

**ТРОДИМЕНЗИОНАЛНИ МОДЕЛ СТРУКТУРНЕ
ОРГАНИЗАЦИЈЕ КОМПАКТНЕ КОСТИ**

**THE THREE-DIMENSIONAL MODEL OF COMPACT BONE
STRUCTURAL ORGANISATION**

Кандидати:

АЛЕКСА МИЋИЋ

Друга крагујевачка гимназија, 2. година

ВУКАДИН РАДЕНОВИЋ

Прва крагујевачка гимназија, 2. година

Ментор: др **РАДМИЛА ГЛИШИЋ**, доцент

Природно-математички факултет, Институт за биологију и екологију

Крагујевац, април 2014. година

РЕЗИМЕ

Кост, као специјализовано везивно ткиво, је основна јединица скелетног система, која дефинише форму тела и носи његову тежину, штити виталне органе, подржава механичке покрете, чува хематопоетске ћелије и одржава хомеостазу неких јона у телесним течностима. Састоји се од ћелија (остеобласта, остеоцита и остеокласта), влакана и калцификованог екстрацелуларног матрикса. Ћелије са остеогеним својствима налазе се у периосту и ендосту, слојевима специјализованог везивног ткива које покрива површину кости, односно њене унутрашње шупљине. На попречном пресеку зреле кости уочавају се два различита региона означена као компактна и спонгиозна кост, која имају специфичну просторну организацију. У овом раду, разјашњене су морфо-функционалне карактеристике коштаног ткива, посебно његова целуларна компонента, а просторна организација компактне кости приказана је помоћу тродимензијоналног модела.

Кључне речи: кост, структура, 3Д модел

SUMMARY

Bone as the specialized connective tissue, is basic unit of the skeletal system and provides the framework for and bears the weight of the body, protects the vital organs, supports mechanical movements, hosts hematopoietic cells and maintains homeostasis of some ions in body liquids. It consists of cells (osteoblasts, osteocytes and osteoclasts), fibers and calcified extracellular matrix. Cells with osteogenic properties are located in periosteum and endosteum, layers of specialized connective tissue covering bone surface and its internal cavities, respectively. On the cross-section of mature bone, there are two distinct regions designated as compact and spongy bone, which have a specific spatial organisation. In this paper, the morpho-functional characteristics of bone tissue, particularly the its cellular component, are elucidated and the spatial organization of compact bone displayed via three-dimensional model.

Key words: bone, structure, 3D model

УВОД

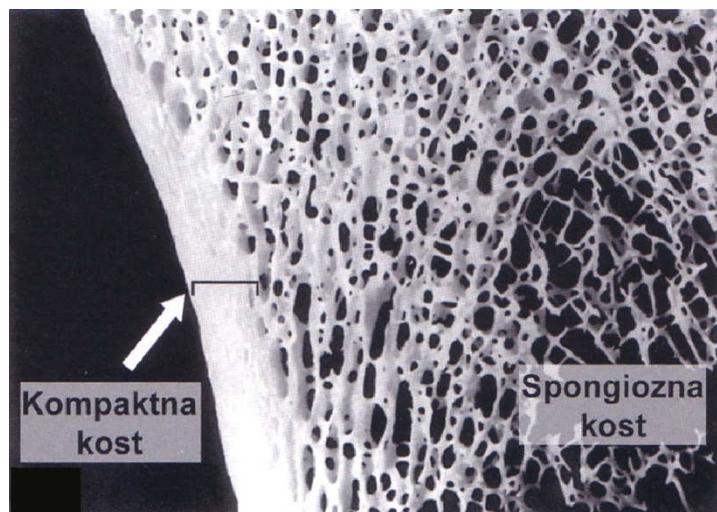
Хистологија је биолошка дисциплина која се бави проучавањем ткива. Ткива формирају ћелије истог ембрионалног порекла које су сличне морфологије (грађе) и имају заједничку функцију. Код животиња, ткива се, према грађи и функцији коју обављају деле на: епително, везивно, мишићно ткиво и нервно.

Везивно ткиво је заједнички назив за веома хетерогену групу ткива која повезују остала ткива у веће целине, органе и системе органа, а уједно пружају и потпору телу и представљају носиоца форме читавог организма. Класификују се на *ембрионална* (мезенхимско и слузно) и на *адултна* везивна ткива у која поред осталих спада и коштано ткиво, као врста потпорног ткива.

