



Co-funded by
the European Union

Õppeüksus: Nägemismehhanism: valgusest ajju

DiFC - Palermo Ülikool



BIOS4YOU
AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY

Project Number: KA220-BW-23-30-126516

"Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them."





Sisukord

1. Nägemismehhanism: valgusest aju	3
Nägemise ja optika bioloogia; signaaliülekanne; silmamunast nägemiskoorde	3
2. Avasta moodul	6
Kaasamise etapp	6
Ajurünnakud klassis	7
Algtase	8
Nägemise füüsika ja optika	8
Füüsikast füsioloogiani: fotoretseptorid ja signaal.	9
Ruumiline jaotus ja nägemisteravus.	10
Võrkkestast aju: kohustuslikud etapid.	10
Teooriast igapäevaste esemete juurde.	11
Veebipõhised ressursid	11
Edasijõudnutele	11
Pööratud õppimine:	12
3. Operatsioonimoodul	12
Algtase	12
Edasijõudnutele	14
Tegevused:	15
4. Viited	15





Õpetee üldine teema	Nägemismehhanism: valgusest aju
Õppeüksuse täpne nimetus	Nägemise ja optika bioloogia; signaaliülekanne; silmamunast nägemiskoorde
Sihtrühma vanus	17–19-aastased
Õppijale esitatavad nõuded	Bioloogia (silma anatoomia, närvikoe), füüsika (geomeetriline optika: peegeldus, murdumine, fokuseerimine) ja elektrofüsioloogia sissejuhatavad elemendid põhiteadmised.
Õppeüksuse kirjeldus	See üksus juhendab õpilasi ja õpetajaid läbi multidistsiplinaarse teekonna, mis integreerib bioloogiat ja füüsikat, et mõista, kuidas objektidelt peegelduv valgus koondub võrkkestale, muundub fotoretseptorite (kolvikeste ja keppide) abil elektrilisteks signaalideks ning kandub mööda nägemisnärv nägemise eest vastutavatesse ajukoore piirkondadesse. Digitaalsete ja liitreaalsuse tööriistade kasutamise eesmärk on muuta muidu nähtamatud protsessid (fotopigmentide aktiveerimine, närvisignaalide suunamine) nähtavaks, sidudes anatoomilised struktuurid selgelt ja järk-järgult füüsikaliste põhimõtetega.
Teema: Asjaosalised	Bioloogia, neuroteadus, füüsika (optika), tehnoloogia (visualiseerimine/liitreaalsus)
Märksõnad	Nägemine; Võrkkest; Kolvikesed ja keppikesed; Signaaliülekanne; Nägemisnärv; Refraktsioon; Fokuseerimine; Nägemiskoor; AR; Stseenipõhine õpe





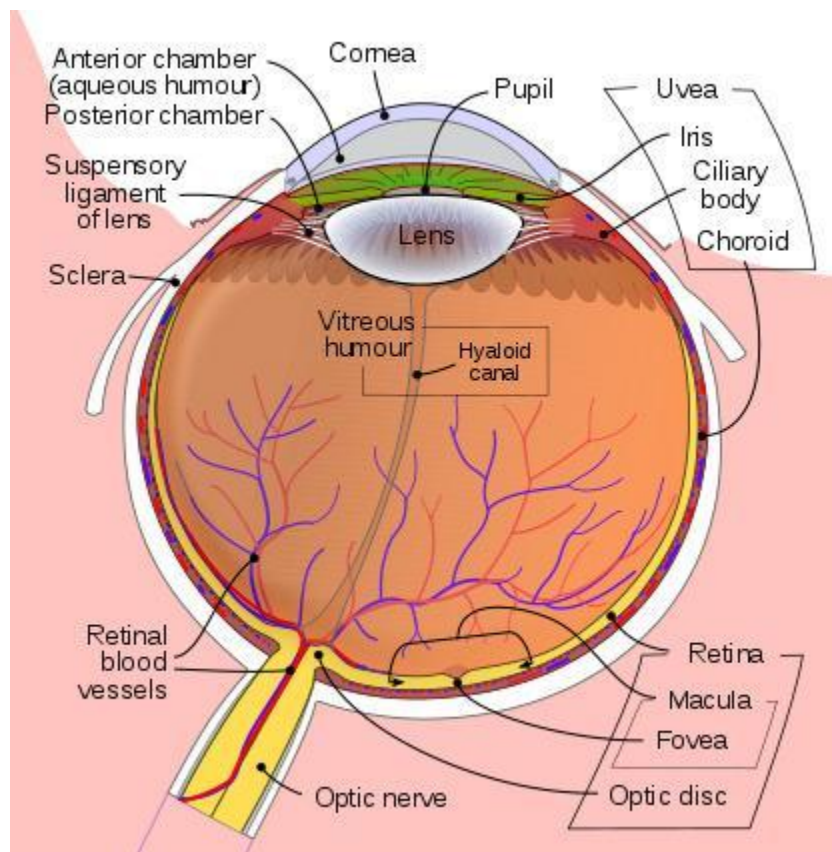
Peamised omandatavad kvalifikatsioonid, oskused ja teadmised	• Integreeritud biofüüsikaliste protsesside arutluskäik ja probleemide lahendamine • Disainmõtlemise rakendamine järjestikustele ja visuaalsetele esitustele (stseenidele) • Praktilised teadmised: geomeetiline optika, silma anatoomia, nägemisrajad • Digitaalsed/AR-oskused: 3D-visualiseerimine, informatiivsed kihtide paigutus, stseenide navigeerimine
Kasutatud ressursid ja didaktilised abivahendid	AR-platvormid (nt Delightex Studio – Spaces, Marker), usaldusväärsed veebiressursid ja õppevideod, teadusartiklid ja andmebaasid; 3D-mudelid (silma, võrkkest/fotoretseptorid, nägemisnärvi) ja tekstilised kihid oluliste andmete jaoks.
Hindamiskriteeriumid ja hindamine	Teadmiste (optiline-bioloogiline-närviline järjestus), oskuste (optiliste nähtuste ja bioloogiliste reaktsioonide vahelised põhjus-tagajärg seosed) ja pädevuste (liitreaalsuse tööriistade teadlik kasutamine, interdistsiplinaarne integratsioon) hindamine.

