

Міністерство охорони здоров'я України
Українська медична стоматологічна академія

«Затверджено»
на засіданні кафедри
медичної інформатики,
медичної і біологічної фізики
«27» серпня 2020 р.
протокол №1 від «27» серпня 2020 р.
Зав. кафедри _____ доцент Сілкова О.В.



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ
ПІД ЧАС ПІДГОТОВКИ ДО ПРАКТИЧНОГО (СЕМІНАРСЬКОГО) ЗАНЯТТЯ

Навчальна дисципліна	Медична і біологічна фізика
Модуль №2	Основи медичної фізики
Змістовий модуль	Медична фізика
Тема заняття	Біофізика зору
Курс	I,II
Факультет	Медичний №1, 2, стоматологічний

1. Актуальність теми: Найбільшу кількість інформації з оточуючого середовища людина одержує з допомогою зорового аналізатора. Орган зорової рецепції – око – включає рецепторний апарат, що знаходиться в сітківці, й оптичну систему, що фокусує світлові промені та забезпечує чітке зображення на сітківці. Око людини – дивний оптичний прилад, що здатний відтворювати зображення предметів, віддалених на різні відстані, функціонувати в широкому діапазоні світла, розрізняти найдрібніші відтінки кольорів, а для підтримання своїх функцій йому потрібно зовсім небагато.

2. Конкретні цілі:

- Аналізувати фізичні процеси зорової рецепції.
- Пояснювати фізичні основи процесів акомодатції та адаптації, оптичних дефектів зору та методів їх усунення.
- Характеризувати різні методики діагностики і терапії зорового рецептора.
- Ознайомитися зі способами визначення гостроти зору, поля зору.
- Розвиток наукового мислення.
- Розвиток зацікавленості майбутньою професією.
- Формування професійно-орієнтовного розвитку психічних процесів майбутнього медичного працівника.
- Розвиток системи професійно-значимих рис особистості, таких як: толерантність, відповідальність, комунікабельність, стриманість та інше.
- Розвиток уявлення про вплив екологічних та соціально-економічних факторів на стан здоров'я людини.

3. Базові знання, вміння, навички, необхідні для вивчення теми (міждисциплінарна інтеграція)

Назва попередніх дисциплін	Отримані навички
1. Фізика 2. Біологія 3. Хімія 4. Математика 5. Інформаційні технології	Описувати основні складові та функції зорового аналізатора; класифікувати дефекти зору та способи їх усунення; вимірювати гостроту зору та поле зору; аналізувати результати вимірювання параметрів зорового аналізатора; визначати оптичну силу ока та оптичну силу окулярних лінз; аналізувати та обробляти отримані в експерименті дані; проводити розрахунки, будувати графіки; володіти методами математичного моделювання; володіти методами використання обчислювальної техніки та інформаційних ресурсів; класифікувати та узагальнювати отримані дані; робити висновки

4. Завдання для самостійної роботи під час підготовки до заняття.

4.1. Перелік основних термінів, параметрів, характеристик, які повинен засвоїти студент при підготовці до заняття:

Термін	Визначення
Приведене око	оптична модель ока, у якій складна система схематичного ока зведена до простої оптичної системи
Акомодація ока	пристосування ока до отримання на сітківці однакової різкості зображення предметів, що знаходяться на різних відстанях від ока, внаслідок зміни його оптичної сили з допомогою кришталика
Адаптація ока	пристосування ока до того чи іншого рівня освітленості
Поле зору	тілесний кут або лінійні розміри площі зображення навколишнього світу видимого оком у певний момент часу
Гострота зору	здатність ока сприймати роздільно дві точки, розташовані на мінімальній відстані одна від одної

4.2. Теоретичні питання до заняття:

1. Яка загальна будова ока?
2. Охарактеризувати оптичну систему ока.
3. Охарактеризувати світлосприймаючу систему ока.
4. Оптичні дефекти зору та їх корекція.
5. Фізичний зміст адаптації зору.
6. Фізичний зміст акомодації зору.
7. Теорія кольорового зору.

