Лекція 1. Фізіологічні особливості та патології зорового аналізатора. Особливості електронних приладів для офтальмології

1.1 Бінокулярний зір

Під бінокулярним зором розуміють об'єднану діяльність сенсорних і моторних систем обох очей, що забезпечує одночасний напрям зорових вісей на об'єкт фіксації, злиття монокулярних зображень цього об'єкту в єдиний зоровий образ і локалізацію його у відповідне місце простору. Бінокулярний зір підсилює сприйману яскравість об'єкту і дозволяє точніше оцінювати третій просторовий вимір, тобто об'ємність предметів, міра їх абсолютної і відносної віддаленості.

Відомо, що повноцінне сприйняття глибини можливе лише двома очима. Зір одним оком (монокулярний) дає уявлення лише про висоту, ширину, форму предмету, але не дозволяє судити про взаєморозташування предметів в просторі «по глибині». Одночасний зір характеризується тим, що при ньому у вищих зорових центрах сприймаються імпульси від одного і від іншого ока одночасно, проте немає злиття в єдиний зоровий образ.

При бінокулярній фіксації точки, медіальні частини монокулярних полів зору накладаються одне на одне, утворюючи загальне поле зору (рис. 1.1).

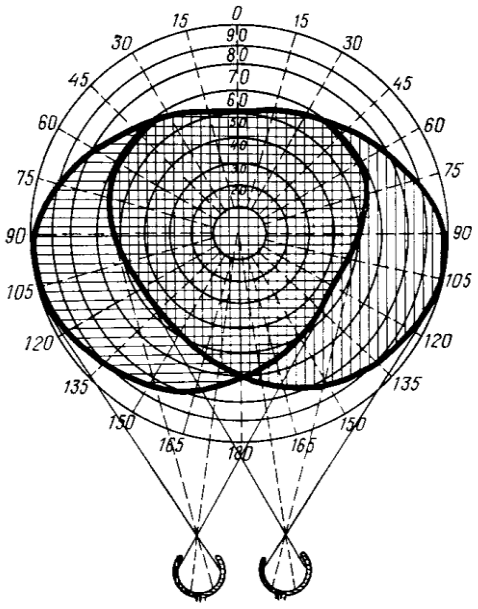


Рис. 1.1 Бінокулярне поле зору

Об'єкт, який знаходиться в будь-якій ділянці поля зору, одночасно дратує сітківки обох очей. Кордони бінокулярної частини поля зору індивідуально варіюють, складаючи по горизонталі в середньому 115°, і можуть декілька змінюватися залежно від умов зорового акту. Латеральні частини поля зору (скроневі напівлуння) залишаються монокулярними.

1.2 Бінокулярна координація руху очей

В процесі управління поглядом (спільні рухи очей і вік при фіксації різних точок простору) можна виділити три різні програми.

1. Очі можуть рухатися співдружньо верх, вниз, управо або вліво, так що їх осі залишаються паралельними;

2. При зміні точок фіксації в просторі (наприклад, від ближчої до більш видаленої) потрібні вергентні рухи, при яких напрям руху одного ока є приблизно дзеркальним віддзеркаленням руху іншого. Якщо фіксується точка на значному видаленні від спостерігача, то зорові осі паралельні. Якщо погляд зміщується на ближче розташований об'єкт, зорові осі конвергують. Для того, щоб перекласти погляд на більш видалений предмет, потрібно виробити дивергенцію, при якій осі очей декілька розлучаються. Якщо потрібно перекласти погляд з об'єкту в правій частині поля зору на об'єкт зліва, розташований ближче до спостерігача, то вергентні і рухи співдружності виконуються спільно.

3. Обертальні рухи очей у фронтальній площині супроводжують нахил голови убік. Навіть у тому випадку, коли нахил голови виконується швидко і на значний кут, кут повороту очей не набагато перевищує 10°.

1.3 Патологія окорухового апарату

Патологія окорухового апарату може виражатися в неправильному положенні очей, обмеженні їх рухів, порушеннях конвергенції і дивергенції, ністагмі.

На практиці найчастіше доводиться зустрічатися з неправильним по-

ложенням очей – косоокістю. Воно характеризується відхиленням одного з очей від загальної точки фіксації і порушенням бінокулярного зору.

Ознаки півдружньої косоокості:

1) збереження повного об'єму рухів очних яблук;

2) рівність первинного і вторинного кутів відхилення;

3) відсутність двоїння, не дивлячись на порушення бінокулярного зору.

