

§ 28. ОКО ЯК ОПТИЧНА СИСТЕМА

■ Ви вже знаєте, що більшу частину інформації про навколишній світ ми одержуємо завдяки зору. Органом зору людини є око — один із найдосконаліших і водночас найпростіших оптичних приладів. Як же влаштоване око? Чому деякі люди погано бачать і як скоригувати їхній зір? Як з особливостями людського ока пов'язане виробництво мультиплікаційних фільмів?

1

Знайомимося з будовою ока

Око людини має кулясту форму (рис. 3.66). Діаметр очного яблука близько 2,5 см. Іззовні око вкрите щільною непрозорою оболонкою — *склерою*. Передня частина склери переходить у прозору рогову оболонку — **роговівку**, що діє як збиральна лінза й забезпечує 75 % здатності ока заломлювати світло.

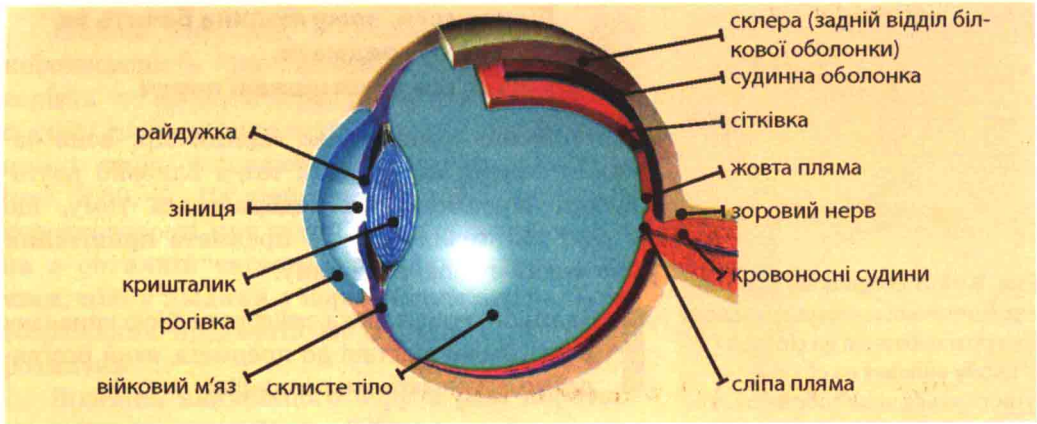


Рис. 3.66. Будова ока

Із внутрішнього боку склера вкрита *судинною оболонкою*, що складається з кровоносних судин, які живлять око. У передній частині ока судинна оболонка переходить у *радужну оболонку*, яка неоднаково забарвлена в різних людей. У радужній оболонці є круглий отвір — *зіниця*. *Зіниця* звужується в разі посилення інтенсивності світла й розширюється в разі ослаблення.

Здатність ока пристосовуватися до різної яскравості предметів, що спостерігаються, називають адаптацією.

За зіницею розташований **кришталік**, який являє собою двоопуклу лінзу. Кришталік, завдяки скріпленім із ним м'язам, може змінювати свою кривизну, а отже, і оптичну силу.

Судинна оболонка з внутрішнього боку ока вкрита *сітківкою* — розгалуженнями світлочутливого нерва. Найчутливіша частина сітківки розташована прямо навпроти зіниці й називається жовтою плямою. Місце, де зоровий нерв входить в око, несприйнятливий до світла, тому дістало назву *сліпа пляма*.

У утворенні зображення також бере участь *склисте тіло* — прозора драглиста маса, що заповнює простір між кришталіком і сітківкою. Світло, яке потрапляє на поверхню ока, заломлюється в рогівці, кришталіку та склистому тілі. У результаті на сітківці виходить **дійсне, перевернуте, зменшене зображення предмета** (рис. 3.67).