4.3. Практичні роботи (завдання), які виконуються на занятті:

№ п/п	Завдання	Послідовність виконання	Зауваження, попередження, щодо самоконтролю
1	Виміряти гостроту зору	Розмістити пацієнта на відстані 5 м від таблиці Сівцева-Головіна. Закрити одне око пацієнта. Показувати пацієнту букви на таблиці по мірі їх зменшення. Останній рядок, який пацієнт прочитав без помилок (або не більше ніж 20% помилок) є показником гостроти зору	Таблиця повинна бути добре освітлена і повністю знаходитися у полі зору пацієнта
2	Виміряти поле зору	Розмістити пацієнта спиною до світла перед периметром так, щоб одне око було закритим. Встановити дугу в горизонтальне положення. Переміщувати білу мітку з периферії до центру дуги й відмітити кут, на якому з'являється мітка. Те ж саме провести з	Рука дослідника повинна переміщатись в площині, що знаходиться на середині відстані між ним і пацієнтом

		протилежного боку периметра та при інших положеннях дуги. Побудувати поле зору пацієнта, з'єднавши окремі значення кута між собою	
--	--	--	--

Зміст теми. Око дорослої людини являє собою майже сферичне тіло з діаметром, приблизно рівним 23-24 мм (рис. 1). Зовнішня сторона його покрита захисною оболонкою із щільної еластичної тканини, що називається склерою.

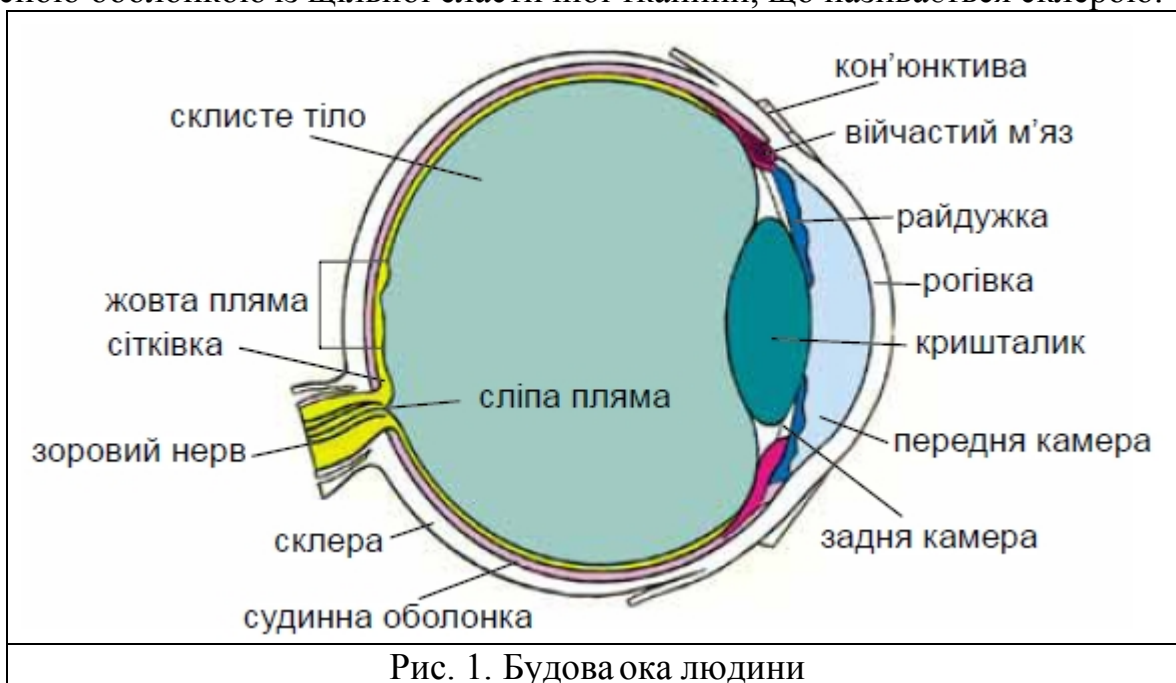


Рис. 1. Будова ока людини

У передній частині ока склера переходить у рогівку, вона прозора й пропускає в око світло. Пройшовши через рогову оболонку, світло попадає в наповнену прозорою водянистою вологою порожнину, що називається передньою камерою ока.

