

УДК 617.7-007

## Особливості акомодційно-конвергентної зіничної реакції у здорових дітей і підлітків в залежності від їх віку і тону вегетативної іннервації

Духаер Шакір, лікар; Н. М. Бушуева Н.Н., д-р мед. наук; С. Б. Слободяник, 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 акомодцією обумовлює інтерес до вивчення акомодційної зіничної реакції як методу оцінки вегетативного забезпечення акомодційної зіничної реакції як у здорових дітей, так і у осіб з розладами акомодції. Інтерес представляє дослідження залежності показників акомодційно-конвергентної зіничної реакції від віку дітей та загального тону вегетативної іннервації. Очікується, що показники пупілографії могли б розглядатися як об'єктивний критерій оцінки акомодційно-конвергентно-зіничної реакції, а у пацієнтів з розладами акомодції – також сприяти вибору того чи іншого методу лікування.

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

**Матеріал та методи.** Дослідження акомодційної 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 тону здійснювали за допомогою вегетативного індексу Кердо (ВІК). Пупілографічні дослідження проводилися за допомогою комп'ютерного окулографа «ОК-2» (Одеса, Україна). Визначали площу зіниці, амплітуду її зміни та тривалість періодів зміни розміру зіниці.

**Результати.** Встановлено нормативні величини пупілографічних показників акомодційно-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 симпатонії показники площі зіниці та амплітуда її зміни значно більші, а часові показники зміни розмірів зіниці значно менші, ніж при ейтонії та парасимпатонії; у парасимпатоніків швидкість зміни розмірів зіниці найповільніша, а амплітуда – найменша. У дітей молодшого віку (6–9 років) швидкість акомодційної зіничної реакції і розміри площі зіниці 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 акомодційно-конвергентно-зіничної реакції у дітей різного віку і стану балансу вегетативної іннервації.

### Ключові слова:

акомодція, пупілографія, акомодційно-конвергентна зінична реакція, діти та підлітки, вегетативна нервова система

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

Акомодція тісно пов'язана із зіничною реакцією і разом з нею становить безумовний, мимовільний рефлекс, що забезпечується діяльністю складної акомодційно-конвергентно-зіничної системи.

Дана 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 акомодційно-конвергентно-зіничного рефлексу і проявляється звуженням зіниці при переведенні погляду здалека на ближню відстань, – забезпечення збільшення глибини різкості для ближнього 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 акомодациєю ока, що проявляється звуженням або розширенням зіниці під час фокусування погляду на різних відстанях. Це обумовлює інтерес до вивчення зіничної реакції при акомодатії як об'єктивного методу її оцінки як у здорових дітей, так і, особливо, у осіб з розладами акомодатії, 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 акомодативно-конвергентної зіничної реакції від віку дітей та загального тонуусу вегетативної іннервації. Очікується, що показники пупілографії могли б розглядатися як об'єктивний критерій оцінки акомодативно-конвергентно-зіничної реакції, а у пацієнтів з розладами акомодатії – сприяти вибору того чи іншого методу лікування.

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

### Матеріал та методи

Дослідження акомодативної 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 ґрунтувався на відомих даних щодо динаміки балансу вегетативної іннервації 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 реципрокній взаємодії холінергічної (парасимпатичної) і адренергічної (симпатичної) складових вегетативної іннервації сфінктера і, вірогідно, акомодативного м'язу [4, 5]. Далі зростає активність парасимпатичної складової, досягаючи максимуму в 20-24 років.

Оцінку тонуусу 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 тонуусу симпатичного або парасимпатичного відділів вегетативної нервової системи [16]. Дослідження проводили в положенні пацієнта сидячи – вимірювали пульс (ЧСС, ударів/хв) на променевої 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 тонуус. 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-Технологія» (Одеса, Україна) комп'ютерного окулографа «ОК-2» [17].