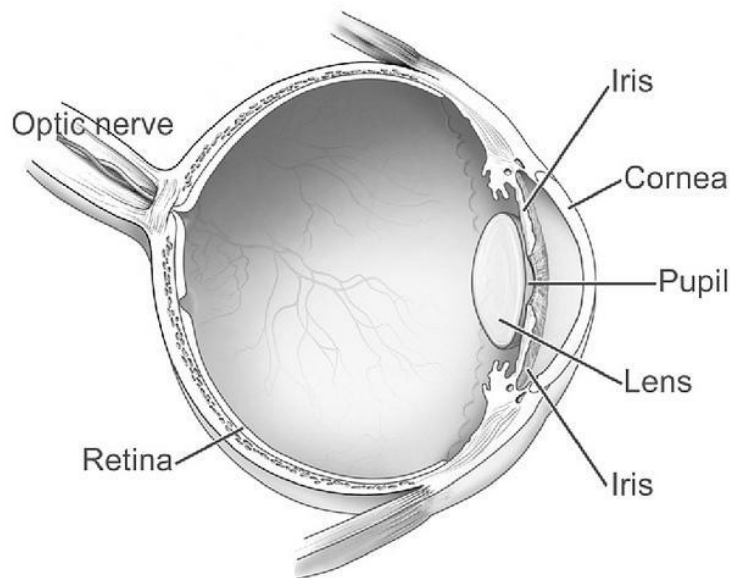


1. Nägemismehhanism: valgusest aju

Nägemise ja optika bioloogia; signaaliülekanne; silmamunast nägemiskoorde

Nägemine tekib füüsiliste nähtuste ja bioloogiliste protsesside kokkupuutepunktist. Objektidelt peegelduv valgus läbib silma läbipaistvat keskkonda, murdub ja fokuseerub võrkkestale. Siin muudavad fotoretseptorid valgusenergia elektrilisteks signaalideks, mis liiguvad mööda nägemisnärvi visuaalse töötlemise eest vastutavatesse ajukoore piirkondadesse. Nägemine ei tähenda pildi passiivset salvestamist, vaid selle rekonstrueerimist signaalidest, mida aju tõlgendab ja integreerib.



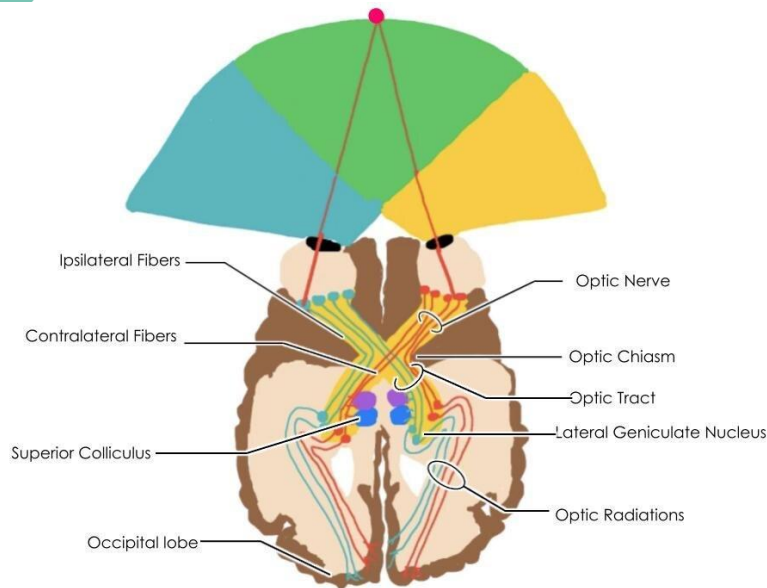


Teravustamine sõltub pindade kõverusest ja silmakeskkonna murdumisnäitajatest. Geomeetrilised või optilised muutused põhjustavad selliseid seisundeid nagu lühinägelikkus või kaugnägelikkus, mille puhul fookuspunkt langeb võrkkesta tasapinnast ette või taha. Läätse kujutis aitab kaasa akommodatsioonile, muutes veidi oma kõverust, et säilitada teravust erinevatel kaugustel.

Võrkkest on spetsialiseerunud närvikude. Väga tundlikud kepikesed toetavad nägemist hämaras; vähem tundlikud kolvikesed võimaldavad värvitaju ja teravat nägemist päevavalguses. Fototransduktsioon algab siis, kui fotopigmendid neelavad footoneid ja käivitavad biokeemilise kaskaadi, mis moduleerib fotoretseptorite ja järgnevate võrkkesta neuronite (bipolaarsed, ganglion- ja interneuronid) membraanipotentsiaali.

Võrkkestast moodustavad ganglionirakkude aksonid nägemisnärvi. Kiud ristuvad osaliselt nägemisnärvi kiasmi juures, tagades, et parempoolset nägemisvälja töötleb peamiselt vasak poolkera ja vastupidi. Signaal liigub mööda nägemistrakti lateraalsesse geniculate'i kehasse (talamus) ja jõuab seejärel primaarsesse nägemiskorteksisse (V1), kus seda koos assotsiatiivsete piirkondadega analüüsitakse ja integreeritakse, et eraldada selliseid tunnuseid nagu kuju, sügavus, liikumine ja värv.





Taju mõjutavad kohanemismehhanismid ja järelusprotsessid. Kohandumine võimaldab nägemissüsteemil säilitada tundlikkust laias valgustugevuse vahemikus, samas kui visuaalsed illusioonid näitavad, et aju tõlgendab stiimuleid konteksti ja kogemuse põhjal, täiendades osalist informatsiooni, et rekonstrueerida sidus stseen.