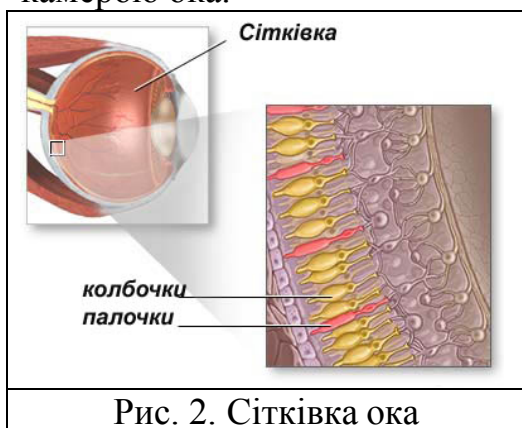


Рис. 2. Сітківка ока

Після цього світло проходить через обмежений отвір зіниці, що знаходиться в центрі райдужної оболонки і потрапляє на кришталік ока. Позаду кришталіка знаходиться желеподібна драглиста речовина, що називається склоподібним тілом. Розглянуті вище елементи ока, в основному, відносяться до його світлопропускаючого апарату. На задній поверхні ока розміщений щільний набір світлочутливих елементів (паличок і колбочок) (рис. 2), які утворюють сітківку – світлосприймаючий апарат ока. М'язи ока виконують дві механічні функції, що

визначають його оптичні властивості. Основні завдання оптичних елементів ока – отримати зображення розглядуваного предмета, що відображається на поверхні сітківки.

Дійсно, світлові промені, що розповсюджуються від предмета, який знаходиться на віддалі 6 м, майже паралельні, так що око створює чітке зображення на сітківці будь-якого предмета, що знаходиться на цій віддалі й далі. Якщо предмет знаходиться до ока ближче, то на сітківці одержуємо нечітке зображення. Для одержання чіткого зображення потрібно змінити фокусну віддаль кришталика. Це забезпечують війчасті (циліарні) м'язи, вони надають кришталику більшого викривлення, ніж у стані спокою. Цей процес називається *акомодацією* й відбувається під дією центральної нервової системи. Таким чином, акомодация – пристосування ока до отримання на сітківці однакової різкості зображення предметів, що знаходяться на різних відстанях від ока, внаслідок зміни його оптичної сили з допомогою кришталика. Але кривизна кришталика не може збільшуватись нескінченно, й око не здатне завжди акомодуватися до предметів, що знаходяться ближче, ніж визначена точка, яку називають близькою точкою ока, або *відстанню найкращого зору*, яка в середньому дорівнює 250 мм у дорослих людей.

Відстань найкращого зору в різних людей неоднакова й особливо залежить від віку. У 10-річної дитини ця віддаль може бути 70 мм, у 20-річних – від 100 до 120 мм, а в віці між 40-45 роками ця відстань може становити приблизно 250 мм. Якщо відстань найкращого зору продовжує збільшуватися, стає незручно читати чи виконувати тонку роботу й, щоб допомогти оку одержати нормальне зображення, потрібно користуватися окулярами. Погіршення акомодации ока пов'язане зі значним зменшенням еластичності кришталика з віком людини.

