обзир еластичност крвног суда индивидуе као ни смицајни напон, који се јавља на зиду анеуризме, односно аорте. Према томе, може се закључити да је критични смицајни напон на зиду аорте најпогоднији као фактор ризика руптуре ААА.



Слика 1.7. Анеуризма на абдоминалном делу аорте [11]

1.3.3 Дијагностиковање и лечење AAA

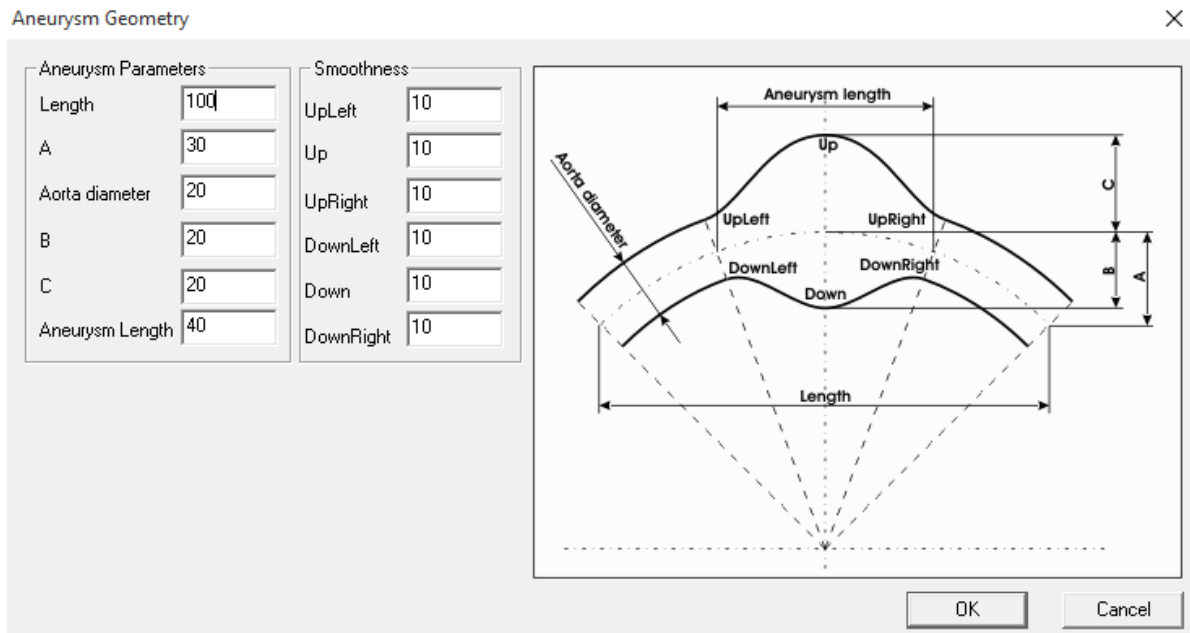
Дијагностиковање анеуризме на абдоминалном делу аорте, као дегенеративне болести, је углавном неизводљиво чистим физичким прегледом пацијента. У случају мршавих индивидуа, који имају велику анеуризму, анеуризма се може опипати физичким прегледом односно притискањем абдомена пацијента. У осталим случајевима, AAA се открива, углавном, неинвазивним методама као што су ултразвук, СТ (компјутерска томографија), MRI (магнетна резонанца) и хелични СТ и СТА (компјутерско томографска ангиографија).

Што се тиче лечења AAA, не постоје неинвазивне методе које би могле да спрече настајање, или излече већ насталу анеуризму. Што се тиче инвазивних метода, могуће је уклонити анеуризму хируршким путем, најпре убацивањем стента на место где се AAA налази, и потом одстрањивањем дегенерисаног ткива.

1.3.4 Генерисање модела AAA у софтверу CAD

Као што је већ поменуто, модели AAA су генерисани у софтверу CAD који помоћу солвера PAKF генерише .unv фајл који у себи садржи податке о моделу укључујући расподелу смицајних напона на зиду аорте по чворовима мреже која је генерисана.

При генерисању модела у CAD – у, потребно је унети геометријске параметре аорте са абдоминалном анеуризмом (слика 1.8). У случају модела употребљених у овом раду, параметри који ће се мењати су дужина аорте (Length) и параметри анеуризме (A, B, C и Aneurysm Length) док остали параметри са слике 8 остају непромењени. Опсег вредности ових параметара су приказане у табли 1.1. Такође је узета у обзир густина крви као $\rho = 1,05 \text{ g/cm}^3$, као и њена кинематска вискозност као $\nu = 0,035 \text{ cm}^2/\text{s}$.



Слика 1.8. Еитовање геометрије у софтверу CAD

Табела 1.1. Опсег вредности параметара

Параметри	Вредности [mm]
Дужина аорте	100 – 240
A	0 – 30
B	14 - 30
C	14 - 30
Дужина анеуризме	60 - 150

По генерисању модела, у софтверу CAD, потребно спровести FEM анализу кроз претходно поменути солвер PAKF који генерише претходно поменути .UNV фајл.

Софтвер PAK представља солвер за FEM анализу, који се развија на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. Цео солвер служи за анализу модела у разним гранама компјутеризоване механике. Овај софтвер за своју теоријску подлогу користи комплексу механику коначних елемената чиме се постиже његова прецизност и поузданост. Софтверски пакет се састоји од више мањих програмских пакета који су имплементирани за разне гране компјутеризоване механике. Према томе имамо PAK – S који служи за решавање проблема у механици солида, PAK – F, за механику флуида, итд.