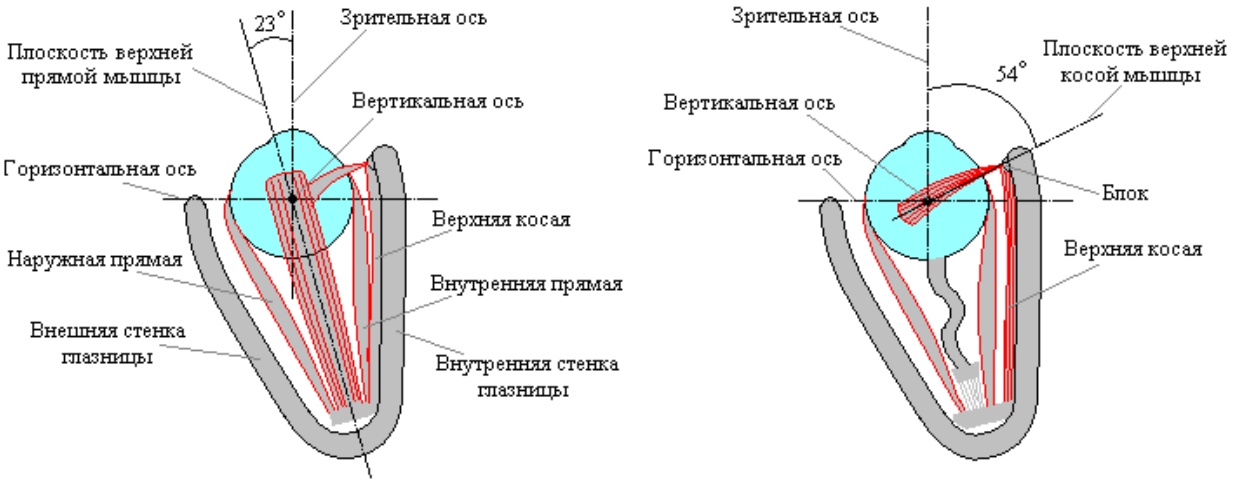
Під первинним кутом відхилення розуміють кут відхилення косячого ока, під вторинним – здорового. Кути відхилення визначають шляхом попеременної фіксації об'єкту то одним, то іншим оком. Якщо обстежуваному, запропонувавши фіксувати поглядом предмет, закрити здорове око ширмою, то косяче око займе серединне положення в очній щілині. Здорове ж око відхилиться в ту сторону, в яку відхилялося раніше косяче око, і стане, таким чином, косячим, причому відхилення (вторинне) дорівнюватиме первинному.

Незалежно від вигляду косоокості при ній виникають ускладнення, що утрудняють виправлення косоокості і що важко піддаються лікуванню. По суті ці ускладнення можна розглядати як своєрідне сенсорне пристосування для звільнення від двоїння при зорі двома очима. Розрізняють два типи такого пристосування: утворення скотоми гальмування і розвиток аномальної кореспонденції сітківок.

Окоруховий апарат (ОРА) зорового аналізатора людини відповідає за переміщення ока, з метою забезпечення заданої області зорового сприйняття. Знаючи механізм функціонування ОРА, можна побудувати функціональну модель окорухової системи. Така модель є важливою при розробці автоматизованої офтальмологічної діагностичної установки, оскільки дозволяє використовувати розраховані параметри при обробці результатів досліджень, що підвищує точність і якість діагностики.

Рухи ока здійснюються за допомогою шести зовнішніх очних м'язів: чотири прямих – внутрішня, зовнішня, верхня і нижня і дві косих – верхня і нижня.

Зміна довжини кожного м'яза математично описується відносно трьох основних вісей, які проходять через центр обертання очного яблука і перпендикулярні одна одній (рис. 1.1). Горизонтальна і вертикальна вісі розташовані в екваторіальній площині очного яблука, зорова вісь - у напрямі погляду.



а б

Рис. 1.1 Розташування трьох основних осей відносно центру обертання очного яблука:

а – діаграма верхнього прямого м'яза;

б – діаграма верхнього косого м'яза.

Оптична система кожного ока складається з оптичних середовищ, які створюють зображення предметів на сітківці; а також м'язових систем, одна з яких управляє рухом очей, інша, розташована усередині очного яблука, забезпечує фокусування зображення на сітківці і регулює освітленість на ній, змінюючи розмір зіниці. Світлосприймаючою системою ока є його сітчаста оболонка, яка містить світлочутливі клітки, – зорові рецептори – палички і колбочки. Загальне число паличок і колбочок в сітківці одного ока досягає приблизно 140 млн., з них близько 7 млн. колбочок. Розподіл паличок і колбочок по сітківці не рівномірно. У місці сітківки, через яке проходить зорова лінія ока, розташовані одні колбочки. Ця ділянка сітківки, декілька поглиблений, діаметром приблизно 0,4 мм, що відповідає куту 1,2°, називається

центральною ямкою – fovea centralis (лат.) – скорочено, фовеола або фовеа. У центральній ямці знаходяться лише колбочки, їх число тут досягає 4 – 5 тис. Фовеола розташовується в середині горизонтально розташованій овальній ділянці сітківки розміром від 1,4 до 2 мм (що відповідає кутовим розмірам, рівним 5 – 7°), відомої під назвою жовтої плями або macula. У цій плямі міститься пігмент, що додає їй відповідне забарвлення, а окрім колбочок зустрічаються вже і палички, проте, число колбочок тут значно перевищує число паличок. Колбочки і палички розрізняються по своїх функціях: палички більш світлочутливі, але не розрізняють кольорів, колбочки розрізняють кольори, але менш чутливі до світла. Кольорові об'єкти при слабкому освітленні, коли весь зоровий процес здійснюється паличками, відрізняються лише яскравістю, колір же об'єктів в цих умовах не відчувається. Розподіл паличок і колбочок по сітківці показаний на рисунку 1.2.