Пупілометричне дослідження акомодативно-конвергентної зіничної реакції здійснювали за запропонованим раніше нами методом [17, 18] у світлий 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 акомодативної зіничної реакції складало 10 люкс. Обстежуваний бінокулярно фіксував погляд на тест-об'єкті, розміщеному на відстані 100 см від очей

(акомодація і конвергенція у стані розслаблення). Потім йому пропонували перевести погляд на тест-об'єкт на відстані 10 см (акомодація і конвергенція в стані напруження). Отримані дані відеореєстрації надходили до комп'ютеру і оброблялися спеціальною програмою з наступною побудовою графіка зміни площі 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: площу зіниць – максимальну (в стані розслабленої акомодатії,  $S_{max}$ ), мінімальну (при звуженні зіниці при напруженні акомодатії або в результаті світлового впливу,  $S_{min}$ ), амплітуду зміни площі зіниць ( $A$ ) – та тривалість періодів зміни розміру зіниць при напруженні акомодатії (латентний період звуження зіниці –  $T_2$ ; період активного звуження зіниці –  $T_3$ ; латентний період розширення зіниці –  $T_5$ ; період активного розширення зіниці –  $T_6$ ).

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 значимими 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 площі зіниць очей у здорових дітей при акомодатійній зіничній реакції в залежності від віку дітей і тонусу ВНС наведені в табл. 2. З наведених

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

При напруженні акомодатії (фіксація погляду на 10 см) площа зіниць ( $S_{min}$ ) 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  $S_{min}$  не залежала від віку дітей і складала в середньому  $9,4 \pm 1,1$  мм<sup>2</sup>. При ейтонії  $S_{min}$  була найбільшою у дітей 10-14 років ( $16,7 \pm 8,4$  мм<sup>2</sup>), 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<sup>2</sup>. Така ж картина, але з більш високими значеннями  $S_{min}$ , спостерігалася і у симпатотоніків: у дітей 6-9 років –  $18,7 \pm 9,7$  мм<sup>2</sup>, 10-14 років –  $27,6 \pm 11,1$  мм<sup>2</sup>, 15-18 років –  $20,0 \pm 9,9$  мм<sup>2</sup>.

Амплітуда зміни площі зіниць при напруженні акомодатії ( $A$ ) за абсолютними величинами була найбільшою у симпатотоніків, найменшою – у парасимпатотоніків ( $F=18,88$ ,  $p=0,0000$ ) (табл. 2). В цілому, спостерігалася поступове зростання абсолютних величин  $A$  з віком дітей, особливо при парасимпатотонії ( $11,8 \pm 6,8$  мм<sup>2</sup>;  $13,8 \pm 6,0$  мм<sup>2</sup> та  $20,2 \pm 12,0$  мм<sup>2</sup>) та ейтонії ( $12,8 \pm 5,9$  мм<sup>2</sup>,  $22,4 \pm 8,0$  мм<sup>2</sup> та  $30,9 \pm 9,8$  мм<sup>2</sup>). Однак при нормалізації амплітуди зміни площі зіниць ( $A$ ) у відсотках відносно початкових значень площі зіниць ( $S_{max}$ ) 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 площі зіниць при акомодатійній реакції була розрахована питома величина зміни розміру зіниць на 1 дптр акомодатії. Відомо, що під час фіксації погляду на відстані 100 см око потре-

