

Особливості акомодаційно-конвергентної зіничної реакції у здорових дітей і підлітків в залежності від їх віку і тонусу вегетативної іннервації

Духаер Шакір, лікар; Н. М. Бушуева Н.Н., д-р мед. наук; С. Б. Слободянік, канд. мед. наук

ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім.

В.П. Філатова НАМН України;

Одеса (Україна)

E-mail: bushuyevan@gmail.com

Вступ. Тісний зв'язок зіничної реакції з акомодацією обумовлює інтерес до вивчення акомодаційної зіничної реакції як методу оцінки вегетативного забезпечення акомодаційної зіничної реакції як у здорових дітей, так і у осіб з розладами акомодації. Інтерес представляє дослідження залежності показників акомодаційно-конвергентної зіничної реакції від віку дітей та загального тонусу вегетативної іннервації. Очікується, що показники пупілографії могли б розглядатися як об'єктивний критерій оцінки акомодаційно-конвергентно-зіничної реакції, а у пацієнтів з розладами акомодації – також сприяти вибору того чи іншого методу лікування.

Мета – вивчити особливості акомодаційно-конвергентної зіничної реакції при переведенні погляду здалека поблизу у здорових дітей та підлітків в залежності від їх віку та загального тонусу вегетативної іннервації.

Матеріал та методи. Дослідження акомодаційної зіничної реакції було проведено у 269 здорових дітей та підлітків (538 очей) віком від 6 до 18 років, які за віком розподілялися на три групи: 1) діти віком 6–9 років (77 осіб); 2) діти віком 10–14 років (96 осіб); 3) підлітки віком 15–18 років (96 осіб). Оцінку загального вегетативного тонусу здійснювали за допомогою вегетативного індексу Кердо (ВІК). Пупілографічні дослідження проводилися за допомогою комп'ютерного окулографа «ОК-2» (Одеса, Україна). Визначали площину зіниці, амплітуду її зміни та тривалість періодів зміни розміру зіниць.

Результати. Встановлено нормативні величини пупілографічних показників акомодаційно-конвергентної зіничної реакції у здорових дітей та підлітків віком від 6 до 18 років та встановлено залежність цих показників від віку дітей та загального балансу вегетативної іннервації. Виявлено, що загалом при симпатотонії показники площин зіниці та амплітуда її зміни значно більші, а часові показники зміни розмірів зіниць значно менші, ніж при ейтонії та парасимпатотонії; у парасимпатотоніків швидкість зміни розмірів зіниць найповільніша, а амплітуда – найменша. У дітей молодшого віку (6–9 років) швидкість акомодаційної зіничної реакції і розміри площин зіниць в цілому менші, ніж у більш старших дітей (10–18 років), що може свідчити про неповну структурно-функціональну зрілість акомодативно-конвергентно-зіничної системи в цьому віці.

Висновок. Виявлені закономірності дають підстави розглядати дані пупілографії в якості об'єктивного критерію оцінки акомодаційно-конвергентно-зіничної реакції у дітей різного віку і стану балансу вегетативної іннервації.

Ключові слова:

акомодація, пупілографія, акомодаційно-конвергентна зінична реакція, діти та підлітки, вегетативна нервова система

Вступ. За сучасними уявленнями, акомодація – це здатність ока до чіткого бачення різновіддаленних об'єктів за рахунок зміни рефракції [1]. Механізм акомодації реалізується через низку структурно-функціональних ланок, до яких відносять криштали, зв'язковий апарат кришталика, циліарний м'яз і хоріоїдею, управління якими в процесі акомодації здійснюється вегетативною нервовою системою (ВНС) через два її відділи – симпатичний і парасимпатичний.

Акомодація тісно пов'язана із зіничною реакцією і разом з нею становить безумовний, мимовільний рефлекс, що забезпечується діяльністю складної ако-

модативно-конвергентно-зіничної системи. Дано система забезпечує одночасне досягнення максимальної гостроти зору, бінокулярного зору, правильного положення очей при фіксації очей на будь-якій відстані. А основна функція зіничної реакції, яка входить до складу акомодативно-конвергентно-зіничного рефлексу і проявляється звуженням зіниці при переведенні погляду здалека на більшій відстань, – забезпечення збільшення глибини різкості для більшого зору [1, 2, 3].

Визначення стану і реакції зіничної системи має велике значення для встановлення широкого кола уражень зорового аналізатора, вегетативної та центральної нервової системи. Тому пупілометрія, як об'єктивний метод дослідження, застосовується для діагностики захворювань та функціональних станів ЦНС, виявлення функціональних порушень при різній офтальмопатології, зокрема, при глаукомі, діабетичній ретинопатії, пігментному ретиніті, страбізмі, амбліопії, для оцінки зорової працездатності та інш. [4-14].

Зінична реакція має тісний зв'язок з акомодацією ока, що проявляється звуженням або розширенням зіниці під час фокусуванні погляду на різних відстанях. Це обумовлює інтерес до вивчення зіничної реакції при акомодації як об'єктивного методу її оцінки як у здорових дітей, так і, особливо, у осіб з розладами акомодації, частка яких в Україні в 2018 становила у дітей до 6 років – 3,68 на 1000 осіб, у дітей 7–14 років – 35,57, а у віці 15–17 років – 84,86 [15]. Інтерес також представляє дослідження залежності показників акомодаційно-конвергентної зіничної реакції від віку дітей та загального тонусу вегетативної іннервациї. Очікується, що показники пупілографії могли б розглядатися як об'єктивний критерій оцінки акомодаційно-конвергентно-зіничної реакції, а у пацієнтів з розладами акомодації – сприяти вибору того чи іншого методу лікування.

Першим етапом нашого дослідження було визначення нормативних показників пупілографії, що обумовило **мету роботи** – вивчити особливості акомодаційно-конвергентної зіничної реакції у здорових дітей та підлітків в залежності від їх віку та тонусу вегетативної іннервaciї.

Матеріал та методи

Дослідження акомодаційної зіничної реакції було проведено у 269 дітей та підлітків (538 очей) віком від 6 до 18 років, які були соматично і офтальмологічно здоровими. За даними офтальмологічного обстеження, всі діти та підлітки мали центральну зорову фіксацію, бінокулярний зір, гостроту зору обох очей для далі та близу – в середньому $1,02 \pm 0,02$, відсутність патологічних змін з боку переднього відділу ока, оптичних середовищ, очного дна. Рефракція відповідала віковій нормі, заломлююча сила рогівки за даними офтальмометрії складала в середньому $42,83 \pm 0,10$ дптр. Передньо-задній розмір очей за даними УЗ-біометрії становив в середньому $23,4 \pm 0,25$ мм.