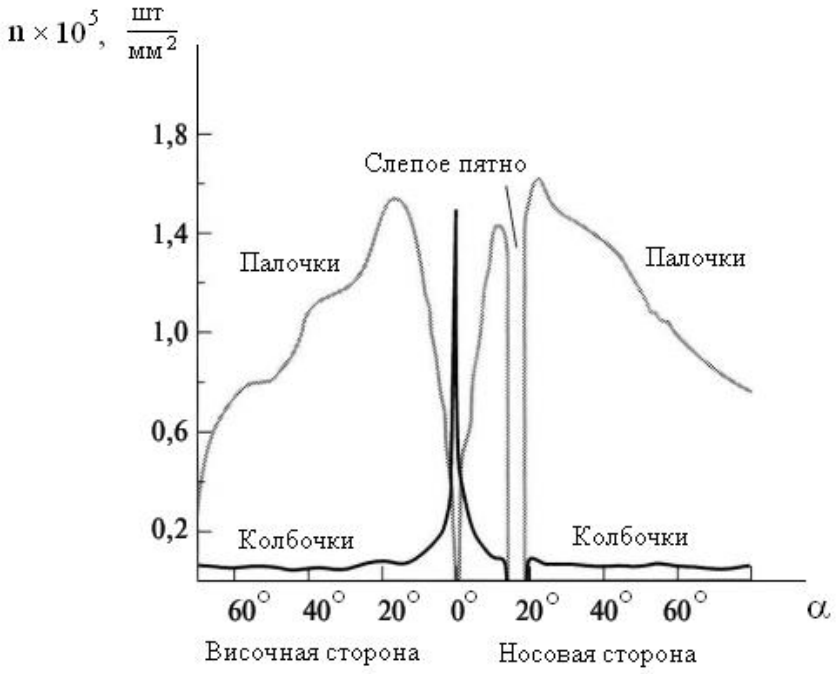


Рисунок 1.2 - Розподіл концентрації зорових рецепторів відносно кута відхилення від центру фовеолярной області

При збудженні світлом паличок або колбочок, виникає фотохімічний перехідною процес, в результаті якого створюється нервовий імпульс. Фото-

рецептори, які діють за принципом порогових елементів, посилають імпульси в зоровий відділ головного мозку. Сукупність порогових характеристик, визначена щільністю фоторецепторів на заданій ділянці створює певну амплітуду імпульсу сигналу. Провідником імпульсу служать зорові нерви, які сполучають окремими волокнами зорові рецептори з клітками потиличної частини кори головного мозку, де розташована центральна ланка зорового аналізатора.

Мозок перетворює імпульси, які видаються зоровими рецепторами, в імпульси, що керують роботою ОРА зорового аналізатора. Зміна імпульсів, що поступають на вхід ОРА, викликає скорочення відповідних ОРМ які постійно знаходяться в натягненні, що можна розглядати як лінійне перетворення. Це, у свою чергу, викликає зміну сил їх натягнення і поворот очного яблука. При цьому відбувається пасивне розтягування м'язів, які не беруть участь в процесі повороту. ОРА переходить в новий стан і значення його параметрів змінюються. Динаміка процесу веде до зміни зорової інформації, переробки її в зоровому аналізаторі і видачі нових імпульсів.

1.4 Особливості електронних приладів для офтальмології

1.4.1 Методи та прилади для визначення поля зору

Поле зору — простір, що одночасно сприймається оком при нерухомому погляді і фіксованому положенні голови. Воно має певні кордони, відповідні переходу оптично діяльної частини сітківки в оптично сліпу. Поле зору штучно обмежується виступаючими частинами лиця — спинкою носа, верхнім краєм очної ямки. Крім того, його кордони залежать від положення очного яблука в очній ямці. Поле зору має периферичні і центральні відділи. Перші відповідають відділам сітківки, чутливішим до переривистих роздратувань, зокрема до сприйняття рухомих предметів (периферичний зір, здійснюваний паличками). Центральні відділи знаходяться в проекції жовтої плями і забезпечують центральний зір, здійснюваний колбами. Виділяють також парацентральні відділи поля зору. Залежно від участі в зорі одного або обох

очей, розрізняють монокулярне і бінокулярне поле зору. У клінічній практиці зазвичай досліджують монокулярне поле зору.