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 акомодатції ( $S_{max}$ ), напруження акомодатції ( $S_{min}$ ), амплітуда зміни площі зіниць ( $A$ ) та величина зміни діаметру зіниць на 1 дптр акомодатції ( $A_d/9$ ) 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	$S_{max}$ , мм <sup>2</sup> M±(SD)	$S_{min}$ , мм <sup>2</sup> M±(SD)	A, мм <sup>2</sup>		$A_d/9$ (мм/дптр)
					M±(SD)	%	M±(SD)
6-9	П	68	21,1±6,4	9,2±5,3	11,8±6,8	55,9%	0,41±0,12
	Е	34	22,3±6,8	9,6±5,3	12,8±5,9	57,4%	0,43±0,11
	С	54	55,0±14,6	18,7±9,7	36,3±9,7	66,0%	0,75±0,11
10-14	П	44	21,8±7,0	8,2±3,8	13,8±6,0	63,3%	0,45±0,10
	Е	48	39,0±8,6	16,7±8,4	22,4±8,0	57,4%	0,58±0,12
	С	34	54,0±11,9	27,6±11,1	26,4±8,8	48,9%	0,64±0,11
15-18	П	82	30,0±10,9	10,0±6,2	20,2±12,0	67,3%	0,54±0,14
	Е	94	42,8±5,7	11,8±10,3	30,9±9,8	72,2%	0,69±0,12
	С	80	57,7±13,5	20,0±9,9	33,8±10,1	58,6%	0,72±0,11
$F_{\text{ВНС} \cdot \text{вік}}$			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 акомодатції, а на відстані 10 см – 10,0 дптр [2]. Тобто, при переведенні погляду з відстані 100 см на 10 см, акомодативно-конвергентна система затрачує 9,0 дптр. Звідси величина зміни амплітуди площі зіниць на 1 дптр акомодатції дорівнює  $A/9$  (мм<sup>2</sup>/дптр). Нами було розраховано питому величину зміни площі (і діаметру) зіниць на 1 дптр акомодатції і встановлено, що за абсолютними величинами вона суттєво залежала від віку дітей та тонусу ВНС (табл. 2) і була найбільшою у симпатотоніків – 3,25±0,46 мм<sup>2</sup>/дптр (0,70±0,11 мм/дптр), дещо меншою у ейтоніків – 2,44±0,87 мм<sup>2</sup>/дптр (0,57±0,12 мм/дптр) і найменшою – у парасимпатотоніків – 1,46±0,91 мм<sup>2</sup>/дптр (0,46±0,12 мм/дптр),  $F=18,88$ ,  $p=0,0000$ .

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

Тривалість латентного періоду звуження зіниці (Т2) залежала від віку дітей та тонусу ВНС ( $F=3,94$ ,  $p=0,0037$ ), але картина розподілу її величин була не-

однозначною і величина коливалася від 0,27±0,22 до 0,56±0,40 с в різних групах дітей (табл. 3).

Тривалість періоду активного звуження зіниці (Т3) була найдовшою у парасимпатотоніків (2,84±0,93 с), нижчою – у ейтоніків (2,40±0,80 с) та симпатотоніків (2,32±0,65 с) ( $F=3,57$ ,  $p=0,007$ ). Щодо вікового розподілу тривалості Т3, то найбільшою вона була у дітей 6-9 років (2,92±0,95 с), дещо меншою – у дітей 10-14 років (2,48±0,78 с) і найменшою – у підлітків 15-18 років (2,16±0,69 с) ( $p=0,0001$ ).

Тривалість періодів розширення зіниці – латентного (Т5) та активного (Т6) – також залежала від віку дітей та тонусу ВНС (відповідно  $F=3,57$ ,  $p=0,007$  і  $F=8,62$ ,  $p=0,0000$ ). Тривалість Т5 та Т6, в цілому, була найдовшою у парасимпатотоніків, порівняно з ейтоніками та симпатотоніками (табл. 3). Слід зазначити, що тривалість Т5 суттєво скоротшувалася з віком дітей за наявності у них ейтонії або парасимпатотонії; при симпатотонії значення Т5 були однаково низькі в усіх трьох вікових групах. За наявності симпатотонії пері-

**Таблиця 3.** Латентний період (Т2) і період активного (Т3) звуження зіниці, латентний період (Т5) і період активного (Т6) розширення зіниці при акомодативній зіничній реакції у здорових дітей та підлітків в залежності від їх віку і тонусу ВНС, M±(SD)

