

Lääketieteellisten alojen valintakoe 21.5.2024

Tehtävät A1–A8, B1–B8 ja C1–C8: Lääketieteen, hammaslääketieteen ja eläinlääketieteen yhteinen valintakoe

Biolääketieteen valintakoe 21.5.2024

Tehtävät A1–A8 ja B1–B8

A1. Biologian monivalintatehtäviä (16 p.)

1. sammalille
2. Arkeonien DNA sitoutuu histoniproteiineihin.
3. proteiiniukuoresta, joka ympäröi genomia
4. mutualismi
5. Osa eliöiden orgaanisten yhdisteiden energiasta muuttuu kemiallisissa reaktioissa lämpöenergiaksi ja poistuu ekosysteemin energiakierrosta.
6. hiilijalanjälki
7. Ne pysäyttävät translaation sitoutumalla lähetti-RNA:han.
8. Tekijäinvaihdunnan seurauksena osa Y-kromosomista siirtyy X-kromosomille.
9. Sairaudella on sukupuolesta riippuva epätäydellinen penetranssi.
10. ruoansulatuskanavasta maksaan
11. Luteinisoivan hormonin erityys kasvaa voimakkaasti.
12. Serotoniinia jää synapsirakoon enemmän.
13. Sädelihas veltostuu.
14. Lepojännitteen palautuminen nopeutuu.
15. Rokotteen sisältämä RNA koodaa taudinaiheuttajan proteiinantigeeniä.
16. pintaan kiinnittynyt mikrobipopulaatio

A2. Ihmisen ruoansulatuskanavan toiminta (8 p.)

1. laktaasia
2. amylaasi
3. sakkaraasin
4. dipeptidejä
5. Ne kulkeutuvat imunesteen mukana solislaskimoon.
6. K
7. Mikrobit tuottavat imeytyviä lyhytketjuisia rasvahappoja.
8. Rasvakudos erittää enemmän kylläisyyttä lisäävää leptiiniä.

A3. Geenitekniikan menetelmät (11 p.)

- a) Solut hajotetaan mekaanisesti tai kemiallisesti. DNA erotetaan muista solun osista esimerkiksi sentrifugoimalla. DNA puhdistetaan kaupallisilla reagensseilla suodattimen avulla tai alkoholilla (etanolilla) saostamalla.
- b) Alukkeita käytetään PCR-tekniikassa. Aluke on lyhyt, keinotekoisesti valmistettu yksijuosteinen DNA-pätkä, joka suunnitellaan tutkittavan DNA:n emäsjärjestyksen perusteella. Alukkeet rajaavat monistettavan DNA-alueen. Alukkeita tarvitaan kaksi kappaletta, yksi kumpaankin juosteeseen. Aluke sitoutuu yksijuosteisen DNA:n monistettavan alueen päähän. Alukkeet toimivat DNA-polymeraasientsyymien kiinnityskohtina PCR-laitteissa tapahtuvan monistusreaktion aikana.
- c) Cas-entsyymi leikkaa DNA:n opas-RNA:n määrittelemästä kohdasta. Eri katkaisuentyymit tunnistavat ja katkaisevat DNA:n niille ominaisesta emäsjärjestyksen kohdasta. Geenitekniikassa Cas-entsyymiä käytetään CRISPR-Cas-menetelmässä eliöiden genomimuokkaukseen. CRISPR-Cas-menetelmän avulla eliön genomiin voidaan liittää tai siitä voidaan poistaa geenejä tai geeneihin voidaan tuottaa mutaatioita. Restriktioentsyymejä käytetään yhdistelmä-DNA-tekniikassa eristetyn bakteeri-DNA:n tai genomisen DNA:n katkaisemiseen ja kloonaukseen.

A4. Malaria ja immuunipuolustus (8 p.)

- a) Malariainfektio tuhoaa veren punasoluja. Tällöin kudokset kärsivät hapenpuutteesta, mikä johtaa lopulta kudonvaurioihin.
- b) Perna on osa immuunipuolustusjärjestelmää.
- c) Aikaisempi malariainfektio aktivoi hankitun immuunipuolustuksen. Antigeneinä toimivat loisten pintaproteiinit aktivoivat immuunipuolustusjärjestelmän B-lymfosyytit tuottamaan vasta-aineita. Osasta B-lymfosyytteja syntyy muistisoluja, jotka kykenevät tunnistamaan saman antigeenin. Muistisolut aktivoituvat uuden malariainfektion seurauksena, jolloin ne lisääntyvät nopeasti ja tautia aiheuttavat loiset tuhoutuvat.