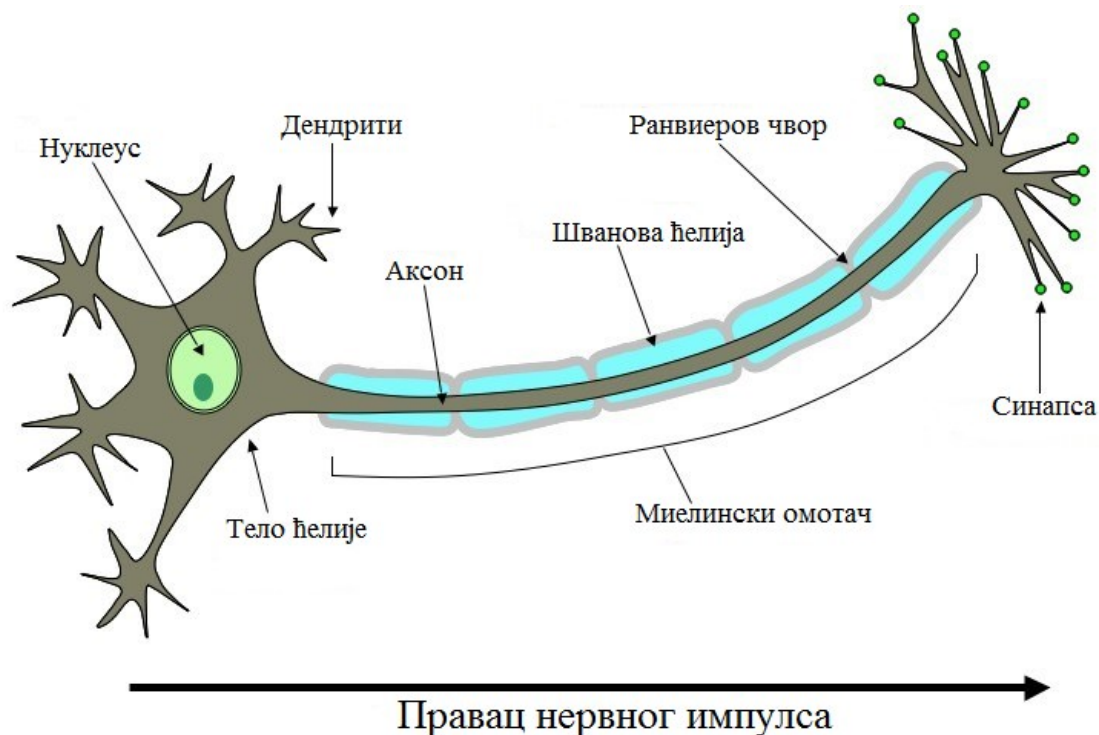
По генерисању UNV фајлова за свих 100 модела, због временског фактора, направљена је скрипта у програмском језику Python (Прилог 1), која има улогу да пронађе вредности максималног смицајног напона на зиду генерисаног модела аорте као и координате чвора (x, y и z) у коме се тај напон налази. Програм потом генерише .m фајл помоћу кога се улазни и излазни параметри увозе у софтвер у коме је неуронска мрежа конструисана.

2 Неуронске мреже

Неуронске мреже представљају компјутеризоване моделе чија је структура и функција базирана на биолошким неуронским мрежама. Информације које протичу кроз неуронску мрежу утичу на њену структуру. Разлог мењања неуронске мреже је тај што она на основу својих улазних и излазних података „учи“ односно прилагођава се на основу тих података.

2.1 Неурони

Нервни систем је део организма који служи за координацију различитих биолошких функција тако што шаље сигнале у различите делове тела. Ћелије унутар нервног система које су заслужне за транспортовање тих сигнала се називају неурони, стога, неурони представљају основну радну јединицу унутар мозга. Неурони (слика 2.1) представљају динамички поларизоване ћелије чија је улога електрохемијског трансфера информација кроз нервни систем. У мозгу сисара се претпоставља да постоји између 100 милиона и 100 милијарди неуронских ћелија.



Слика 2.1. Грађа неурона [12]

Сваки неурон код сисара се састоји од тела ћелије, унутар кога се налази нуклеус, дендрита и аксона који се надовезују на тело ћелије. Дендрити представљају разгранате структуре које се настављају на тело ћелије. Основна улога дендрита је прикупљање информација од других неурона путем конекције са синапсама које се налазе на крају аксона. На тело ћелије се наставља и аксон чија је основна улога да спроводи електрични нервни импулс од тела ћелије до синапси. На аксону се налазе Шванове ћелије које су задужене за лучење миелина и формирање миелинског омотача чија је улога штите аксон од оштећења. Простор између два дела миелисног омотача се

