

Визначення амплітуди акомодатії у пацієнтів різних вікових груп методом вдосконаленої проксиметрії

Крючко О. В., лікар-офтальмолог; Шаргородська І. В., д-р мед. наук, професор;
Шкрібляк І. І., аспірант

Національний медичний університет імені О. О. Богомольця, Інститут післядипломної освіти, кафедра офтальмології та оптометрії післядипломної освіти, Київ (Україна)

Determining the amplitude of accommodation by advanced proximetry in patients of different age groups

Kriuchko O. V., Shargorodska I. V., Shkribliak I. I.

Bogomolets National Medical University, Institute for Post-Graduate Education, Department of Ophthalmology and Optometry of Post-Graduate Education, Kyiv (Ukraine)

Резюме

Мета. Підвищити точність дослідження амплітуди акомодатії у пацієнтів різних вікових груп шляхом проксиметрії із застосуванням вдосконаленого проксиметра та розробити методику персоналізованого менеджменту оцінки амплітуди акомодатії.

Методи. Проспективно обстежено 1420 пацієнтів різних вікових груп під час поточних оптометричних візитів. Порівнювали результати вимірювання амплітуди акомодатії, обчислені за допомогою загальновідомої проксиметрії та шляхом застосування запропонованого нами приладу та методу вдосконаленої проксиметрії у одних і тих же пацієнтів. Вдосконале-

на проксиметрія передбачала використання феномену Шейнера, що підвищувало точність фіксації зображення на сітківці ока.

Результати. Аналіз отриманих результатів свідчить про переваги визначення амплітуди акомодатії методом вдосконаленої проксиметрії у пацієнтів різних вікових груп з чутливістю методу у 99,2%, специфічністю методу вдосконаленої проксиметрії у 95,6%.

Висновок. Застосування методу вдосконаленої проксиметрії для визначення амплітуди акомодатії у пацієнтів різних вікових груп дозволяє підвищити ефективність дослідження амплітуди акомодатії у оптометричних пацієнтів і може бути рекомендовано для впровадження в рутинну оптометричну практику.

Ключові слова: акомодатія, діагностика, аномалії рефракції, амплітуда акомодатії, проксиметрія, оптометрія, офтальмологія.

DOI: <https://doi.org/10.31288/Ukr.j.ophtalmol.202645665>

UDC: 617.753.2-07

Corresponding Author: Oleksii V. Kriuchko, Post-Graduate Student, Department of Ophthalmology and Optometry of Post-Graduate Education, Institute for Post-Graduate Education, Bogomolets National Medical University, Kyiv, Ukraine. Email: kriuchkoalex@gmail.com

Received 2025-10-16

Accepted 2026-06-24

Cite this article as: Kriuchko OV, Shargorodska IV, Shkribliak II. Determining the amplitude of accommodation by advanced proximetry in patients of different age groups. Ukr. j. ophthalmol. 2026;4:56-65.



This is an open access article under the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) license

© Kriuchko O.V., Shargorodska I.V., Shkribliak I.I., 2026

Abstract

Purpose. To improve the accuracy of determining the amplitude of accommodation (AA) by proximetry through the use of an advanced proximeter and to develop a methodology for personalized management of AA assessment.

Methods. We prospectively examined 1420 patients from different age groups at routine optometric visits. We compared measurements of the AA by a conventional method of proximetry and advanced proximetry (using a device that we had developed) in the same patients. Advanced proximetry involves using Scheiner's principle which improved the accuracy of image fixation on the retina.

Results. The sensitivity and specificity of advanced proximetry were 99.2% and 95.6%, respectively.

Conclusion. Advanced proximetry enables improving the efficacy of AA measurements in optometric patients and can be recommended for routine practice.

Вступ

Дослідження стану акомодатції є рутинною процедурою оптометричного обстеження. Воно включає визначення амплітуди акомодатції (АА), оцінку акомодатційної відповіді (АВ), виміри негативної відносної акомодатції (НВА) та позитивної відносної акомодатції (ПВА), а також оцінку гнучкості акомодатції (ГА) [1].

Амплітуда акомодатції (АА) – це максимальний діапазон фокусувальної здатності ока в певний момент часу. Вона виражається в діоптріях. Вимірюється монокулярно як показник абсолютної акомодатції, може вимірюватися біокулярно як показник відносної акомодатції [2]. Слід зауважити, що «в живому оці» навіть у випадку повної відсутності активної кришталікової акомодатції виявляється здатність ясного зору в межах значного простору за рахунок глибини фокусу. Ця зона має назву глибини поля (depth of field) [3].