Друга функція м'язів ока – регуляція розмірів зіниці. Людське око чутливе до зміни інтенсивності світла порядку 10^{12} разів (відношення максимальної до мінімальної інтенсивності світла). Верхня межа при цьому відповідає інтенсивності світла, при якій око відчуває дискомфорт (такий, як при прямому погляді на сонце). Коли пучок падаючого світла дуже інтенсивний, то зіниця звужується до діаметра 2-3 мм, а коли рівень освітленості низький, зіниця розширюється до діаметра 7-8 мм. Отже, стає зрозумілим, що при зміні отвору зіниці райдужної оболонки, регулюється пучок падаючого в око світла. При цьому райдужна оболонка виконує роль апертурної діафрагми, аналогічно діафрагмі в фотоапаратах.

Кількість світла, що надходить в око, може регулюватися зіницею тільки в діапазоні 10:1, що досить мало в порівнянні з діапазоном чутливості ока. Пристосування ока до того чи іншого рівня освітленості називається *адаптацією*.

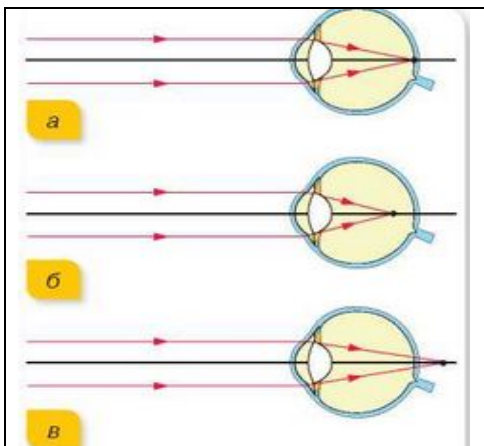


Рис. 3. Нормальне око та дефекти ока

Паралельний світловий потік може бути сфокусований на сітківці нормальним кришталиком (насправді в поєднанні рогівки й кришталика) тоді, коли його (їх) фокусна відстань дорівнює діаметру очного яблука (рис. 3а). Якщо діаметр ока більший фокусної відстані, то промені зйдуться так, що будуть фокусуватися перед сітківкою, утворивши на ній розмите, нечітке зображення (рис. 3б). Такий дефект ока називається *міопією* (короткозорістю) і виправляється він окулярами з розсіюючими лінзами, що розсіюють промені до їх попадання в око.

Дефект ока, який називається *гіперметропією* (далекозорістю), протилежний короткозорості (рис. 3в). При цьому діаметр очного яблука менший фокусної віддалі, що не дозволяє паралельному пучку променів зійтися в фокусі до або на сітківці. У цьому випадку фокус і зображення буде знаходитися за сітківкою. Цей дефект ока можна лікувати за допомогою окулярів із збиральними лінзами.

Третій вид дефектів ока створюється при асиметрії кривизни системи кришталика й рогівки називається *астигматизмом*.

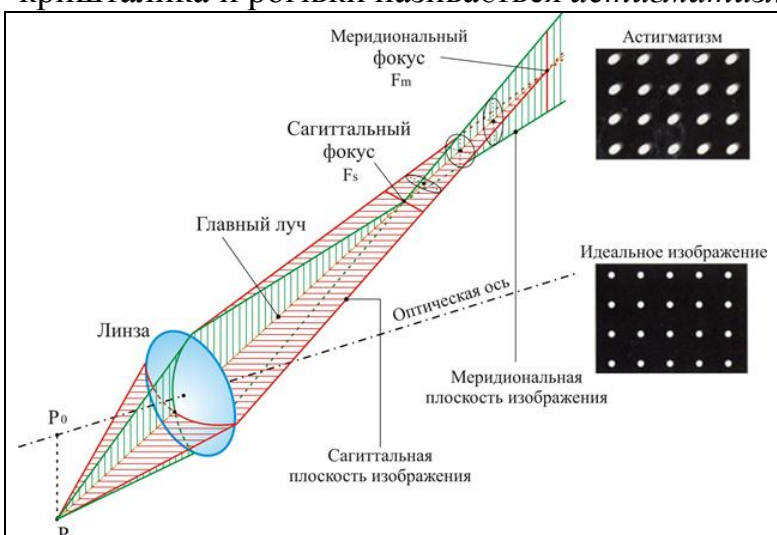


Рис. 4. Схема пояснення виникнення астигматизму

При астигматизмі світлові промені, що попадають в око, не можуть в одному місці сфокусуватися на вертикальних і горизонтальних лініях. На рис.4 показані промені, що падають на оптичну систему ока (рогівка-кришталик) і мають неоднакову заломлюючу здатність у взаємоперпендикулярних напрямках. Одні