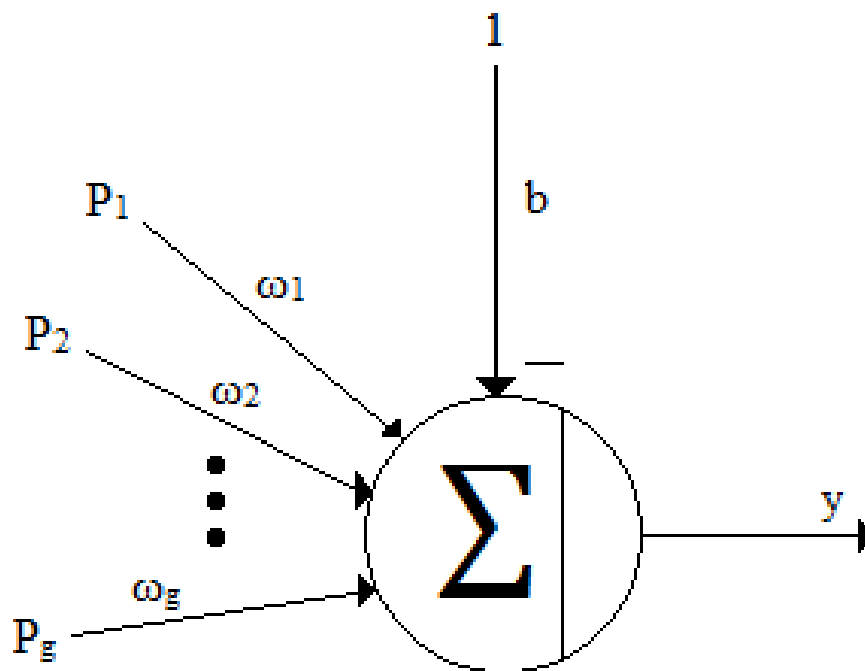
назива Ранвиеров чвор. На крају аксона се налазе синапсе чија је улога та трансмитију електрични импулс са једног неурона на други чиме се врши пренос информација. Повезивањем неурона гради се неуронска мрежа која представља систем за пренос информација.

2.2 Вештачки неурони и неуронске мреже

Налик на биолошке неуронске мреже, и вештачке неуронске мреже (*artificial neural network – ANN*) имају улогу да преносе податке са неурона на неурон приликом чега се неуронска мрежа обучава на основу својих улазних и излазних података. Разлика између биолошке и вештачке неуронске мреже, и неурона од којих су оне састављене, представља степен сложености структуре и организације мреже која је у случају вештачких неуронских мрежа на знатно нижем степену од биолошких мрежа.

2.2.1 Вештачки неурони

Вештачки неурони, налик на биолошке неуроне, представљају основну радну јединицу вештачких неуронских мрежа. Све моделе вештачких неурона могуће је сврстати у две групе, статичке и динамичке. На слици 2.2 је дат модел статичког неурона, при чему је P – улазни сигнал, ω – тежински коефицијент, b – праг активације а у представља излаз неурона.



Слика 2.2. Модел статичког неурона

Производ улазног сигнала P и тежинског коефицијента представља потенцијал неурона, односно активациони сигнал. Према томе, активациони сигнал за неурон представљен на слици 2.2 је:

$$\theta = \sum_{i=1}^g P_i \omega_i \quad (2.1)$$

Ако са n означимо:

$$n = \theta - b = \sum_{i=1}^g P_i \omega_i - b \quad (2.2)$$

Излазни сигнал из неурона је y је једнак функцији од n , односно:

$$y = f(n) = f\left(\sum_{i=1}^g P_i \omega_i - b\right) \quad (2.3)$$

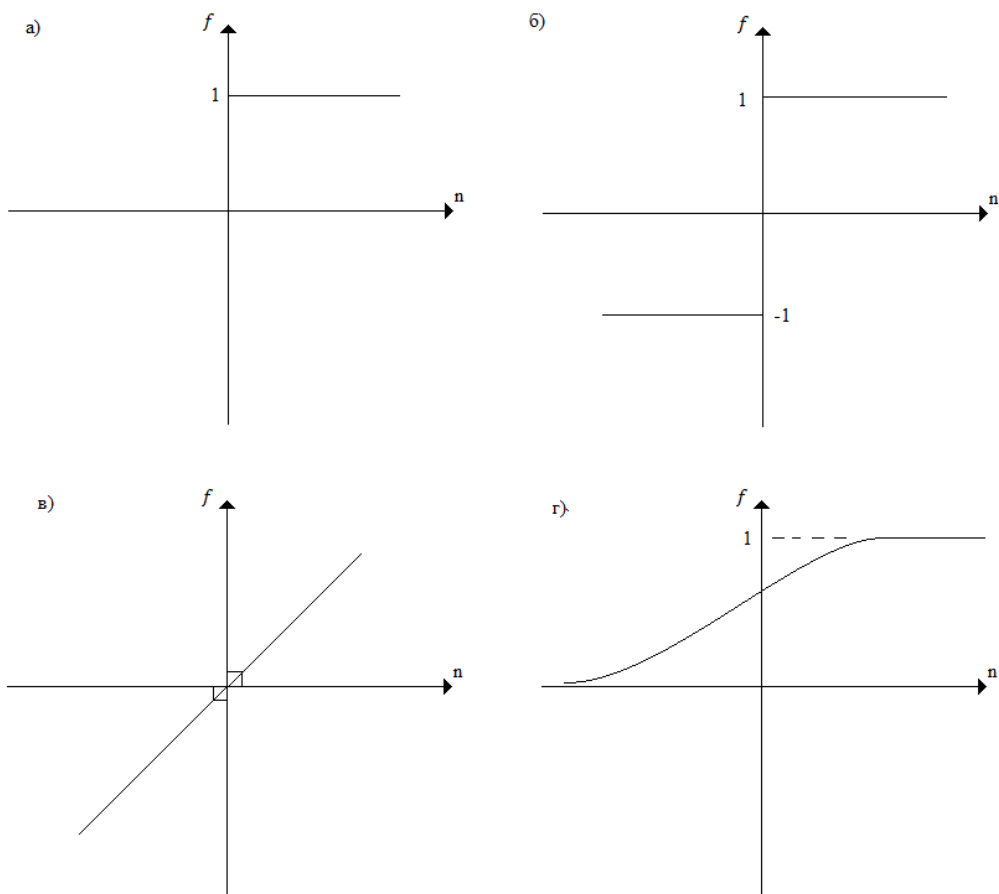
при чему функција f може бити линеарна и нелинеарна.