Коштано ткиво

Коштано ткиво је главна компонента скелета кичмењака и представља потпорну структуру која делује као систем полуза и у покрете тела претвара сile контракција мишића који су везани за кости. Штити виталне органе у лобањској (кабријалној) и грудној (торакалној) дупљи као и коштану срж, у којој се одвија хематопоеза – процес стварања крвних ћелијских компоненти. Као складиште калцијума, фосфата и других јона има веома важну улогу у одржавању сталне концентрације ових јона у телесним течностима.

На попречном пресеку зреле кости (сл. 1) могу се приметити хомогена подручја без шупљина - *компактно коштано ткиво* и подручја изграђена од трабекула (гребица) између којих се налазе шупљине – *сунђерасто (спонгиозно) коштано ткиво*. Компактно коштано ткиво налази се на површини кости и чини 90% скелета, док спонгиозно испуњава његову унутрашњост. Обе врсте имају једнаку основну хистолошку грађу, али нешто другачији начин организације ламела са колагеним влакнima.

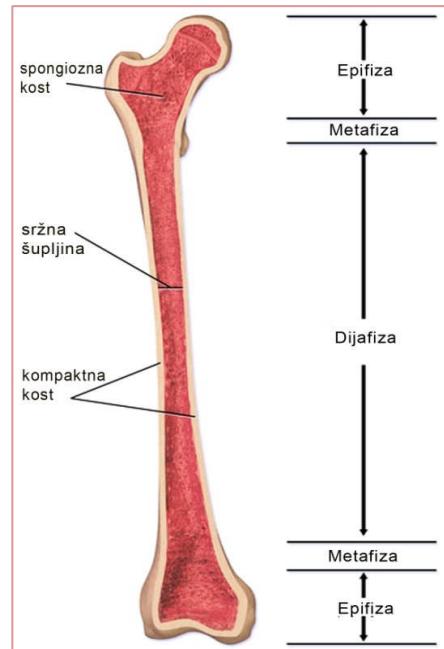


Сл. 1. Попречни пресек зреле кости

Fig. 1. The cross-section of mature bone

У људском телу постоји пет врста костију: дуге или цевасте кости (*ossae longae*), кратке кости (*ossae breviae*), плочaste kosti (*ossae planae*), неправилне kosti (*ossae irregulariae*) и пнеуматизоване кости (*ossae pneumaticae*) (1).

Дуге или цевасте кости су дуже од своје ширине и састоје се од дијафизе (тела) и 2 епифизе (периферна дела), које су са дијафизом спојене метафизама (сл. 2). Дијафиза (грч. *diaphyeii* – расти између) је цилиндрични средишњи део који је скоро цео изграђен од компактне кости док спонгиозна кост гради дубљи танки слој дијафизе. Кроз средиште дијафизе пружа се канал (*cavitas medullaris*) испуњен коштаном сржи. У ове кости спада већински део костију ногу и руку. Епифизе (грч. *epiphysis* – окрајци) су проширења која се налазе на крајевима дугих костију и у целини су изграђене од спонгиозне кости која је покривена танким слојем компактне кости.

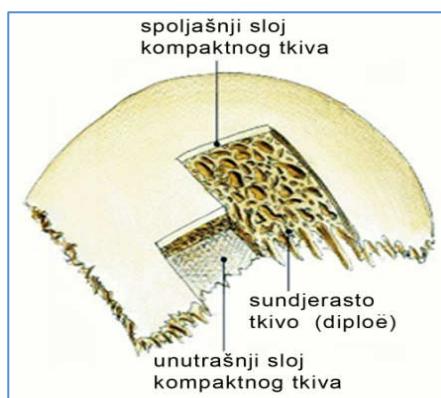


Сл 2. Структура дуге кости

Fig. 2. The structure of a long bone

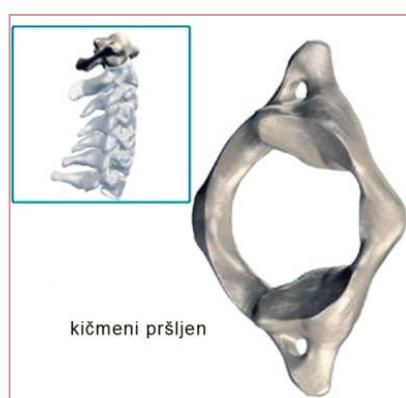
Кратке кости су ситне кости, различитог облика у шаци и стопалу. Њихов средишњи део чини спонгиозно ткиво, које је потпуно прекривено компактним ткивом.