A5. Aivolisäke ja hormonit (13 p.)

a)

LH:ta tuottavat solut sijaitsevat aivolisäkkeen etulohkossa, josta hormoni erittyy verenkiertoon. LH:n tuottoa säätelee hypotalamuksesta erittyvä hormoni (GnRH, gonadotropiineja vapauttava hormoni), joka vapautuu etulohkoon tuleviin verisuoniin.

b)

Oksitosiinia tuottavat solut sijaitsevat hypotalamuksessa. Hormoni varastoituu näiden solujen aksoneissa aivolisäkkeen takalohkossa, josta hormoni vapautuu verenkiertoon.

c)

1. laskostuminen – karkea solulimakalvosto (#1#)
2. transkriptio – tuma (#2#)
3. hiilihydraattiosien muokkaus – Golgin laite (#3#)
4. translaatio – karkea solulimakalvosto (#4#)
5. dimeerin muodostuminen – karkea solulimakalvosto (#5#)
6. eritys solusta – eksosytoosirakkula (#6#)
7. silmukointi – tuma (#7#)

d)

2, 7, 4, 1, 5, 3, 6

e)

#1# vesiliukoinen

#2# vapaana

#3# solukalvolla

#4# kypsyvän munarakkulan soluissa

#5# kiveksen välikudoksen soluissa

#6# munarakkulan puhkeamista

#7# testosteronin eritystä

LH on **vesiliukoinen** hormoni. Se kuljetetaan veressä **vapaana**. Kohdesoluissa LH sitoutuu reseptoreihinsa, jotka sijaitsevat **solukalvolla**. LH:n kohdekudoksissa reseptorit sijaitsevat naisella **kypsyvän munarakkulan soluissa**, ja miehellä **kiveksen välikudoksen soluissa**. Naisella LH säätelee **munarakkulan puhkeamista**, ja miehellä se säätelee **testosteronin eritystä**.

A6. Perhesuunnittelu (6 p.)

- a) Naisen sterilisaation jälkeen siittiöt eivät pääse hedelmöittämään munasolua, koska munanjohtimet on tukittu.
- b) Miehen sterilisaation jälkeen siittiöt eivät pääse etenemään lisäkiveksistä siemensyöksyn yhteydessä, koska siemenjohtimet on katkaistu.
- c) Ne eivät muutu mitenkään.

A7. Homeostaasi (10 p.)

- a) Homeostaasi on elimistön sisäisen tasapainotila.
- b) Silmä ja käpyrauhanen. Käpyrauhanen erittää yöaikaan melatoniinia, mistä seuraa vireystilan lasku. Päivällä valo vähentää melatoniinin eritystä, jolloin vireystila kohoaa.
- c) Lisäkilpirauhashormoni/parathormoni vapauttaa kalsiumia luukudoksesta vereen.
- d) Kalsitrioli nostaa veren kalsiumpitoisuutta. Se lisää kalsiumin imeytymistä suolistosta. Kalsitriolia tuotetaan munuaisissa.
- e) Lisämunuaisen ydin tuottaa adrenaliinia ja noradrenaliinia. Lisämunuaisen kuorikerros tuottaa kortisolia. Ne nostavat veren glukoosipitoisuutta.
- f) Sensorinen adaptaatio tarkoittaa sitä, että aistinradan hermosolun välittämät signaalit vaimentuvat tai loppuvat, vaikka ärsykkeen olemassaolo jatkuu. Tuntoaisti ei adaptoidu kipuärsykkeeseen.

A8. Vierasaineet ja immuunipuolustus (8 p.)

- POP-yhdisteet sitoutuvat mikromuoveihin, jotka päätyvät ihmiseen.
- POP-yhdisteet ovat rasvaliukoisia, joten ne läpäisevät solukalvon helposti ja kertyvät kudoksiin. Tällöin yhdisteet myös rikastuvat ravintoketjussa.
- Partikkelit tarttuvat hengitysteiden limaan. Hengitysteiden epiteelisolukon värekarvat kuljettavat limaa ja partikkeleita nieluun, josta ne niellään ruoansulatuskanavaan.
- Keuhkokudoksen makrofagit eli syöjäsolut fagosytoivat mikromuoveja.