Загальновідомо, що амплітуда акомодатції визначає повний діапазон оптичної сили, здатний забезпечити чітке фокусування зображень на сітківці ока з близької відстані і представляє собою різницю в положенні подальшої (Punctum remotum) і найближчої (Punctum proximum) точок ясного зору, виражену в діоптріях.

У клінічній практиці зустрічаються та описані в літературі чотири методи вимірювання АА. Це метод push-up, push-down, мінус-лінза та динамічна ретиноскопія [2].

Слід пам'ятати, що упередженість екзаменатора як джерело похибки присутнє в будь-якому вимірюванні, яке не є повністю автоматичним. Лікар, який оглядає пацієнта, матиме очікування щодо того, де приблизно має бути кінцева точка вимірювання. Це очікування, а також неминучі відмінності в техніці між лікарями, можуть впливати на те, як проводиться вимірювання (наприклад, швидкість руху візуального об'єкта), що, у свою чергу, може вплинути на результат. Це може більше впливати на пацієнтів, які раніше не проводили вимірювання [2].

Крім того, дослідження акомодатційної реакції та нерівності фіксації [4] показало, що точне формулювання інструкцій може впливати на результати вимірювання. Було виявлено значні відмінності між результатами п'яти різних екзаменаторів щодо вимірювання АА push-up методом, що пояснюється можливими відмінностями між методиками вимірювання екзаменаторів [5].

Однак не дивлячись на певні досягнення в напрямку оптимізації методики визначення обсягів акомодатції, результати досліджень останніх років свідчать про необхідність подальшого її вдосконалення. В доступній вітчизняній та закордонній літературі відсутні дані

Keywords: accommodation; diagnostics, refractive errors, amplitude of accommodation, proximetry, optometry, ophthalmology.

вирішення цього актуального науково-прикладного завдання сучасної офтальмології.

Мета. Підвищити точність дослідження амплітуди акомодатції у пацієнтів різних вікових груп шляхом порівняльного аналізу результатів вимірювання визначення амплітуди акомодатції з використанням загальновідомого методу проксиметрії - визначення найближчої точки ясного зору (НТЯЗ), і методу проксиметрії із застосуванням вдосконаленого проксиметра з використанням феномену Шейнера, та розробити методику персоналізованого менеджменту оцінки амплітуди акомодатції.

Матеріал та методи

Проспективно обстежено 1420 пацієнтів у віці від 6 до 60 років і старше під час поточних оптометричних візитів. Всі пацієнти були розділені на тотожні по кількості вікові групи: 6–8, 9–11, 12–14, 15–17, 18–24, 25–39, 40–59, 60 років і старше, по 142 особи (142 ока). всього 1420 очей. Гендерний розподіл пацієнтів був наступний: 457 – чоловіки (32,2%), 963 – жінки (67,8%). Серед обстежуваних груп пацієнтів – 702 особи (49,4%) користувалися окулярами, а 718 осіб (50,6%) застосовували контактні лінзи. Повне Проведене оптометричне обстеження включало: візометрію вдальності за оптотипами проектора знаків, візометрію зблизька за таблицями оптотипів, авторефрактокератометрію, а також дослідження стану акомодатції. Амплітуду акомодатції (АА) порівнювали за методами загальновідомої та вдосконаленої проксиметрії. У всіх пацієнтів дослідження АА проводилося з повною оптичною корекцією вдальності. Гострота зору з корекцією у всіх випадках дозволяла проводити проксиметрію з оцінкою пред'явлених оптотипів. Акомодатційну відповідь (АВ) оцінювали за динамічною МЕМ-ретиноскопією, негативну (НВА) та позитивну відносну акомодатцію (ПВА) визначали, за потребою, з лінзами пробного набору, гнучкість акомодатції (ГА) оцінювали, за потребою, з фліпером $\pm 2,0$ дптр стандартними методами.

Стан біокулярного зору та наявність стереоскопічного зору оцінювали з поляризаційними та анагліфними тестами проектора знаків, стан асоційованої форії вдальності визначали поляризаційними тестами проектора знаків, стан дисоційованої форії вдальності і зблизька оцінювали тестами з призмовою, растровою та анагліфною дисоціацією, а також проводили Cover тест і тест Crimsky, за потребою. Проводили оцінку коефіцієнта акомодативної конвергенції до акомодатції АК/А, визначали величину амплітуди позитивної та негатив-

ної вергенції, найближчу точку конвергенції та точку відновлення конвергенції. Визначення ПЗВ проводили методом оптичної біометрії, виконували тонометрію з пахіметрією для пацієнтів з 18 років. Стан передньої поверхні ока та сітківки визначали оглядово та з використанням біомікроскопії і фундускопії.

