



Радиохемија и радиографија

основни принципи и
примена у форензици

Милош Мојовић, в.проф.

1. Radiografija i njena primena u forenzičkim ispitivanjima (1) (4) (9) (10) (25) (26) (27)

- Osnove radiografije (25) (26) (27)
Fizika X-zračenja
Interakcija X-zračenja sa materijom
Princip dobijanja radiografske slike
- Kompjuterska tomografija (CT) (9) (25) (26)
Princip dobijanja slike CT metodom
- Forenzička radiografija (9) (13)
Primena radiografskih metoda u forenzičkim ispitivanjima
- Mikroradiografija (9)
- Princip radiografskog poređenja (9) (13)
- Radiografski dokazi zlostavljanja dece (10)
<http://www.radiologyassistant.nl/en/43c63c41ef792>

2. Radiohemijske metode i njihova primena u forenzičkim ispitivanjima

- **Radioaktivnost i radioaktivno zračenje (23)**

Radioaktivni raspad (23)

Tipovi radioaktivnog zračenja (23)

Metode i uređaji za detekciju radioaktivnog zračenja (23)

- **Radioaktivna vizualizacija (1)**

Scintigrafija

- **Princip radioaktivnog obeležavanja**

Radioaktivno obeležavanje u otkrivanju procesa formiranja i porekla lipida (1).

- **Autoradiografija - princip i primena (5) (11) (12) (13) (14) (16)**

Upotreba radioaktivnog ^{35}S u autoradiografiji (1) (8)

- **Mehanizam mapiranja korišćenjem stabilnih izotopa**

Primer metamfetamina (2)

- **Analitička toksikologija**

Imunoeseji (radioimunološka analiza RIA). (2)

Reakcije kompeticije atitelo-antigen. (3) (6) (10) (24)

Identifikacija životinjske vrste iz krvi i fragmenata kostiju pRIA metodom (21)

- **Radioaktivno datiranje**

Datiranje metodom ^{14}C , izotopska analiza i primena (7) (15)

Datiranje post mortem intervala metodom ^{90}Sr (18)

Procena post mortem intervala metodom ^{238}U , ^{234}U , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{238}Pu , $^{239,240}\text{Pu}$ i ^{137}Cs (20) (22)

- **Neutronska aktivaciona analiza (11)**

Primena NAA za detekciju FDR (16)

3. EPR metoda i njena primena u forenzičkim ispitivanjima (16)

- **Osnovni principi EPR metode**

Primena EPR metode za detekciju FDR (16)

Primena EPR metode za detekciju starosti krvi (17)

- **EPR dozimetrija**

Detekcija ekspozicije visokim dozama radioaktivnog zračenja (19)

4. NMR i MRI

Vežba:

- Primena radiohemijskih metoda u forenzičkim ispitivanjima

RIA analiza INEP

Detekcija FDR metodom NAA

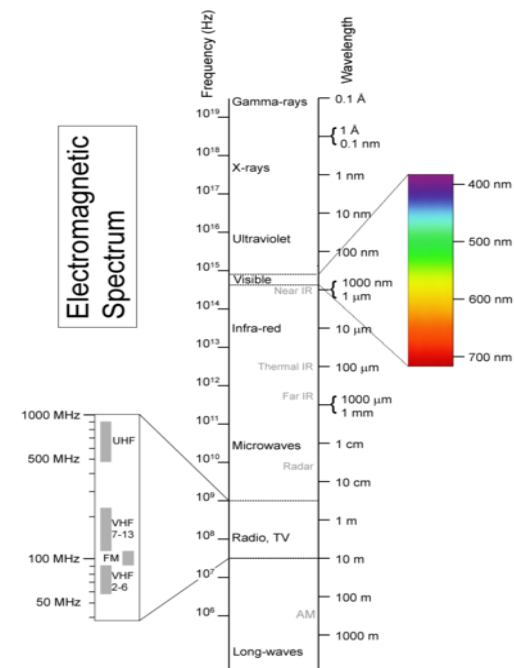
Detekcija FDR metodom EPR

Literatura:

- (1) Henry C. Lee and R. E. Gaensslen, Advances in Fingerprint Technology
- (2) JehudaYinon, Advances in Forensic Applications of Mass Spectrometry
- (3) John H. Trestrail III, Criminal poisoning: investigational guide for law enforcement, toxicologists, forensic scientists, and attorneys, second edition
- (4) John Horswell, The Practice of Crime Scene Investigation
- (5) David E. Newton, DNA evidence and forensic science
- (6) Jay Siegel, Jay Siegel, Pekka Saukko, Encyclopedia of Forensic Sciences
- (7) Alan Gunn, Essential Forensic Biology
- (8) Christophe Champod, Chris Lennard, Pierre Margot, Milutin Stoilovic, Fingerprints and other ridge skin impressions
- (9) Scott I. Fairgrieve, Forensic cremation recovery and analysis
- (10) Vincent J. DiMaio, Dominick DiMaio, Forensic Pathology
- (11) John C. Brenner, Forensic science an illustrated dictionary
- (12) Lisa Yount, Forensic science - from fibers to fingerprints
- (13) William G. Eckert, Introduction to forensic sciences 2nd edition
- (14) Barry A. J. Fisher, Techniques of crime scene investigation
- (15) Robert Pickering, David Bachman, The use of forensic anthropology
- (16) Peter White, Crime Scene to Court - The Essentials of Forensic Science, Second Edition
- (17) Yoshihiko Fujita, Koichiro Tsuchiya, Shinji Abe, Yoshiharu Takiguchi, Shin-ichi Kubo, Hiromu Sakurai, Estimation of the age of human bloodstains by electron paramagnetic resonance spectroscopy: Long-term controlled experiment on the effects of environmental factors
- (18) P. Neisa, R. Hille, M. Paschke, G. Pilwat, A. Schnabel, C. Niess, H. Bratzke, Strontium 90 for determination of time since death
- (19) Motoji Ikeya, Use of ESR in microscopy, dating and dosimetry, Electron Paramagnetic Resonance in Biochemistry and Medicine
- (20) Benjamin Swift, Ian Lauder, Stuart Black, Joanna Norris, An estimation of the post-mortem interval in human skeletal remains: a radionuclide and trace element approach
- (21) Jerold M. Lowenstein, Joshua D. Reuther, Darden G. Hood, Gary Scheuenstuhl, S. Craig Gerlach, Douglas H. Ubelaker, Identification of animal species by protein radioimmunoassay of bone fragments and bloodstained stone tools
- (22) Benjamin Swift, Dating human skeletal remains: Investigating the viability of measuring the equilibrium between ^{210}Po and ^{210}Pb as a means of estimating the post-mortem interval
- (23) Radiohemija
- (24) INEP - uputstvo za RIA
- (25) William R. Hendee, E. Russell Ritenour, Medical Imaging Physics
- (26) Jirí Jan, Medical image processing, reconstruction and restoration - concepts and methods
- (27) Edwin L. Dove, Physics of Medical Imaging – An Introduction