Binokulaarne nägemine annab sügavuse hindamiseks olulisi erinevusmärke, samas kui monokulaarsed vihjedad – näiteks suhteline suurus, perspektiiv, varjutus ja varjutus – aitavad kaasa kolmemõõtmelisele tajule isegi siis, kui kasutatakse ainult ühte silma.

Hariduslikust seisukohast on oluline selgitada sündmuste järjestust: (1) valgus fokuseeritakse võrkkesta tasandile; (2) fotoretseptorid muudavad valguse elektrilisteks signaalideks; (3) võrkkesta võrgustik eeltöötleb signaali; (4) signaal liigub mööda nägemisnärvi ja talamuse jaamu; (5) nägemiskoor integreerib informatsiooni, et luua tajutav esitus. Nende sammude järjestatud esitamine aitab õpilastel ühendada füüsilisi põhjuseid ja bioloogilisi tagajärgi.

Digitaalsete ja liitreaalsuse tööriistade sihipärane kasutamine võimaldab visualiseerida muidu nähtamatuid protsesse, nagu valguse teekond läbi silmakoopa, fotoretseptorite aktiveerimine ja signaalide edastamine mööda nägemisradasid. Stseenhaaval visualiseerimine hõlbustab anatoomiliste struktuuride ja füüsiliste põhimõtete vaheliste seoste mõistmist.

Mõtiskleme koos.

Miks me valguse puudumisel ei näe? Kuidas mõjutavad läätse kõverus ja silmamaterjali murdumisenäitajad pildi teravust? Kui palju aitab kortikaalne interpretatsioon kaasa meie värvi- ja liikumise tajumisele? Need küsimused aitavad siduda vaadeldavaid nähtusi aluseks olevate mehhanismidega.



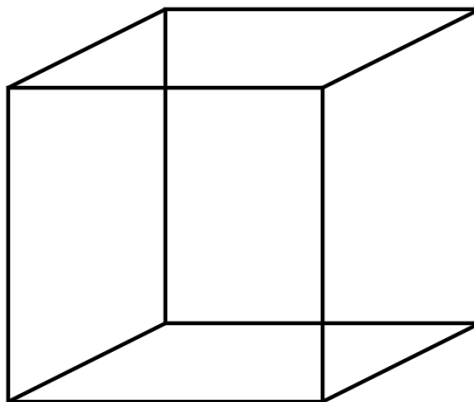


2. Avastamoodul

Kaasamine etapp

Suunav küsimus. *Kas me näeme oma silmade või ajuga?*

Tund algab lühikese visuaalse stiimuliga: pildiga, kus sama pind näib olevat ümbritsevast kontekstist olenevalt erinevat värvi või heleduse illusiooniga. Eesmärk ei ole õpilasi "petta", vaid tutvustada ideed, et nägemine ei ole pelgalt optiline salvestus – see on **ontõlgendamine** bioloogiliste struktuuride poolt edastatavatest füüsilistest signaalidest.



Esiõlgend stiimulid (videod ja lühikesed ressursid)

Kuidas silmad töötavad – Riiklik Silmainstituut (NEI): selge ülevaade silma peamistest osadest ja valguse teekonnast läbi silmakoopta.

<https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/healthy-vision/how-eyes-work>

Meie silmad – meie nägemine – teadusõppe keskus: Närvisüsteemi raja ligipääsetav kokkuvõte võrkkestast → nägemisnärvist → ajust.

<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/3006-our-eyes-our-vision>

PhET – Geomeetriline optika (läätsed/pildid): Lühike interaktiivne uurimus murdumise ja fokuseerimise kohta.

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

Avategevus (5–10 min).

Optilise illusiooni kiire projektsioon või lühike videoklipp kutsus õpilasi küsima, *"Miks me näeme midagi, mida pole olemas?"*

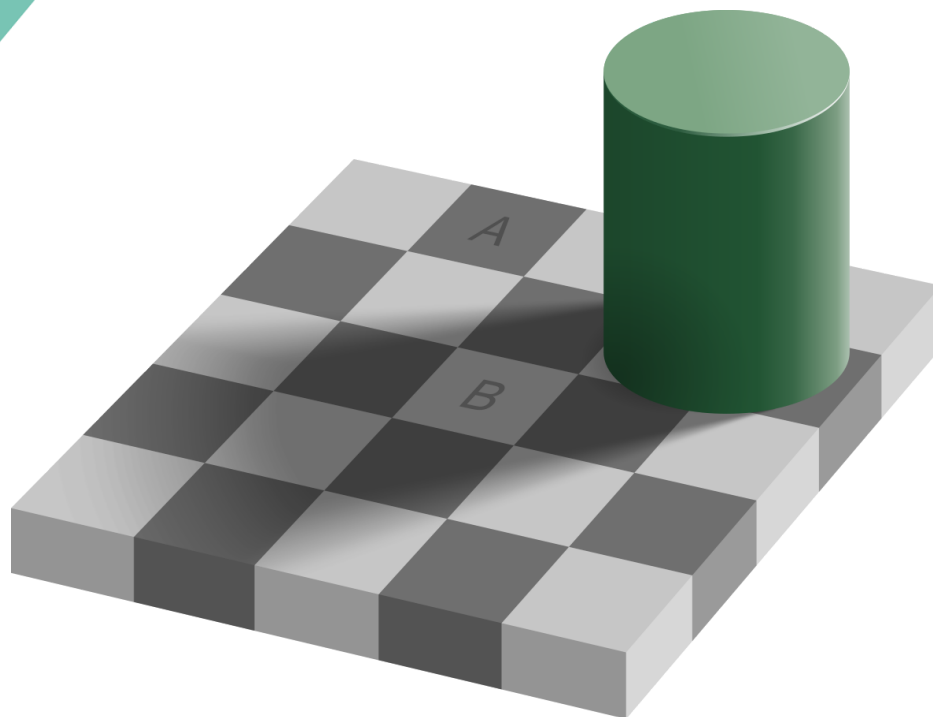
Eesmärk on rõhutada, et visioon on **ontõlgendav protsess** aju juhitud, mitte ainult optiline „sisend“.