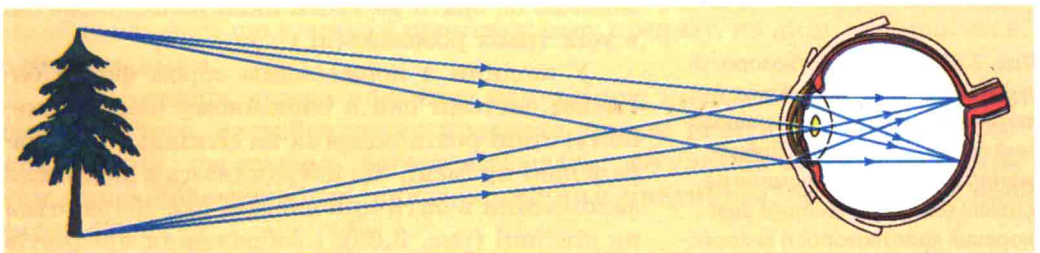


Рис. 3.67. Зображення, що виходить на сітківці ока, — дійсне, перевернуте, зменшене

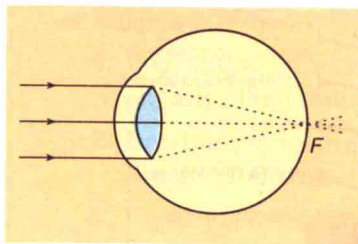


Рис. 3.68. У спокійному стані фокус F оптичної системи здорового ока розташований на сітківці. У цьому випадку на сітківці утворюється чітке зображення віддалених предметів

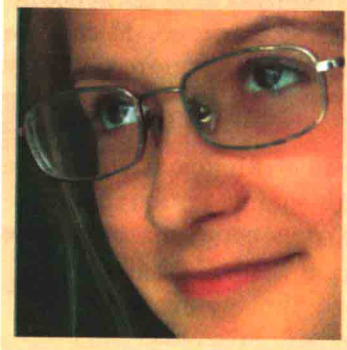
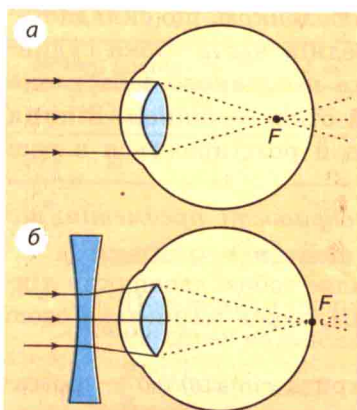


Рис. 3.69. У разі короткозорості в спокійному стані ока фокус F оптичної системи ока розташований перед сітківкою (а). Зображення віддалених предметів на сітківці виходить нечітким. Для корекції короткозорості використовують окуляри з розсіювальними лінзами (б)

2

Дізнаємося, чому людина бачить як віддалені предмети, так і ті, що розташовані поруч

Якщо людина має гарний зір, вона бачить чіткими як далеко, так і близько розташовані предмети. Це відбувається тому, що в разі зміни відстані до предмета кришталик ока змінює свою кривизну.

Здатність кришталика змінювати свою кривизну в разі зміни відстані до предмета, який розглядаємо, називають **акомодацією**.

Якщо людина дивиться на досить віддалені предмети, в око потрапляють паралельні промені — у цьому випадку око найкраще розслаблене. (Зауважте, що, замислившись, людина дивиться ніби вдалину!) Чим ближче розташований предмет, тим сильніше напружується око. Найменшу відстань, на якій око бачить предмет, практично не напружуючись, називають відстанню найкращого зору. Для людей із нормальним зором ця відстань дорівнює приблизно 25 см. Саме на такій відстані людина з добрим зором читає книжку.

3

З'ясуємо, що таке короткозорість і далекозорість і якими є способи їх корекції

Щоб краще розібратися, що відбувається в оптичній системі ока в разі *короткозорості* й *далекозорості* і як коригуються ці вади зору, уявімо таку ситуацію. Троє людей, один із яких має нормальний зір, другий — короткозорість, а третій — далекозорість, дивляться на ті самі предмети, розташовані досить далеко, наприклад на зорі. (У цьому випадку ми можемо не брати до уваги акомодатії, адже очі в усіх трьох розслаблені.)

У людини з нормальним зором фокус оптичної системи ока в спокійному (ненапруженому) стані розташований на сітківці, тобто паралельні промені, що потрапляють в око, після заломлення в оптичній системі ока збираються на сітківці (рис. 3.68), і зображення предметів на ній є чітким.

Інакша ситуація в людей, котрі мають короткозорість чи далекозорість. **Короткозорість** — це вада зору, у разі якої фокус оптичної системи ока в спокійному (ненапруженому) стані розташований перед сітківкою (рис. 3.69, а). Це відбувається тому, що в разі короткозорості кут заломлення світлового пучка в оптичній системі ока виявляється більшим, ніж у людини з нормальним зором. Тому зображення предметів на сітківці є нечітким, розмитим.