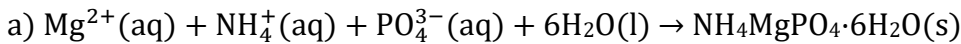
B1. Yhdisteryhmät (7 p.)

- sekundäärinen alkoholi
- aldehydi
- eetteri, esteri, primäärinen alkoholi, amidi
- primäärinen amiini, ketoni, eetteri
- fenoli, esteri/laktoni

B2. Flavonoidien biosynteesi (7 p.)

- #1# eliminaatioreaktiossa
- #2# ammoniakki
- #3# substituutioreaktion
- #4# vety
- #5# kondensaatioreaktiossa
- #6# 3
- #7# additioreaktiossa

Flavonoidien, kuten appelsiineissa esiintyvän naringeniinin (**F**), biosynteesireitti lähtee oheisen kuvan mukaisesti fenyylialaniinista (**A**). Siitä muodostuu entsyymin katalysoimassa **eliminaatioreaktiossa** kanelihappoa (**B**). Reaktion toinen tuote on **ammoniakki** (**X**). Seuraavan **substituutioreaktion** tuotteet ovat *p*-kumaarihappo (**C**) ja **vety** (**Y**), joka sitoutuu reaktiossa koentsyymiin. Tämän jälkeen *p*-kumaarihappoon (**C**) liitetään entsyymin katalysoimassa **kondensaatioreaktiossa** koentsyymi-A (KoASH). Muodostunut yhdiste (**D**) reagoi malonyylikoentsyymi-A:n kanssa, jolloin syntyy naringeniinikalkonia (**E**), hiilidioksidia ja koentsyymi-A:ta. Reaktiossa malonyylikoentsyymi-A:n stoikiometrinen kerroin *n* on **3**. Viimeisessä vaiheessa naringeniinikalkoni (**E**) sykliisoituu **additioreaktiossa** naringeniiniksi (**F**).

B3. Struviitti (11 p.)

$$\text{b) } n(\text{MgCl}_2) = \frac{2,9011 \text{ g}}{95,21 \frac{\text{g}}{\text{mol}}} = 0,030\,470\,539 \text{ mol} = n(\text{struviitti})$$

Saostuneen struviitin ainemäärä: $n = 0,715 \cdot 0,030\,470\,539 \text{ mol} = 0,021\,786\,435 \text{ mol}$

\Rightarrow Saostuneiden fosfaatti- ja ammoniumionien ainemäärät ovat myös $0,021\,786\,435 \text{ mol}$.

$$m(\text{PO}_4^{3-})_{\text{saostunut}} = 0,021\,786\,435 \text{ mol} \cdot 94,97 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 2,069\,058 \text{ g} = 2069,058 \text{ mg}$$

$$m(\text{NH}_4^+)_{\text{saostunut}} = 0,021\,786\,435 \text{ mol} \cdot 18,042 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,393\,071 \text{ g} = 393,071 \text{ mg}$$

Virtsanäytteessä oli alun perin fosfaatti- ja ammoniumioneja:

$$m(\text{PO}_4^{3-})_{\text{alku}} = 1501 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 2,00 \text{ l} = 3002 \text{ mg}$$

$$m(\text{NH}_4^+)_{\text{alku}} = 297 \frac{\text{mg}}{\text{l}} \cdot 2,00 \text{ l} = 594 \text{ mg}$$

Fosfaatti- ja ammoniumioneja oli jäljellä saostuksen jälkeen:

$$m(\text{PO}_4^{3-}) = m(\text{PO}_4^{3-})_{\text{alku}} - m(\text{PO}_4^{3-})_{\text{saostunut}} = 3002 \text{ mg} - 2069,058 \text{ mg} = 932,942 \text{ mg}$$

$\approx 933 \text{ mg}$

$$m(\text{NH}_4^+) = m(\text{NH}_4^+)_{\text{alku}} - m(\text{NH}_4^+)_{\text{saostunut}} = 594 \text{ mg} - 393,071 \text{ mg} = 200,929 \text{ mg}$$

$\approx 201 \text{ mg}$

B4. MS-taudin hoidossa käytetyn dimetyylifumaraatin synteesi (17 p.)

a)

#1# 2

#2# 1

#3# 1

#4# 1

Reaktio I: Metanolin ja yhdisteen **1** stoikiometristen kertoimien suhde on **2**. Yhdisteen **2** ja yhdisteen **1** stoikiometristen kertoimien suhde on **1**.