За віком всі діти та підлітки були розподілені на три групи: 1) діти віком 6–9 років (77 осіб); 2) діти віком 10–14 років (96 осіб); 3) підлітки віком 15–18 років (96 осіб). Такий розподіл дітей за віком ґрутувався на відомих даних щодо динаміки балансу вегетативної іннервaciї зіниці в онтогенезі. Так, Е.С. Вельховер з співав. [4] встановили, що у дітей починаючи з другого місяця життя існує мідритатична прогресія, яка триває в середньому одне десятиріччя, що свідчить про випереджаючі темпи розвитку симпатичної складової ВНС

порівняно з парасимпатичною. Приблизно в 10–14 років активність симпатичної ВНС досягає максимуму і встановлюється відносна рівновага в реципроній взаємодії холінергічної (парасимпатичної) і адренергічної (симпатичної) складових вегетативної іннервaciї сфинктера і, вірогідно, акомодаційного м'язу [4, 5]. Далі зростає активність парасимпатичної складової, досягаючи максимуму в 20–24 років.

Оцінку тонусу вегетативної нервової системи здійснювали за допомогою запитальника Вейна для виявлення ознак вегетативної дисфункції та вегетативного індексу Кердо (ВІК) [16]. При заповненні запитальника пацієнти відповідали («так» або «ні») на ряд запитань щодо функціонального стану ВНС, результати оцінювалися в балах. Сумарна величина балів у здорових осіб не перевищувала 15.

За допомогою вегетативного індексу Кердо (ВІК), який базується на параметрах, що характеризують стан серцево-судинної системи – артеріальний тиск і частота серцевих скорочень (ЧСС), і визначали вираженість тонусу симпатичного або парасимпатичного відділів вегетативної нервової системи [16]. Дослідження проводили в положенні пацієнта сидячи – вимірювали пульс (ЧСС, ударів/хв) на променевій артерії і артеріальний тиск за стандартною методикою (мм рт. ст.).

Обчислювали індекс Кердо (ВІК) за формулою:

$$\text{ВІК} = \left(1 - \frac{\text{ДД}}{\text{ЧСС}}\right) \cdot 100 (\%)$$

де: ДД – діастолічний тиск (мм рт.ст.), ЧСС – частота серцевих скорочень (уд/хв).

За величиною індексу Кердо робили висновок щодо балансу симпатичних і парасимпатичних впливів на серцево-судинну систему обстежуваних осіб і оцінювали вегетативний тонус. При повній вегетативній рівновазі (ейтонія) ВІК був близький до нуля; при переважанні симпатичних впливів (симпатотонія) показник ВІК мав позитивні значення; при переважанні парасимпатичних впливів (ваготонія) – негативні.

Пупілографічні дослідження проводилися за допомогою розробленого в ДУ «Інститут очних хвороб і тканинної терапії ім. В.П. Філатова НАМН України» сумісно з «Ом-Технологією» (Одеса, Україна) комп’ютерного окулографа «ОК-2» [17].

Пупілометричне дослідження акомодаційно-конвергентної зіничної реакції здійснювали за запропонованим раніше нами методом [17, 18] у світлій час доби з 9 до 11 годин у спеціальному затемненому приміщенні. До початку дослідження пацієнту надавали відпочинок впродовж 15 хвилин при фоновому освітленні 10 люкс для адаптації і інструктували щодо проведення процедури пупілометрії. Далі на обстежуваного одягали маску з інфрачервоними відеокамерами і включали відеозапис. Фонове освітлення при реєстрації акомодаційної зіничної реакції складало 10 люкс. Обстежуваний бінокулярно фіксував погляд на тест-об'єкті, розміщеному на відстані 100 см від очей

(акомодация і конвергенція у стані розслаблення). Потім йому пропонували перевести погляд на тест-об'єкт на відстані 10 см (акомодация і конвергенція в стані напруження). Отримані дані відеореєстрації надходили до комп'ютеру і оброблялися спеціальною програмою з наступною побудовою графіка зміни площи зіниць в межах часу відеозйомки обох очей, який відображався в протоколі дослідження. Для порівняння пупілографічних показників при різних видах зіничних реакцій проводили також дослідження прямої та співдружної реакції у відповідь на світловий вплив інтенсивністю 50 лк і тривалістю 12 с, при фоновому освітленні 10 лк. Було проаналізовано наступні параметри зіничних реакцій: площину зіниць – максимальну (в стані розслабленої акомодації, Smax), мінімальну (при звуженні зіниці при напруженні акомодації або в результаті світлового впливу, Smin), амплітуду зміни площини зіниць (A) – та тривалість періодів зміни розміру зіниць при напруженні акомодації (латентний період звуження зіниці – T2; період активного звуження зіниці – T3; латентний період розширення зіниці – T5; період активного розширення зіниці – T6).

Статистичний аналіз отриманих даних проведено за допомогою програм «Statistica 8.0» (StatSoft) і «Excel 2007» (Microsoft). Обчислювали основні вибіркові статистики: середнє значення (M), стандартне відхилення середнього значення (SD), довірчі інтервали $\pm 95\%$, досягнутий рівень значимості (p). Для дослідження характеру впливу факторів віку та стану ВНС на пупілографічні дані застосовано двофакторний дисперсійний аналіз з використанням F-критерію Фішера. Відмінності вважалися значущими при $p < 0,05$. Кореляційні коефіцієнти розраховували з використанням непараметричного критерію Спірмена, статистично значими вважали коефіцієнти при $p < 0,05$ [19, 20].

Результати

Перед реєстрацією зіничних реакцій всім дітям було визначено стан загального вегетативного балансу за допомогою вегетативного індексу Кердо. У дітей 6-9 років найчастіше реєструвалася парасимпатотонія (43%), симпатотонія виявлена в 35% випадків і у 22% дітей – ейтонія. У дітей віком 10-14 років парасимпатотонія виявлялася в 29% випадків, симпатотонія – в 33%, ейтонія – в 38%, у підлітків 15-18 років – відповідно в 38, 26 і 36% випадків (табл. 1).