Основе радиографије

- Радиографија представља употребу X-зрачења у циљу посматрања пресека неуниформног материјала као што је нпр. људско ткиво.
- На основу различитог утицаја густине и композиције ткива на X-зраке, може се формирати јасна слика унутрашњости без оштећења посматраног објекта.
- Принцип методе се састоји у томе да се објекат озрачи снопом X-зрака (које производе специјални генератори), а затим се иза објекта ти исти зраци сакупљају на специјализованим детекторима (филм или дигитални) који дају 2Д репрезентацију објекта.
- Услед различите апсорпције X-зрака од стране ткива (или објекта) различитих густина, детектовани зраци ће имати већи или мањи интензитет што утиче на изглед добијене слике.
- Шта је то X (или Ренгенско) зрачење?
 - X-зрачење представља електромагнетно зрачење чија је таласна дужина у опсегу од 0.01 - 10 nm.
 - Ово зрачење у складу са овим може имати енергију у опсегу од 120 eV до 120 keV.
 - Опсег од 0.12 - 12 keV назива се "меко" X-зрачење док се опсег од 12 - 120 keV назива "тврдо" X-зрачење.
 - Управо се "тврдо" X-зрачење користи за радиографска снимања због своје продорности.



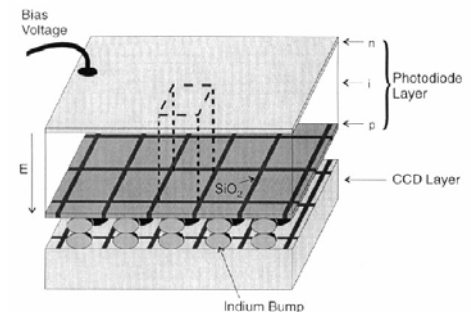
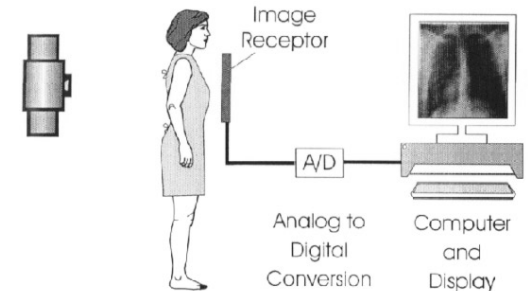
Физика Х-зрачења

- Каже се да Х-зрачење представља "јонизујуће" зрачење што значи да јонизује средину кроз коју пролази па зато представља опасност по здравље живих организама.
- Атенуација Х-зрачења у некој материји зависи од: густине те материје и дужине пређеног пута Х-зрачења кроз њу. Описана је формулом:

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

I - интензитет излазног зрачења (број излазних фотона)
 I_0 - интензитет улазног зрачења (број улазних фотона)
 μ - коефицијент атенуације (апсорпције)
 d - пређени пут Х-зрачења кроз средину

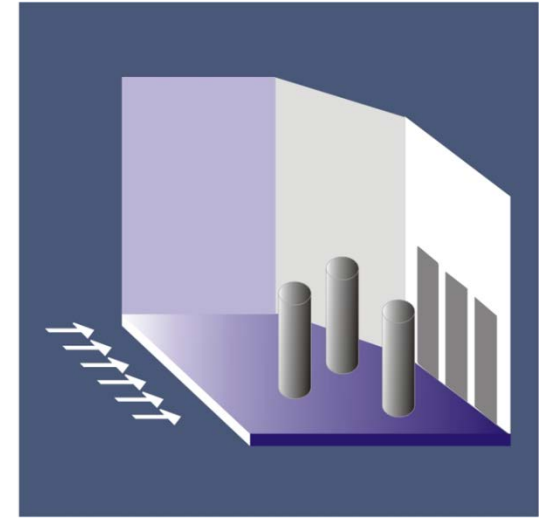
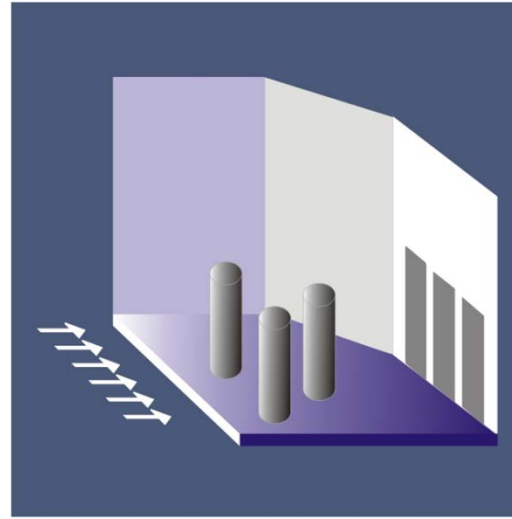
- Радиографска слика се добија **интеракцијом излазног Х-зрачења са неком средином** која може бити показатељ броја и распореда излазних фотона.
- Радиографска плоча и филм су дуго времена коришћени и принцип њиховог рада се заснивао на хемијским ефектима интеракције Х-зрака са одређеним супстанцијама (нпр. честицама сребра). Овај метод је захтевао веће енергије Х-зрака и дуже време експонирања пацијената.
- Данас су у употреби искључиво дигитални детектори различитих врста.