Soovituslik video: *Kuidas nägemine töötab* (Teaduste Akadeemia – Curious)

<https://www.science.org.au/curious/video/vision>



Ajurünnakud klassis

Peamine küsimus. Ilma valguseta pole nägemist: mis juhtub valgusega, kui see läbib silma, ja kuidas see muutub aju poolt tõlgendatavaks elektriliseks signaaliks?

Küsimuste esilekutsumine

Mis määrab pildi fookuse võrkkestal?

Sarvkesta ja läätse murdumine; pupill reguleerib valguse hulka; läätse akommodatsioon säilitab teravuse erinevatel kaugustel.

Miks me pimedas värve halvasti tajume?

Kuna varraste aktiivsus on domineeriv (kõrge tundlikkus, kuid värvide eristamine puudub), siis koonused vajavad lainepikkuste eristamiseks rohkem valgust.

Kas võrkkest "salvestab" valmis pildi?

Ei; võrkkest teostab eeltötluse (kontrast, liikumine, suund) ja seejärel liigub signaal talamuse ja visuaalse korteksini, kus informatsioon integreeritakse.



Miks on mõned objektid teatud kaugusel teravad ja teisel udused?

Kuna fokaaltasand sõltub geomeetriast ja murdumisnäitajatest, siis kui kujutistasand ei lange kokku võrkkestaga, on pilt fookusest väljas (lühinägelikkus/kaugnägelikkus).

Mikroülesanne.

Märgistage töölehe või interaktiivse ressursi abil silma osad (sarvkest, pupill, iirise, läätse, võrkkesta, nägemisnärv).

Soovituslik ressurss: **Silma märgistamine**– Teadusõppe keskus

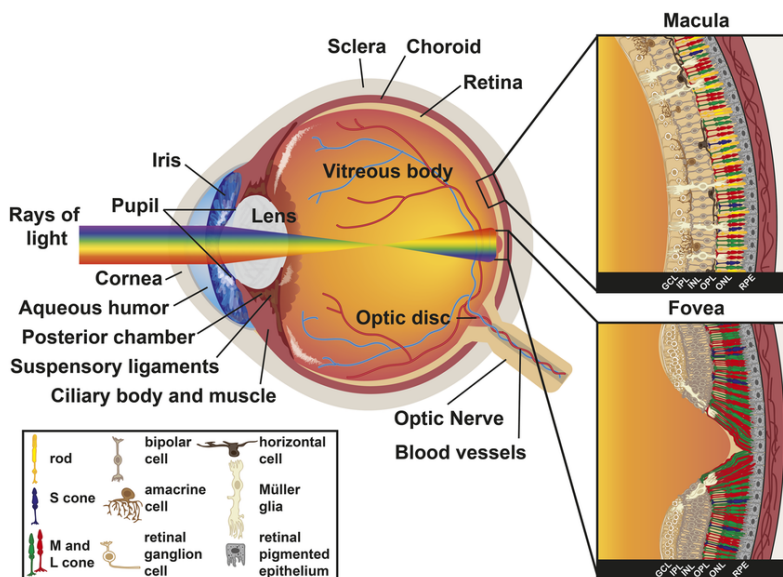
<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/3007-labelling-the-eye>

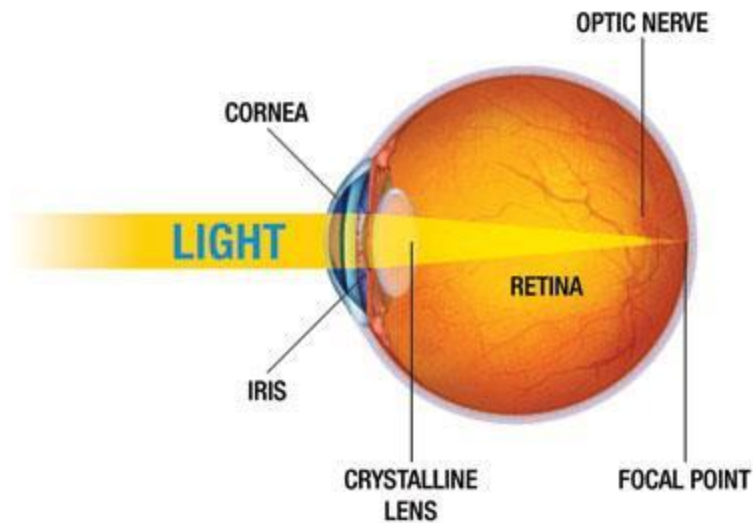
Algtase

Nägemise füüsika ja optika

Valgus, murdumine ja kujutise teke.

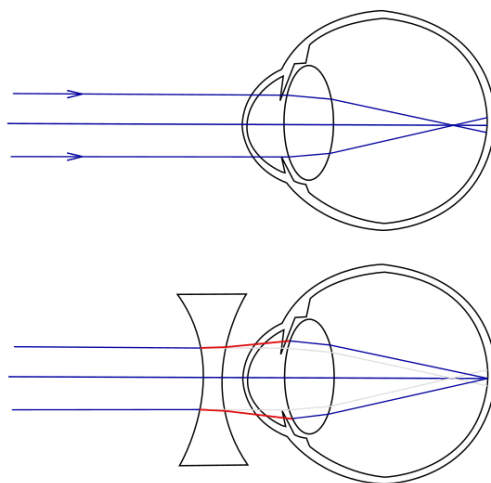
Nägemine algab siis, kui esemetelt peegelduv valgus siseneb silma ja läbib loomuliku optilise süsteemi: sarvkesta, silma vesivedeliku, läätse ja klaaskeha. Igas piirpinnas murdub valgus vastavalt murdumisnäitajate erinevustele. Selle protsessi tulemuseks on **pildi teravustamine** võrkkesta tasandil. Kujutise kvaliteet sõltub kolmest peamisest tegurist: pinna geomeetriast (kumerusest), murdumisnäitajatest ja pupilli läbimõõdust, mis kontrollib teravussügavust. Kui valgus koondub **enne** võrkkest (lühinägelikkus) või **kaugemale** (hüperoopia), pilt tundub ähmane; lääts kompenseerib seda **majutus** füsioloogilistes piirides.