промені фокусується в сагітальній площині, а інші – меридіональній площині. Зображення в цих площинах і на сітківці будуть різними.

Для виправлення астигматизму використовують циліндричні (рис. 5) чи тороїдальні лінзи (рис. 5), які мають неоднакову кривизну в протилежно діаметральних напрямках і, таким чином, компенсують відсутність “симетрії” в оці.

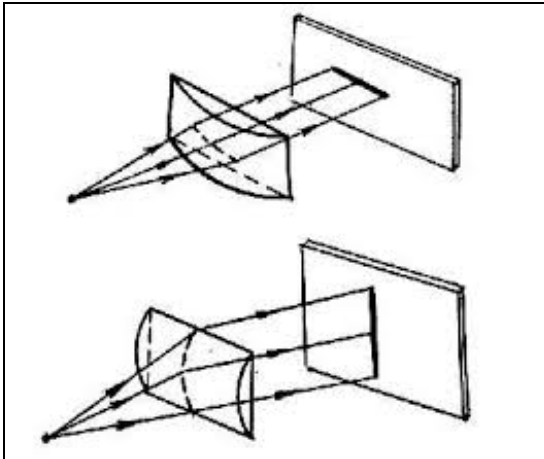


Рис. 5. Виправлення астигматизму циліндричною (вгорі) та тороїдальною (внизу) лінзою

З віком здатність людини до акомодатії знижується і виникає потреба носити окуляри зі збірними лінзами, для збереження можливості фокусування зору на близьких предметах. Цей дефект називається *пресбіопією* (або старечою далекозорістю), виправлення його таке, як і при звичайній далекозорості.

Розмір зображення на сітківці залежить не тільки від розмірів предмета, але й від його віддалі від ока, тобто від кута, під яким ми бачимо предмет. У зв'язку з цим вводиться поняття *кута зору*. Це кут φ між променями, що йдуть від крайніх точок предмета до оптичного центра ока (рис. 6). Один і той же кут зору φ може відповідати різним за величиною предметам. Необхідно підкреслити, що кут зору цілком визначає розмір зображення на сітківці.

Для характеристики роздільної здатності ока використовують найменший кут зору, при якому людське око ще розрізняє окремо дві точки предмета. Цей кут приблизно дорівнює $1'$ (одна кутова мінута), що відповідає відстані між цими точками в 75 мкм, якщо вони знаходяться на відстані найкращого зору. При цьому розмір зображення на сітківці дорівнює 5 мкм, що відповідає середній віддалі між двома колбочками на сітківці. У медичній практиці роздільну здатність ока оцінюють гостротою зору. Кут зору в $1'$ приймають за одиницю (норму) гостроти.

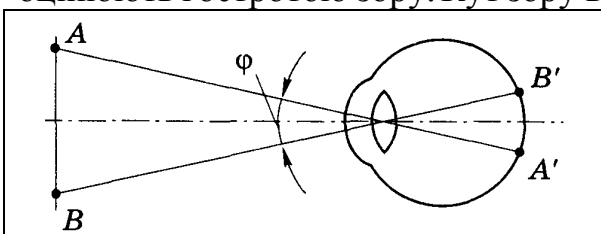


Рис. 6. Кут зору

Хвилі довжиною від 380 нм до 760 нм, діючи на світлочутливі елементи

сітківки, як світлосприймаючий апарат, викликають відчуття світла. Оболонка сітківки має товщину порядку 0,5 мм і складається з кількох шарів, що містять волокна зорового нерва, опорні утворення та в глибині – світло чутливі клітини (фоторецептори).