Критерієм включення пацієнтів до групи відбору слугувала можливість визначення у них амплітуди акомодативної методами загальновідомої та вдосконаленої проксиметрії для подальшого порівняльного аналізу.

Для всіх учасників обов'язковою умовою була підписана (самостійно чи уповноваженими особами) інформована згода на проведення дослідження.

Методика проведення вдосконаленої проксиметрії полягала в застосуванні розробленого вдосконаленого проксиметра [6].

Створений оптометричний проксиметр складається з пластикового куба розміром 4 x 4 см, який має розріз на верхній боковій грані, куди кріпиться кліпса рулетки, приклеєної до бічної грані куба таким чином, щоб отвір висувної мірної лінійки був на одному рівні з передньою гранню куба, а до нижньої грані куба та початку стрічки мірної лінійки за допомогою саморізів кріпляться дві пластикові ручки рукоятки, на передню грань куба кріпиться оптометричний тест «Прямокутник з літерами», надрукований на білому фоні. Принцип розташування деталей оптометричного проксиметра наведено на рисунку 1. Будова проксиметра наведена на рисунку 2.

Методика проведення вдосконаленої проксиметрії полягала в наступному: пацієнт знаходився в пробній оправі з повною корекцією для дальності, у нього визначалося сенсорно-домінантне око. На першому етапі процедури пацієнт фіксував контури букв оптометричного теста «Прямокутник з літерами» на передній грані куба проксиметра та оцінював їх чіткість. Поява нечіткості контурів букв на певній відстані при наближенні проксиметра, яку пацієнт не міг здолати протягом 2–3 секунд, визначала НТЯЗ.

Другий етап процедури вдосконаленої проксиметрії передбачав прикладання до сенсорно-домінантного ока розміщення в пробній оправі перед сенсорно-домінантним оком скельця Баголіні [7] з вертикально орієнтованими рисками через 1 мм. Пацієнта просили дивитися на вертикальну лінію оптометричного теста «Прямокутник з літерами». На початковому етапі виконання проксиметрії завдяки акомодативній вертикальна лінія теста виглядала одинарною. Як тільки подальше фокусування на сітківці завдяки зусиллям акомодативної стало неможливим протягом 2–3 секунд, вертикальна лінія теста роздвоювалася, пацієнт зупиняв переміщення проксиметра по стрічці мірної лінійки і повідомляв про неможливість подолати роздвоєння оператора. Таким чином визначалася НТЯЗ.

За допомогою таблиць перерахунку НТЯЗ у сантиметрах переводилися в діоптрії для подальшого порівняння визначеної амплітуди акомодативної із загально-

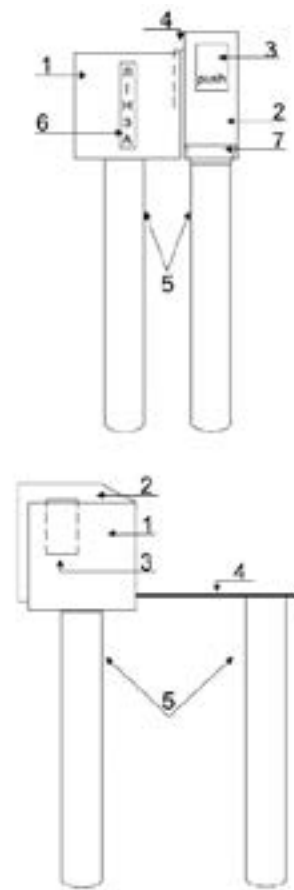


Рис. 1. Принцип розташування деталей оптометричного проксиметра. 1 – куб, 2 – корпус рулетки, 3 – затискач, 4 – мірна стрічка лінійки рулетки, 5 – рукоятки, 6 – оптотип, 7 – фіксатор.



Рис. 2. Будова проксиметра: пластиковий куб, рулетка, маркери в якості рукояток.

прийнятими стандартними нормами за Ховстеттером [8].