Mis määrab, kuhu fookus langeb?

Optilise kõveruse ja objekti kauguse vaheline tasakaal: mida lähemal on objekt, seda suurem on kõverus, mis on vajalik võrkkesta terava pildi säilitamiseks.



Füüsikast füsioloogiani: fotoretseptorid ja signaal.

Võrkkesta peal ei ole ümberpööratud kujutis lõplik „hetktõmmis“: see on füüsiline stiimul, mis käivitab **signaaliülekanne**. Fotoretseptorid (vardad ja kolvikesed) sisaldavad fotopigmente, mis footoni neeldumisel muudavad olekut ja aktiveerivad biokeemilise kaskaadi. Saadud signaal ei ole „kõik-või-mitte-midagi“ aktsioonipotentsiaal, vaid astmeline potentsiaal, mis kandub edasi bipolaarsetele ja ganglionirakkudele. Ganglionirakkude aksonid moodustavad **nägemisnärvi**, väljundkanal, mis kannab informatsiooni aju.



Miks me suudame pimedas eristada suuri kujundeid, aga mitte värve?

Kuna kepikesed on tundlikumad ja aktiivsemad hämaras (hämaras) olukorras, kuid ei suuda värve tuvastada, vajavad värvi ja nägemisteravuse eest vastutavad kolvikesed kõrgemat heledustaset.

Ruumiline jaotus ja nägemisteravus.

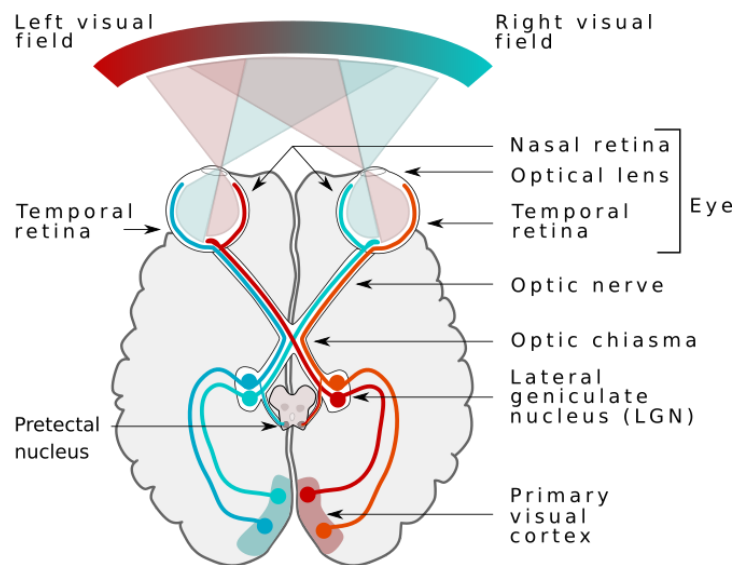
Käbid on kõige tihedamad **lohk**, kus nägemisteravus on maksimaalne ja ühendused on otsesemad; perifeerias domineerivad kepikesed, soodustades liikumise ja valguse muutuste tuvastamist. See kompromiss selgitab, miks lugemine nõuab otsest foveaalset fikseerimist, samas kui perifeerne nägemine on liikumise tuvastamiseks efektiivsem.

Miks muutuvad tähed vähem teravaks, kui me keskendume ühele neist?

Kuna koonuse tihedus väheneb foveast eemale ja neuraaalne konvergens suureneb, siis tundlikkus paraneb, kuid ruumiline eraldusvõime väheneb.

Võrkkestast ajju: kohustuslikud etapid.

Signaal lahkub silmast läbinägemisnärvi, läbib **optiline kiasm** (osaline arutluskäik), jätkub **nägemistraktsellele lateraalne genikulaarne tuum** (talamus) ja jõuab lõpuks **primaarne nägemiskoor (V1)**. Siin – ja kõrgema järgu piirkondades – lagundatakse informatsioon tunnusteks (orientatsioon, ruumilised sagedused, liikumine, värvus) ja seejärel pannakse see uuesti kokku sidusaks tajuks. Aju ei "näe" footoneid – see rekonstrueerib tähenduse närviaktiivsuse mustrite põhjal.



Kui võrkkest saab tagurpidi pildi, miks me siis ei näe maailma tagurpidi?

Kuna taju tekib ajus: ajukoor tõlgendab ja rekonstrueerib informatsiooni olenemata esialgsest optilisest orientatsioonist.





Teooriast igapäevaste esemete juurde.

Samad põhimõtted toimivad ka silmas**prillid** ja **kontaktläätsed**(fookuse korrektsioon),**kaamerad** ja **nutitelefonid**(objektiivid, avad, sensorid) ja**VR/AR-peakomplektid**(optika lähiekraani teravustamiseks). Füüsika laborist välja toomine aitab mõista mitte ainult**kuidas**objektiiv töötab, *agamillaljamiks*Optiline korrektsioon on efektiivne.

Mõtiskleme koos.