Визначити межі поля зору можна за допомогою комп'ютерної периметрії, а найточніше - при проекції їх на сферичну поверхню. Дослідження цим способом носить назву периметрії і виробляється за допомогою приладів, які називаються периметрами. Найбільш широкого поширення набув електричний проекційно-реєстраційний периметр (ПРП). У багатьох випадках по точності йому не поступається периметром Ферстера, який найбільш простий в обігу. На ПРП дослідження проводиться завжди в одних і тих же умовах, залежно від гостроти зору і інших причин змінюються величина, колір і освітлення об'єктів.

Аналізатор АППЗ (рис. 1.3) призначений для визначення кордонів світлової і колірної чутливості сітківки в умовах світлової і колірної адаптації для денного, смеркового і нічного зору. За допомогою аналізатора можна визначити межі поля зору і встановити наявність випадання ділянок поля зору.

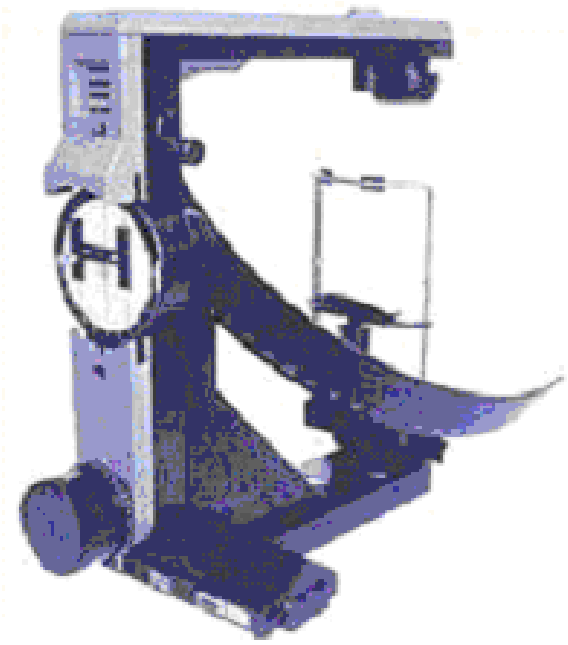


Рисунок 1.3 - Аналізатор поля зору проекційний АППЗ

Випробувальне поле є дугою шириною 80 мм, радіусом 300 мм. Яскравість дуги для денного зору 5,0 кД/м^2, для смеркового зору 0,2 кД/м^2, для ні-

чного зору 0,0002 кД/м^2. Розміри випробувальних об'єктів (світлових плям) 10 мм, 5 мм, 3 мм, 1 мм. Кольори випробувальних об'єктів білий, червоний, зелений, синій. Поворот дуги ±90°, переміщення випробувального об'єкту по дузі від нерухомої фіксаційної крапки ±95°.

Автоматичний периметр АР1000 призначений для дослідження центрального і периферійного поля зору (рис. 1.4).

Рисунок 1.4 – Автоматичний периметр АР 1000

АР-1000 обладнаний сучасною цифровою системою стеження за правильним положенням ока пацієнта. Дана система дозволяє автоматично не зараховувати стимул-реакції при відході ока за межі фіксованої області. Око пацієнта відображується на моніторі під час всього обстеження для можливості візуального контролю. Крім того, є контроль фіксації ока по методу Heijl-Krakau.

Окрім стандартних текстів АР-1000 забезпечує можливість установки нових програм обстеження або зміни параметрів у вже наявних програм.

АР-1000 має функцію обліку попередніх вимірів, що значно скорочує час обстеження.

Периметр поєднується з компактним персональним комп'ютером з декількома USB портами, через які можна підключити принтер. Всі отримані дані можна передати в мережу або зберегти в необхідному форматі.

Twinfield – професійний периметр для статичної, кінетичної і колірної периметрії по повному полю зору (90 градусів) і перевірки порогової чутливості сітківки (рис. 1.5).

Рисунок 1.5 - Професійний периметр Twinfield

Прилад поставляється з великим масивом програм, статистичних методик і стратегій обстеження, що дозволяє діагностувати повне поле зір пацієнта і виявляти щонайменші відхилення від норми на найраніших стадіях. Можна проводити дослідження сліпоти і перевірку здібностей до водіння машини.

Кольорова периметрія: червоні і блакитні стимул-реакції можуть бути представлені статично або в русі на білому або жовтому фоні. Ручне позиціювання і пересування стимул-реакцій, форма, розмір, і освітленість яких грунтується на стандарті Гольдмана.

Прилад призначений для оснащення офтальмологічних кабінетів а також стаціонарів будь-якого рівня. Використання приладу дозволяє діагносту-

вати повне поле зір пацієнта і виявляти щонайменші відхилення від норми на найраніших стадіях. Можна проводити дослідження сліпоти і перевірки здібностей до водіння машини.