Неки од могућих облика активационе функције f дати су на слици 2.3. На слици 2.3 а) и б) су дате одскочне активационе функције облика:

$$f(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \\ 0, & n \leq 0 \end{cases} \text{ и } f(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq n \\ -1, & n \leq 0 \end{cases}$$

На слици 2.3 в) дата је линеарна функција облика $f(n) = n$, док је на слици 2.3 г) дата сигмоидна функција облика:

$$f(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}}$$



Слика 2.3. Могући облици активационе функције

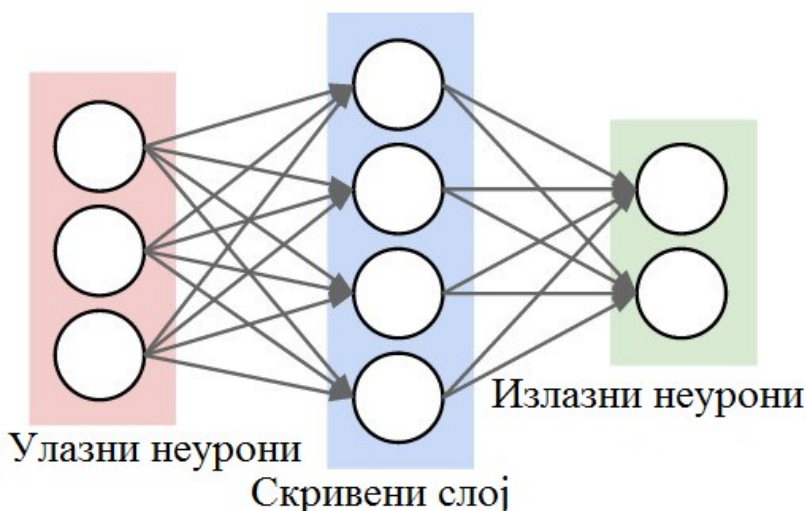
2.2.2 Вештачке неуронске мреже

Под вештачком неуронском мрежом се подразумева нелинеарна статичка алатка за моделирање података у којој се формирају комплексне везе између улаза и излаза. Једна од основних карактеристика ANN јесте да учи само из посматрања сета података без коришћења компјутерских алгоритама од случаја до случаја. На пример, у компјутерској графици, ANN може научити да препознаје да ли се на слици налази неки детаљ, на пример лопта. То би се извело тако што би се као улазни дата сет поставио скуп слика, а као излазни само сет података који ће рећи да ли се на слици налази или не налази лопта. Неуронске мреже налазе највећу примену у апликацијама код којих је тешко изразити се традиционалног компјутерског алгорита који користи програмерски код.

Главни циљ неуронске мреже је да реши проблем исто онако како би га људски мозак решио. На самом почетку развоја, неуронске мреже су биле фокусиране на поклапању њених карактеристика са специфичним менталним способностима. Међутим, у циљу даљег развоја неуронских мрежа по питању њихове прецизности, одређени биолошки принципи су занемарени, што је условило принцип бекпропагације, односно стварање неуронске мреже са повратним везама, која омогућава неуронима да информацију враћају у претходни слој, чиме се мрежа додатно мења.

Као и биолошке неуронске мреже, неуронске мреже се састоје од вештачких неурона, при чему се између било која два неурона, који се налазе у различитим слојевима мреже, такође преносе информације. Неурон који прима информацију, га процесуира и прослеђује следећем неурону у низу, односно неуронима који су везани за њега.