Значення площин зіниць очей у здорових дітей при акомодаційній зіничній реакції в залежності від віку дітей і тонусу ВНС наведені в табл. 2. З наведених

даних видно, що при розслабленій акомодації (фіксація погляду на відстані 100 см) площа зіниць (Smax) суттєво залежала як від віку дітей, так і від тонусу ВНС ($F=13,75$, $p=0,0000$). Найбільшою Smax була при симпатотонії, меншою – при ейтонії і найменшою – при парасимпатотонії ($p < 0,001$). Серед особливостей розподілу значень Smax слід зазначити, що у симпатотоніків величина Smax не залежала від віку дітей і складала в середньому $55,6 \pm 13,3$ мм^2 ; у ейтоніків Smax поступово зростала з віком – $22,3 \pm 6,8$ мм^2 у дітей 6-9 років, $39,0 \pm 8,6$ мм^2 – у дітей 10-14 років і $42,8 \pm 5,7$ мм^2 – у підлітків старше 14 років; у парасимпатотоніків Smax була майже однаковою у всіх дітей і складала в середньому $25,8 \pm 8,8$ мм^2 .

При напруженні акомодації (фіксація погляду на 10 см) площа зіниць (Smin) також суттєво залежала від віку дітей та тонусу ВНС ($F=13,75$, $p=0,0000$) і була найбільшою у симпатотоніків ВНС, дещо меншою – при ейтонії і найменшою – у парасимпатотоніків (табл. 2). Слід зазначити, що при парасимпатотонії величина Smin не залежала від віку дітей і складала в середньому $9,4 \pm 1,1$ мм^2 . При ейтонії Smin була найбільшою у дітей 10-14 років ($16,7 \pm 8,4$ мм^2), тоді як у дітей 6-9 років і підлітків 15-18 років вона складала відповідно $9,6 \pm 5,3$ і $11,8 \pm 10,3$ мм^2 . Така ж картина, але з більш високими значеннями Smin, спостерігалася і у симпатотоніків: у дітей 6-9 років – $18,7 \pm 9,7$ мм^2 , 10-14 років – $27,6 \pm 11,1$ мм^2 , 15-18 років – $20,0 \pm 9,9$ мм^2 .

Амплітуда зміни площин зіниць при напруженні акомодації (A) за абсолютними величинами була найбільшою у симпатотоніків, найменшою – у парасимпатотоніків ($F=18,88$, $p=0,0000$) (табл. 2). В цілому, спостерігалося поступове зростання абсолютних величин A з віком дітей, особливо при парасимпатотонії ($11,8 \pm 6,8$ мм^2 ; $13,8 \pm 6,0$ мм^2 та $20,2 \pm 12,0$ мм^2) та ейтонії ($12,8 \pm 5,9$ мм^2 ; $22,4 \pm 8,0$ мм^2 та $30,9 \pm 9,8$ мм^2). Однак при нормалізації амплітуди зміни площин зіниць (A) у відсотках відносно початкових значень площин зіниць (Smax) з'ясувалося, що вона в групах спостереження достовірно не відрізнялася (табл. 2) і в залежності від віку дітей та тонусу ВНС коливалася від 48,9 до 72,2% відносно початкового рівня, складаючи в середньому 59,8% у дітей 6-9 років, 62,3% – 10-14 років і 57,8% у підлітків 15-18 років.

На підставі амплітуди зміни площин зіниць при акомодаційній реакції була розрахована питома величина зміни розміру зіниць на 1 дптр акомодації. Відомо, що під час фіксації погляду на відстані 100 см око потребує

Вікова група (роки)	Парасимпатотонія	Ейтонія	Симпатотонія	Всього
6-9 років	33 (43%)	17 (22%)	27 (35%)	77 (100%)
10-14 років	28 (29%)	36 (38%)	32 (33%)	96 (100%)
15-18 років	36 (38%)	35 (36%)	25 (26%)	96 (100%)
Всього дітей	97 (36,1%)	88 (32,7%)	84 (31,2%)	269 (100%)

Таблиця 1. Розподіл здорових дітей та підлітків за віком і тонусом ВНС за вегетативним індексом Кердо, число дітей (%)

Таблиця 2. Площа зіниць в стані розслаблення акомодації (S_{max}), напруження акомодації (S_{min}), амплітуда зміни площин зіниць (A) та величина зміни діаметру зіниць на 1 дптр акомодації ($A_d/9$) у здорових дітей та підлітків в залежності від їх віку і тонусу ВНС.

Примітка. П – парасимпатотонія, Е – ейтонія, С – симпатотонія; F – критерій Фішера.

Вікова група (роки)	Тонус ВНС	n	$S_{max}, \text{мм}^2$ $M \pm SD$	$S_{min}, \text{мм}^2$ $M \pm SD$	A, мм^2		$A_d/9$ ($\text{мм}/\text{дптр}$) $M \pm SD$
					$M \pm SD$	%	
6-9	П	68	21,1 \pm 6,4	9,2 \pm 5,3	11,8 \pm 6,8	55,9%	0,41 \pm 0,12
	Е	34	22,3 \pm 6,8	9,6 \pm 5,3	12,8 \pm 5,9	57,4%	0,43 \pm 0,11
	С	54	55,0 \pm 14,6	18,7 \pm 9,7	36,3 \pm 9,7	66,0%	0,75 \pm 0,11
10-14	П	44	21,8 \pm 7,0	8,2 \pm 3,8	13,8 \pm 6,0	63,3%	0,45 \pm 0,10
	Е	48	39,0 \pm 8,6	16,7 \pm 8,4	22,4 \pm 8,0	57,4%	0,58 \pm 0,12
	С	34	54,0 \pm 11,9	27,6 \pm 11,1	26,4 \pm 8,8	48,9%	0,64 \pm 0,11
15-18	П	82	30,0 \pm 10,9	10,0 \pm 6,2	20,2 \pm 12,0	67,3%	0,54 \pm 0,14
	Е	94	42,8 \pm 5,7	11,8 \pm 10,3	30,9 \pm 9,8	72,2%	0,69 \pm 0,12
	С	80	57,7 \pm 13,5	20,0 \pm 9,9	33,8 \pm 10,1	58,6%	0,72 \pm 0,11
$F_{\text{внс*вік}}$			$F = 13,75$ $p=0,0000$	$F = 13,75$ $p=0,0000$	$F = 18,88$ $p=0,0000$	-	$F=18,88$, $p=0,0000$

бує 1,0 дптр акомодації, а на відстані 10 см – 10,0 дптр [2]. Тобто, при переведенні погляду з відстані 100 см на 10 см, акомодаційно-конвергентна система затрачує 9,0 дптр. Звідси величина зміни амплітуди площин зіниць на 1 дптр акомодації дорівнює $A/9$ ($\text{мм}^2/\text{дптр}$). Нами було розраховано питому величину зміни площин (і діаметру) зіниць на 1 дптр акомодації і встановлено, що за абсолютними величинами вона суттєво залежала від віку дітей та тонусу ВНС (табл. 2) і була найбільшою у симпатотоніків – $3,25 \pm 0,46 \text{ mm}^2/\text{дптр}$ ($0,70 \pm 0,11 \text{ mm}/\text{дптр}$), дещо меншою у ейтоніків – $2,44 \pm 0,87 \text{ mm}^2/\text{дптр}$ ($0,57 \pm 0,12 \text{ mm}/\text{дптр}$) і найменшою – у парасимпатотоніків – $1,46 \pm 0,91 \text{ mm}^2/\text{дптр}$ ($0,46 \pm 0,12 \text{ mm}/\text{дптр}$), $F=18,88$, $p=0,0000$.