Плочасте кости су танке и углавном благо савијене. У њих спадају лопатице, карличне кости и скоро све кости лобање које су изграђене од два слоја компактног коштаног ткива између којих се налази слој спонгиозног ткива (*diploë*) (сл. 3). Неправилне кости се не могу сврстати ни у једну другу категорију, као што су пришљенови и доња вилица (сл. 4). Пнеуматизоване кости садрже коштане шупљине, испуњене ваздухом. Овој групи припадају неке кости главе



Сл. 3. Структура плочасте кости

Fig. 3. The structure of a plate bone .



Сл 4. Неправилна кост

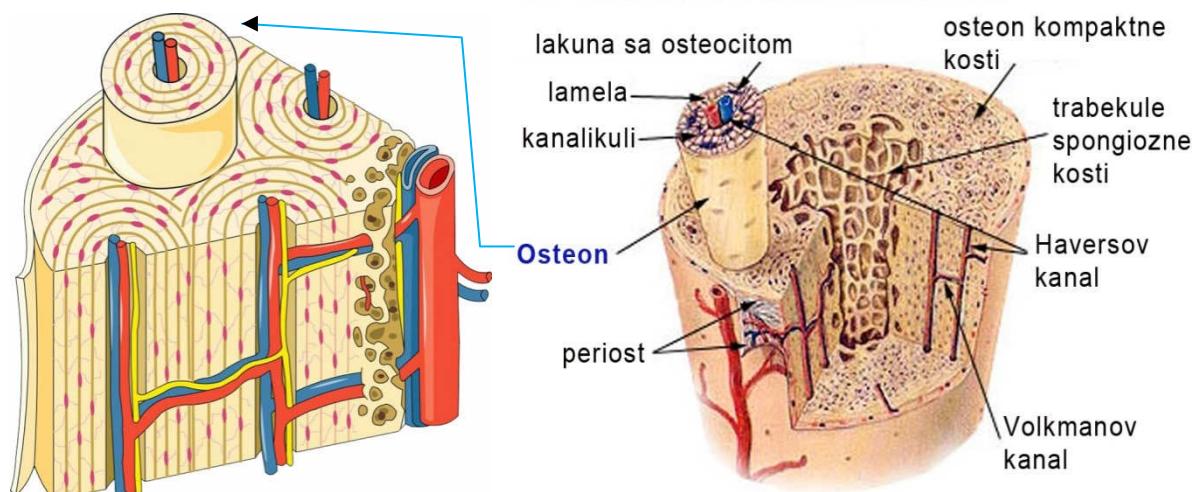
Fig. 4. A irregular bone

Проучавањем микроскопске грађе кости и одређивањем њене старости кост се може поделити на *примарну* (незрелу) или влакнасту и *секундарну* (зрелу) или ламеларну.

Примарно коштано ткиво је привремено и формира га коштано ткиво које се појављује у току ембрионалног развоја или у току заастања кости приликом прелома. Ово ткиво се код одраслих особа одржава (перзистира) на врло мало места у телу, као нпр., у близини шавова између плочастих костију лобање, у лежиштима зуба (зубним алвеолама), коштаном лавиринту и местима припоја неких тетива за кост.

У поређењу са секундарним ткивом, примарно има више међућелијске супстанце и мање минерала, влакна су неправилно распоређена, а ћелије разбацане без икакве орјентације.