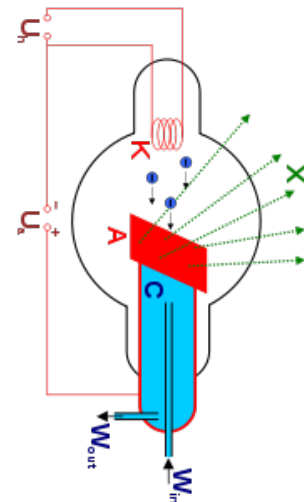
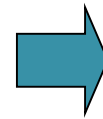
дигитални детектор

Принцип добијања радиографске слике

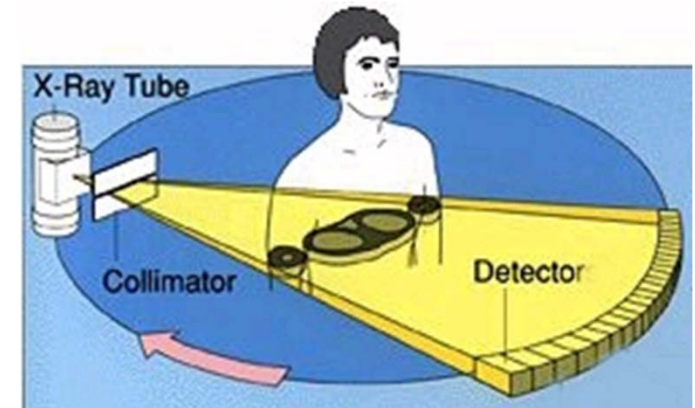
- Шта представља добијена радиографска слика?



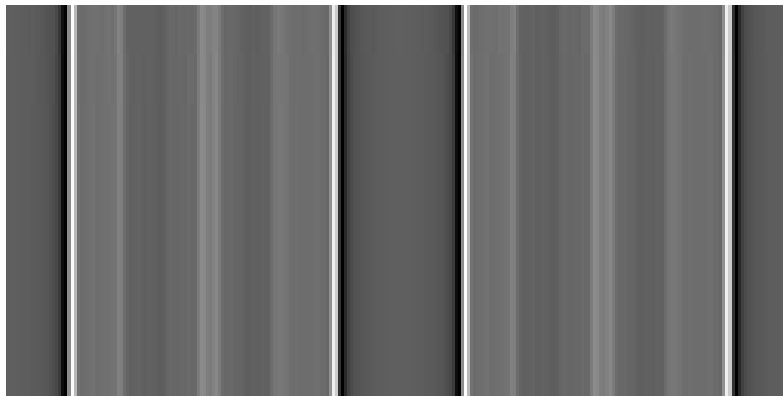
Радиографска слика представља једнодимензиону пројекцију



Компјутерска томографија "СТ"