Дані щодо часових показників зміни площин зіниць в динаміці акомодаційно-конвергентно-зіничної реакції наведені в табл. 3.

Тривалість латентного періоду звуження зіниці (T2) залежала від віку дітей та тонусу ВНС ($F=3,94$, $p=0,0037$), але картина розподілу її величин була нео-

днозначною і величина коливалася від $0,27 \pm 0,22$ до $0,56 \pm 0,40$ с в різних групах дітей (табл. 3).

Тривалість періоду активного звуження зіниці (T3) була найдовшою у парасимпатотоніків ($2,84 \pm 0,93$ с), нижчою – у ейтоніків ($2,40 \pm 0,80$ с) та симпатотоніків ($2,32 \pm 0,65$ с) ($F=3,57$, $p=0,007$). Щодо вікового розподілу тривалості T3, то найбільшою вона була у дітей 6-9 років ($2,92 \pm 0,95$ с), дещо меншою – у дітей 10-14 років ($2,48 \pm 0,78$ с) і найменшою – у підлітків 15-18 років ($2,16 \pm 0,69$ с) ($p=0,0001$).

Тривалість періодів розширення зіниці – латентного (T5) та активного (T6) – також залежала від віку дітей та тонусу ВНС (відповідно $F=3,57$, $p=0,007$ і $F=8,62$, $p=0,0000$). Тривалість T5 та T6, в цілому, була найдовшою у парасимпатотоніків, порівняно з ейтонікіками та симпатотонікіами (табл. 3). Слід зазначити, що тривалість T5 суттєво скоротшувалася з віком дітей за наявності у них ейтонії або парасимпатотонії; при симпатотонії значення T5 були однаково низькі в усіх трьох вікових групах. За наявності симпатотонії періо-

Вікова група (роки)	Тонус ВНС	n	T2, с	T3, с	T5, с	T6, с
6-9	П	68	0,48 \pm 0,34	3,22 \pm 1,15	2,00 \pm 1,26	4,63 \pm 1,73
	Е	34	0,47 \pm 0,39	2,93 \pm 1,00	2,2 \pm 1,15	4,51 \pm 1,67
	С	54	0,37 \pm 0,19	2,61 \pm 0,70	0,83 \pm 0,43	2,50 \pm 1,08
10-14	П	44	0,38 \pm 0,22	2,95 \pm 0,92	2,26 \pm 1,44	4,09 \pm 1,45
	Е	48	0,56 \pm 0,40	2,37 \pm 0,79	0,92 \pm 0,81	2,82 \pm 1,82
	С	34	0,48 \pm 0,27	2,13 \pm 0,64	0,47 \pm 0,24	2,50 \pm 0,91
15-18	П	82	0,43 \pm 0,24	2,36 \pm 0,74	1,27 \pm 1,17	3,22 \pm 2,05
	Е	94	0,27 \pm 0,22	1,91 \pm 0,64	0,42 \pm 0,26	1,91 \pm 0,64
	С	80	0,45 \pm 0,22	2,21 \pm 0,65	0,56 \pm 0,39	2,04 \pm 1,97
$F_{\text{внс*вік}}$			$F = 3,94$ $p=0,0037$	$F = 3,95$ $p=0,003$	$F = 3,57$ $p=0,007$	$F = 8,62$, $p=0,0000$

Таблиця 3. Латентний період (T2) і період активного (T3) звуження зіниці, латентний період (T5) і період активного (T6) розширення зіниці при акомодаційній зіничній реакції у здорових дітей та підлітків в залежності від їх віку і тонусу ВНС, $M \pm SD$

Примітка. П – парасимпатотонія, Е – ейтонія, С – симпатотонія; F – критерій Фішера.

ди Т5 та Т6 були найкоротшими та мали найменшу, порівняно з ейтонією і парасимпатотонією, варіабельність відносно віку дітей.

Загалом, у симпатотоніків акомодаційна зінична реакція, за даними Т2, Т3, Т5, Т6, була найжувавішою і відзначалася найбільшим розмахом зміни розмірів за абсолютною величинами (A), тоді як у парасимпатотоніків вона була найповільніша, а амплітуда A – найменша; ейтоніки займали проміжне місце.

При дослідженні кореляційних зв'язків між зіничними показниками та віком і станом вегетативного балансу у дітей і підлітків було виявлено пряму кореляцію показників Smax ($r=0,26$) та A ($r=0,30$), ($p<0,05$), а також зворотну кореляцію показників тривалості звуження та розширення зіниць (T2 ($r=0,19$), T3 ($r= -0,32$), T5 ($r= -0,37$), T6 ($r= -0,37$), $p<0,05$) з віком дітей та підлітків; з тонусом ВНС корелювали показники площин зіниць (Smax ($r=0,38$), Smin ($r=0,41$), A ($r=0,23$), $p<0,05$) та тривалість латентного періоду звуження зіниці T2 ($r=0,14$, $p<0,05$), що свідчить про те, що у здорових дітей та підлітків на розміри зіниць в більшій мірі впливає тонус ВНС, тоді як на показники динаміки звуження і розширення зіниць – вікові особливості організму.

Узагальнюючи отримані дані пупілографії у здорових дітей віком від 5 до 18 років, необхідно сказати, що у дітей-симпатотоніків показники площин зіниць та амплітуда її зміни значно більші, а часові показники зміни розмірів зіниць значно коротші, ніж за наявності ейтонії та парасимпатотонії. При парасимпатотонії швидкість зміни

Таблиця 4. Кореляційні коефіцієнти (r) залежностей показників акомодаційної зіничної реакції від віку та тонусу ВНС у здорових дітей та підлітків ($p<0,05$)

Чинники	Показники акомодаційної зіничної реакції						
	Smax	Smin	A	T2	T3	T5	T6
Вік	0,26	-	0,30	-	-0,32	-0,37	-0,37
Тонус ВНС	0,38	0,41	0,23	0,14	-	-	-

Умовні позначення: Smax – площа зіниць в стані розслаблення акомодації, Smin – площа зіниць в стані напруження акомодації, A – амплітуда зміни площин зіниць; T2 – латентний період звуження зіниці, T3 – період активного звуження зіниці, T5 – латентний період розширення зіниці, T6 – період активного розширення зіниці

розмірів зіниць найповільніша, а амплітуда – найменша. Менші швидкості зіничних реакцій і амплітуда зміни площин зіниць у дітей молодшого віку (6-9 років), порівняно зі старшими дітьми та підлітками (10-18 років), можуть свідчити про неповну структурно-функціональну зрілість акомодативно-конвергентно-зіничної системи в цьому віці.