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

Вікова група (роки)	Тонус ВНС	n	Т2, с	Т3, с	Т5, с	Т6, с
6-9	П	68	0,48±0,34	3,22±1,15	2,00±1,26	4,63±1,73
	Е	34	0,47±0,39	2,93±1,00	2,2±1,15	4,51±1,67
	С	54	0,37±0,19	2,61±0,70	0,83±0,43	2,50±1,08
10-14	П	44	0,38±0,22	2,95±0,92	2,26±1,44	4,09±1,45
	Е	48	0,56±0,40	2,37±0,79	0,92±0,81	2,82±1,82
	С	34	0,48±0,27	2,13±0,64	0,47±0,24	2,50±0,91
15-18	П	82	0,43±0,24	2,36±0,74	1,27±1,17	3,22±2,05
	Е	94	0,27±0,22	1,91±0,64	0,42±0,26	1,91±0,64
	С	80	0,45±0,22	2,21±0,65	0,56±0,39	2,04±1,97
$F_{\text{ВНС} \cdot \text{вік}}$			F = 3,94, p=0,0037	F = 3,95 p=0,003	F = 3,57 p=0,007	F = 8,62, p=0,0000

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

Загалом, у симпатотоніків акомодативна зінична реакція, за даними Т2, Т3, Т5, Т6, була найжвавішою і відзначалася найбільшим розмахом зміни розмірів за абсолютними величинами (А), тоді як у парасимпатотоніків вона була найповільніша, а амплітуда А – 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 А ( $r=0,30$ ), ( $p<0,05$ ), а також зворотну кореляцію показників тривалості звуження та розширення зіниць (Т2 ( $r=0,19$ ), Т3 ( $r= -0,32$ ), Т5 ( $r= -0,37$ ), Т6 ( $r= -0,37$ ),  $p<0,05$ ) з віком дітей та підлітків; з тономом ВНС корелювали показники площі зіниць (Smax ( $r=0,38$ ), Smin ( $r=0,41$ ), А ( $r=0,23$ ),  $p<0,05$ ) та тривалість латентного періоду звуження зіничі Т2 ( $r=0,14$ ,  $p<0,05$ ), що свідчить про те, що у здорових дітей та підлітків на розміри зіниць в більшій мірі впливає тону 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 площі 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 акомодативної зіничної реакції від віку та тону ВНС у здорових дітей та підлітків ( $p<0,05$ )

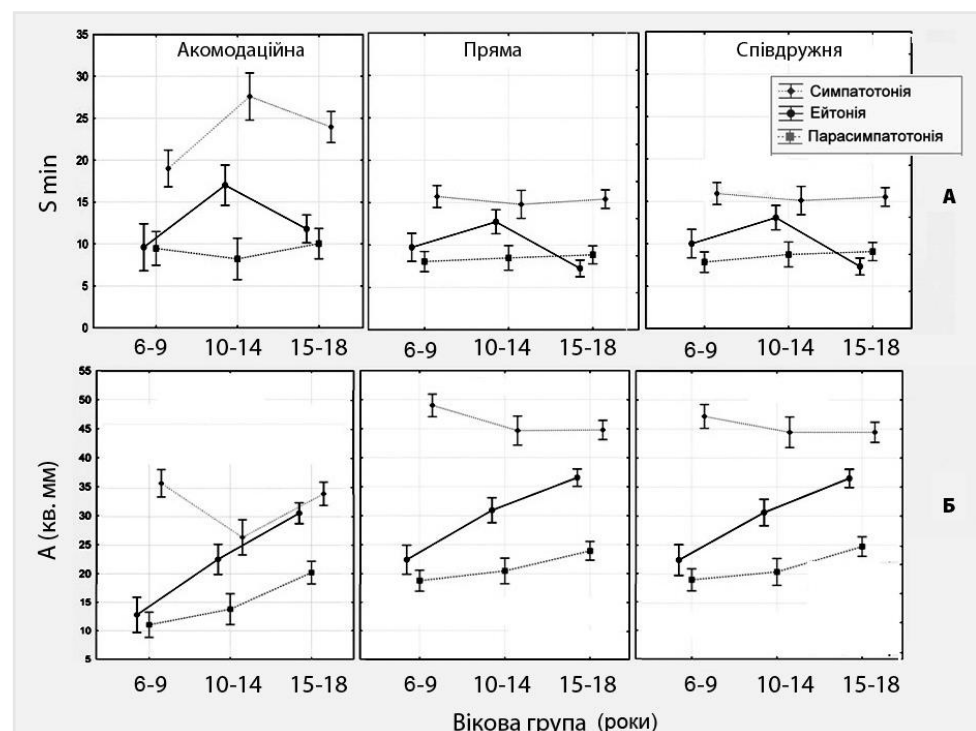
Чинники	Показники акомодативної зіничної реакції						
	Smax	Smin	A	T2	T3	T5	T6
Вік	0,26	-	0,30	-	-0,32	-0,37	-0,37
Тонус ВНС	0,38	0,41	0,23	0,14	-	-	-