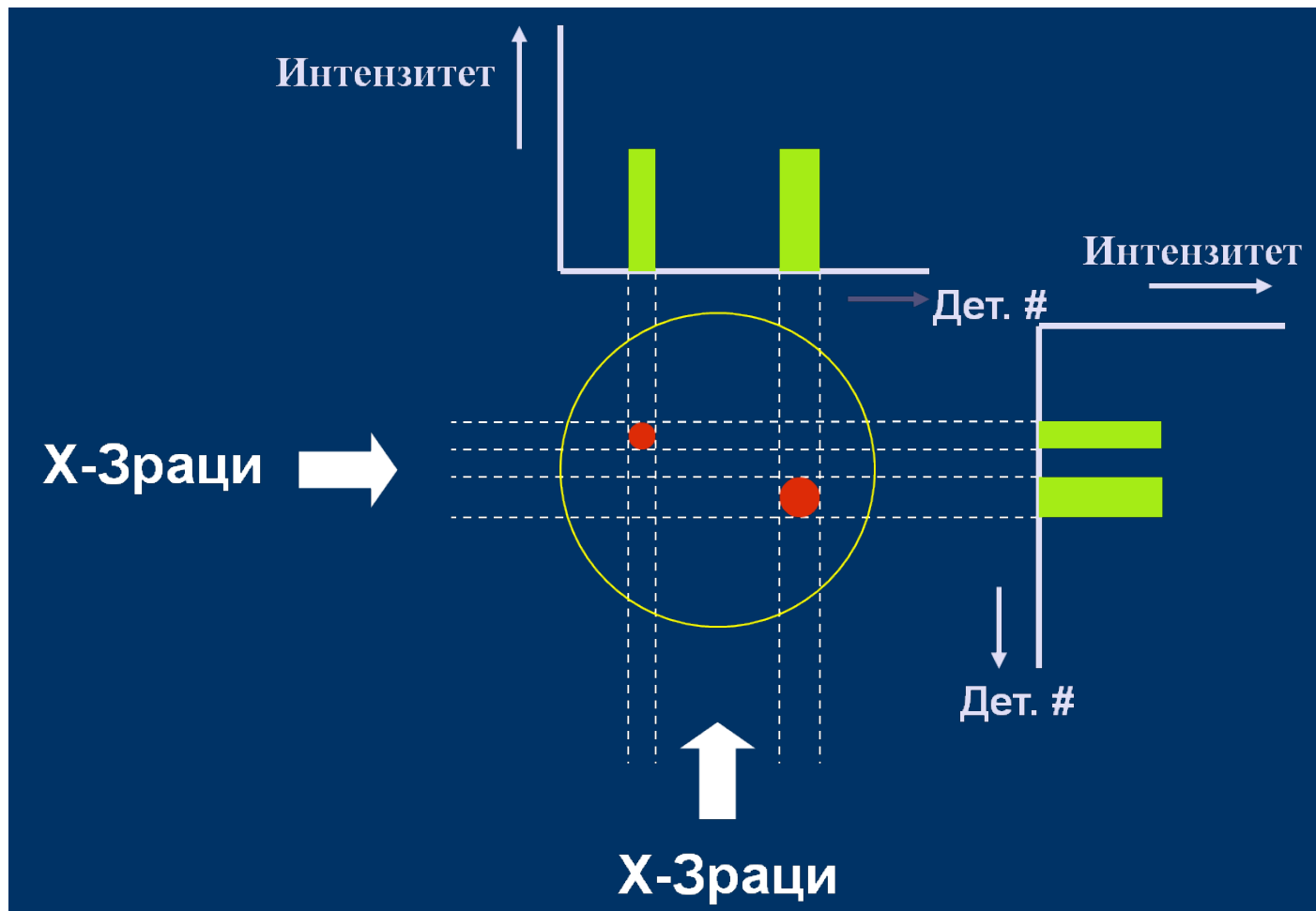


Компјутерска томографија (Computer Tomography) представља посебан метод за добијање 3Д радиографске слике.



Формирање слике

Принцип добијења слике "СТ" методом



Снимање из више углова и реконструкција слике из 1Д профила

Форензичка радиографија

- Радиографија се веома често примењује и има значајну улогу у форензичким испитивањима.
- Радиографски приступ се у форензичким испитивањима рутински користи уколико:
 - се догодило вишеструко сакаћење тела
 - у сви случајевима рањавања ватреним оружјем
 - у свим случајевима рањавања хладним оружјем
- Радиограф ће документовати сваку везу унутрашњих органа са страним телом које је најчешће од метала (а може бити и другог хемијског састава).
- Предвиђање пута који је имао метак (или угао убодне ране) се лакше може реконструисати помоћу радиографа. На тај начин се такође може избећи непотребно сакаћење тела у патолошким испитивањима.
- У случајевима електрокуције, радиограф се може показати као веома користан у одређивању могућих дефеката електро-инсталација.
- У свим случајевима смрти детета, се мора снимити комплетни скелетални радиограф да би се добила општа слика о могућим старијим повредама које се често могу уочити у случајевима злостављања деце.



метак



нож



злостављање

Форензичка радиографија

- Дентална радиографија има посебно место у идентификацији тела. Користи се уколико су посмртни остаци веома распаднути, угљенисани, за масовне несреће, идентификацију непознате особе, потврду идентитета итд.
- У ту сврху потребно је имати дентални радиограф претпостављене особе пре смрти који се затим упоређује са пост-мортем радиографом.



- Комбинацијом резултата поређења облика вилице, типу пломби, распореду зуба и другим карактеристикама може се веома поуздано закључити идентитет особе.
- Зуби су један од најстабилнијих структура у људском телу и дентални радиграфски докази се тешко губе у процесу распадања тела, применом механичке силе или сагоревањем.

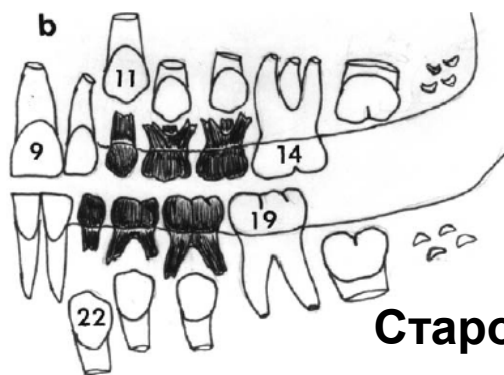
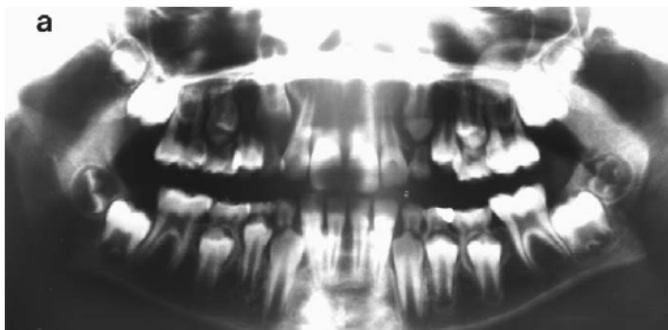
Идентификација особе чије је лице уништено до непрепознатљивости

Примена форензичке радиографије

- Могућности примене форензичке радиографије су велике. Овде ћемо навести само неколико од многобројних примера.

Употреба денталне радиографије за одређивање старости особе

- Једна од могућих примена денталне радиографије је за одређивање старости особе. Наиме, до 15. године живота зуби расту устаљеним и добро познатим ритмом што нам омогућава одређивање старости особе са грешком од ± 1 год.