Võrkkesta optimeerimisest üksi ei piisa: taju sõltub järgnevast töötlemisest. Kui füüsiline valgus jääb samaks, miks kontekst ja kontrast muudavad seda, mida me näeme? Mida tegelikult tähendab „ajuga nägemine“?

Veebipõhised ressursid

Kuidas silmad töötavad - Riiklik Silmainstituut (NEI)

<https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/healthy-vision/how-eyes-work>

Silma anatoomia ja valguse teekonna interaktiivne selgitus läbipaistva materjali kaudu.

Fotoretseptorid: kepikesed ja kolvikesed - Khan Academy

<https://www.khanacademy.org/science/health-and-medicine/nervous-system-and-sensory-infor/sight-vision/v/photoreceptors-rods-cones>

Videotund fotoretseptoritest ja skotoopilise ning fotoopilise nägemise erinevustest.

Geomeetiline optika - PhET Interactive Simulations, Colorado Boulderi Ülikool

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

Interaktiivne simulatsioon: jälgige, kuidas fookus ja suurendus varieeruvad sõltuvalt kaugusest ja läätse kõverusest; seostage tulemusi lühinägelikkuse, kaugnägelikkuse ja akommodatsiooniga.

Edasijõudnutele

Fototransduktsioon ja adaptatsioon.

Fotoretseptorites toimuv kaskaad (fotopigmenti aktiveerimine, transdutsiini aktiveerimine, cGMP ja ioonkanalite moduleerimine) selgitab, kuidas valgus vooluks muutub.**Kohandumine**(valguse ja pimeduse suhtes) kalibreerib süsteemi tundlikkust ümber, võimaldades tööd mitme heledusastme ulatuses.

Resolutsioon ja kontrastsus.

Nägemisteravus ei sõltu ainult optikast: võrkkesta ja ajukoore ahelad valivad**ruumilised sagedused**ja**orientatsioonid**, suurendades kontuuride kontrasti. Erinevad rajad (parvotsellulaarne/magnotsellulaarne) seavad esikohale**detail/värvvõiliikumine**.





Visuaalsed rajad ja integratsioon.

Pärast V1 jaguneb töötlemine võrkudeks, mis rõhutavad "**mis**" (vorm, värv) ja "**kus/kuidas**" (ruum, tegevus). Värvitaju tuleneb L/M/S koonuste reaktsioonide ja kromaatiliste opositsioonide integreerimisest, samas kui liikumise tajumine nõuab ajalist integreerimist ja sügavuse saavutamiseks binokulaarset dissonantsi.

Miks me tajume liikumist paremini kui peeneid detaile hämaras valguses?

Sest skotoopilises nägemises domineerivad globaalsetele ja ajalistele variatsioonidele tundlikud rajad, millel on vähenenud ruumiline lahutusvõime.

Miks võib väike pupill mõnikord teravust parandada?

Sest see vähendab aberratsioone ja suurendab teravussügavust (difraktsiooni piirides).

Pööratud õppimine:

Eesmärk. Valmistuge klassiruumis aruteluks, mõistes järjekordavalgus → võrkkest → nägemisnärv → ajukoorja füüsika/bioloogia seosed.

Ülesanded (esitada 1–2-leheküljelise aruandena või 6–8 slaidina):

1. **Lühike lugemine** Silma anatoomiast ja valguse teest. Esiletõstmine: sarvkest, pupill/iiris, lääts, võrkkest, nägemisnärv.
2. **Tööleht „Koonused vs. vardad“:** täitke tabel järgmisega: *tundlikkus, roll värvi/nägemisteravuses, valgustingimused (skotoopiline/fotoopiline), võrkkesta jaotus.*
3. **Geomeetrilise optika simulatsioon (õhuke lääts):** loo kaks ekraanipilti —
 - a. *Fokuseeritud pilt* (keskendudes „võrkkestale“) koos annoteeritud parameetritega;
 - b. *Fookusest väljas pilt* (simuleeritud lühinägelikkus/kaugnägelikkus) koos märkustega selle kohta, kuidas akommodatsioon või korrektiivläätsed taastavad fookuse.
4. **Lühike süntees (maksimaalselt 120 sõna):** Selgita oma sõnadega, kuidas võrkkest ei "salvesta" valmiskujutisi, vaid **teisendab ja eeltöötlus** signaale, mis tuleb ajju saata.
5. **Kolm arutelüküsimust:** üks optikast (murdumine/fokuseerimine), üks bioloogiast (fototransduktsioon) ja üks tajust (miks me ei näe maailma tagurpidi?).

Esitamine. Laadi PDF-fail või slaidid enne tundi klassi kanalile üles.

3. Operatsioonimoodul

Algfase

Nägemisprotsessi mõistmist saab süvendada praktiliste tegevuste abil, mis võimaldavad õpilastel jälgida nii optilisi kui ka bioloogilisi nähtusi, mis on seotud nägemismehhanismiga. Selle osa eesmärk on





rakendada juhendatud viisil teoreetilises osas uuritud murdumise, fokuseerimise ja signaaliülekande kontseptsioone, ühendades need **optika füüsikakoosinimese silma bioloogia**.

Kui valgus läbib erineva optilise tihedusega keskkondi, muudab selle trajektoor suunda – seda nähtust nimetatakse **murdmise** arvkest ja kristalllääts, mis moodustavad silma loomulikud läätsed, toimivad murdvate elementidena, mis painutavad valguskiiri, moodustades võrkkestale terava kujutise. Õpilased saavad seda käitumist jälgida lihtsa katse abil: kastke pliats osaliselt veeklaasi ja pange tähele, kuidas objekt õhu ja vee piiril paistab "katkine". See visuaalne efekt illustreerib otseselt, kuidas valgus silmakeskkonnas kõrvale kaldub, ja tutvustab murdumise põhimõtet, mis reguleerib võrkkesta kujutise teravustamist.