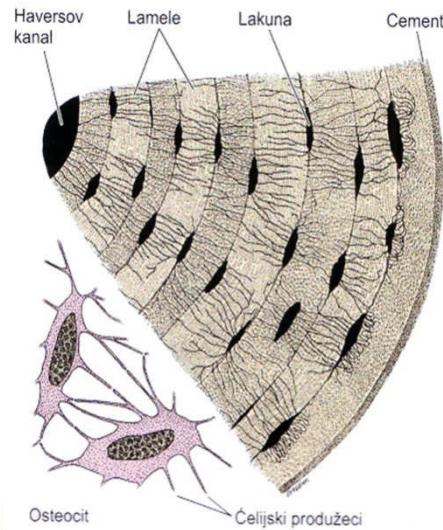
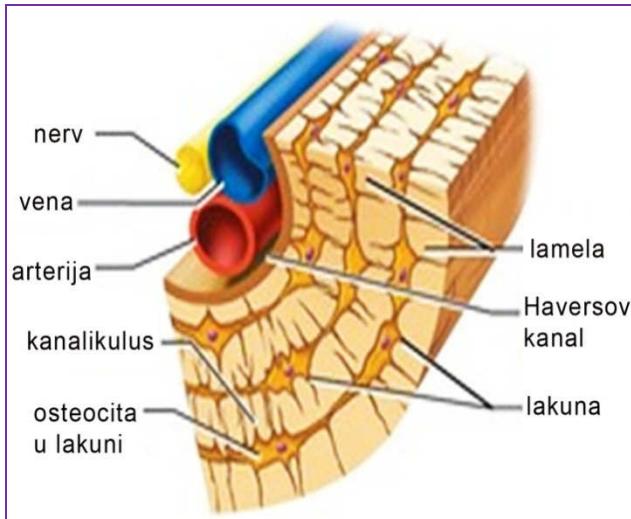
Секундарно коштано ткиво чини највећи део скелета одраслог кичмењака. Колагена влакна у секундарном ткиву поређана су у ламелама дебљине 3-7 μm (микрометара), које су са изузетном прецизношћу поређане паралелно једна према другој или су концентрично распоређене око васкуларног или Хаверзовог канала који је обложен ендостом и садржи крвне судове, живце и растресито везивно ткиво. Читав овај систем концентричних ламела око васкуларног канала представља основну морфолошку и функционалну јединицу компактне кости која се означава као *Хаверсов систем* или *остеон* (сл. 5).



Сл. 5. Организација Хаверсовог система

Fig. 5. Organisation of the Haversian system

Ламеле су међусобно повезане уским каналићима, каналикулима (*canalliculi ossei*). Зреле коштане ћелије су смештене у својим посебним просторима, лакунама, које се налазе између ламела, а ређе унутар њих. Дате ћелије комуницирају између себе преко каналикула (сл. 6).



Сл.6. Међусобни положај и комуникација зрелих коштаних ћелија у остеону

Fig. 6. The relative position and communication among the mature bone cells in a osteon

Границу између сваког остеона чини аморфна калцификована цементна супстанца преко које нема комуникације између суседних остеона. У зависности од старости, остеон је широк 20-100 μm и броји 4-20 концентричних ламела. Хаверсови канали у остеонима су међусобно повезани Волкмановим каналима (слика 5).

Постоји више врста ламела у односу на положај и организацију у кости (сл. 11). Унутрашње концентричне ламеле су око медуларне шупљине кости, а спољашње су непосредно испод периоста (покоснице) и има их више. Због сталног ремоделовања кости, у периоду раста, стари остеони пропадају, а стварају се нови, а празан простор између њих испуњавају неправилно постављене интерстицијалне (прелазне) ламеле, које нису у вези са крвним судовима.

Кост, као специјализовано везивно ткиво, је изграђено је од међућелијске калцификоване супстанце - коштаног матрикса и три врсте ћелија – *остеоцити*, *остеобласти* и *остеокласти*.

Коштани матрикс

Коштани матрикс садржи 50% суве, анерганске и 50% органске материје. У анерганској материји највише има калцијума и фосфора као и мањи број бикарбоната, цитрата, магнезијума, калијума и натријума. Калцијум и фосфор граде аморфни калцијум-фосфат и кристале хидроксиапатита који имају структуру $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$. Кристали имају изглед плочица димензија $40 \times 25 \times 2 \text{ nm}$ (нанометара) које су уграђене у колагене фибриле и окружене хидратисаним јонима. Органску материју у највећој мери

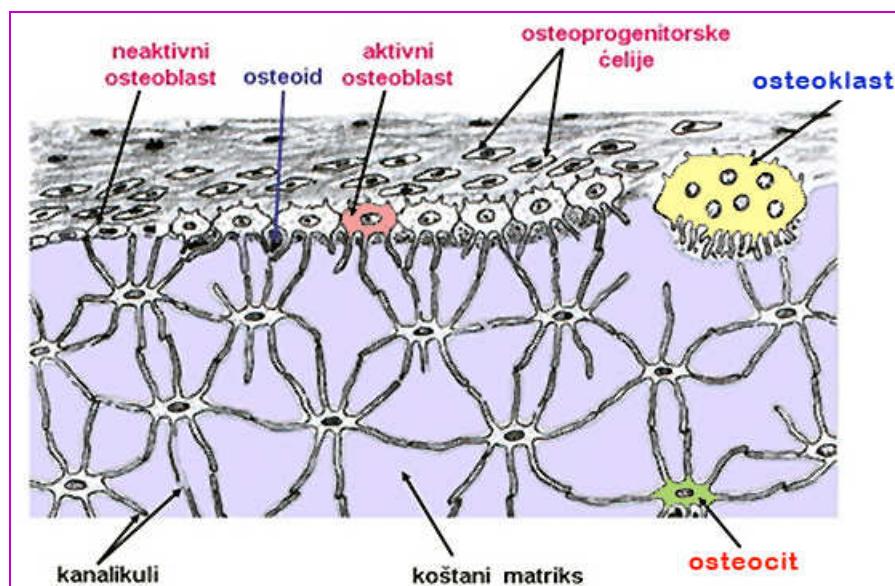
(око 90%) чине колагена влакна изграђена од колагена типа I чији су молекули повезани ковалентним везама. Остатак чини амфорна основна супстанца која садржи протеогликане удружене са гликопротеинима. Друга ткива која садрже колаген типа I, а не садрже гликопротеине не подлежу калцификацији. Зато се сматра да су гликопротеини у кости одговорни за подстицање калцификације матрикса.