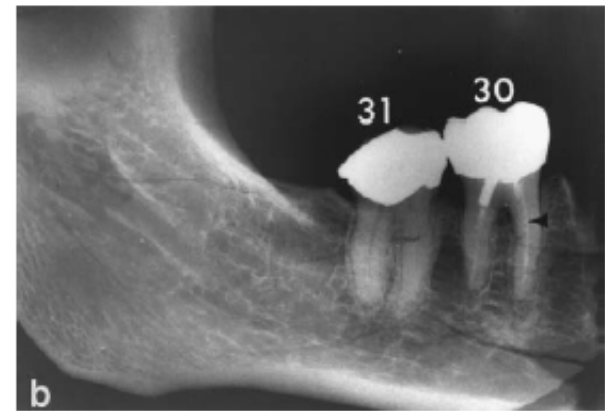
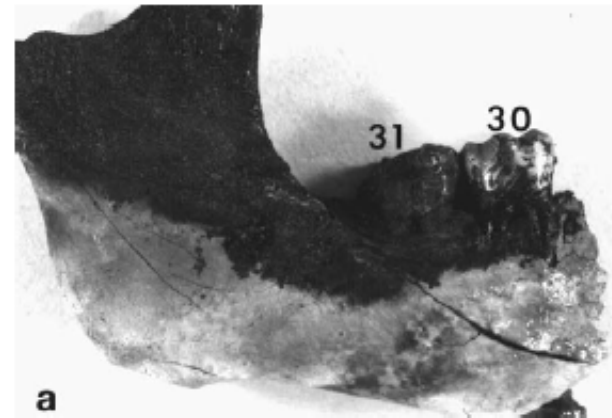


Старост ?

- Још у 6. недељи трудноће јављају се први зубни замеци а минерализација истих се догађа већ у 14 ± 2 недељи.
 - Постојање неонаталне линије у зубима новорођенчета је индикација да је дете рођено живо као и време рођења.
 - Према појави млечних/сталних зуба одређује се старост до 15. године.
 - Године између 15 и 22 се могу одредити према појављивању умњака.
 - Патолошке промене на зубима могу нам указати на старост после 22. год.
- Занимљива је чињеница да се у току старења у дентину Л-аспартична киселина линеарно пребацује у њен Д-изомер што такође може бити потврда старости.

Одређивање пола и расне припадности, угљенисани остаци

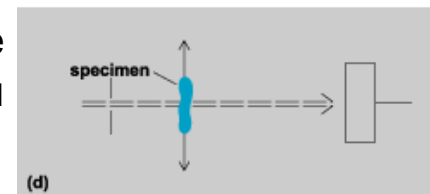
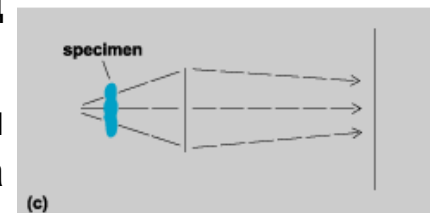
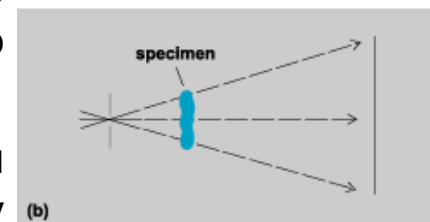
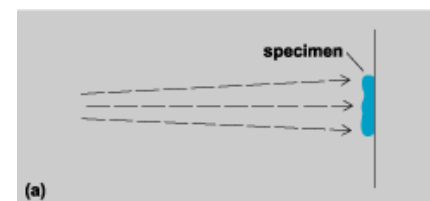
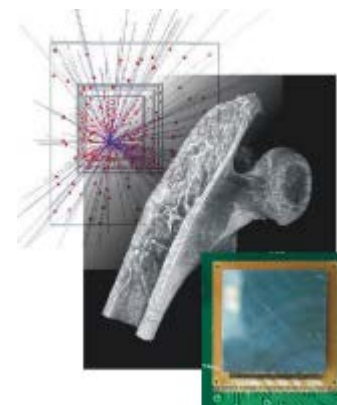
- Због сличности зуба мушкараца и жена тешко их је искористити за одређивање пола. Највећи сексуални диморфизам може се приметити на мандибуларном очњаку (тројке у доњој вилици).
- Мезио-дистални дијаметар (ширина крунице зуба) мањи од 6.7mm припада женама док већи од 7mm припада мушкарцима (тачност је 75%).
- Корени су код мушкараца у просеку дужи за 3mm.
- Према одређеним морфолошким карактеристикама зуба може се (не са баш великом прецизношћу) одредити и расна припадност.
- Угљенисане остатке је натеже испитивати али се помоћу радиографа поступак може убрзати.
- Форма, хемијски састав и облик у коме се налазе одређена ткива и хемијске супстанције (пуњења и протетике) су индикација о температури којој је тело било изложено.