Мінімальну АА розраховували за формулою: $15 - 0,25 \cdot \text{вік}$ пацієнта; для визначення оптимальної АА застосовували формулу: $18,5 - 0,3 \cdot \text{вік}$; при розрахунку максимальної АА було використано формулу: $25 - 0,4 \cdot \text{вік}$, де цифри – емпіричні коефіцієнти, «вік» – вік пацієнта в роках [8].

Статистичну обробку результатів проводили за допомогою ліцензійного програмного пакета EZR (R-statistics) і Excel 2010 (Microsoft Corporation, США). У всіх випадках відмінності вважалися статистично значущими при $p < 0,05$.

Оскільки для оцінки будь якого прогностичного тесту важливе значення мають критерії чутливості та специфічності, при проведенні дослідження проводили визначення: чутливості тесту – визначали частку відсоток хворих, для яких наданий правильний прогноз: $\text{Sens} = \text{TP} / (\text{TP} + \text{FN}) \times 100\%$ та специфічності тесту – частку відсоток пацієнтів без патології, для яких наданий правильний прогноз: $\text{Spec} = \text{TN} / (\text{TN} + \text{FP}) \times 100\%$. Де: Sens (Sensitivity) – чутливість, TP (True Positive) – кількість правильно класифікованих випадків (як правило, негативних для пацієнта наслідків), FN (False Negative) – кількість неправильно класифікованих випадків (похибка першого роду), хибно негативні приклади; Spec (Specificity) – специфічність, TN (True Negative) – кількість правильно класифікованих невідпадків (як правило, позитивних для пацієнта наслід-

ків), FP (False Positive) – кількість неправильно класифікованих випадків, хибно позитивні приклади [9].

Результати

Порівняння відмінності результатів дослідження АА-методами вдосконаленої і стандартної проксиметрії наведене в таблиці 1.

При аналізі отриманих результатів встановлено, що чутливість методу вдосконаленої проксиметрії (тест більший або дорівнює) склала: $(62 + 1346) / (62 + 1346 + 12) \times 100 = 99,2\%$. Специфічність методу вдосконаленої проксиметрії (тест менший за загальновідомий) склала: $1358 / (1358 + 1408 - 1346) \times 100 = 95,6\%$.

В цілому, розбіжність результатів виявили у 5,2% пацієнтів.

Порівняння відмінності результатів дослідження АА, які отримані при застосуванні загальновідомого тесту та методом вдосконаленої проксиметрії в залежності від віку пацієнтів, представлено у таблиці 2. (Детальний аналіз розподілу АА у пацієнтів з міопією

Таблиця 1. Порівняння відмінності результатів дослідження АА- методами вдосконаленої і стандартної проксиметрії

Порівняння результатів вимірювання НТЯЗ методами вдосконаленої (НТЯЗ_1) і стандартної (НТЯЗ_2) проксиметрії	Фактичний результат (пояснення в тексті)	
	Випадок	Невипадок
НТЯЗ_1 > НТЯЗ_2	TP=62	FP=1408
НТЯЗ_1 = НТЯЗ_2	1346	74
НТЯЗ_1 < НТЯЗ_2	FN=12	TN=1358

Примітки: НТЯЗ – найближча точка ясного зору; НТЯЗ_1 – результат за вдосконаленою проксиметрією, НТЯЗ_2 – результат за стандартною проксиметрією, TP – кількість правильно класифікованих випадків оцінки (вдосконалений метод, чутливіший за стандартний), FP – кількість хибно позитивних випадків оцінки, TN – кількість правильно класифікованих невідпадків оцінки (вдосконалений метод, менш чутливий за стандартний), FN – кількість хибно негативних випадків оцінки.

Таблиця 2. Порівняння відмінності результатів дослідження АА- методами вдосконаленої і стандартної проксиметрії за віком пацієнтів

Вікова група (років)	Всього осіб	НТЯЗ_1 > НТЯЗ_2		НТЯЗ_1 < НТЯЗ_2	
		осіб	%	осіб	%
6–8	50	1	2,0		
9–11	129	3	2,3		
12–14	157	4	2,5	1	0,6
15–17	136	9	6,6		
18–24	193	9	4,7	1	0,5
25–39	272	15	5,5	2	0,7
40–59	438	20	4,6	7	1,6
60+	45	1	2,2	1	2,2
РАЗОМ	1420	62	4,4	12	0,8

Примітки: НТЯЗ – найближча точка ясного зору; АА – амплітуда акомодатії, НТЯЗ_1 – результат за вдосконаленою проксиметрією, НТЯЗ_2 – результат за стандартною проксиметрією.