Reaktio III: Metanolin ja yhdisteen **1** stoikiometristen kertoimien suhde on **1**. Yhdisteen **4** ja yhdisteen **1** stoikiometristen kertoimien suhde on **1**.

b)

$$n(\mathbf{1}) = \frac{m(\mathbf{1})}{M(\mathbf{1})}$$

$$n(\mathbf{1}) = n(\mathbf{2}) + n(\mathbf{4})$$

$$\Leftrightarrow n(\mathbf{4}) = n(\mathbf{1}) - n(\mathbf{2})$$

$$m(\text{seos}) = m(\mathbf{2}) + m(\mathbf{4})$$

$$= n(\mathbf{2}) \cdot M(\mathbf{2}) + n(\mathbf{4}) \cdot M(\mathbf{4})$$

$$= n(\mathbf{2}) \cdot M(\mathbf{2}) + [n(\mathbf{1}) - n(\mathbf{2})] \cdot M(\mathbf{4})$$

$$\Leftrightarrow n(\mathbf{2}) = \frac{m(\text{seos}) - n(\mathbf{1}) \cdot M(\mathbf{4})}{M(\mathbf{2}) - M(\mathbf{4})}$$

$$\Leftrightarrow m(\mathbf{2}) = \frac{\left[m(\text{seos}) - \frac{m(\mathbf{1})}{M(\mathbf{1})} \cdot M(\mathbf{4}) \right] \cdot M(\mathbf{2})}{M(\mathbf{2}) - M(\mathbf{4})}$$

$$= \frac{\left[1,450 \text{ g} - \frac{1,000 \text{ g}}{98,06 \text{ g/mol}} \cdot 130,10 \text{ g/mol} \right] \cdot 144,13 \text{ g/mol}}{144,13 \frac{\text{g}}{\text{mol}} - 130,10 \text{ g/mol}}$$

$$= 1,2662613 \text{ g}$$

$$\approx \underline{\underline{1,266 \text{ g}}}$$

c)

Yhdiste **1**: 1 piikki

Yhdiste **2**: 2 piikkiä

Yhdiste **3**: 2 piikkiä

d) *cis-trans*-isomeerejä

B5. Lääkeaineen imeytyminen (7 p.)

Sandoksatriilaatissa on useita poolisia funktionaalisia ryhmiä (kaksi karboksyyli- ja eetteriryhmää sekä amidiryhmä). Nämä ryhmät edistävät vesiliukoisuutta ja vähentävät rasvaliukoisuutta. Hydrofobisista renkaistaan huolimatta sandoksatriilaatti on melko poolinen, ja siksi se ei kykene läpäisemään ohutsuolen nukkalisäkkeiden solujen solukalvoa.

Sandoksatriili muodostuu, kun sandoksatriilaatin toinen karboksyylihapporyhmä esteröidään. Esteriryhmässä on hydrofobinen rengas. Hydrofobinen rengas kasvattaa yhdisteen rasvaliukoisuutta, jolloin sandoksatriili kykenee läpäisemään hydrofobisen solukalvon.

B6. Pariutumissääntöjen rikkominen (9 p.)

a) RNA

b) RNA

c) kuvan yläreunassa

d) kuvan alareunassa

e) A

f) fenyylialaniinia

B7. Diabetesta sairastavan henkilön verensokeri (10 p.)

Alkuvirtsaa suodattui tunnin aikana: $V = 115 \text{ ml/min} \cdot 1 \cdot 60 \text{ min} = 6\,900 \text{ ml}$

Suodokseen tulevan glukoosin ainemäärä: $n = 8,4 \text{ mmol/l} \cdot 6,90 \text{ l} = 57,96 \text{ mmol}$

Virtsan sisältämän glukoosin ainemäärä: $n = 6,2 \text{ mmol/l} \cdot 0,052 \text{ l} = 0,3224 \text{ mmol}$

Takaisinimeytyneen glukoosin ainemäärä: $n = 57,96 \text{ mmol} - 0,3224 \text{ mmol} = 57,6376 \text{ mmol}$

Takaisinimeytyneen glukoosin massa: $m = 57,6376 \cdot 10^{-3} \text{ mol} \cdot 180,156 \text{ g/mol} = 10,384 \text{ g}$
 $\approx 10 \text{ g}$

B8. Kystiinipitoisuuden määrittäminen (12 p.)