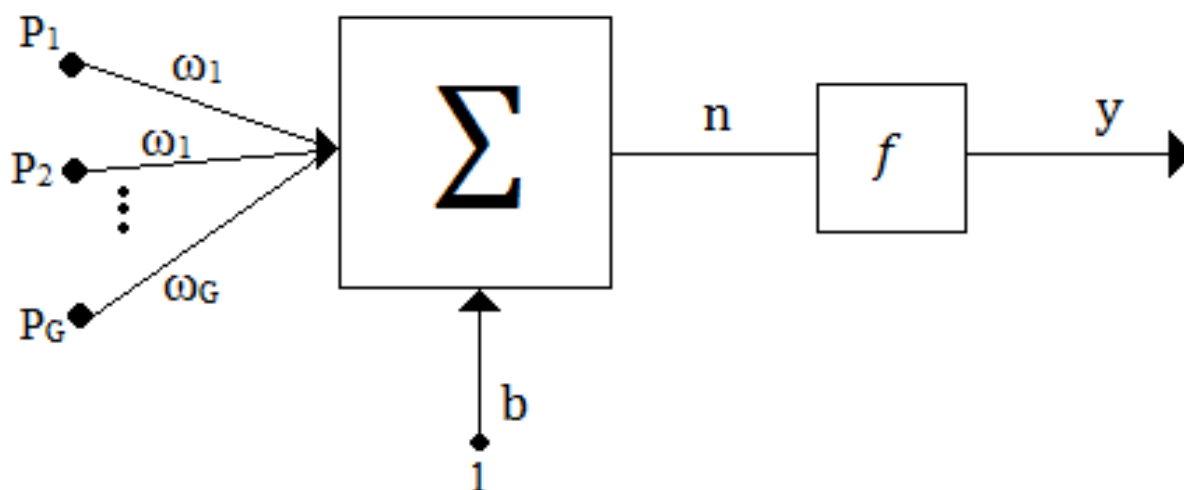
Постоје две класе неуронске мреже: мреже без и са повратним везама, односно нерекурентне и рекурентне мреже, респективно. Поједностављена структура неуронске мреже без повратних веза дата је на слици 2.4, при чему се може видети да се неуронска мрежа састоји од три слоја, односно улазног, скривеног и излазног слоја неурона.



Слика 2.4. Графички приказ структуре неуронске мреже без повратних веза [12]

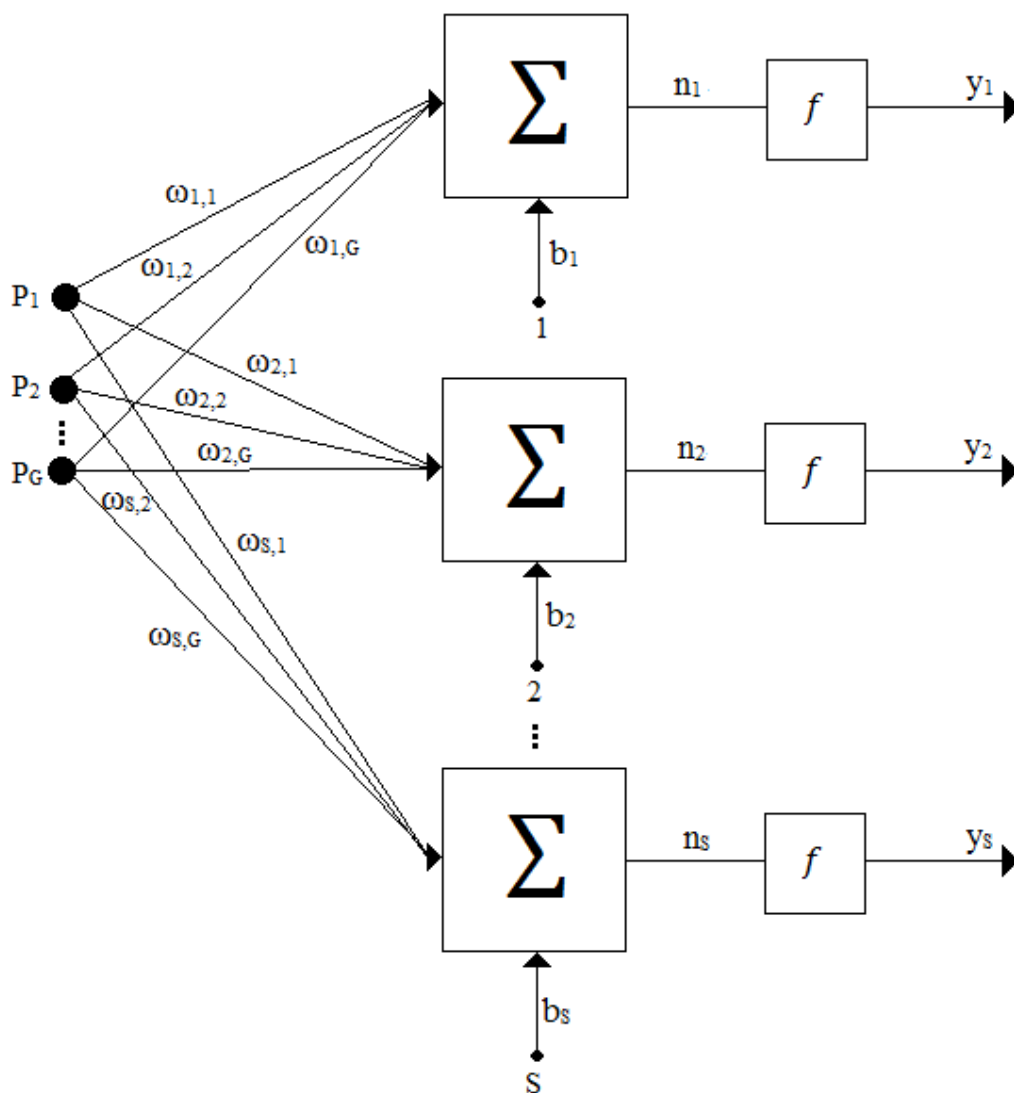
Улазни слој неуронске мреже чине улазни неурони који први добијају своје улазне информације. На њима се потом иницијализују тежински коефицијенти и путем, претходно поменуте, активационе функције се информације са њих шаљу у следећи слој неурона назван скривени слој. Број неурона у улазном слоју зависи од броја различитих информација које се доводе на улаз. Скривени слој заправо чине сви неурони који се налазе између улазног и излазног слоја. Број неурона у скривеном слоју зависи од броја неурона на улазу и излазу из мреже, па је минималан број неурона у скривеном слоју за 1 неурон већи од збира неурона на улазу и излазу из мреже. По трансформацији информације у скривеном слоју, те информације се шаљу у излазни слој. Број неурона у излазном слоју, по истом принципу као и код улазног слоја, зависи од броја различитих параметара која мрежа мора да тренира и посматра.