Рецептори світлочутливих клітин повернуті в глибину сітківки й межують з шаром світлопоглинаючих епітеліальних клітин, що містять чорний пігмент й утворюють зовнішню оболонку сітківки.

Світло, впливаючи на рецептори клітин, спричиняє в них фотохімічні реакції (розпад родопсину), внаслідок чого в клітинах виникають імпульси збудження, що передаються по нервових шляхах до головного мозку, де формується зорове відчуття (відчуття світла). Відчуття світла оцінюється двома суб'єктивними характеристиками: якісною – колір і кількісною (рівень відчуття) – яскравість.

Відчуття світла обумовлено довжиною хвилі для монохроматичного і спектральним складом електромагнітних хвиль для складного або білого світла.

Відчуття яскравості світлового зображення на сітківці зумовлене потужністю, тобто світловим потоком, що діє на кожний фоторецептор, і їх світлочутливістю, що у свою чергу, залежить від довжини хвилі випромінювання, ступеня адаптації (зміни чутливості фоторецепторів). Утворення зображення предметів на сітківці ока є первинною ланкою складного фізіологічного процесу, що називається зором. При цьому в головному мозку формується зорове сприйняття, з допомогою якого розрізняються форма й розміри тіл, їх колір, рельєф, взаємне розміщення.

У процесі формування зорового образу беруть участь сигнали, що надходять у головний мозок від інших елементів зорового апарата (від м'язів, що здійснюють акомодацию, установку ока в певному напрямку). При цьому має значення також і бінокулярний зір, тобто – зір двома очима. У залежності від форми, фоторецептори поділяють на колбочки й палички (колбочок в сітківці нараховується 6-7 млн, а паличок – 120-130 млн). Колбочки містяться в центральній частині сітківки, що називається жовтою плямою. Вони мають малу чутливість і сприймають світло при відносно великій освітленості сітківки, але дають можливість розрізняти більш дрібні деталі предметів, а також створювати відчуття кольору. Колбочки утворюють апарат денного, центрального кольорового зору. Палички мають значно більшу світлочутливість, ніж колбочки, але не забезпечують розрізнення кольорів. Вони розміщуються в периферичних ділянках сітківки ока. Тому їх називають апаратом периферичного, сутінкового і ахроматичного зору.

При повній темновій адаптації нижня межа (абсолютний поріг) світлочутливості ока відповідає потоку світлової енергії, що падає на площину зіниці порядку 10^{-17} Дж/с, що складає всього кілька фотонів за секунду. Верхня (безболісно сприймаюча) межа при максимальній світловій адаптації має порядок 10^{-5} Дж/с, тобто приблизно в 10^{12} разів більше.

Людське око неоднаково чутливе до монохроматичного випромінювання різної довжини електромагнітної хвилі. Найбільша чутливість ока до випромінювання з довжиною хвилі 555 нм, що відповідає жовто-зеленому кольору. У бік червоної та фіолетової частини спектру чутливість ока різко знижується.



Рис. 7. Криві видимості для денного та сутінкового зору

Крива відносної спектральної чутливості середнього ока при денному зорі називається кривою видимості. При сутінковому (паличковому) зорі крива спектральної чутливості ока зміщується в сторону коротких хвиль, максимум при цьому відповідає довжині хвилі 510 нм (рис. 7). В основі зорового процесу лежать фотохімічні реакції, що протікають у рецепторній частині паличок і колбочок. У паличках під дією світла відбувається розпад зорового пурпуру чи родопсину, а в колбочках – йодопсину. У темряві відбувається зворотній процес – їх синтез. Процеси кольорового зору вивчені ще недостатньо. Найбільш поширеною є трьохкомпонентна теорія, основні ідеї якої були висловлені М.В. Ломоносовим. Пізніше ця теорія була розроблена Юнгом і Гельмгольцем. Згідно з нею колбочковий апарат ока має елементи трьох видів, спектральна чутливість яких найбільша по відношенню до червоного, зеленого й синьо-фіолетового кольорів, імпульси від яких трьома незалежними шляхами передаються до головного мозку, де формується єдине кольорове відчуття. Слід підкреслити, що всі ці елементи збуджуються при дії будь-якої довжини хвилі, але не в однаковій мірі.