Повезаност органске и анорганске материје узрок је чврстине и отпорности кости. Након декалцификања кости она постаје савитљива попут тетиве, а након одстрањења органске материје постаје крхка – лако пуца и дроби се.

Ћелије коштаног ткива

Ћелије са остеогеним својствима, тзв., *остеопрогениторске*, које су способне да се диференцирају у остеобласте, налазе се у периосту (покосници) и ендосту, слојевима специјализованог везивног ткива које покрива површину кости, односно њене унутрашње шупљине.

Остеобласти (грч. *osteon* – кост + *blastos* - клица) су коштане ћелије које стварају и минерализују коштани матрикс, синтетишу његове органске састојке (колаген тип I, протеогликане, гликопротеине) и матриксне везикуле које иницирају и подржавају уградњивање анорганских састојака у органске компоненте. Остеобласти су поређани у низу и смештени су на површини коштаног ткива (сл.7). На њихову активност утичу хормони (паратхормон, естроген) и фактори раста.

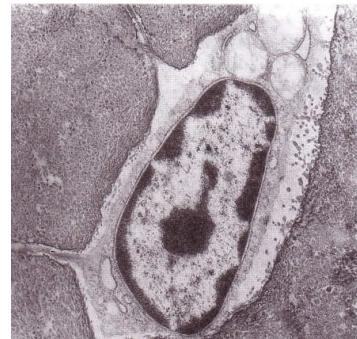


Сл.7. Ћелије коштаног ткива

Fig. 7. The cells of bone tissue

Компоненте коштаног матрикса излучују се на површини остеобласта према већ постојећем матриксу. У додиру са старим матриксом настаје слој нове, некалцификоване супстанце (остеоид) између остеобласта и претходно створеног матрикса. Тада процес се назива *апозиција* кости и окончава се депоновањем соли калцијума у новостворени матрикс. Остеобласти су поларизоване ћелије са дугачким филоподијама (продужецима) ка коштаном ткиву и кратким микроресицама на супротној страни. Приликом интезивне синтезе коштаног матрикса, остеобласти су коцкастог до призматичног облика и цитоплазма им је базофилна. Након синтезе, они се спљоште, а када се у потпуности окруже матриксом, формирају се простори, лакуне (*lacunae*), унутар којих се остеобласти претварају у зреле коштане ћелије, остеоците.

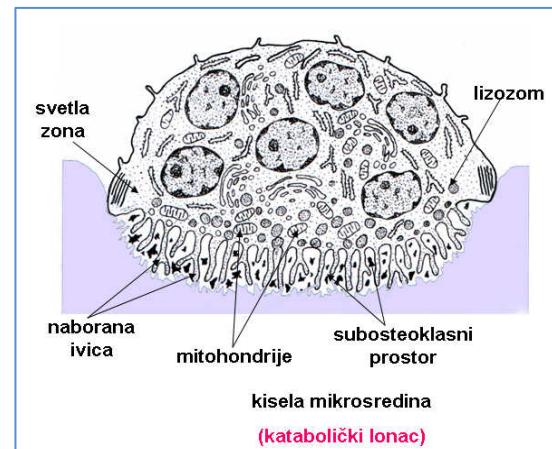
Остеоцити (грч. *osteon* + *kytos* – ћелија) су ситне и непокретне коштане ћелије, облика коштице шљиве, смештене између ламела у лакунама (сл. 8). У свакој лакуни налази се по један остеоцит. Остеоцити међусобно комуницирају филоподијама, цитоплазматским изданцима који пролазе кроз матриксне каналиће, каналикуле. Изданци су међусобно спојени пукотинастим везама (нексусима) путем којих се размењују молекули. На овај начин и до двадесетак ћелија у низу се може снадбевати потребним супстанцима.