Seejärel uuritakse nähtust virtuaalses keskkonnas interaktiivse simulatsiooni abil. **Geomeetriline optika**, saadaval aadressil **PhET platvorm – Colorado Boulder Ülikool**:

https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

Simulatsiooni abil saavad õpilased muuta objekti ja lääts vahelist kaugust ning muuta pindade kõverust, jälgides, kuidas fookuspunkti asukoht ja pildi teravus muutuvad. See tegevus aitab õpilastel mõista, kuidas inimese lääts muudab oma kõverust, et hoida pilti võrkkestal fookuses – protsessi, mida nimetatakse **majutus**.

Nendest tähelepanekutest tulenevad olulised küsimused: milline on seos lääts kuju ja teravustamiskauguse vahel? Miks liigne või ebapiisav kumerus põhjustab selliseid seisundeid nagu lühinägelikkus või kaugnägelikkus? Simulatsioonis oleva füüsilise lääts võrdlemine bioloogilise läätsiga selgitab, kuidas murdumisvõime muutused mõjutavad fookuspunkti asukohta ja sellest tulenevalt nägemiskvaliteeti.

Seejärel nihkub fookus võrkkestale – silma tagaosas asuval õhukesele sensoorsele membraanile, mis muundab valgusenergia elektrilisteks signaalideks. Õpilased analüüsivad võrkkesta paigutust. **fotoretseptorid** – koonused ja kepikesed – ning nende täiendavad rollid: kepikesed on spetsialiseerunud öisele nägemisele ja tajuvad heleduse muutusi, samas kui kepikesed tagavad värvitaju ja kõrge nägemisteravuse eredas valguses. Koonuste suur tihedus foveas selgitab keskset teravust, samas kui kepikeste ülekaal perifeerias parandab liikumise tuvastamist.

Klassis jätkub arutelu fotoretseptorite käitumise analüüsimisega hämaras. Miks värvid videvikus tuhmunud paistavad? Vastus peitub kepikeste suuremas tundlikkuses, mis võimaldavad küll hämaras nägemist, kuid ei suuda eristada värvuste eest vastutavaid lainepikkusi. See kollektiivne peegeldus aitab õpilastel mõista, kuidas aju integreerib erinevatelt sensoorsetelt rakkudelt pärinevat teavet, et luua sidus visuaalne esitus.

Seejärel kutsutakse õpilasi võrdlema inimsilma igapäevaste optiliste seadmetega, näiteks kaamerate või nutitelefonidega. Lääts käitub nagu koondav lääts, pupill toimib diafragma, võrkkest toimib digitaalse andurina ja aju mängib pildiprotsessori rolli. Selle analoogia kaudu tõlgendatakse nägemist ümber kui füüsilist mudelit, mis ühendab tehnoloogiat ja bioloogiat.



Mõtiskleme koos. Nägemine on keeruline protsess, mis ühendab geomeetrilist optikat ja neurobioloogiat. Kuidas füüsika piirab tajutava pildi kvaliteeti? Milliseid strateegiaid on aju välja töötanud silma ebatäiuslikkuse kompenseerimiseks ja välismaailma stabiilse ning pideva tajumise tagamiseks?

Edasijõudnutele

Edasijõudnute tase süvendab seost võrkkesta ülekande ja signaali leviku vahel mööda närviradasid nägemiskoore. Õpilased jälgivad, kuidas valgusenergia muundatakse fotoretseptorites elektrilisteks signaalideks ja kuidas need impulsid edastatakse bipolaarsete ja ganglionrakkude kaudu nägemisnärvi.

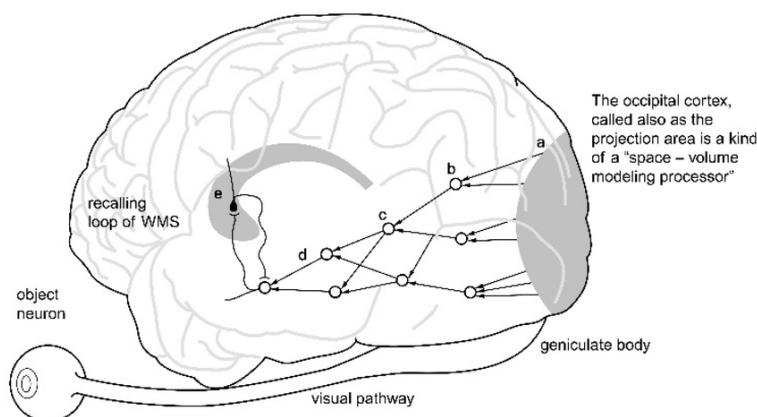
Sündmuste jada mõistmiseks on vaja mõista kontseptsioonifototransduktsioontutvustatakse: footoni neeldumine rodopsiini molekuli poolt käivitab konformatsioonilise muutuse, mis aktiveerib biokeemilise kaskaadi. See kaskaad vähendab tsüklilist GMP-d, sulgeb ionkanalid ja hüperpolariseerib raku.

Tulemuseks on valgusenergia muundumine elektrilise potentsiaali muutusteks.

Signaali levikut mööda nägemisnärvi ja selle teed nägemiskoore suunas illustreeritakse järgmise diagrammi abil. **Liitreaalsuse simulatsioon**arendatud koos **Delightex Studio – tühikud (marker):**

<https://edu.delightex.com/Studio/Spaces>

Mobiilseadmete abil uurivad õpilased inimsilma kolmemõõtmelist mudelit, jälgivad fotoretseptorite aktivatsiooni, jälgivad signaali liikumist mööda nägemisnärvi, visualiseerivad kiudude ristumist nägemisnärvi kiasmi juures ja näevad lõpuks signaalide projitseerimist lateraalsesse geniculate'i tuuma ja primaarsesse nägemiskoorti.