Године 1958. Франк Росенблат је први употребио термин перцептрон покушавајући да објасни различите моделе неуронских мрежа, при чему се подразумева да се перцептрон понаша исто као и неурон дат на слици 2.2 [6]. На слици 2.5 је приказан перцептрон са G улаза и једним излазом. Сада је могуће приказати слој неурона који се назива једнослојни перцептрон. На слици 2.6 приказан је поменути једнослојни перцептрон са S перцептрона који имају по један излаз и G улаза.



Слика 2.5. Структура перцептрона

Са слике 2.5 се може видети да, осим истог понашања, перцептрон и неурон имају исту структуру при чему опет P представља улаз, ω представља тежински коефицијент, b представља праг активације, n је представљен једначином 2.2, а излаз y је представљен једначином 2.3.



Слика 2.6. Једнослојни перцептрон

Са слике 2.6 се, аналогно образцима 2.1 – 2.3, могу извести следећи образци:

- Активациони сигнал i – тог перцептрона:

$$\theta_i = \sum_{j=1}^G P_j \omega_{i,j} \quad (2.4)$$

- Са променљивом n се представља разлика активационог сигнала и активационог прага i – тог перцептрона:

$$n_i = \sum_{j=1}^G P_j \omega_{i,j} + b_i \quad (2.5)$$

- Излаз i – тог перцептрона:

$$y_i = f(n_i) = f\left(\sum_{j=1}^G P_j \omega_{i,j} + b_i\right) \quad (2.6)$$

Ако са W представимо матрицу (једначина 2.7) која садржи све тежине, а са B матрицу (једначина 2.8) која садржи све активационе прагове, излаз једнослојног перцептрона се може представити једначином 2.9.

$$W = \begin{bmatrix} \omega_{1,1} & \omega_{1,2} & \cdots & \omega_{1,G} \\ \omega_{2,1} & \omega_{2,2} & \cdots & \omega_{2,G} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \omega_{S,1} & \omega_{S,2} & \cdots & \omega_{S,G} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

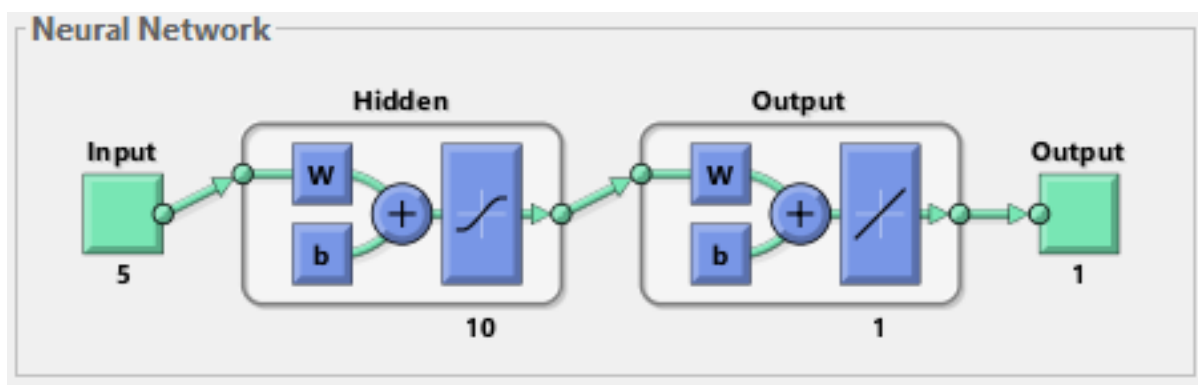
$$B = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_S \end{bmatrix} \quad (2.8)$$

$$Y = f(WP + B) \quad (2.9)$$

2.3 Креирање неуронске мреже

Као што је већ поменуто у претходном одељку, неуронска мрежа мора имати своје улазне и излазне податке како би се знао минималан број неурона у скривеном слоју. Из одељка 1.3.4 се може закључити да постоји 5 улазних параметара (геометрија ААА), и 4 излазна параметра (максимални напон на зиду аорте и координате x , y и z). Како је број излаза велики, направљене су 4 различите неуронске мреже. Из претходно наведених чињеница, може се закључити да је минимални број неурона у скривеном слоју 7.

Због малог броја улаза (100, како је то наведено у одељку 1.3.4), коришћен је принцип кросвалидације којим се број модела дели на n број делова. Један од тих делова се узима за тестирање, док се осталих $n - 1$ користи за тренирање. Тренирање неуронске мреже се понавља n пута, при чему се сваки пут других 10 модела користи за тестирање. У овом случају, како је то показано на примеру креирање неуронске мреже (Прилог 2 (напони) и 3 (координата x)), коришћена је десетофолдна кросвалидација, како би се добили што боља предвиђања. Структурни дијаграм креирање неуронске мреже приказан је на слици 2.7.