Статична периметрія в цьому приладі реалізована не лише як класична статична периметрія, але ще є можливість змінювати її, додаючи свої тестові послідовності.

Периметр ПНР-2-01 (рис. 1.6) Призначений для дослідження периферичних відносних меж поля зору і досліджувати поля зору усередині цих кордонів. У тих випадках, коли потрібне ретельніше дослідження периферичного зору (кількісна периметрія), рекомендується використовувати проекційний або сферичний периметр.

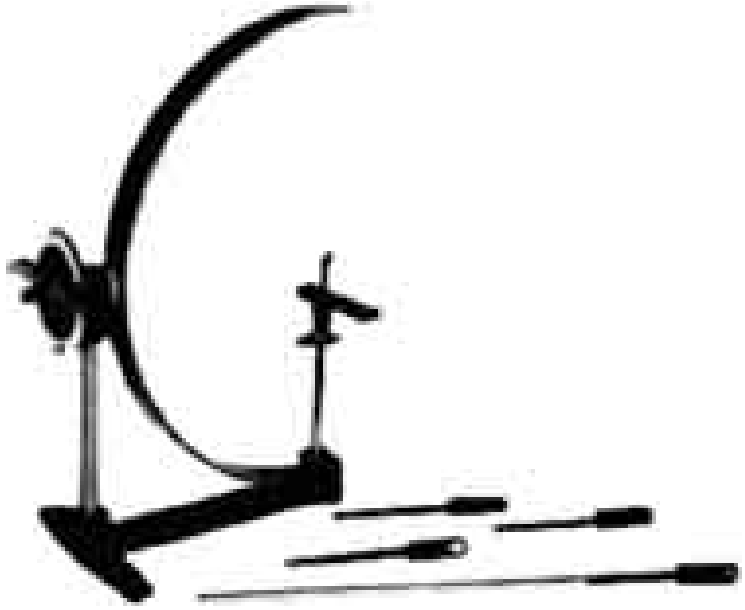


Рисунок 1.6 - Периметр ПНР-2-01

Періграф проекційний універсальний ППУ (рис.1.7) призначений для детального визначення меж поля зору з метою якісної оцінки змін світлової і колірної чутливості усередині цього поля зору способами кінетичної, тимчасової і статичної периметрії в умовах денного, смеркового і нічного зору.

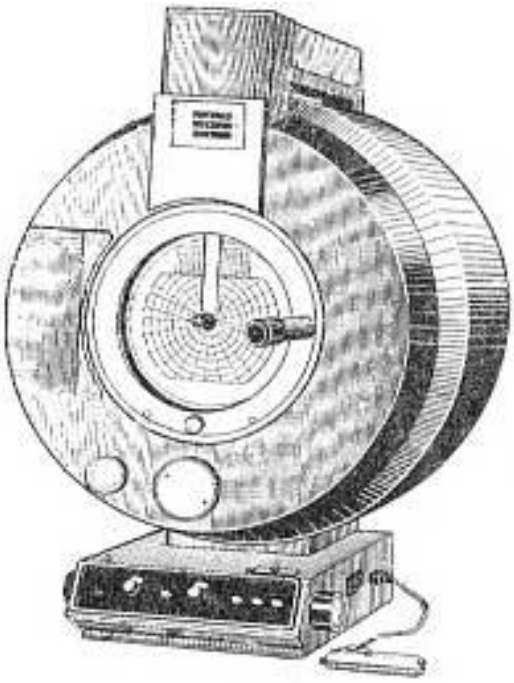


Рисунок 1.7 – Періграф проекційний універсальний ППУ

Периграф застосовується в спеціалізованих очних відділеннях лікарень, клінік і науково-дослідних інститутів. Функціонально периграф є проекційним оптичним приладом, побудованим на принципі світлової проекції випробувального об'єкту на сферичному екрані. Результати досліджень меж поля зору реєструються на спеціальному бланк-графіку.

Прилад забезпечує:

1. Дослідження меж поля зору методами кінетичної, статичної і тимчасової периметрії;
2. Рівномірну освітленість екрану для адаптації ока пацієнта;
3. Екранування пацієнта за допомогою півсфери від можливих фізіологічних і психологічних подразників під час дослідження;
4. Можливість проектування випробувального об'єкту в будь-яку точку екрану в межах поля зору;
5. Переміщення об'єкту в двох режимах: з постійною кутовою швидкістю від приводу електромотора і від руки дослідника;

6. Можливість контролю яскравості випробувального об'єкту і екрану за допомогою спеціального пристрою;

7. Зміна яскравості фіксаційної марки в процесі роботи;

8. Спостереження за правильністю погляду пацієнта на фіксаційну крапку за допомогою наглядової оптичної системи;

9. Реєстрацію дослідження меж поля зору на спеціальному бланк-графіку за допомогою електромагнітного відмітчика.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє виробити автоматизовану діагностику поля зору. При цьому користувач управляє процесом діагностики за допомогою діалогового вікна (рис.1.8) висвічуваного на моніторі персонального комп'ютера.