Сл. 8. Остеоцит
Fig. 8. The osteocyte

Остеоцити балансирањем између синтезе и репсорпције кости, могу да модификују екстрацелуларни матрикс. Имају дуг, али ограничен животни век. У случају смрти коштани матрикс се ресорбује.

Остеокласти (грч. *osteon* + *klastos* – прекинут) су крупне и врло покретне ћелије, које настају фузионисањем (спајањем) моноцита из коштане сржи и имају улогу у разградњи коштаног ткива. Имају велики број једара и цитоплазматичних изданака (сл. 9). На местима разградње кости, остеокласти леже у плитким улегнућима. Док су неактивни имају амебодини облик и крећу се ка местима где постоји потреба за разградњом. Када се зауставе на датом месту се причвршују за коштани матрикс својим посебним површинама.



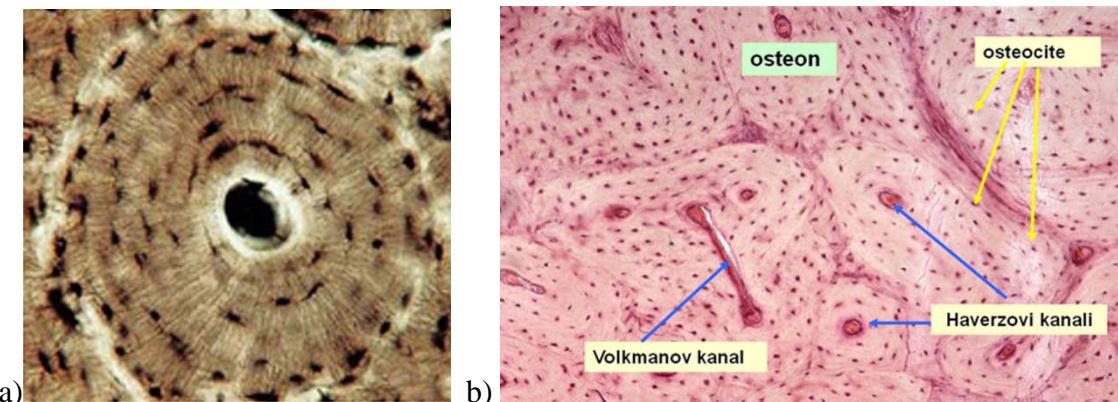
Сл. 9. Остеокласт
Fig. 9. The osteoclast

Између наборане ивице остеокласта и коштаног матрикса је простор који се назива субостеокласни простор. У њега остеокласт лучи ензиме, чиме се ствара специфична кисела средину која је погодна за деминерализацију кости и разградњу њених органских компоненти. На активност остеокласта утичу директно или индиректно разни хормони (тиреоидни и паратиреоидни хормон).

МАТЕРИЈАЛ И МЕТОД РАДА

Како је циљ овога рада био да се прикаже просторна организација компактне кости помоћу тродимензионалног модела, пре реализације овог задатка приступило се избору адекватне и квалитетне литературе (1, 2, 3, 4), као и претраживању различитих база података на Интернету (5).

Након тога је уследило детаљно упознавање са морфо-функционалним карактеристикама изучаваног коштаног ткива, уз паралелну анализу микроскопских препарата брушене и декалцификоване кости (сл. 10). Ово је допринело реалнијем сагледавању хистологије поменутог ткива. Посебна пажња је посвећена целуларној компоненти, одговорној за развој, раст и регенерацију кости.