Lasketaan NaOH-kulutuksesta sen ainemäärä:

$$n(\text{NaOH}) = c(\text{NaOH}) \cdot V(\text{NaOH}) = 0,01750 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \cdot 12,7 \text{ ml} = 0,222\,25 \text{ mmol.}$$

Tislautuneen ammoniakkin ainemäärä:

$$n(\text{NH}_3) = n(\text{HCl}) - n(\text{NaOH})$$

$$= V(\text{HCl}) \cdot c(\text{HCl}) - 0,222\,25 \text{ mmol}$$

$$= 25,0 \text{ ml} \cdot 0,0400 \frac{\text{mol}}{\text{l}} - 0,222\,25 \text{ mmol} = 0,777\,75 \text{ mmol.}$$

Kystiinin konsentraatio saadaan laskettua alkupäisen kystiininäytteen tilavuuden ja tislautuneen ammoniakkin ainemäärän avulla. Laskussa huomioidaan, että kystiinissä on kaksi typpiä:

$$n(\text{kystiini}) = \frac{n(\text{NH}_3)}{2} = \frac{0,777\,75 \text{ mmol}}{2} = 0,388\,88 \text{ mmol.}$$

$$c(\text{kystiini}) = \frac{n(\text{kystiini})}{V(\text{kystiininäyte})} = \frac{0,388\,88 \text{ mmol}}{10,0 \text{ ml}} = 0,038\,888 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \approx 0,0389 \frac{\text{mol}}{\text{l}} \quad (0,039 \frac{\text{mol}}{\text{l}})$$

Kystiinin muodostuessa kaksi kysteiniä reagoi, ja H_2 poistuu. Kystiinin molekyylikaava on $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_4\text{S}_2$.

$$M(\text{kystiini}) = (6 \cdot 12,01 + 12 \cdot 1,008 + 2 \cdot 14,01 + 4 \cdot 16,00 + 2 \cdot 32,07) \text{ g/mol}$$

$$= 240,316 \text{ g/mol}$$

$$m(\text{kystiini}) = n(\text{kystiini}) \cdot M(\text{kystiini}) = 0,388\,88 \text{ mmol} \cdot 240,316 \frac{\text{g}}{\text{mol}} = 0,09345 \text{ g}$$

$$\approx 93,5 \text{ mg} \quad (93 \text{ mg})$$

C1. Fysiikan monivalintatehtäviä, osa I (13 p.)

1. 300 Bq/m^3
2. $A(T) = A_0(1+2\alpha\Delta T)$
3. $16P$
4. $80,0 \text{ kJ}$
5. B
6. E
7. $H = (m/M)h$
8. väliaineen paine-erosta kappaleen ylä- ja alapinnoilla
9. $0,35 \text{ m/s}^2$
10. $0,14 \text{ s}$
11. $3,3 \text{ N/m}$
12. $1,1 \text{ J}$
13. $2,4 \text{ kg}$

C2. Fysiikan monivalintatehtäviä, osa II (15 p.)

1. 39 m
2. 28 nm
3. 89 cm
4. 3
5. 480Ω
6. 0 J
7. 1380
8. B.
9. 103 kV
10. 100 lx
11. $1,5 \text{ V}$
12. $4,2 \text{ l/100 km}$
13. 100 h
14. $0,48 \text{ mK}$
15. $0,010$

C3. Lämpö ja energia (7 p.)

Astiaa lämmitetään vakioteholla. Tällöin kuumentimen lämmitysteho P voidaan laskea hyödyntämällä kuvaajassa esitettyä veden lämpenemiskäyrää:

$$Q_k = P\Delta t_1 = c_{\text{vesi}}m\Delta\theta$$

$$\Rightarrow P = \frac{c_{\text{vesi}}m\Delta\theta}{\Delta t_1} = \frac{4,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1,05 \text{ kg} \cdot 100 \text{ }^\circ\text{C}}{1500 \text{ s}} = 294 \text{ W}$$

Kun kuumentimen lämmitysteho tunnetaan, jäämurskan massa m voidaan laskea arvioimalla kuvaajasta sen sulattamiseksi tehty lämmitystyö ($\Delta t_2 = 500 \text{ s}$):

$$P\Delta t_2 = Q_k = Q_s = sm_{\text{jää}}$$

$$\Rightarrow m_{\text{jää}} = \frac{P\Delta t_2}{s} = \frac{294 \text{ W} \cdot 500 \text{ s}}{333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0,4414 \text{ kg} \approx \mathbf{0,44 \text{ kg}}$$

C4. Unitutkimuksen äänieristys (6 p.)