Ми також провели порівняльний аналіз показників акомодаційної зіничної реакції з аналогічними даними прямої та співдружньої зіничних реакцій у здорових дітей та підлітків. Графічне відображення результатів аналізу представле на рис. 1 і 2. Серед особливостей картини розподілу даних слід зазначити наступне. Показники пупілограми прямої та співдружньої зіничних реакцій не відрізнялися один від одного. Пупілограма при акомодаційній зіничній реакції відрізнялася від даних прямої і співдружньої реакцій за показниками мінімальної площин зіниць (Smin), ам-

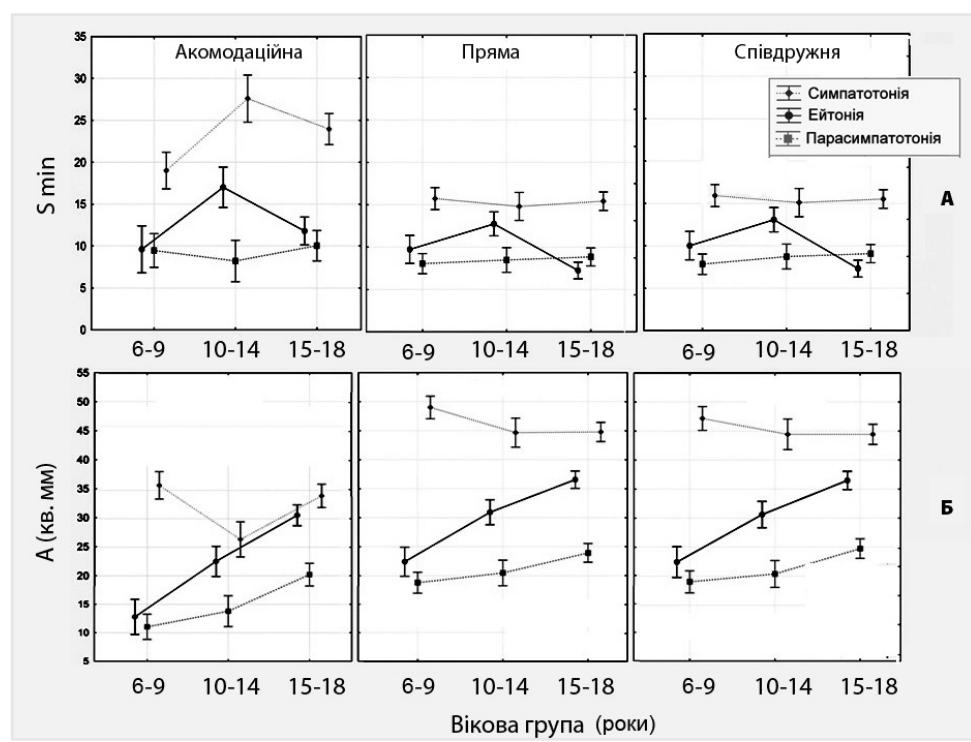


Рис. 1. Мінімальна площа зіниць Smin (А) та амплітуда зміни площин зіниць A (Б) у здорових дітей та підлітків при акомодаційній, прямій та співдружній зіничних реакціях в залежності від віку дітей та тонусу ВНС.