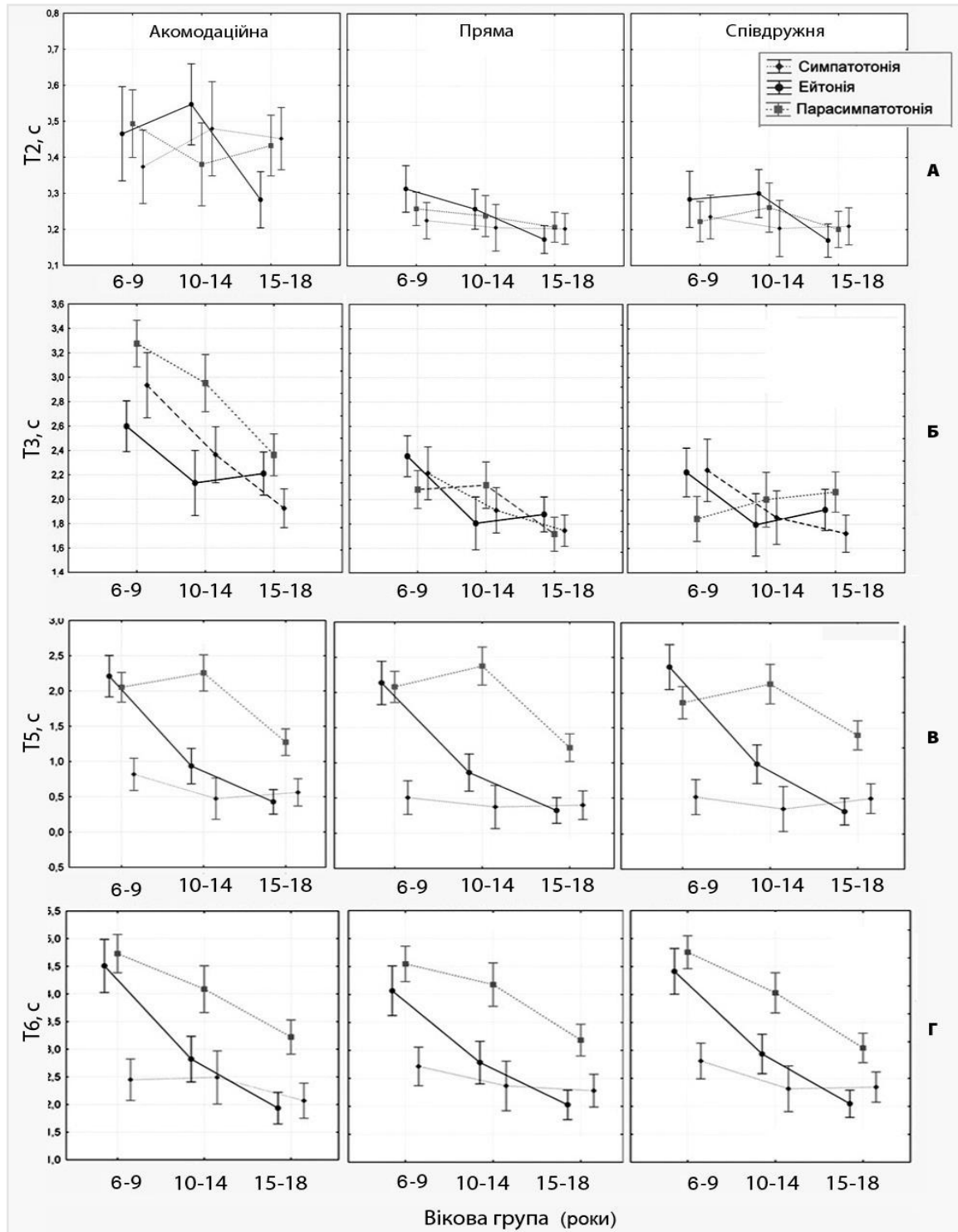
Умовні позначення: Smax – площа зіниць в стані розслаблення акомодатії, Smin – площа зіниць в стані напруження акомодатії, А – амплітуда зміни площі зіниць; Т2 – латентний період звуження зіничі, Т3 – період активного звуження зіничі, Т5 – латентний період розширення зіничі, Т6 – період активного розширення зіничі