Tegevuse käigus pakutakse välja suunavaid küsimusi:

- Millisel võrkkesta punktil muutub valgus elektriliseks impulsiks?
- Miks mõned närvikiud ristuvad nägemisnärvi kiasmis, teised aga jäävad ristumata?
- Kuidas nägemiskoor eristab kuju, värvi ja liikumist?





Vastused selguvad rühmaarutelu ja anatoomiliste mudelite ning füüsikaliste protsesside võrdlemise kaudu.

Tund lõpeb tehisenägemissüsteemide evolutsiooni üle mõtisklemisega. Õpilased võrdlevad inimsilma toimimist digikaamera omaga, tuues esile analoogiaid ja erinevusi. Samal ajal kui kaamera jäädvustab pilte anduri abil, rekonstrueerib aju taju, integreerides teavet mitmest sensorsest allikast ja seostades seda varasemate kogemustega.

Mõtiskleme koos. Kas tänapäevased tehisintellekti tehnoloogiad jäljendavad tõepoolest bioloogilise nägemise mehhanisme või reprodutseerivad need lihtsalt selle optilist komponenti, delegerides tõlgendamise tarkvarale? Kas masin tegelikult...*vaatav* või salvestab see lihtsalt?

Tegevused:

Lõputegevuste eesmärk on kinnistada õpitut ja julgustada vastastikust koostööd. Õpilased loovad **kontseptsioonikaart** kujutab nägemise täielikku järjestust valgusest teadliku tajumiseni, näidates iga faasi kohta füüsikalist nähtust, kaasatud anatoomilist struktuuri ja signaali tüüpi (valgus-, elektri- või keemiline).

Seejärel kujundavad nad väikestes gruppides **mini liitreaalsuse kogemuskasutades Delightex Studio – tühikud (marker)** Iga rühm illustreerib visuaalse protsessi kindlat faasi, lisades lühikesi selgitavaid tekste, silte ja lihtsaid animatsioone. Lõpuks ühendatakse stseenid järjestikku, et rekonstrueerida kogu nägemistee.

Arusaamise kontrollimiseks täidavad õpilased küsimustikku **interaktiivne viktoriin** AR-is, mis koosneb valikvastustega küsimustest nägemismehhanismi etappide kohta.

Moodul sulgub a-ga **plenaaristung** kus õpilased analüüsivad kriitiliselt saadud tulemusi, võrdlevad oma kogemusi ja mõtisklevad bioloogiliste ja tehisenägemissüsteemide analoogiate üle.

Oodatav väljund

Operatsioonimooduli lõpuks peaksid õpilased suutma teaduskeeles kirjeldada nägemise kogu kulgu, siduda geomeetrilise optika põhimõtteid neurobioloogiliste protsessidega, kasutada digitaalseid ja liitreaalsuse tööriistu keerukate nähtuste kujutamiseks ning arendada kriitilist lähenemist tehisintellekti tehnoloogiatele.

4. Viited

Riiklik Silmainstituut (NEI), Kuidas silmad töötavad. USA tervishoiu- ja sotsiaalteenuste ministeerium. Saadaval aadressil: <https://www.nei.nih.gov/learn-about-eye-health/healthy-vision/how-eyes-work>





Khan Academy, Fotoretseptorid: kepikesed ja kolvikesed. Saadaval aadressil:
<https://www.khanacademy.org/science/health-and-medicine/nervous-system-and-sensory-infor/sight-vision/v/photoreceptors-rods-cones>

Colorado Boulderi Ülikool – PhET interaktiivsed simulatsioonid, geomeetriline optika. Saadaval aadressil:
https://phet.colorado.edu/sims/html/geometric-optics/latest/geometric-optics_all.html

Teadusõppe keskus (Uus-Meremaa), Meie silmad - Meie nägemus. Saadaval aadressil:
<https://www.sciencelearn.org.nz/resources/3006-our-eyes-our-vision>

Delightex Studio - Spaces (Marker), hariduslik liitreaalsuse platvorm interaktiivsete stseenide loomiseks. Saadaval aadressil: <https://edu.delightex.com/Studio/Spaces>

Google Forms (2025), Nägemisviktoriin - laiendatud sünapsi projekt. Saadaval aadressil:
https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdmXunTg8-vIIU_FyBsFppkFlhtSUJYgjUS-T3cfWnGUF70_Q/viewform?usp=dialog

Khan Academy, Fototransduktsiooni kaskaad. Saadaval aadressil:
<https://www.khanacademy.org/science/health-and-medicine/nervous-system-and-sensory-infor/sight-vision/v/the-phototransduction-cascade>

Riiklikud Tervishoiuinstituudid (USA), Nägemine ja aju: visuaalse töötlemise mõistmine. Saadaval aadressil: <https://www.nih.gov/news-events/nih-research-matters/vision-brain>

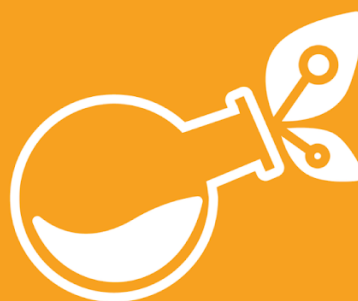
Curious - Teaduste Akadeemia, Kuidas nägemine toimib (video). Saadaval aadressil:
<https://www.youtube.com/watch?v=lrXuyxDt5jo>

Pildi autorid: Wikimedia Commons (CC BY-SA / Avalik omand), National Eye Institute (NEI) ja ResearchGate'i õppematerjalid – hariduslik kasutus.





Co-funded by
the European Union



BIOS4YOU AR 2.0

BIO-INSPIRED STEM TOPICS FOR ENGAGING YOUNG GENERATIONS
THANKS TO THE USE OF AUGMENTED REALITY



Project Number: KA220-BW-23-30-126516

Funded by the European Union. Views and opinions expressed are however those of the author(s) only and do not necessarily reflect those of the European Union or the European Education and Culture Executive Agency (EACEA). Neither the European Union nor EACEA can be held responsible for them.