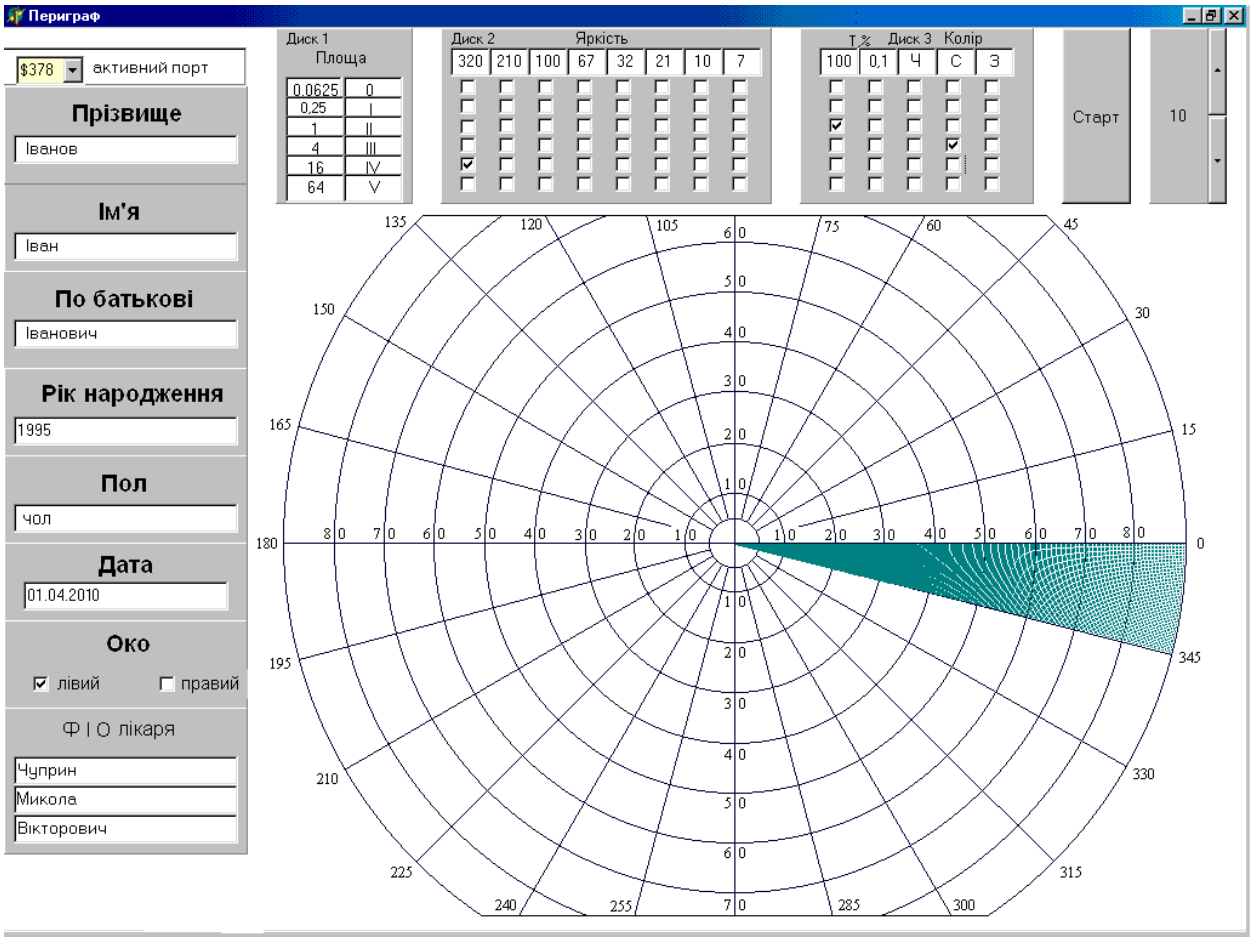


Рисунок 1.8 – Діалогове вікно програми діагностики поля зору

Інформація про процес діагностики заноситься в персональний комп'ютер за допомогою клавіатури і маніпулятора. Таке рішення дозволяє документувати результати досліджень і аналізувати захворювання органу зору, на-

приклад в консультаційних центрах мережі Інтернет.

1.4.2 Применение метода критической частоты слияния мельканий в клинической практике

Под критической частотой слияния мельканий понимается минимальная частота прерывистого светового излучения, при которой глаз начинает воспринимать излучение как непрерывное. При малой частоте мельканий пациент видит серию вспышек, с увеличением частоты вспышек появляется ощущение мерцания, вначале грубое, затем тонкое и, наконец, наступает ощущение полной слитности предъявляемого стимула.