Ratkaistaan äänen intensiteetti I :

$$L = 10 \text{ dB} \cdot \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

$$\frac{L}{10 \text{ dB}} = \log_{10} \frac{I}{I_0}$$

$$10^{\frac{L}{10 \text{ dB}}} = \frac{I}{I_0}$$

$$I = 10^{\frac{L}{10 \text{ dB}}} \cdot I_0.$$

Ratkaistaan äänen teho P :

$$P = AI = 4\pi r^2 \cdot 10^{\frac{L}{10 \text{ dB}}} \cdot I_0 = 4 \cdot \pi \cdot (6 \text{ m})^2 \cdot 10^{\frac{50 \text{ dB}}{10 \text{ dB}}} \cdot 10^{-12} \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 4,52 \cdot 10^{-5} \text{ W}$$

$$\approx \mathbf{5 \cdot 10^{-5} \text{ W.}}$$

C5. Luukudoksen biomekaniikkaa (13 p.)

a) Kuvaajasta arvioidaan origosta lähtevän suoran kulmakerroin, joka vastaa pituussuuntaista Youngin moduulia puristuksessa:

$$E_{\text{pit}} = \frac{100 \text{ MPa}}{0,8\%} = \frac{100 \text{ MPa}}{0,008}.$$

E_{pit} on 47 % suurempi kuin E_{poik} :

$$E_{\text{pit}} = 1,47 \cdot E_{\text{poik}}.$$

$$E_{\text{poik}} = \frac{E_{\text{pit}}}{1,47} = \frac{100 \text{ MPa}}{1,47 \cdot 0,008} \approx \mathbf{8,5 \text{ GPa}}.$$

b) Muotoillaan työn lauseke kuvaajassa esiintyvien suureiden avulla:

$$W = F\Delta L = \frac{F}{A} \cdot \frac{\Delta L}{L} \cdot AL = \sigma\varepsilon V.$$

Tilavuus V (205 cm^3) on annettu tehtävänannossa. Lisäksi $\sigma\varepsilon$ saadaan arvioitua kuvaajasta jännitys-venymäkäyrän alle jäävänä pinta-alana, toisin sanoen graafisesti integroiden. Myötölujuus on tekstin perusteella kuvaajan elastisen ja plastisen alueen rajapiste. Murtumapiste on jännitys-venymäkäyrän päätepiste. Myötölujuuden ja murtumapisteen välissä jännitys-venymäkäyrän alle jää noin 39 ruutua.

Yhden ruudun pinta-ala on

$$20 \text{ MPa} \cdot 0,2\% = 20 \text{ MPa} \cdot 0,002 = 40 \text{ kPa}.$$

Näin ollen luuhun puristuksessa tehty työ on

$$39 \cdot 40 \text{ kPa} \cdot 0,000205 \text{ m}^3 = 319,8 \text{ J} \\ \approx \mathbf{320 \text{ J}}.$$

c) Tangon osumakohtaan kohdistama voima saadaan impulssista

$$I = F\Delta t \Leftrightarrow F = \frac{I}{\Delta t}.$$

Siten törmäyksen ajan tangon paine osumakohdassa on

$$P = \frac{F}{A} = \frac{I}{A\Delta t} = \frac{299 \text{ Ns}}{0,000218 \text{ m}^2 \cdot 0,0130 \text{ s}} = 105,5 \text{ MPa} \approx \mathbf{106 \text{ MPa}}.$$

Kuvaajan päätepisteestä (murtumapisteestä) saadaan pituussuuntainen jännitys, jossa luu murtuu. Kuvaajalta luettuna murtumapiste on enintään 150 MPa. Poikittaissuuntaisen puristuksen murtolujuus on tällöin enintään

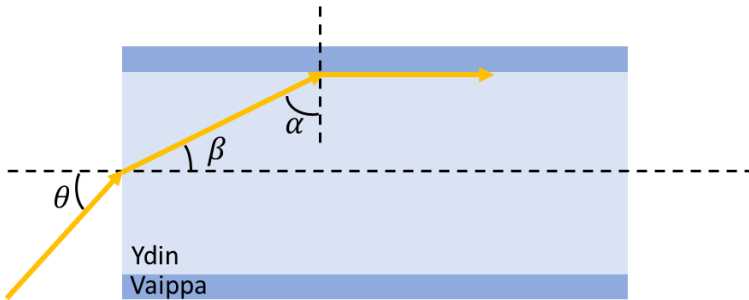
$$\frac{150 \text{ MPa}}{1,45} \approx 103 \text{ MPa.}$$

Tämän perusteella luu murtuu.