розмірів зіниць найповільніша, а амплітуда – найменша. Менші швидкості зіничних реакцій і амплітуда зміни площі 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 акомодативної зіничної реакції з аналогічними даними прямої та співдружньої зіничних реакцій у здорових дітей та підлітків. Графічне відображення результатів аналізу представлено 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 акомодативній зіничній реакції відрізнялася від даних прямої і співдружньої реакції за показниками мінімальної площі зіниць (Smin), амплі-

**Рис. 1.** Мінімальна площа зіниць Smin (А) та амплітуда зміни площі зіниць А (Б) у здорових дітей та підлітків при акомодативній, прямій та співдружній зіничних реакціях в залежності від віку дітей та тону ВНС.





**Рис. 2.** Періоди звуження зіниць – T2 (А) і T3 (Б) та розширення зіниць – T5 (В) і T6 (Г) у здорових дітей та підлітків при акомодаційній, прямій та співдружній зіничних реакціях в залежності від віку дітей та тону вегетативної нервової системи.

літуди зміни площі зіниць (рис. 1 А, Б) і, особливо, тривалості періодів звуження зіниці (T2 і T3) ( $p < 0,05$ ) (рис. 2 А, Б). Періоди розширення зіниці (T5 і T6) 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 (А); латентний (Т2) та активний (Т3) періоди звуження зіниць; латентний (Т5) та активний (Т6) періоди розширення зіниць – у здорових дітей і підлітків віком від 6 до 18 років в залежності від їх віку та загального тонуусу 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 іннервації, незважаючи на існуючу думку, що деякі показники динамічної пупілограми, зокрема, швидкість звуження зіниці, є функцією балансу між симпатичним та парасимпатичним тонуусом, при якому підвищений симпатичний тонуус зменшує швидкість звуження, а підвищений парасимпатичний тонуус збільшує її.

Відомі дослідження Е.С. Вельховеера з співав. [4, 5], які провели вимірювання площі зіниць у здорових людей від народження до 80 років. Автори визначили, що у дітей 6-9 років площа зіниць дорівнювала  $19,2 \pm 0,29$  мм<sup>2</sup>; у віці 10-14-років –  $19,7 \pm 0,29$  мм<sup>2</sup>, у віці 15-19 років –  $16,46 \pm 0,27$  мм<sup>2</sup>. З точки зору вегетативної іннервації, 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 настає активність парасимпатичної складової ВНС. Проте зв'язок розмірів зіниці з станом загального балансу вегетативної іннервації 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 тонуусу ВНС на діаметр зіниць визначала Е.М. Волкова [30], яка встановила, що найбільш вузькою зіниця 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 площі зіниць (А), то, за нашими даними, вона за абсолютними показниками була суттєво меншою при акомодційно-конвергентній реакції, ніж при прямій і співдружній. При порівнянні нормалізованих значень А ця різниця виражалася чіткою односпрямованою тенденцією до більш менших