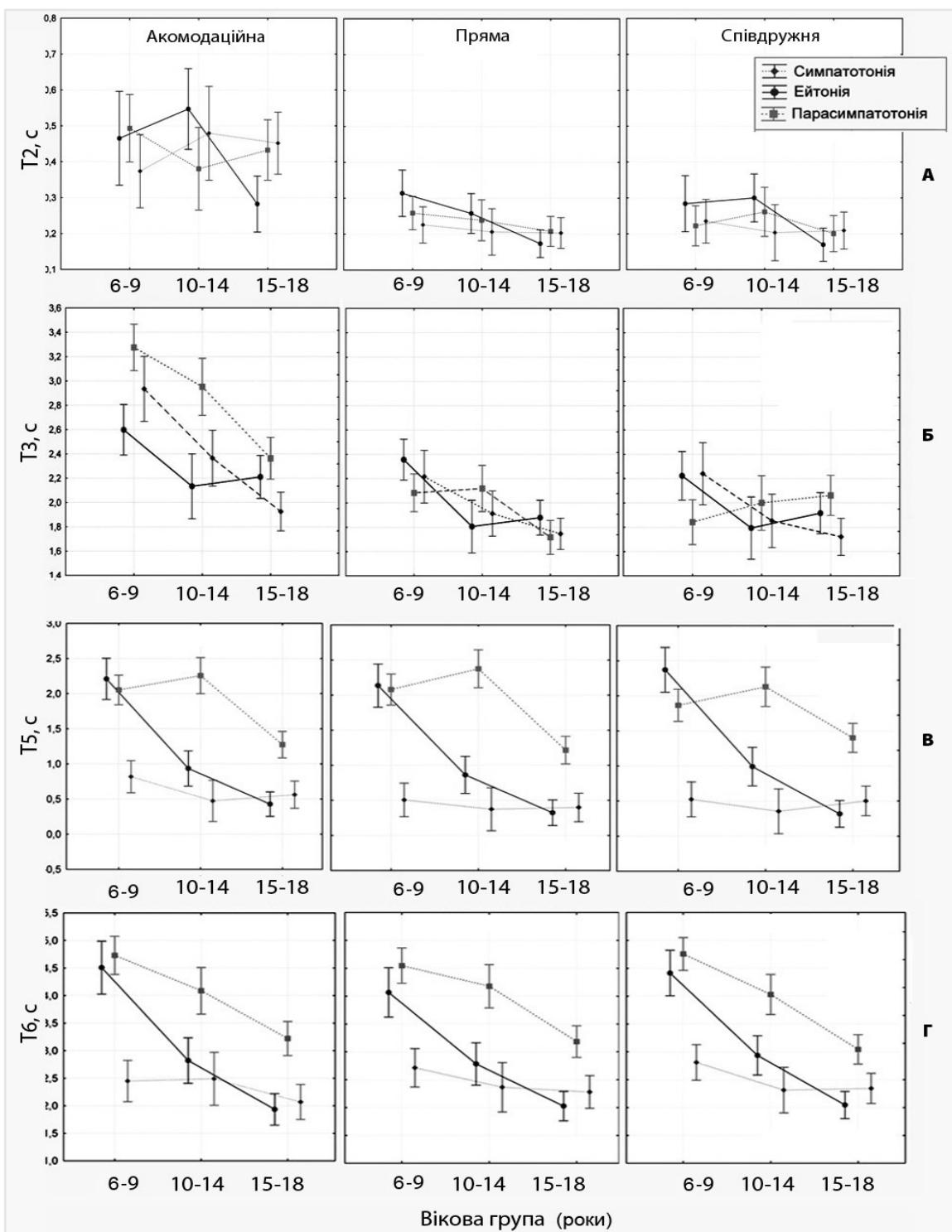


Рис. 2. Періоди звуження зіниць – Т2 (А) і Т3 (Б) та розширення зіниць – Т5 (В) і Т6 (Г) у здорових дітей та підлітків при акомодаційній, прямій та співдружній зіничних реакціях в залежності від віку дітей та тонусу вегетативної нервової системи.

літуди зміни площин зіниць (рис. 1 А, Б) і, особливо, тривалості періодів звуження зіниці (Т2 і Т3) ($p<0,05$) (рис. 2 А, Б). Періоди розширення зіниці (Т5 і Т6) при всіх трьох видах зіничних реакцій були ідентичними (рис. 2 В, Г).

Обговорення

За результатами наших досліджень було вперше визначено нормативні показники акомодаційно-конвергентної зіничної реакції, що характеризують розміри зіниць та динаміку їх зміни при напруженні акомодації, а саме – максимальну (Smax) і мінімальну (Smin)

площі зіниць; амплітуду її зміни (A); латентний (T2) та активний (T3) періоди звуження зіниць; латентний (T5) та активний (T6) періоди розширення зіниць – у здорових дітей і підлітків віком від 6 до 18 років в залежності від їх віку та загального тонусу ВНС.

Раніше досліджувалися в основному статичні показники пупілограми – діаметр та площа зіниць. Лише в поодиноких роботах вивчалися параметри динамічної пупілографії [4, 5, 21-23], але безвідносно до стану балансу вегетативної інервації, незважаючи на існуючу думку, що деякі показники динамічної пупілограми, зокрема, швидкість звуження зіниці, є функцією балансу між симпатичним та парасимпатичним тонусом, при якому підвищений симпатичний тонус зменшує швидкість звуження, а підвищений парасимпатичний тонус збільшує її.

Відомі дослідження Е.С. Вельховера з співав. [4, 5], які провели вимірювання площин зіниць у здорових людей від народження до 80 років. Автори визначили, що у дітей 6-9 років площа зіниць дорівнювала $19,2 \pm 0,29$ mm^2 ; у віці 10-14 років – $19,7 \pm 0,29$ mm^2 , у віці 15-19 років – $16,46 \pm 0,27$ mm^2 . З точки зору вегетативної інервації, автори пояснювали такий розподіл характером розвитку ВНС в онтогенезі, де до 10-14 років темпи розвитку симпатичної складової значно вищі, ніж парасимпатичної, в 10-14 років активність симпатичної ВНС досягає максимуму і встановлюється певна рівновага обох складових, після чого до 20-24 років наростає активність парасимпатичної складової ВНС. Проте зв'язок розмірів зіниці з станом загального балансу вегетативної інервації автори не досліджували.

Те, що вік є одним з факторів, що суттєво впливають на зіничні характеристики, повідомляли й інші автори, які також показали, що базові діаметри зіниці мають тенденцію до зменшення з віком [24-27].

Існують поодинокі дослідження, в яких вивчалися вікові особливості динаміки зіничної реакції, включаючи швидкості звуження та наступного розширення зіниць [13, 28, 29]. Так, Kemal Tekin з співав. [29], показали, що у здорових осіб віком від 6 до 70 років діаметр зіниці, швидкість звуження і швидкість розширення зіниці мали зворотну кореляцію з віком, а латентний період звуження зіниці – пряму кореляцію.

Вплив тонусу ВНС на діаметр зіниць визначала Е.М. Волкова [30], яка встановила, що найбільш вузькою зініцею була у ваготоніків (4,08 мм), а найширшою – у симпатотоніків (5,17 мм), у нормотоніків розміри зіниці займали проміжне положення (4,33 мм), що підтверджується даними нашого дослідження. Автор, однак, не наводить аналізу розподілу розмірів зіниць залежно від віку досліджених.

Щодо амплітуди зміни площин зіниць (A), то, за нашими даними, вона за абсолютними показниками була суттєво меншою при акомодаційно-конвергентній реакції, ніж при прямій і співдружній. При порівнянні нормалізованих значень A ця різниця виражалася чіткою односпрямованою тенденцією до більш менших

значень A (від 48,9% до 66% в різних вікових групах) при акомодаційній зіничній реакції в порівнянні з зіничними реакціями у відповідь на світловий вплив (від 67,1% до 83,6%), що свідчить про меншу екскурсію зіниці при акомодації порівняно з реакцією зіниці на світло і, певно, про різні механізми формування цих двох видів зіничних відповідей. Суттєвої залежності нормалізованих величин A від віку дітей та балансу вегетативної інервації ми не виявили. Отримані нами дані схожі з результатами дослідження Kemal Tekin з співав. [29], які також не виявили суттєвого впливу віку на амплітуду звуження зіниці при її нормалізації до початкового розміру.

Загалом, якщо пряма і співдружня зіничні реакції були майже однакові за всіма своїми показниками, то акомодаційна реакція суттєво відрізнялася від них за показниками амплітуди зміни площин зіниць (A), тривалості латентного (T2) та активного (T3) періодів звуження зіниці, які при акомодаційній реакції були суттєво довшими, ніж при прямій та співдружній реакціях. Виявлені відмінності можуть свідчити про різні механізми звуження зіниці при акомодації та світловому впливі.

Результати наших досліджень дещо перекликаються з даними Mathôt S. [23], який повідомляє, що латентний період звуження зіниці при реакції на світло триває до 0,2 с, активний – 0,2-1,5 с, тоді як при акомодаційній реакції зіниці він значно довший – відповідно до 0,6 і 0,6-2 с. Однак автор не наводить даних щодо величини латентного періоду звуження зіниці в залежності від віку досліджених осіб.