C6. Endoskopia (7 p.)

Taiteutislaki (Snellin laki):

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}.$$



Optisessa kuidussa ytimen ja vaipan rajapinnassa tapahtuu kokonaisheijastuminen. Taiteutislaiista saadaan kokonaisheijastumisen rajakulma (α):

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{vaippa}}}{n_{\text{ydin}}}\right).$$

Valitaan taulukosta taitekertoimet ja lasketaan valonsäteen aallonpituus kvartsilasissa, kun tulevan valon aallonpituus on 589 nm:

$$\begin{aligned} \lambda_{\text{ydin}} &= \lambda_{\text{vesi}} \cdot \frac{n_{\text{vesi}}}{n_{\text{ydin}}} \\ &= 589,0 \text{ nm} \cdot \frac{1,333}{1,458} = 538,5027 \dots \text{ nm} \end{aligned}$$

Ratkaistaan rajakulman yhtälöstä α :

$$\alpha = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{vaippa}}}{n_{\text{ydin}}}\right)$$

Kuidun pään taitekulma: $\beta = 90^\circ - \alpha$

Valonsäteen tulokulma vedestä kuidun ytimeen on:

$$\begin{aligned} \theta &= \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{ydin}}}{n_{\text{vesi}}} \cdot \sin \beta\right) = \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{ydin}}}{n_{\text{vesi}}} \cdot \sin 90^\circ - \alpha\right) \\ &= \sin^{-1}\left\{\frac{n_{\text{ydin}}}{n_{\text{vesi}}} \cdot \sin \left[90^\circ - \sin^{-1}\left(\frac{n_{\text{vaippa}}}{n_{\text{ydin}}}\right)\right]\right\} \end{aligned}$$

Sijoitetaan yhtälöön n_{vesi} (589 nm) ja aallonpituutta 538,5 nm vastaavat taitekertoimien arvot:

$$\theta = \sin^{-1} \left\{ \frac{1,460}{1,333} \cdot \sin \left[90^\circ - \sin^{-1} \left(\frac{1,433}{1,460} \right) \right] \right\}$$
$$= \sin^{-1} \left(\frac{1,460}{1,333} \cdot \sin 11,0360 \dots^\circ \right) = 12,1026 \dots \approx \mathbf{12,10^\circ}.$$

Hyväksytään myös ratkaisu

$$\theta = \sin^{-1} \left(\frac{n_{\text{ydin}}}{n_{\text{vesi}}} \cdot \sin \beta \right) = \sin^{-1} \left(\frac{1,458}{1,333} \cdot \sin 11,0360 \dots^\circ \right) = 12,0858 \dots \approx \mathbf{12,09^\circ}.$$

Kokonaisheijastus ei aiheuta valonsäteeseen aallonpituuden muutosta, joten aallonpituus optisen kuidun toisessa päässä on sama kuin alkupäässä

$$\lambda_{\text{ydin}} = 538,5027 \dots \text{ nm} \approx \mathbf{538,5 \text{ nm}}.$$

C7. Rauhaskudosannos mammografiatutkimuksessa (11 p.)

Kuvan A korkeimmasta spektrin energia-arvosta saadaan kiihdytysjännite 27 kV. Edelleen kuvasta A voidaan päätellä, että kyseessä Mo-anodi, sillä röntgenspektrin piikit vastaavat molybdeenin K_{α} - ja K_{β} -arvoja (taulukko 1). Suodatuksessa on käytetty Mo:a, joka voidaan päätellä kuvasta B hyödyntämällä annettua säteilyntuottoa 0,110 mGy/mAs, kun käytetty kiihdytysjännite ja anodimateriaali tiedetään.