Слика угљенисаног
остатка мандибуле и њен
радиограф

Микрорадиографија

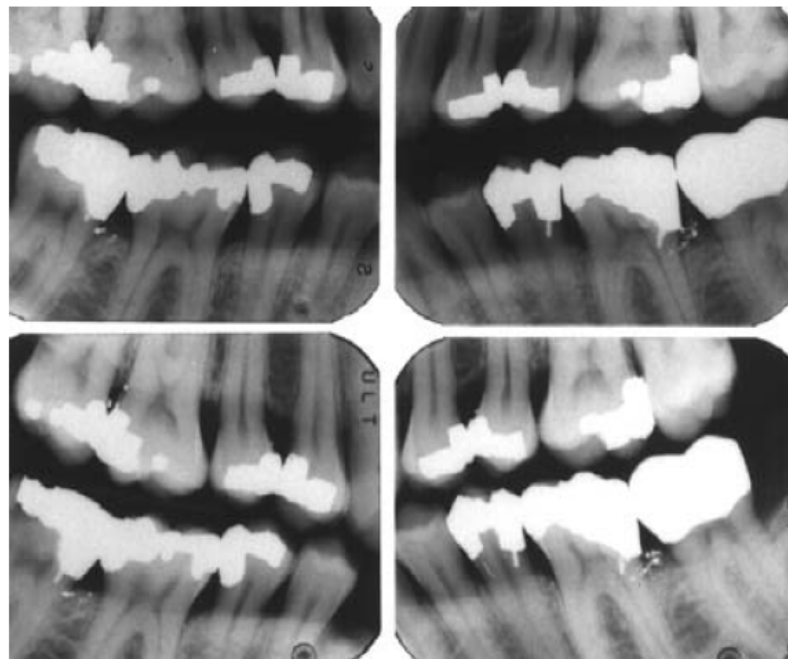
- Микрорадиографија представља технику којом се добија увећан снимак унутрашњостим неког објекта применом нискоенергијског Х-зрачања 0.1–10 keV.
- Микрорадиографија нам показује просторну расподелу масе и елементарну композицију испитиваног узорка.
- Постоје четири основне микрорадиографске технике: (а) Контактна; (б) Пројекциона; (ц) Имиџинг; (д) Скенирајућа микрорадиографија.
- Нпр. проценат садржаја органске материје у костима је директно пропорционалан дужини времена које прошло од када је ткиво положено (закопано).
- Степен минерализације костију може се посматрати микрорадиографијом пресека костију. Ткива која су старија су калцификованија (радиографски гушћа) од млађих.
- Такође, једна од техника која се користи у фореузичким испитивањима је и Микро-ЦТ (Микрокомпјутеризована томографија).
- Помоћу ње је могуће дати нпр. 3Д слику ране коју је проузроковало хладно оружје на кости и реконструисати врсту оружја које је проузроковало повреду.



Принцип радиографског поређења

- Овај принцип се заснива на поређењу анти и постмортем радиографских слика неке особе.

антимортем снимци



- Овај принцип може имати и недостатке јер (на пример поређењем денталних радиографа) нико не може тврдити да није било темпоралних промена у саставу зуба као и евентуалних протетичких интервенција.
- Такође, углови под којим су снимци направљени се могу битно разликовати што отежава поступак идентификације.

постмортем снимци

- Радиографко поређење може веома доприносити формирању коначне слике о испитиваном случају. Међутим, опрезност је потребна из разлога што чак и једна радиографска некомпатибилност може изазвати сумњу.

Принцип радиографског поређења

- Један од могућих проблема приликом радиографског поређења је код особа у пре-адолесцентном периоду.
- Кости код деце нису прошле период окоштавања што се дешава тек касније у адолесцентном периоду.
- На пример, фронтални синуси нису присутни код новоређенчади и мале деце. Током сазревања, долази до формирања параназалних синуса.



Фронтални
синуси
(радиограф)

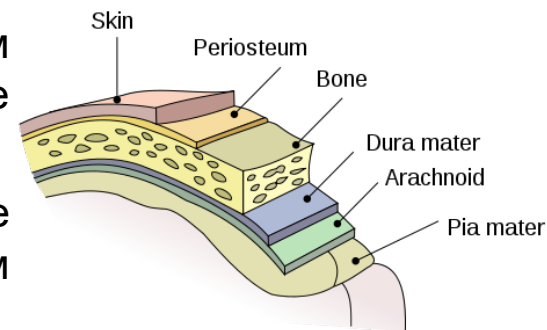
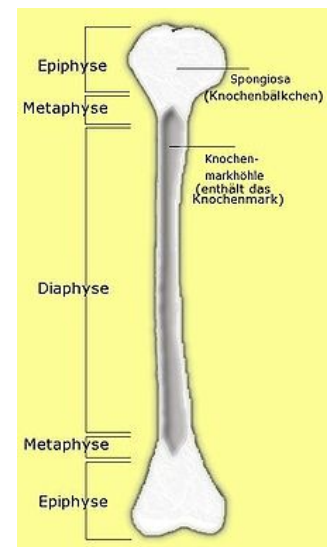


Фронтални
синуси
(ЦТ слика)

- Поређење радиографа коштаних структура чест је принцип у форензици.
- Ипак, проблем може настати уколико треба поредити два различита типа снимања (класичан ренген филм и ЦТ) поготову што радиограф представља 2Д репрезентацију 3Д објекта.
- Присуство необичних морфолошких структура индивидуе може знатно олакшати радиографску идентификацију (нпр. изразита асиметричност фронталних синуса).
- За радиографско поређење могу се искористити радиографи различитих делова тела. Ипак, важан чинилац је постојање анимортем снимака као и предвиђање из којих све разлога је могло доћи до анатомских промена снимљених делова током живота.

Радиографски докази злостављања деце

- Радиографски докази су свакако једни од најзначајнијих сегмената у процесу откривања да ли је постојало злостављање детета.
- Скелетална траума се може дијагностиковати код од прилике трећине злостављане деце при чему се већина оваквих повреда догоди у прве 2 године живота.
- На радиографима злостављаног детета најчешће се могу приметити зарасли преломи дугих костију руку и ногу као и преломи ребара. Процентно, преломи екстремитета су заступљени 75%, лобања 34%, ребра 19%.
- Преломи Епифизе и Метафизе су у овим случајевима често само делимични (напрснуће) тако да је често потребно извршити и микрорадиографска снимања.
- Оштећења костију се у овом узрасту могу направити вучењем, увртањем или ударањем. Овакве повреде често изазивају кидање периостеумске коштане мембране што изазива акумулацију крви (субпериостеално крварење).
- Процеси зарастања костију се на радиографским снимцима могу приметити као субпериостеалне калцификације.
- Најчешћи узрок смрти злостављаног детета је траума главе која се форензичким испитивањем може разликовати од "случајних" повреда.