Лабораторна робота. Визначення гостроти та поля зору.

Порядок виконання роботи.

Вимірювання гостроти зору:

1. Розмістити пацієнта на відстані 5 м від таблиці Сівцева-Головіна.
2. Закрити одне око пацієнта.
3. Показувати пацієнту букви на таблиці по мірі їх зменшення.
4. Останній рядок, який пацієнт прочитав без помилок (або не більше ніж 20% помилок) є показником гостроти зору.

Вимірювання поля зору:

1. Розмістити пацієнта спиною до світла перед периметром так, щоб одне око було закритим.
2. Встановити дугу в горизонтальне положення.
3. Переміщувати білу мітку з периферії до центру дуги й відмітити кут, на якому з'являється мітка.
4. Те ж саме провести з протилежного боку периметра та при інших положеннях дуги.
5. Побудувати поле зору пацієнта, з'єднавши окремі значення кута між собою.
6. Оформити роботу і зробити висновки.

Матеріали для самоконтролю:

1. Яка загальна будова ока?

2. Охарактеризувати оптичну систему ока.
3. Охарактеризувати світлосприймаючу систему ока.
4. Оптичні дефекти зору та їх корекція.
5. Фізичний зміст адаптації зору.
6. Фізичний зміст акомодації зору.
7. Теорія кольорового зору.
8. Методика визначення гостроти зору.
9. Методика визначення поля зору.
10. Методи діагностики зору.

1. Що називається відстанню найкращого зору?

- A) Мінімальна відстань між колбочками сітківки;
- B) Фокусна відстань приведенного ока;
- C) Мінімальна відстань, на якій акомодація не викликає відчутного напруження при розгляданні предметів;
- D) Мінімальна відстань між паличками сітківки;
- E) Мінімальна відстань, на якій акомодація дозволяє розглядати предмети.

2. Що таке гострота зору?

- A) здатність ока бачити роздільно дві точки при максимальному їх зближенні
- B) кут з вершиною у вузловій точці оптичної системи ока і сторонами-лініями до протилежних крайніх точок об'єкта;
- C) чутливість ока до довжин світлових хвиль;
- D) здатність ока розрізняти роздільно дві точки при мінімальній відстані між ними
- E) зміна оптичної сили ока при зоровому сприйнятті предметів на різній відстані від нього;

3. Що таке акомодація ока?

- A) Вада зображення, зумовлена неправильним заломленням основних оптичних середовищ ока;
- B) Зміна оптичної сили ока при зоровому сприйнятті предметів на різній відстані від нього;
- C) Вада зображення, зумовлена різним заломленням світла центральним і периферичним відділами рогівки та кришталика;
- D) Пристосування органу зору бачити об'єкти при різній освітленості;
- E) Вада зображення, яка зумовлена неоднаковим заломленням світла різного кольору.

4. Що таке поле зору?

- A) Кут з вершиною у вузловій точці оптичної системи ока і сторонами-лініями до протилежних крайніх точок об'єкта;
- B) Частина простору, яку здатна бачити людина, що не повертає голови, тільки за рахунок рухів очей;
- C) Діапазон яскравості об'єктів, в якому око здатне розрізняти об'єкти;
- D) Діапазон, в якому можлива зміна оптичної сили ока при зоровому сприйнятті предметів на різній відстані від нього;
- E) Простір, який охоплюється поглядом людини при нерухомості голови і очей.