Ilmaan absorboitunut annos ihon pinnalla huomioiden etäisyyskorjaus on

$$\begin{aligned}
 K_i &= (58,0 \text{ cm}/53,0 \text{ cm})^2 \cdot K_a = (58,0 \text{ cm}/53,0 \text{ cm})^2 \cdot Y \cdot Q \\
 &= (58,0 \text{ cm}/53,0 \text{ cm})^2 \cdot 0,110 \text{ mGy/mAs} \cdot 48,0 \text{ mAs} \\
 &= 6,323 \text{ mGy}.
 \end{aligned}$$

Puoliintumispaksuus 0,35 mmAl voidaan määrittää kuvasta C, kun tiedetään, että käytössä on Mo-suodatus. Taulukoista 2 ja 3 poimitaan puoliintumispaksuutta vastaavat kertoimet ($g = 0,187$, $c = 1,082$ ja $s = 1,001$), joten keskimääräinen rauhaskudosannos on

$$\begin{aligned}
 MGD &= K_i \cdot g \cdot s \cdot c \\
 &= 6,323 \text{ mGy} \cdot 0,187 \cdot 1,001 \cdot 1,082 \\
 &= \underline{\underline{1,28 \text{ mGy}}}.
 \end{aligned}$$

C8. Virtapiirin johdinten paksuus (8 p.)

$$U = 8,2 \text{ V}$$

$$I = 2,0 \text{ A}$$

$$\rho = 1,678 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m}$$

$$L1 = 1,20 \text{ cm}, L2 = 2,00 \text{ cm}$$

$$L3 = L4 = 2,35 \text{ cm}, L5 = L6 = 2,45 \text{ cm}$$

$$L7 = 1,80 \text{ cm}, L8 = 9,45 \text{ cm}$$

$$R_S = R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 1,171 \text{ } \Omega = R_x$$

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

Muodostetaan piirin yhtälö (kaikkien vastusten resistanssit ovat yhtä suuret):

$$U = [R_x + R_{L1} + R_x + R_{L2} + \frac{1}{\frac{1}{R_{L3}+R_x+R_{L5}} + \frac{1}{R_{L4}+R_x+R_{L6}}} + R_{L7} + R_x + R_{L8}] \cdot I, \text{ jossa}$$

$$R_{L1} = \rho \frac{L1}{A}, R_{L2} = \rho \frac{L2}{A}, R_{L3} = \rho \frac{L3}{A}, R_{L5} = \rho \frac{L5}{A}, R_{L7} = \rho \frac{L7}{A}, R_{L8} = \rho \frac{L8}{A}$$

$$\frac{U}{I} = R_x + R_{L1} + R_x + R_{L2} + \frac{1}{\frac{1}{R_{L3}+R_x+R_{L5}} + \frac{1}{R_{L4}+R_x+R_{L6}}} + R_{L7} + R_x + R_{L8}$$

$$= R_x + R_{L1} + R_x + R_{L2} + \frac{R_{L3}+R_x+R_{L5}}{2} + R_{L7} + R_x + R_{L8} \quad :|| R_{L3} + R_x + R_{L5} = R_{L4} + R_x + R_{L6}$$

$$= 3,5 \cdot R_x + R_{L1} + R_{L2} + R_{L7} + R_{L8} + \frac{R_{L3}}{2} + \frac{R_{L5}}{2}$$

$$= 3,5 \cdot R_x + [L1 + L2 + L7 + L8 + 0,5 \cdot L3 + 0,5 \cdot L5] \cdot \frac{\rho}{A}$$

$$A = \rho \cdot \frac{[L1 + L2 + L7 + L8 + 0,5 \cdot L3 + 0,5 \cdot L5]}{\frac{U}{I} - 3,5 \cdot R_x}$$

$$A = 1,678 \cdot 10^{-8} \text{ } \Omega\text{m} \cdot [1,20 \text{ cm} + 2,00 \text{ cm} + 0,5 \cdot 2,35 \text{ cm} + 0,5 \cdot 2,45 \text{ cm} + 1,8 \text{ cm} + 9,45 \text{ cm}] / (8,2 \text{ V} / 2,0 \text{ A} - 3,5 \cdot 1,171 \text{ } \Omega) \approx 1,884953 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

$$A = \pi r^2 \Rightarrow d = 2 \cdot r = 2 \cdot \sqrt{(A/\pi)} = 2 \cdot \sqrt{(1,884953 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\pi)} = 0,001549 \text{ m}$$

$$\approx \underline{\underline{1,5 \text{ mm}}}$$