Слика 2.7. Структурни дијаграм креирање неуронске мреже

Главни параметар за рачунање тачности предвиђања неуронске мреже је релативна апсолутна грешка која се рачуна према једначини 2.10, где p представља тачност модела, a представља предвиђене излазе, b представља добијене излазе из програма CAD.

$$p = \frac{\sum |a - b|}{100} \quad (2.10)$$

3 Резултати

У табели 3.1 представљени су предвиђени и израчунати напони за неке од резултата.

Табела 3.1. Резултати предвиђања напона

Предвиђени напони [Pa]	Израчунати напони [Pa]	Апсолутна грешка	Прецентуална грешка %
0.118582658248576	0.118457715643	0.000124942614575823	0.10547
0.126053374796077	0.125251037786	0.000802337010076926	0.64058
0.104710557887551	0.104636680310	0.00007387757744938	0.07060
0.109285484613271	0.109013180448	0.000272304165271325	0.24979
0.116250370385474	0.116005023751	0.000245346634525814	0.21149
0.120222810717955	0.119261353404	0.000961457313955194	0.80617
0.119803323092908	0.114833026333	0.00497029676009182	4.32828
0.117197206667634	0.116310767936	0.000886438731634062	0.76212
0.116806708817945	0.116727998926	0.0000787098919449725	0.00674
0.118829787865676	0.117946343945	0.000883443920324231	0.74902
0.131960053871137	0.131867417580	0.0000926362911372325	0.07024
0.145123903941121	0.145056988874	0.0000669150668790586	0.04613

При прорачуну је добијена средња апсолутна грешка 0,0011.

У табели 3.2 представљена је предвиђена и израчуната координата X за неке од резултата.

Табела 3.2. Резултати предвиђања координате X

Предвиђено X [mm]	Израчунато X [mm]	Апсолутна грешка	Процентуална грешка %
5.05702391860896	4.911602165	0.145421753335488	2.96078
3.56996105663862	3.199862236	0.370098820910124	11.56608
3.11362250138229	2.035908408	1.07771409386094	52.93529
4.37386320943301	4.21301296	0.160850249343815	3.81793
2.99167087750271	3.21065906	0.218988182113046	6.82066
6.75130725326340	6.679597918	0.0717093348416933	1.07355
4.39412282257390	4.4372484012	0.0216388109267571	0.49488
4.40957002769607	4.302451244	0.107118783402969	2.48971
3.68588259503149	3.040601208	0.645281387507403	21.22216
4.63659085417484	4.329055816	0.307535037696574	7.10397
3.53584259876819	2.730649526	0.805193073212204	29.48723
2.93817438039671	2.32188484	0.616289540790548	26.54264
3.85820063957610	3.594669207	0.26353143298325	7.33117

При прорачуну је добијена средња апсолутна грешка 0,603.

Слични резултати се добијају и за Z координату, чија је средња апсолутна грешка 0,168.

У табели 3.3 представљена је предвиђена и израчуната координата Y за неке од резултата.

Табела 3.3. *Резултати предвиђања координате Y*

Предвиђено Y [mm]	Израчунато Y [mm]	Апсолутна грешка	Процентуална грешка %
27.031	36.121	9.089	25.16
36.014	35.321	0.693	1.96
27.672	27.869	0.196	0.7
39.995	40.531	0.535	1.31
18.414	17.824	0.590	3.31
21.135	21.543	0.407	1.88
31.695	31.637	0.058	0.18
41.587	36.463	5.124	14.05

Закључак

Све већа примена неуронских мрежа ради скраћења како експерименталних, тако и аналитичких поступака израчунавања максималног смицајног напона, доводи до све већег развоја овог дела науке. У раду је представљено подучавање неуронских мрежа за предвиђање критичног смицајног напона на зиду аорте са абдоменилном анеуризмом. Креирана мрежа показала је релативно прецизне резултате у погледу предвиђања како критичног смицајног напона тако и координата.

Мали број, или недостатак података код неуронских мрежа може узроковати велике грешке при тренирању, што се може видети и код X и код Y координате. Такође, постојећа неуронска мрежа се може и даље тренирати и оптимизовати ради добијања прецизнијих резултата, односно мање грешке праћења координате, с' обзиром да је предвиђање смицајног напона на зиду аорте са абдоминалном анеуризмом релативно прецизно. Ради прецизнијег предвиђања координата пожељно је употребити већи број улазних података као и модела ААА.