Радиографски докази злостављања деце

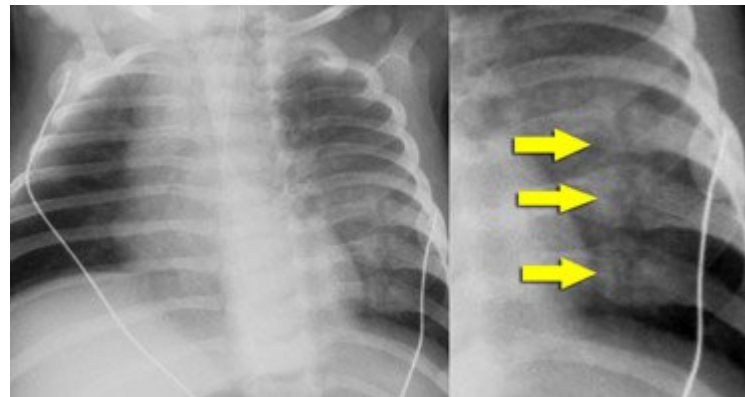
- Веома чест облик трауме код злостављаног детета су преломи ребара. Овакав вид повреде се у највећем броју случајева изазива наглим и интензивним притискањем грудног коша.
- Радиолог је тај који би на основу добијених снимака требао да сугестију о могућем злостављању детета.
- Уколико је услед злостављања дошло до пуцања унутрашњих органа, то се не може видети на радиографским снимцима.
- У тим случајевима најбоља дијагностичка техника је МРИ (Magnetic Resonance Imaging).



Прелом ребара



Напукли панкреас (МРИ)



Зарастао прелом ребара

Радиоактивност и радиоактивно зрачење

- Језгра неких хемијских елемената су нестабилна насупрот нуклеарним силама које их држе заједно.
- Као резултат тога долази до спонтаних промена карактеристика (идентитета) тих елемената.
- Овај процес, посебно чест код елемената чији је редни број изнад 92, назива се **радиоактивни распад** а елементи који му подлежу називају се **радионуклиди (радиоактивни изотопи)**.
- Постоје 3 основна типа радиоактивних распада:
 - α (алфа); где се из нестабилног језгра "избацује" језгро хелијума
 - β (бета); где се из нестабилног језгра "избацују" електрон и антинеутрино (код β^-) или позитрон и неутрино (код β^+)
 - γ (гама); где се из нестабилног језгра избацује фотон
- Процес радиоактивног распада описујемо једначином коју називамо закон радиоактивног распада:

$$\Delta N / N = -\lambda \Delta t$$

Промена броја језгара ΔN у временском интервалу Δt

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

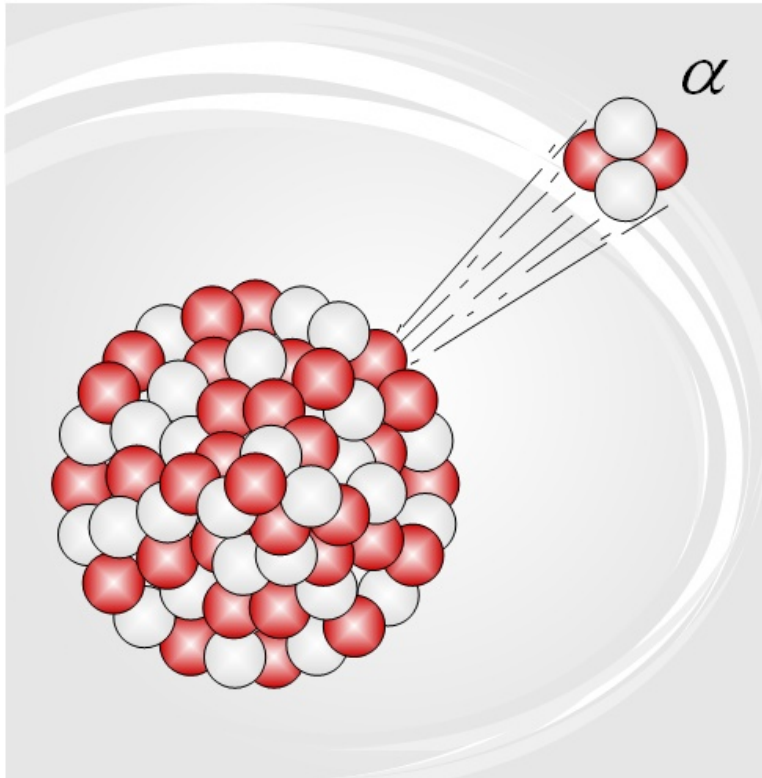
Број преосталих језгара N (од почетних N_0) након времена t

$$\lambda$$

Константа радиоактивног распада

α - распад

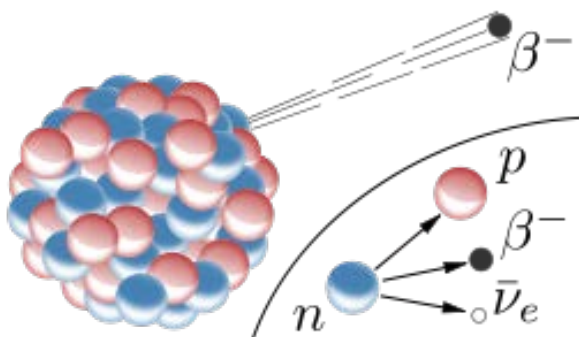
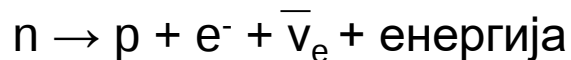
- Из нестабилног језгра "избацује" се језгро хелијума