Відстань найкращого зору в разі короткозорості менша від 25 см. Саме тому короткозора людина, щоб роздивитися предмет у руках, підносить його близько до очей. Короткозорість коригується носінням окулярів із розсіювальними лінзами (рис. 3.69, б).

Далекозорість — це вада зору, у разі якої фокус оптичної системи ока в спокійному (ненапруженому) стані розташований за сітківкою (рис. 3.70, а). Це відбувається тому, що в разі далекозорості кут заломлення світлового пучка в оптичній системі ока виявляється меншим, ніж у людини з нормальним зором. Зображення предметів на сітківці також буде нечітким, розмитим.

Відстань найкращого зору в разі далекозорості більша, ніж 25 см, тому, роздивляючись предмет у руках, людина відсуває його від очей. Далекозорість коригується носінням окулярів зі збиральними лінзами (рис. 3.70, б).

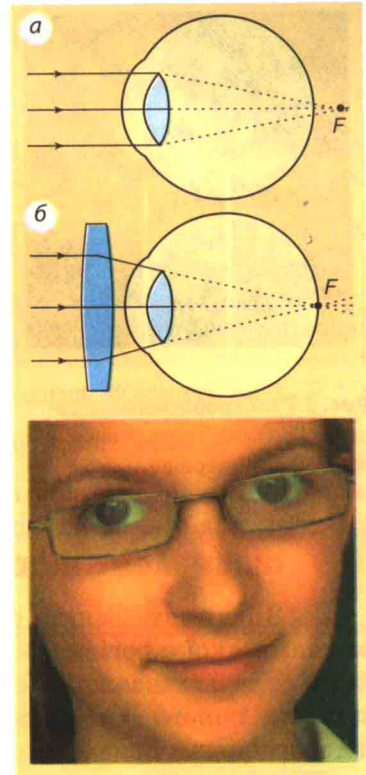


Рис. 3.70. У разі далекозорості в спокійному стані ока фокус F оптичної системи ока розташований за сітківкою (а). Зображення віддалених предметів на сітківці виходить нечітким. Для корекції далекозорості використовують збиральні лінзи (б)

4 Знайомимося з інерцією зору

Якщо швидко переміщувати в темряві «бенгальський вогонь», то спостерігач побачить світні фігури, утворені «вогняним контуром». Різнобарвні лампочки каруселі під час швидкого обертання, зливаючись, утворюють кільця. Наші очі весь час кліпають, а оскільки ці рухи є доволі швидкими, ми не помічаємо, що у певний проміжок часу предмет, на який ми дивимося, стає невидимим.

Усі ці явища можна пояснити так званою *інерцією зору*. Річ у тому, що після того, як зображення предмета зникає із сітківки ока (предмет прибирають, перестають його освітлювати, затуляють непрозорим екраном тощо), зоровий образ, викликаний цим предметом, зберігається протягом 0,1 с.

Зорову інерцію широко використовують в анімаційному кіно. Картинки на екрані дуже швидко (24 рази за секунду) змінюють одна одну, під

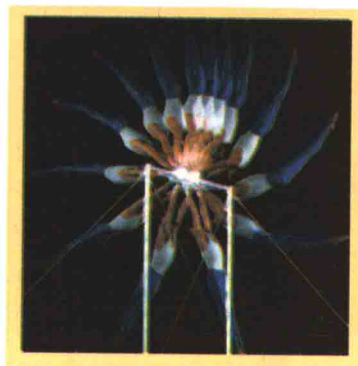


Рис. 3.71. Стробоскопічна фотографія гімнаста, який виконує вправи на поперечці

час їх зміни екран не освітлюється, але глядач цього не помічає — він просто бачить низку картинок, що чергуються. У такий спосіб на екрані створюється ілюзія руху. (А тепер уявіть, скільки картинок потрібно намалювати художникам, щоб одержати повнометражний мультиплікаційний фільм!)

На інерції зору також базується застосування *стробоскопа*. (Стробоскоп являє собою джерело світла, що випромінює світлові спалахи через певні, дуже малі проміжки часу.) Під час фотографування об'єктів, що освітлені стробоскопом, ми отримуємо стробоскопічні фотографії (рис. 3.71).