Литература

- [1] <https://my.clevelandclinic.org/health/articles/aortic-aneurysm>, преузето 20.09.2017.
- [2] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Gray506_hr.svg, преузето 20.09.2017.
- [3] https://bs.wikipedia.org/wiki/Slabinski_pr%C5%A1ljenovi, преузето 20.09.2017.
- [4] Филиповић Н., *Основи биоинжењеринга*, Факултет Инжењерских наука у Крагујевцу, Крагујевац, 2012.
- [5] *Gray's Anatomy of the Human Body*, 20th ed. 1918.
- [6] Ранковић В., *Интелигентно управљање*, Машински факултет у Крагујевцу, I издање, Крагујевац, 2008.
- [7] http://www.wikiwand.com/en/Tunica_intima, преузето 20.09.2017.
- [8] *European Heart Journal, ESC Guidelines on the diagnosis and treatment of aortic diseases*, 2014.
- [9] <http://www.qldvascular.com.au/thoracic-aortic-aneurysm>, преузето 21.09.2017.
- [10] <https://www.pinterest.com/soomSaudi/medecine/?lp=true>, преузето 21.09.2017.
- [11] https://en.wikipedia.org/wiki/Abdominal_aortic_aneurysm, преузето 27.09.2017.
- [12] <https://www.thinglink.com/scene/574666770737004545>, преузето 27.09.2017.
- [13] <http://cs231n.github.io/neural-networks-1/>, преузето 27.09.2017.
- [14] Филиповић Н., Ивановић М., Крстајић Д., Којић М., *Hemodynamic Flow Modeling Through An Abdominal Aorta Aneurysm Using Data Mining Tools*
- [15] <https://www.mathworks.com/help/stats/regressionpartitionedmodel-class.html>, преузето 29.09.2017.

Прилог 1

```
rezultat = open("izlaz.m", "w+")

import math

for d in range(100):

    a = open(str(d+1)+"\\" + "pakf.unv", 'r')

    zastavica = False

    k = 0

    n = 0

    j = 0

    naponii = []

    cvorovi = []

    koordinate = []

    for linija in a:

        k += 1

        if ((k >= 3) and (k <= 377)):

            koordinate.append(linija.split())

        if ((k >= 28097) and (k < 28097+750)):

            if (n == 1):

                napon = 0

                for vrednost in linija.split():

                    napon += float(vrednost) * float(vrednost)

                naponii.append(math.sqrt(napon))

                n = 0

            else:

                cvorovi.append(int(linija))

                n += 1
```

```

a.close()

print "Maksimalni napon je: " + str(max(naponii))

print str(cvorovi[naponii.index(max(naponii))])

rezultat.write(str(max(naponii)) + ', ' + koordinat[cvorovi[naponii.index(max(naponii))]-1][4] + ';' + koordinat[cvorovi[naponii.index(max(naponii))]-1][5] + ';' + koordinat[cvorovi[naponii.index(max(naponii))]-1][6] + '\n')# + str(cvorovi[naponii.index(max(naponii))]) + "\n")

rezultat.close()

```

Прилог 2

```
x = inputs';
t4 = outputs4';

NoOfFolds = 10;
indices4 = crossvalind('kfold',t4,NoOfFolds);
a4 = [];
performance4 = zeros(1,NoOfFolds);

for i=1:NoOfFolds
    INPUT_TRAIN4 = x(:,indices4~=i);
    OUTPUT_TRAIN4 = t4(indices4~=i);

    INPUT_TEST4 = x(:,indices4==i);
    OUTPUT_TEST4 = t4(indices4==i);

    trainFcn = 'trainbr';

    hiddenLayerSize = 10;
    net4 = fitnet(hiddenLayerSize,trainFcn);

    net4.input.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};
    net4.output.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};

    net4.divideParam.trainRatio = 1;
    net4.divideParam.valRatio = 0;
    net4.divideParam.testRatio = 0;

    net4.performFcn = 'mse';

    [net4,tr4] = train(net4,INPUT_TRAIN4,OUTPUT_TRAIN4);

    y4 = net4(INPUT_TEST4);
    e4 = gsubtract(OUTPUT_TEST4,y4);
    performance4(i) = perform(net4,OUTPUT_TEST4,y4);
    eror4 = abs(y4 - OUTPUT_TEST4);
    a4 = [a4,eror4];
end

perf41 = mean(a4);
perf4 = mean(performance4);
```

Прилог 3

```
x = inputs';
t1 = outputs1';

NoOfFolds = 10;
indices1 = crossvalind('kfold',t1,NoOfFolds);
performancel = zeros(1,NoOfFolds);
a1 = [];

for i=1:NoOfFolds
    INPUT_TRAIN1 = x(:,indices1~=i);
    OUTPUT_TRAIN1 = t1(indices1~=i);

    INPUT_TEST1 = x(:,indices1==i);
    OUTPUT_TEST1 = t1(indices1==i);

    trainFcn = 'traingdx';

    hiddenLayerSize = 10;

    net1 = fitnet(hiddenLayerSize,trainFcn);

    net1.trainParam.epochs = 3000;
    net1.trainParam.lr = 0.1;
    net1.trainParam.mc = 0.6;
    net1.trainParam.goal = 1e-9;
    net1.efficiency.memoryReduction = 10;
    net1.input.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};
    net1.output.processFcns = {'removeconstantrows','mapminmax'};

    net1.divideParam.trainRatio = 1;
    net1.divideParam.valRatio = 0;
    net1.divideParam.testRatio = 0;

    net1.performFcn = 'msereg';

    [net1,tr1] = train(net1,INPUT_TRAIN1,OUTPUT_TRAIN1);

    y1 = net1(INPUT_TEST1);
    e1 = gsubtract(OUTPUT_TEST1,y1);
    performancel(i) = perform(net1,OUTPUT_TEST1,y1);
    eror1 = abs (y1 - OUTPUT_TEST1);
    a1 = [a1,eror1];
end

perf11 = mean (a1);
perf12 = mean (performancel);
```