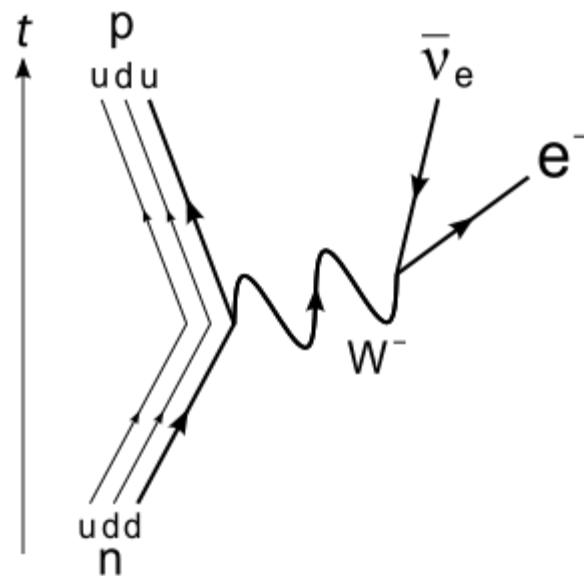
- Из језгра се олобађа језгро хелијума (које је двоструко позитивног наелектрисања).
- Редни број елемента се помера за два места у лево.

β - распад

- Из нестабилног језгра се "избацију" електрон и антинейтрино.



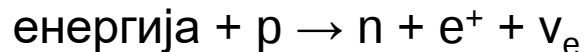
Неутрон се "претвара" у протон.
Редни број елемента иде за један у десно.



Фејманов дијаграм за β^- распад.
Неутрон се распада на протон, електрон и електронски антинейтрино преко W^- бозона као интермедијера.

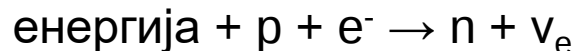
β^+ + распад

- Из нестабилног језгра се "избацију" позитрон и неутрино.



- Како се види из схеме, бета плус распад се (за разлику од бета минус) не може одиграти без утrophка енергије.
- Разлог за то је што је маса неутрона већа од масе протона.
- Зато се овај тип распада може одиграти једино уколико је енергија везе у почетном језгру (мајка) мања него у насталом језгру (ћерка). Разлика у тим енергијама иде на конверзију протона у неутрон.
- Редни број елемента се помера за једно место у лево.

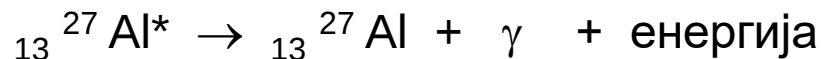
K захват (електронски захват)



- Протон захвата електрон из K-љуске и претвара се у неутрон уз ослобађање неутрина.
- Догађа се у језгрима која су богата протонима где је бета плус распад мало вероватан тј. када разлика енергија везе мајке и ћерке језгра није довољна (мања је од $2m_e c^2$).

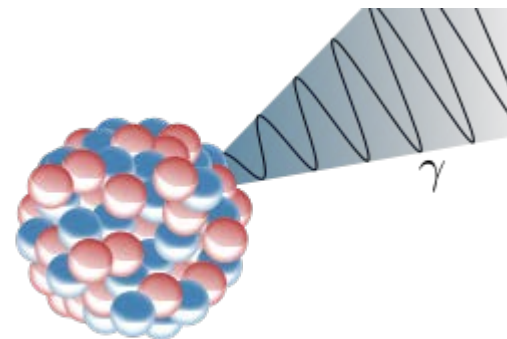
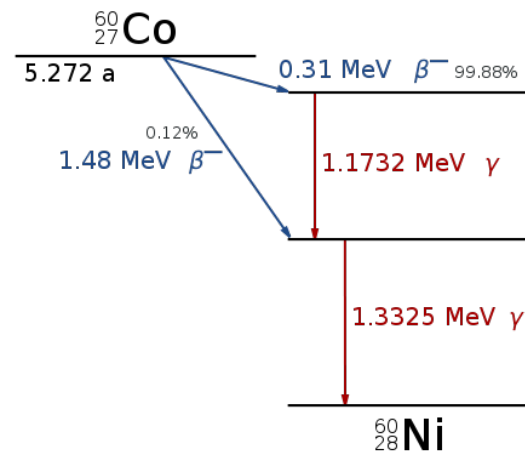
γ - распад

- Из нестабилног језгра се "избацује" фотон.
- Приликом овог типа радиоактивног распада елемент задржава свој идентитет.
- Пример:



- Овај вид распада се догађа уколико се језгро налази у "побуђеном" стању.
- Такође, гама зрачење чест је пратиоц осталих типова радиоактивних распада с обзиром да се после њих језгро "ћерка" налази у побуђеном стању.
- Апсорпција гама зрачења се може описати формулом:

$$I = I_0 \cdot e^{-\mu d}$$



Јединице и уређаји за детекцију радиоактивног зрачења

- Постоји велики број метода помоћу којих се може детектовати радиоактивно зрачење и поменућемо само најосновније:
- Јонизациона комора
- ГМ (Гајгер Милеров) бројач
- Сцинтилациони детектор
- Германијумски детектор
- Детектори алфа зрачања (Si кристални детектор)
- Филм, хемијски и остали детектори.
- **Јединице за радиоактивност**
 - Бекерел (Bq) = број распада у јединици времена (1/s)
 - Кири (Ci) = 3.7×10^{10} распада у секунди (Бекерела)
 - Греј (Gy) = апсорбована енергија зрачења по јединици масе (J/kg)
- Постоји још пуно јединица за радиактивност (које се примењују у зависности од физичког процеса који се прати и врсте радиоактивног зрачења које се мери: Rad, Rem, Sv, Röntgen ...).