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

З погляду фізики, око являє собою оптичну систему, основними елементами якої є рогівка, кришталик та склисте тіло.

У результаті заломлення світла в цій оптичній системі на світлочутливій поверхні очного дна — сітківці — утворюється зменшене, дійсне, перевернуте зображення предмета.

Якщо оптична система ока збирає промені перед сітківкою, то зображення предмета на сітківці буде розмитим — такий дефект зору називається короткозорістю. Короткозорість коригують носінням окулярів із розсіювальними лінзами.

Якщо оптична система ока слабо заломлює промені, то продовження променів перетинаються за сітківкою — такий дефект зору називається далекозорістю. Далекозорість коригують носінням окулярів зі збиральними лінзами.

Після того як зображення предмета зникає із сітківки ока, зоровий образ, викликаний цим предметом, зберігається у свідомості людини протягом 0,1 с. Цю властивість називають інерцією зору.



Контрольні запитання

1. Опишіть будову людського ока та призначення окремих його елементів.
2. Які характеристики має зображення, що виникає на сітківці ока?
3. Як змінюється діаметр зіниці в разі зменшення освітленості?
4. Чому людина з нормальним зором може однаково чітко бачити як далеко, так і близько розташовані предмети?
5. Чому дорівнює відстань найкращого зору для людини з нормальним зором?
6. Який дефект зору називається короткозорістю? Як його можна відкоригувати?
7. Який дефект зору називається далекозорістю? Як його можна відкоригувати?
8. Яку властивість зору називають інерцією зору?



Вправи

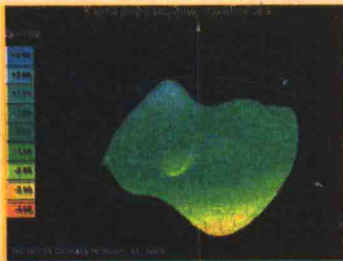
1. Чому кривизна кришталика ока риби більша, ніж у людини?
2. Оптична сила нормального ока змінюється від 58,6 до 70,6 дптр. Визначте, у скільки разів змінюється при цьому фокусна відстань ока.
3. На якій мінімальній відстані від ока слід розташувати дзеркальце, щоб побачити чітке зображення ока?
4. Оптична сила лінз бабусиних окулярів $-2,5$ дптр. Якою є фокусна відстань цих лінз? Який дефект зору має бабуся?
5. Чому, щоб краще бачити, короткозора людина мружить очі?
6. Чому навіть у чистій воді людина без маски погано бачить?
7. Хлопчик читає книжку, тримаючи її на відстані 20 см від очей. Визначте оптичну силу лінз, які необхідні хлопчику для читання на відстані найкращого зору (за умов нормального зору).



Експериментальні завдання

1. Запропонуйте спосіб, за допомогою якого можна визначити, який дефект зору (короткозорість чи далекозорість) коригують ті або інші окуляри. Постарайтесь знайти кілька різних окулярів (попросіть у домашніх, сусідів і т. д.) і переконайтесь у правильності свого способу.
2. Перевірте на досліді властивість ока змінювати діаметр зіниці залежно від освітленості об'єкта розглядання. Для спостереження змін діаметра зіниці скористайтесь дзеркалом.

Фізика й техніка в Україні



Наприкінці минулого століття вченим вдалося встановити, що заломлення світлового променя, який потрапляє в око, різне у різних точках ока через те, що поверхня рогівки не є ідеально гладенькою, а кришталик не є однорідним (див. рисунок).

Для виправлення зору було запропоновано методику згладжування поверхні рогівки за допомогою лазерного випромінювання. Однак щоб ця технологія дійсно запрацювала, треба було знати, яку саме кількість речовини кришталика слід видалити в конкретному місці.

Тобто було необхідно виміряти реальний профіль кришталика. Проте око не стоїть спокійно, отже, треба було зробити це вимірювання дуже швидко (за частки секунди).

У Німеччині, Японії, Іспанії та США розпочалося шалене змагання вчених та інженерів за створення такого вимірювального приладу. Однак перший у світі рейтрейсинговий абетометр був створений колективом українських учених під керівництвом професора Василя Молебного.