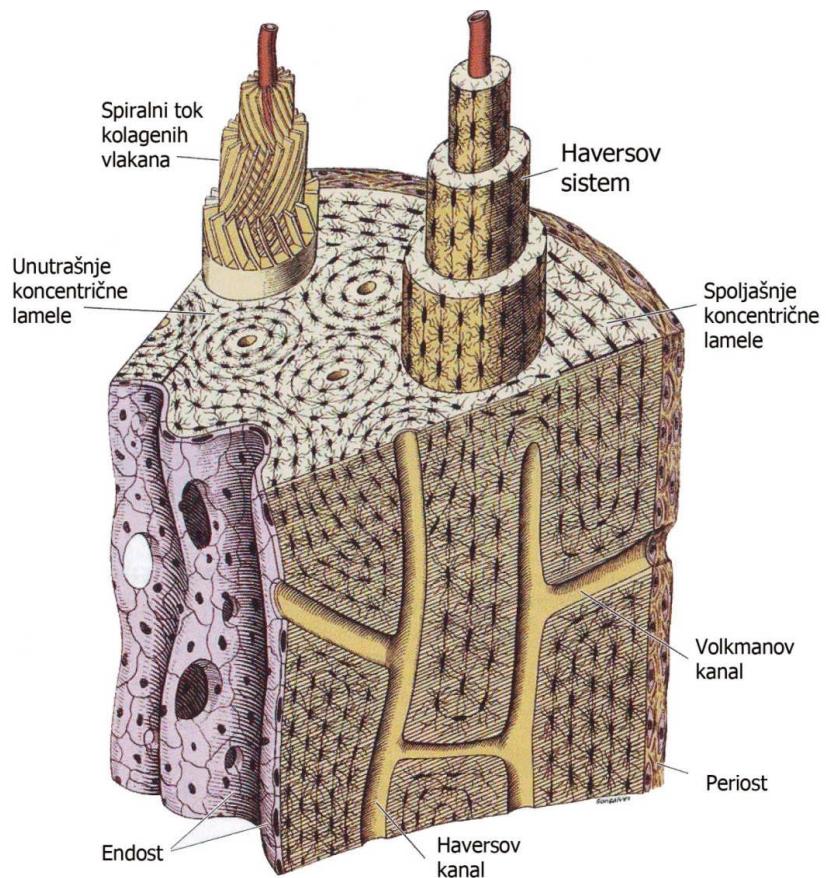


Сл. 10. Попрећни пресек кроз а) брушено и б) декалцификовану компактну kost

Fig. 10. The cross-section of a) ground and b) decalcified compact bone

После упознавања са просторним елементима и својствима датог ткива извршен је одабир материјала који би на задовољавајући начин омогућили пластичан приказ тродимензионалне организације компактне кости, а затим се приступило изради 3Д модела. Од материјала су коришћени: дрво, картон, лепак, пластелин у боји, темпере и фломастери.

Шема (сл. 11) на основу које је рађен 3Д модел је узета из уџбеника за хистологију (4).



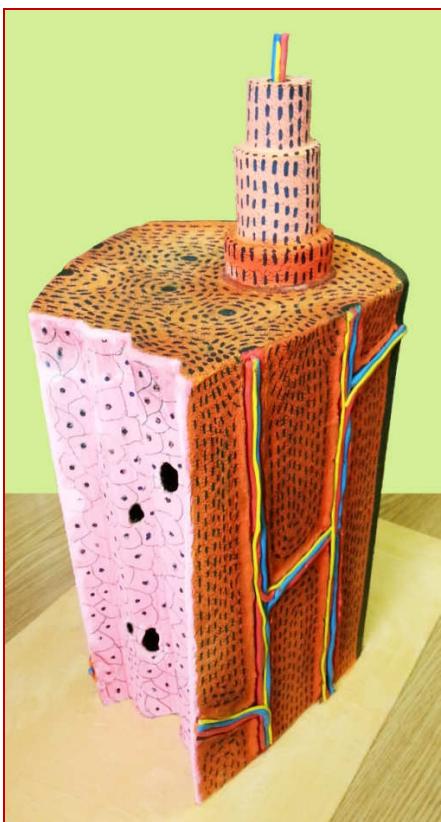
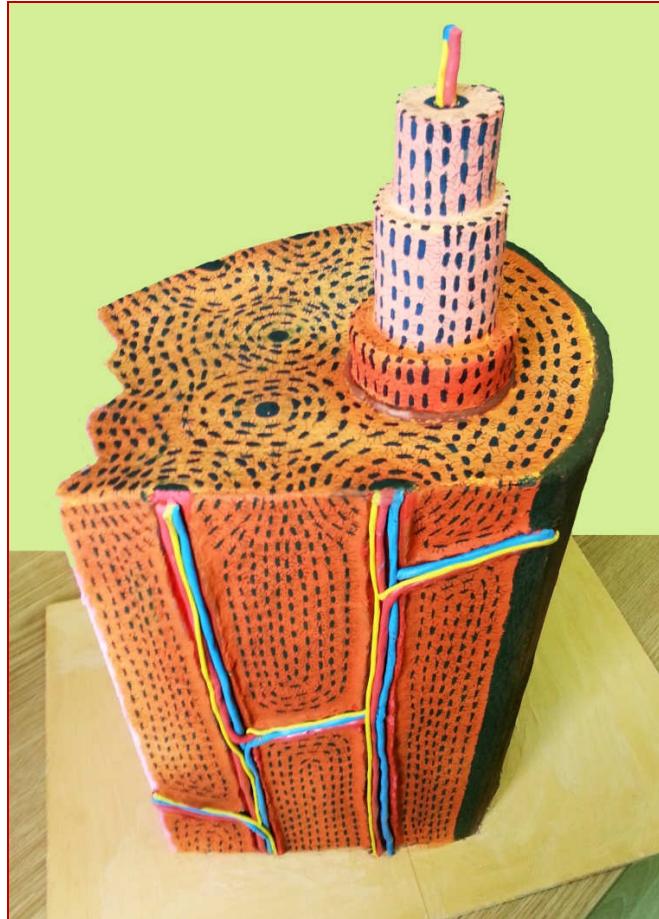
Сл. 11. Шематски приказ зида дијафизе дуге кости