Взагалі, за словами Mathôt, S., біжній (акомодаційний) зіничний рефлекс (pupil near response) «безумовно найменш вивчений і, можливо, найменш зрозумілий з усіх зіничних відповідей» [23]. Основна функція акомодаційної зіничної реакції, яка входить до складу акомодаційно-конвергентно-зіничного рефлексу, – забезпечення збільшення глибини різкості для біжнього зору. За опублікованими даними, нейронний базис акомодаційної зіничної реакції має деякі відмінності від зіничної відповіді на світловий вплив, чим, можливо, і пояснюються різні величини пупілографічних показників. Зокрема, вважають, що акомодаційна зінична реакція обумовлена не безпосередньо підкорковим шляхом, як при відповіді на світло, а скоріше кортиkalними проекціями на ядро Якубовича-Едінгера-Вестфала [31]. Які області кори беруть участь в біжньому зіничному рефлексі, не зовсім ясно; однак виявлено проекції від лобних очних полів і тім'яної кори до ядра Якубовича-Едінгера-Вестфала, які беруть участь в вергентних рухах [32]. Наявність сильного зв'язку між вергентними рухами та акомодаційною зіничною реакцією і центральною роллю вищезазначеного ядра в звуженні зіниці, дас підстави для припущення, що ці проекції також грають роль в формуванні акомодаційного зіничного рефлексу [23].

Нами також було розраховано показник зміни абсолютної величини площині зіниць (A) на 1 дптр затраченої акомодації при переведенні погляду з відстані 100 см на 10 см – A/9 ($\text{мм}^2/\text{дптр}$) і показано, що він суттєво залежав від віку дітей та тонусу ВНС. Найбільші значення спостерігалися при симпатотонії, найменші – при парасимпатотонії. Величина зміни діаметру зіниць на 1 дптр акомодації складала в середньому $0,46 \pm 0,12$ у парасимпатотоніків, $0,57 \pm 0,12$ у ейтоніків, $0,70 \pm 0,11$ у симпатотоніків.

Схожі дані щодо зміни величини зіниці на 1 дптр зміни акомодації у людей віком від 14 до 45 років наводять Kasthurirangan S. з співавт. [29]. За даними авторів, діаметр зіниці змінюється в середньому на 0,58 $\text{мм}/\text{дптр}$ на 1 дптр акомодації з індивідуальним розмахом величин від 0,20 до 0,76 $\text{мм}/\text{дптр}$. Проте автор не наводить даних, чи впливає на розмах реакції зіниць такий чинник, як тонус ВНС.

Заключення

Таким чином, в результаті проведених нами досліджень акомодаційно-конвергентної зіничної реакції у здорових дітей та підлітків віком від 5 до 18 років, по-перше, визначено нормативні величини пупилографічних показників для вікових груп 6-9, 10-14 і 15-18 років з різним тонусом ВНС (парасимпатотонія, симпатотонія, ейтонія) та встановлено залежність цих показників від віку дітей та загального балансу вегетативної іннервації. Виявлено, що загалом при симпатотонії показники площині зіниць та амплітуда її зміни значно більші, а часові показники зміни розмірів зіниць значно менші, ніж при ейтонії та парасимпатотонії; у парасимпатотоніків швидкість зміни розмірів зіниць найповільніша, а амплітуда – найменша. У дітей молодшого віку (6-9 років) швидкість акомодаційної зіничної реакції і розміри площині зіниць в цілому менші, ніж у більш старших дітей (10-18 років), що може свідчити про неповну структурно-функціональну зрілість акомодаційно-конвергентно-зіничної системи в цьому віці. Виявлені закономірності дають підстави розглядати дані пупилографії в якості об'єктивного критерію оцінки акомодаційно-конвергентно-зіничної реакції у дітей різного віку і стану балансу вегетативної іннервації.

Література

- Акомодация. Руководство для врачей. / Под ред. Л.А. Катаргиной. – М.: Апрель,– Москва, 2012. – 230 с.
- Von Noorden G. K., Campos E. C. Binocular Vision and Ocular Motility. Theory and management of strabismus. 6th ed. – Mosby, 2008. – 654 p.
- Walsh & Hoyt's Clinical Neuro-Ophthalmology. The Essentials. - USA. –1999. – 567 p.
- Вельховер Е.С., Ананин В.Ф. Введение в иридологию. Пупиллодиагностика. – М. : Изд-во УДН, 1991. – 212 с.
- Вельховер Е.С., Шульпина Н.Б., Алиева З.А., Ромашов Ф.Н. Иридодиагностика. – М.: Медицина, 1988. – 240 с.
- Boychuk I. M. Pupil reaction with concomitant horizontal and vertical deviation / I. M. Boychuk, N. N. Bushuyeva, D. V. Romanenko // An Int. J. of Neuro-Ophthalmology. – 2010. – Vol. 34. – P. 236.
- Bradley, M. M., Miccoli, L., Escrig, M. A., & Lang, P. J. The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation // Psychophysiology. – 2008. – Vol. 45(4). – P.602–607.
- Bushuyeva N.N. Computer pupillography in patients with disturbances of cerebral vessels [Electronical resource] / N.N. Bushuyeva, N.I. Chramenko, I.M. Boichuk, S.M.H. Duhair // Neuro-Ophthalmology Society (EUNOS) 11th Meeting Oxford (Oxford, April 10-13, 2013). – Acess: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5423487/>.
- Bushuyeva N.N. Particularities of pupillograms in children and adults with hypermetropic amblyopia: 405 / N.N. Bushuyeva, I.M. Boychuk, M.H. Duhair Shaker // Acta Ophthalmol Scandinavica. – 2006. – Volume 84. – P. 52.
- Girkin CA. Evaluation of the pupillary light response as an objective measure of visual function. Ophthalmol Clin North Am 2003; 16: 143–153.]
- Kelbsch C. Standards in Pupillography / T. Strasser, Y. Chen, B. Feigl [et al.] // Front Neurol. – 2019. – Vol.10. – Art.129. – P. 1-26. Publ online 2019 Feb 22. doi: 10.3389/fneur.2019.00129
- Levatin P. Pupillary escape in diseases of the retina or optic nerve // Arch. Ophthalmol., 1959; 62:768 -7.
- Loewenfeld I. S. The Pupil: Anatomy, Physiology, and Clinical Applications. – Oxford : Butterworth-Heinemann; 2 edition, 1999. – 1590 p.
- Wilhelm H. Clinical Applications of Pupillography / H. Wilhelm, B. Wilhelm // Journal of Neuro-Ophthalmol. – 2003. – Vol. 23(1). – P. 42-49.
- Офтальмологічна допомога в Україні за 2014-2017 роки (аналітично-статистичний довідник) – Кропивницький, «ПОЛІУМ», 2018. -314с.
- Вейн А. М. Вегетативные расстройства: Клиника, диагностика, лечение / Вейн А. М. – М. : ООО «Медицинское информационное агентство», 2003. – 752 с.
- Бушуєва Н.М. Способ комп’ютерної пупилографії / Бушуєва Н.М., Бойчук И.М., ШакирМ.Х. Духайр, Храменко Н.И., Пономарчук В.С. // Український медичний альманах. науково-практичний журнал. Том 9, №2, 2006 –С.24–27.
- Бушуєва Н. Н. Метод диагностики нарушений аккомодации на основе изучения зрачковых реакций с использованием пупиллографа / Н. Н. Бушуєва, И. М. Бойчук, Н. И. Храменко // Архив клинической и экспериментальной медицины. – 2001. – Том 10. – № 2. – С. 132–133.
- Гланц С. Медико-биологическая статистика. – М.: Практика, 1998. – 459 с.
- Зайцев В.М., Лифляндский В.Г., Маринкин В.И Прикладная медицинская статистика. Учебное пособие. Санкт-Петербург, 2008. ФОЛИАНТ – 436 с.
- Kasthurirangan S, Glasser A. Age related changes in the characteristics of the near pupil response. Vision Res 2006; 46: 1393–1403.
- Kasthurirangan S., Glasser A.. Characteristics of pupil responses during far-to-near and near-to-far accommodation // Ophthal. Physiol. Opt. 2005 25: 328–339
- Mathôt, S. Pupillometry: Psychology, Physiology, and Function // Journal of Cognition. – 2018. – Vol. 1(1): 16. – P.1-23