Исследования, проведенные Портером, Айвесом и др. в начале прошлого века, показали, что КЧСМ пропорциональна логарифму интенсивности раздражающего света (закон Фери-Портера):

$$n = a \lg I + b,$$

где I – интенсивность раздражающего света, n – число периодов смены света и темноты в секунду, необходимое для того, чтобы наступило слияние мельканий, a и b – некоторые постоянные, зависящие от цветности луча.

Влияние цветности луча незначительно, а определяющим фактором является яркость мелькающего стимула.

В настоящее время хроматическую импульсную светостимуляцию применяют для диагностики методом КЧСМ и для лечения различных заболеваний сетчатки и зрительного нерва.

Для понимания физиологических процессов, лежащих в основе работы высокочастотного канала зрительного восприятия хроматических стимулов в норме и при патологии ЗН и сетчатки, необходимо исследовать:

− зависимость КЧСМ при монохроматической стимуляции от возраста здорового человека;

− характер изменения КЧСМ на стимуляцию “зеленый и красный свет“ при начальной инволюционной макулодистрофии (МД) сетчатки;

− эффективность применения импульсной светостимуляции для восстановления зрительной функции при атрофии зрительного нерва (АЗН), МД и дисплейной астении (ДА).

Согласно Международной классификации зрительные расстройства имеют четыре степени тяжести, для определения которых наравне с параметрами, характеризующими остроту и поле зрения, входит КЧСМ.

У взрослых и детей КЧСМ в норме составляет 41- 45 Гц. Однако эти показатели характерны только для макулярной зоны сетчатки при центральном предъявлении стимула. После 40 лет КЧСМ начинает снижаться в среднем на 0,2 Гц в год, достигая к 70 годам уровня 38 Гц.

В традиционном варианте использования метода предъявляется один стимул центральной локализации, воспринимаемый главным образом макулярной областью сетчатки.

Клиническая картина поражения зрительной системы складывается, в основном, из трех компонентов: офтальмологической картины, снижения остроты зрения (ОЗ) и изменения поля зрения. Снижение ОЗ является универсальным признаком многих расстройств зрительной системы.

Для топической диагностики из всех психофизиологических методов превалирующее значение имеет исследование поля зрения с помощью компьютерной автоматической статической периметрии сетчатки.

Определение КЧСМ проводят с помощью приборов "КЧСМ - Д", "Радуга - ЗДЛ" и аппаратного программного комплекса "Виртуальная Офтальмологическая Интернет Клиника",

«КЧСМ–Д» предназначен для исследования критической частоты слияния мельканий на красный и зеленый цвета с различной патологией сетчатки и зрительного нерва. Прибор разработан специально для диагностики и лечения зрения у детей. Он позволяет преодолеть специфические трудности, возникающие при работе с маленькими детьми. Ребенок вовлекается в игру, его внимание концентрируется, позволяя более точно оценить КЧСМ. (Тестируемого ребенка просят «помочь в ремонте автомобиля» и сказать, про-

должает ли мигать фара). «КЧСМ–Д» генерирует цветные световые импульсы различной частоты и длины волны (по каналу красного - 650±20 нм, по каналу зеленого - 520±20 нм, по каналу синего - 450±20 нм). Частота плавно регулируется в диапазоне от 3 до 70 Гц, интенсивность от 0,5 до 0,9 мкд, длительность одного светового импульса не менее 5 мс.

Светостимулятор «Радуга - 3ДЛ» предназначен для диагностики зрения методом исследования критической частоты слияния мельканий и лечения методом цветотерапии пациентов с различной патологией органов зрения (рис. 1.9).

Рисунок 1.9 - Светостимулятор «Радуга - 3ДЛ»

Прибор генерирует цветные световые импульсы различной частоты и длины волны (по каналу красного - 650±20 нм, по каналу зеленого - 525±20 нм, по каналу синего - 450±20 нм), частота в диапазоне от 25 до 70 Гц с шагом 0,7 Гц, интенсивность от 0,5 до 0,9 мкд, длительность одного светового импульса не менее 15 мс. Время проведения процедуры светолечения устанавливается из следующих значений: 1, 2, 3, 4 или 5 мин.

Источниками световых импульсов в аппаратном программном комплексе «Виртуальная офтальмологическая интернет клиника» служат цветные светодиоды» расположенные в центральной зоне напротив каждого глаза (рис. 1.10). Диаметр светового источника – 10 мм, зона засвета сетчатки – 60°, дискретность изменения частоты – 0,5 Гц.

Рисунок - 1.10. Страничка компьютерной программы к КЧСМ-тесту

В ходе исследования последовательно, сначала на один, затем на другой глаз испытуемого воздействуют импульсами зеленого (525 нм), синего (470 нм) и красного (622 нм) света, частоту которых плавно увеличивают от 1 до 90 Гц. Пациента просят отметить момент полного слияния мельканий. КЧСМ–тест повторяют 2–3 раза и учитывают только те данные, которые совпадают при повторном исследовании (рис.1.11).