Fig. 11. The schematic representation of wall of long bone diaphysis

РЕЗУЛТАТИ ИСТРАЖИВАЊА И ДИСКУСИЈА

Након конструисања и израде модела извршена је критичка процена његовог квалитета са образовног и естетског аспекта. Анализа је показала да је постављени циљ рада успешно реализован и да дати 3Д модел ткива компактне кости може да се ефикасно користи у настави биологије када се обраћује наставна јединица везана за хистологију коштаног ткива.

На моделу (сл. 12) се лако може уочити глобална организација коштаног ткива, међусобни распоред ћелијских елемената који удружени и високо организовани граде основну јединицу коштаног ткива, Хаверсов систем или остеон. Модел показује и начин васкуларизације кости, као и начин на који зреле коштане ћелије сарађују и размењују неопходне материје. Са модела се могу видети и елементи изграђени од везивног ткива, периост који покрива површину кости, као и ендост који облаже унутрашње шупљине, али и постојање просторне повезаности између њих.



Сл. 12. 3Д модел компактне кости

Fig. 12. 3D model of the compact bone

ЗАКЉУЧАК

С обзиром на сложеност органских система и ткива која их изграђују примена тродимензионалних модела биолошких структура на свим нивоима организације може значајно да унапреди образовни процес, јер олакшава схватање просторног устројства живе материје, које је у нераскидивој вези са њеним функционисањем.

Овакви модели, у комбинацији са јасно објашњеном структуром испитиваног система доводе до дубље спознаје о начину на који дати биолошки систем функционише, како се развија или обнавља у случају повреде.

ЗАХВАЛНОСТ

Желимо да се захвалим ментору овог рада др Радмили Глишић, доценту ПМФ-а у Крагујевцу, на пруженој помоћи током израде рада, кроз одабир теме и квалитетне литературе, сугестијама око писања рада, изради постера и модела коштаног ткива, као и нашој припреми за презентацију рада. Такође, захвалност дuguјемо и др Горици Ђелић, доценту ПМФ-а у Крагујевцу на свим корисним сугестијама везаним за крајње уобличавање рада.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] В. Драганић, Н.А. Јеличић, Љ. Ђорђевић, В. Радоњић, Б. Пејковић, *Anatomija čoveka, Приручник за практичну наставу за студенте медицине, Савремена администрација, Београд, 1997,*
- [2] З. Анђелковић, Љ. Сомер, М. Матавуљ, В. Лачковић, Д. Лалошевић, И. Николић, З. Милосављевић, В. Даниловић, *Ћелија и ткива. Бонафидес, Ниши, 2002.*
- [3] W. Bloom, W.D. Fawcett, *A text book of histology, W.B. Saunders Company, Philadelphia-London-Toronto, ninth edition, 1968*
- [4] L.C. Junqueira, J. Carneiro, *Основи хистологије. Текст и атлас. Уредници и преводиоци: В. Лачковић, В. Тодоровић. Једанаесто издање. Дата Статус, Београд, 2005*
- [5] Интернет извори:
<http://www.dijetaizdravlje.com/wp-content/uploads/2013/09/vratni-prslen-atlas.jpg>
http://en.wikipedia.org/wiki/File:Illu_compact_spongy_bone.jpg
<http://www.medscape.org/viewarticle/558620>
<http://www.abovetopsecret.com/forum/thread932251/pg1>
<http://quizlet.com/15705932/ap-lab-tissues-flash-cards/>