5. Найбільшу чутливість око має до:

- A) червоного кольору (довжиною хвилі 680нм);

- В) жовтого кольору (довжиною хвилі 585нм);
С) жовтого-зеленого кольору (довжиною хвилі 555нм);
D) синього кольору (довжиною хвилі 465нм);
E) фіолетового кольору (довжиною хвилі 444нм).
6. Які перетворення енергії відбуваються у фоторецепторах?
A) Світлової енергії в електричну;
B) Хімічної енергії в світлову;
C) Механічної енергії в світлову;
D) Світлової енергії в хімічну;
E) Світлової енергії в механічну.
7. Що таке адаптація ока?
A) Вада зображення, зумовлена різним заломленням основних оптичних середовищ ока;
B) Зміна оптичної сили ока при зоровому сприйнятті предметів на різній відстані від нього;
C) Вада зображення, зумовлена різним заломленням світла центральним і периферичним відділами рогівки та кришталика;
D) Пристосування органу зору бачити об'єкти при різній освітленості;
E) Вада зображення, яка спричинена неоднаковим заломленням світла різного кольору.
8. Що забезпечує присмерковий і нічний зір?
A) фоторецептори паличок;
B) хоріоїдея і склисте тіло;
C) фоторецептори колбочок;
D) хоріоїдея і зіниця ока;
E) пігменти гемоглобін і міоглобін.
9. Що стверджує трьохкомпонентна теорія зору?
A) Існує три типи паличок;
B) Існує три типи колбочок;
C) Світло різних кольорів діє на кожен тип паличок в різній мірі;
D) Світло різних кольорів діє на кожен тип колбочок в різній мірі;
E) Світло будь-якого кольору діє на кожен тип колбочок і паличок у рівній мірі.
10. Денний зір і сприйняття кольорів забезпечують:
A) хоріоїдея і склисте тіло;
B) гемоглобін і міоглобін;
C) фоторецептори паличок;
D) фоторецептори колбочок;
E) хоріоїдея і зіниця ока.

Рекомендована література.

Основна:

1. Іщейкіна Ю.О. Медична і біологічна фізика: навч. посібник / Ю.О. Іщейкіна, В.І. Макаренко, Н.В. Тронь – 2-ге видання. – Полтава: Шевченко Р.В., 2014. – 352 с.
2. Лобоцкая Н.Л. Высшая математика / Н.Л. Лобоцкая, Ю.В. Морозов, А.А. Дунаев; Учебник для студентов фармацевтических факультетов

- медицинских институтов. – Минск: Высшая школа, 1987. – 319 с.
3. Медицинская и биологическая физика: учеб. для студ. высших мед. учеб. завед. IV ур. акр. / под ред. А.В. Чалого. – Вінниця: Нова Книга, 2011. – 568 с.
 4. Медична і біологічна фізика: підруч. для студ. вищ. мед. заклад. III-IV р. акред. / Під заг. ред. О.В. Чалого. – 2-ге вид., переробл. і доп. – К.: Книга плюс, 2005. – 760 с.
 5. Медична та біологічна фізика: нац. підруч. для студ. вищ. мед. навч. закладів III-IV рівнів акредитації / О. В. Чалий, Я.В. Цехмістер, Б.Т. Агапов та ін. ; за ред. О.В. Чалого. – Вінниця: Нова книга, 2013. – 528 с.
 6. Медична та біологічна фізика: підручник для студентів медичних ВНЗ / О.І. Антюфєєва, Л.В. Батюк, М.А. Бондаренко та ін.; за ред. В.Г. Книгавка. – Харків: ХНМУ, 2010. – 370 с.

Додаткова:

1. Лабораторный и лекционный эксперимент по медицинской и биологической физике / Под ред. Д.С. Кройтора, А.Н. Ремизова, В.О. Самойлова – Кишинев: Лумина, 1983. – 328 с.
2. Медична і біологічна фізика: Практикум: навч.-метод. посіб. для вищ. мед. навч. закл. / за ред. О.В. Чалого. – К.: Книга плюс, 2003. – 217 с.