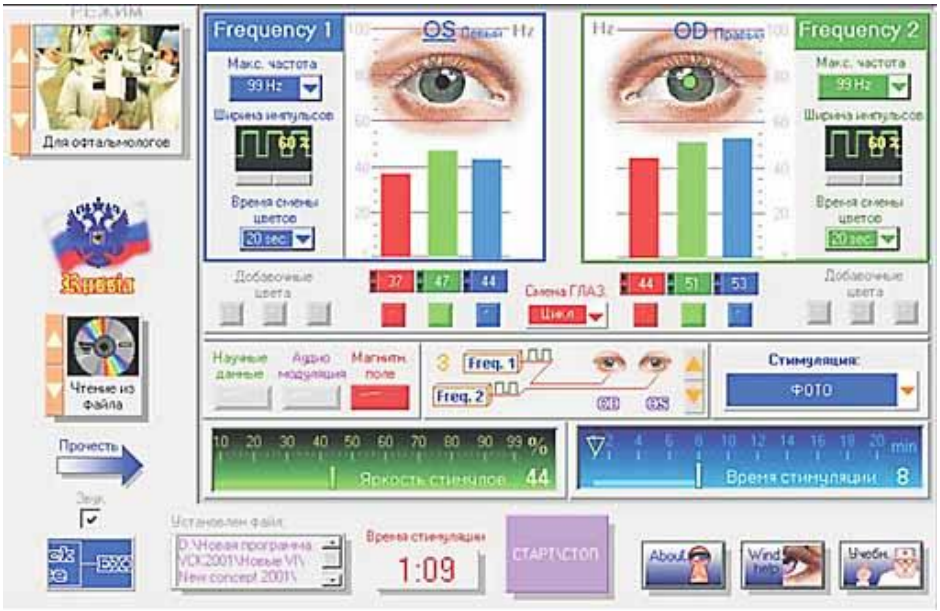


Рисунок 1.11 - Панель виртуального прибора для лечебной фотостимуляции

Параметры КЧСМ обрабатываются статистически. Высчитывается среднеквадратическая ошибка (м) и достоверность различий от среднего (М) при уровне значимости 95%.

Светоощущение и цветоощущение являются той основой, на которой строятся другие функции зрения. Важнейшей из них является различие и опознавание формы предметов. Для его осуществления важна не абсолютная чувствительность глаза к свету и цвету, а чувствительность к их изменениям в пространстве и времени - так называемая контрастная чувствительность, выражающаяся многочисленными количественными отношениями, установленными опытным путем - психофизическими законами зрения.

Различают контрастную чувствительность - пространственную и временную. Временная контрастная чувствительность - это минимальная частота мелькания стимулов в единицу времени, при которой уже происходит феномен слияния отдельных зрительных ощущений. В настоящее время в офтальмологии все большее значение приобретает использование частотно-временных показателей, которые расширяют информацию, раскрывают особенности характера зрения и его функциональных расстройств.

КЧСМ не зависит от остроты зрения, от рефракции и от величины зрачка. Однако установлено, что КЧСМ изменяется под влиянием побочных раздражителей: звуковых, обонятельных, вкусовых и тактильных.

В детской офтальмологии очень часто ранняя диагностика патологии сетчатки и зрительного нерва вызывает затруднения в связи с микросимптоматической картиной клинических признаков на глазном дне, что приводит к диагностическим ошибкам. В целях уточнения диагноза и дифференциальной диагностики приходится проводить дополнительно психофизические и электрофизиологические исследования, которые часто трудно провести детям, а в настоящее время бывают очень дорогостоящими. В настоящее время отдается предпочтение частотно-временным методикам.

Существует способ диагностики степени утомления человека, заключающийся в том, что размещают перед глазами пациента светозащитную оч-

ковую оправу со встроенными в переднюю панель светодиодами, подключенными к средству для генерации и формирования импульсов света различной длины волны, подают на светодиоды световые импульсы зеленого синего и красного цвета и осуществляют диагностику функционального состояния зрительной системы (рис. 1.12).

Рисунок 1.12 - Очки к фотостимулятору для определения КЧСМ

Световые мелькания предъявляют одновременно на оба глаза парацентрально и по разности критической частоты слияния мельканий (КЧСМ) определяют степень межполушарной функциональной асимметрии мозга, по которой судят о степени утомления обследуемого пациента. Однако предлагаемый способ не позволяет осуществлять диагностику функционального состояния зрительной системы и, в частности, центральной зоны сетчатки, исключает применение цветовых стимулов и не определяет их значимость. Способ не позволяет одновременно осуществлять восстановление зрительных функций.

Указанный способ трудно использовать для диагностики патологии зрительной системы у ребенка, поскольку ребенок часто боится надеть на себя солнцезащитную оправу для очков со встроенными светодиодами. Ребенок также не может дать точного ответа на вопросы врача при диагностике.