значень А (від 48,9% до 66% в різних вікових групах) при акомодційній 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 акомодції порівняно з реакцією зіниці на світло і, певно, про різні механізми формування цих двох видів зіничних відповідей. Суттєвої залежності нормалізованих величин А від віку дітей та балансу вегетативної іннервації 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 співдружні зіничні реакції були майже однакові за всіма своїми показниками, то акомодційна реакція суттєво відрізнялася від них за показниками амплітуди зміни площі зіниць (А), тривалості латентного (Т2) та активного (Т3) періодів звуження зіниці, які при акомодційній реакції були суттєво довшими, ніж при прямій та співдружній реакціях. Виявлені відмінності можуть свідчити про різні механізми звуження зіниці при акомодції та світловому впливі.

Результати наших досліджень дещо перебиваються 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 акомодційній 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., ближній (акомодційний) зіничний рефлекс (pupil near response) «безумовно найменш вивчений і, можливо, найменш зрозумілий з усіх зіничних відповідей» [23]. Основна функція акомодційної зіничної реакції, яка входить до складу акомодційно-конвергентно-зіничного рефлексу, – забезпечення збільшення глибини різкості для ближнього зору. За опублікованими даними, нейронний базис акомодційної зіничної реакції має деякі відмінності від зіничної відповіді на світловий вплив, чим, можливо, і пояснюються різні величини пупілографічних показників. Зокрема, вважають, що акомодційна зінична реакція обумовлена не безпосередньо підкорковим шляхом, як при відповіді на світло, а скоріше кортикальними проєкціями на ядро Якубовича-Едінгера-Вестфала [31]. Які області кори беруть участь в ближньому зіничному рефлексі, не зовсім ясно; однак виявлено проєкції 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 акомодційною зіничною реакцією і центральною роллю вищезазначеного ядра в звуженні зіниці, дає підстави для припущення, що ці проєкції також грають роль в формуванні акомодційного зіничного рефлексу [23].

Нами також було розраховано показник зміни абсолютної величини площі зіниць (А) на 1 дптр заграченої акомодатії при переведенні погляду з відстані 100 см на 10 см –  $A/9$  (мм<sup>2</sup>/дптр) і показано, що він суттєво залежав від віку дітей та тонуусу ВНС. Найбільші значення спостерігалися при симпатотонії, найменші – при парасимпатотонії. Величина зміни діаметру зіниць на 1 дптр акомодатії 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 акомодатії у людей віком від 14 до 45 років наводять Kasthurirangan S. з співавт. [29]. За даними авторів, діаметр зіниці змінюється в середньому на  $0,58$  мм/дптр на 1 дптр акомодатії з індивідуальним розмахом величин від  $0,20$  до  $0,76$  мм/дптр. Проте автор не наводить даних, чи впливає на розмах реакції зіниць такий чинник, як тонуус ВНС.

### Заключення

Таким чином, в результаті проведених нами досліджень акомодатійно-конвергентної зіничної реакції у здорових дітей та підлітків віком від 5 до 18 років, по-перше, визначено нормативні величини пупілографічних показників для вікових груп 6-9, 10-14 і 15-18 років з різним тонуусом ВНС (парасимпатотонія, симпатотонія, ейтонія) та встановлено залежність цих показників від віку дітей та загального балансу вегетативної іннервації. Виявлено, що загалом при симпатотонії показники площі 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 акомодатійної зіничної реакції і розміри площі зіниць в цілому менші, ніж у більш старших дітей (10-18 років), що може свідчити про неповну структурно-функціональну зрілість акомодатійно-конвергентно-зіничної системи в цьому віці. Виявлені закономірності дають підстави розглядати дані пупілографії в якості об'єктивного критерію оцінки акомодатійно-конвергентно-зіничної реакції у дітей різного віку і стану балансу вегетативної іннервації.