24. Adhikari P, Pearson CA, Anderson AM et al. Effect of age and refractive error on the melanopsin mediated post-illumination response (PIPR). *Sci Rep* 2015; 5: 17610.
25. Hammond CJ, Snieder H, Spector TD et al. Factors affecting pupil size after dilatation: the twin eye study. *Br J Ophthalmol* 2000; 84: 1173–1176.
26. Hande Husniye Telek, Hidayet Erdol, Adem Turk. The Effects of Age on Pupil Diameter at Different Light Amplitudes // *Beyoglu Eye J* 2018; 3(2): 80-85].
27. Kankipati L, Girkin CA, Gamlin PD. Post-illumination pupil response in subjects without ocular disease. *Invest Ophthalmol Vis Sci* 2010; 51: 2764–2769.
28. Kardon R. Regulation of light through the pupil. In: Levin LA, SFV N, Ver Hoeve J, Wu SM, eds. *Adler's Physiology of the Eye*. New York, New York: Elsevier Health Sciences, 2011. pp. 502–525.
29. Kemal Tekin, Mehmet Ali Sekeroglu, Hasan Kiziltoprak et al. Static and dynamic pupillometry data of healthy individuals // *Clin Exp Optom.* – 2018. – Vol. 101, Issue 5. – P. 659-665
30. Волкова Е.М. Влияние тонуса вегетативной нервной системы на функциональное состояние аккомодации при миопии. – Автореф. дисс. канд. мед. наук. – 14.00.08 – глазные болезни. ГОУВПО «Ярославская государственная медицинская академия Росздрава». – Ярославль, 2007. – 26 с
31. McDougal, D. H., & Gamlin, P. D. R. *Pupillary control pathways*. – In: Masland, R. H., & Albright, T. (Eds.), *The Senses: A Comprehensive Reference*, 1, 521–536. San Diego, California: Academic Press. 2008.
32. Gamlin, P. D. R. Neural mechanisms for the control of vergence eye movements // *Annals of the New York Academy of Sciences*. – 2002. – V.956 (1). – P. 264–272.

Автори засвідчують про відсутність конфлікту інтересів, які б могли вплинути на їх думку стосовно предмету чи матеріалів, описаних та обговореніх в даному рукопису.

Поступила 21.02.2020

Особенности аккомодационно-конвергентной зрачковой реакции у здоровых детей и подростков в зависимости от их возраста и тонуса вегетативной иннервации

Духаер Шакир, Бушуева Н.Н., Слободянник С.Б.

ГУ «Институт глазных болезней и тканевой терапии имени В. П. Филатова НАМН Украины»; Одесса (Украина)

Тесная связь зрачковой реакции с аккомодацией обуславливает интерес к изучению аккомодационной зрачковой реакции как объективного метода оценки вегетативного обеспечения аккомодационной зрачковой реакции как у здоровых детей, так и у лиц с расстройствами аккомодации. Интерес также представляет исследование зависимости показателей аккомодационно-конвергентной зрачковой реакции от возраста детей и тонуса вегетативной иннервации. Ожидается, что показатели пупиллографии могли бы рассматриваться в качестве объективного критерия оценки аккомодационно-конвергентно-зрачковой реакции, а у пациентов с расстройствами аккомодации – также способствовать выбору того или иного метода лечения.

Цель работы – изучить особенности аккомодационно-конвергентной зрачковой реакции при переводе взгляда с дальнего на близкое расстояние у здоровых детей и подростков в зависимости от их возраста и общего тонуса вегетативной иннервации.

Материал и методы. Исследования зрачковых реакций были проведены у 269 здоровых детей и подростков (538 глаз) в возрасте от 6 до 18 лет. Оценку общего вегетативного тонуса осуществляли с помощью вегетативного индекса Кердо (ВИК). Пупиллографические исследования проводились с помощью компьютерного

окулографа «ОК-2» (Одесса, Украина). Определяли площадь зрачков, амплитуду ее изменения и продолжительность периодов изменения размера зрачков.

Результаты. Определены нормативные величины пупиллографических показателей аккомодационно-конвергентной зрачковой реакции у здоровых детей и подростков в возрасте от 6 до 18 лет и установлена зависимость этих показателей от возраста детей и баланса вегетативной иннервации. Выявлено, что в целом при симпатотонии показатели площади зрачков и амплитуда ее изменения значительно больше, а временные показатели изменения размеров зрачков значительно короче, чем при эйтонии и парасимпатотонии; при парасимпатотонии скорость изменения размеров зрачков самая медленная, а амплитуда - наименьшая. У детей младшего возраста (6-9 лет) скорость аккомодационной зрачковой реакции и размеры площади зрачков в целом меньше, чем у детей старшего возраста (10-18 лет), что может свидетельствовать о неполной структурно-функциональной зрелости аккомодационно-конвергентно-зрачковой системы в этом возрасте. Выявленные закономерности дают основания рассматривать данные пупиллографии в качестве объективного критерия оценки аккомодационно-конвергентно-зрачковой реакции у детей разного возраста и баланса вегетативной иннервации.

Ключевые слова: пупиллография, аккомодация, аккомодационно-конвергентная зрачковая реакция, дети и подростки, вегетативная нервная система