### Література

1. Акомодация. Руководство для врачей. / Под ред. Л.А. Катаргинной. – М.: Апрель, – Москва, 2012. – 230 с.
2. Von Noorden G. K., Campos E. C. Binocular Vision and Ocular Motility. Theory and management of strabismus. 6th ed. – Mosby, 2008. – 654 p.
3. Walsh & Hoyt's Clinical Neuro-Ophthalmology. The Essentials. - USA. –1999. – 567 p.
4. Вельховер Е.С., Ананин В.Ф. Введение в иринологию. Пупиллодиагностика. – М. : Изд-во УДН, 1991. – 212 с.
5. Вельховер Е.С., Шульпина Н.Б., Алиева З.А., Ромашов Ф.Н. Ириодиагностика. – М.: Медицина, 1988. – 240 с.
6. Boychuk I. M. Pupil reaction with concomitant horizontal and vertical deviation / I. M. Boychuk, N. N. Boshuyeva, D. V. Romanenko // An Int. J. of Neuro-Ophthalmology. – 2010. – Vol. 34. – P. 236.
7. 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.
8. 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). – Access: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5423487/>.
9. Bushuyeva N.N. Particularities of pupillogrames in children and adults with hypermetropic amblyopia: 405 / N.N. Bushuyeva, I.M. Boychuk, M.H. Duhairm Shaker // Acta Ophthalmol Scandinavica. – 2006. – Volume 84. – P. 52.
10. Girkin CA. Evaluation of the pupillary light response as an objective measure of visual function. Ophthalmol Clin North Am 2003; 16: 143–153.].
11. 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
12. Levatin P. Pupillary escape in diseases of the retina or optic nerve // Arch. Ophthalmol., 1959; 62:768 -7.
13. Loewenfeld I. S. The Pupil: Anatomy, Physiology, and Clinical Applications. – Oxford : Butterworth-Heinemann; 2 edition, 1999. – 1590 p.
14. Wilhelm H. Clinical Applications of Pupillography / H. Wilhelm, B. Wilhelm // Journal of Neuro-Ophthalmol. – 2003. – Vol. 23(1). – P. 42-49.
15. Офтальмологічна допомога в Україні за 2014-2017 роки (аналітично-статистичний довідник) – Кропивницький, «ПОЛУМ», 2018. -314с.
16. Вейн А. М. Вегетативные расстройства: Клиника, диагностика, лечение / Вейн А. М. – М. : ООО «Медицинское информационное агентство», 2003. – 752 с.
17. Бушуева Н.М. Способ компьютерной пупиллографии / Бушуева 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.
18. Бушуева Н. Н. Метод диагностики нарушенной аккомодации на основе изучения зрачковых реакций с использованием пупиллографа / Н. Н. Бушуева, И. М. Бойчук, Н. И. Храменко // Архив клинической и экспериментальной медицины. – 2001. – Том 10. – № 2. – С. 132–133.
19. Гланц С. Медико-биологическая статистика. – М.: Практика, 1998. – 459 с.
20. Зайцев В.М., Лифляндский В.Г., Маринкин В.И. Прикладная медицинская статистика. Учебное пособие. Санкт-Петербург, 2008. ФОЛИАНТ – 436 с.
21. Kasthurirangan S, Glasser A. Age related changes in the characteristics of the near pupil response. Vision Res 2006; 46: 1393–1403.
22. Kasthurirangan S., Glasser A.. Characteristics of pupil responses during far-to-near and near-to-far accommodation // Ophthalm. Physiol. Opt. 2005 25: 328–339
23. 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 Kiziloprak 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 обговорених 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., Слободяник 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