Таблиця 3. Переваги методу вдосконаленої проксиметрії перед використанням лінійки RAF

№	Недоліки проксиметрії з використанням лінійки RAF	Переваги методу вдосконаленої проксиметрії
1	Неоднозначність щодо того, яка частина ковзного компонента вказує на показання	Об'єкти фіксації знаходяться на одному рівні з позначками шкали рулетки для виміру НТЯЗ
2	Неоднозначність щодо того, яку шкалу-градацію (у сантиметрах чи діоптріях) описують числа шкали	Шкала рулетки в міліметрах, які переводяться в дптр. по таблиці
3	Невизначеність щодо розташування нульової точки шкали, оскільки лінійки RAF можуть відрізнитися за відстанню градування будь-якої конкретної шкали від опори для щоби	Однозначне градування за шкалою рулетки від нульового рівня, який є опорою для щоби
4	Непрозорість повзунка, що ускладнює інтерполяцію між градаціями	Відсутня
5	Вплив на розташування шкали, що виникає внаслідок міжіндивідуальних відмінностей в анатомії обличчя на будь-якій заданій відстані від точки опори щоби нижче вершини рогівки	Повторюваність вимірів з опорою рулетки до щоби, яка умовно відповідає вершині рогівки, не виходить за межі похибки методу і однакова при повторних дослідженнях у конкретного пацієнта
6	Ефект невказівки точки опори, оскільки анатомія обличчя не перпендикулярна лінійці RAF	Точка опори на щоби нижче досліджуваного ока однакова для кожного пацієнта, зона контакту опори рулетки значно меншої площі опори лінійки RAF, що зменшує похибку
7	Ефект відсутності уточнення точки опори, оскільки анатомія обличчя різна у різних людей;	Точка опори на щоби нижче досліджуваного ока кожним дослідником дотримується однаково, незначне зміщення її не впливає на межі похибки методу
8	Вплив невказівки відстані d у пункті (14) нижче;	Рекомендується однакове положення проксиметра на 10–15° нижче горизонтальної лінії, як для всіх інших вимірювань акомодатії для наближення до природних умов її роботи
9	Мінливість контрасту яскравості тексту (контраст можна стандартизувати за допомогою підсвічування тексту);	При дослідженні в умовах одного кабінету з постійним освітленням мінливість контрасту мінімальна
10	Межі шкали: значення AA, що вищі за діапазон вимірювання немодифікованого приладу, часто повідомлялися дослідниками;	Можливості діапазону вимірювання рулеткою приладу значно вищі за довжину руки дорослої людини, проте рекомендується застосування додаткових редукуючих лінз у пацієнтів з віком для забезпечення вимірювань на відстані 15-25 см
11	Змінне місце фіксації в межах одного рядка відбитка мішені, оскільки різні літери в рядку, довжиною 27 мм, знаходяться на різних відстанях від кожного ока, що створює різну акомодативну вимогу до 0,25дптр. при вимірюванні приблизно 6 дптр.;	Для оцінки НТЯЗ застосовується вертикальний рядок літер, отже фіксація на одній літері нівелює дану похибку;
12	Вплив розміру деталей цілі через глибину фокусування;	Повністю усунути вплив глибини фокусу не вдається, для зменшення похибки рекомендується фіксувати початок розмиття контурів цілі, повільну швидкість руху проксиметра, неможливість сфокусуватися протягом 2–3 секунд при нерухомій мішені; фіксування саме розмиття контурів мішені, а не проміжку в оптиці нівелює залежність від лінійного розміру мішені;
13	Вплив лінійності інтервалу шкали через час реакції;	Повторення замірів без скельця Баголіні і з ним підвищує точність методу з урахуванням наведених допусків; для забезпечення плавності руху і постійної швидкості можлива підтримка притримка проксиметра за корпус і коригування його руху оператором за відсутності безпосереднього контакту рук оператора з руками пацієнта;

Примітки: RAF (Royal Air Force) Rule – лінійка для виміру акомодатії, НТЯЗ – найближча точка ясного зору (см), AA – амплітуда акомодатії (дптр).

Таблиця 3. Переваги методу вдосконаленої проксиметрії перед використанням лінійки RAF (продовження)

№	Недоліки проксиметрії з використанням лінійки RAF	Переваги методу вдосконаленої проксиметрії
14	Мінливість відхилення рейки, адже лінійку можна тримати вище або нижче основного положення погляду;	Рекомендується однакове положення проксиметра на 10–15° нижче горизонтальної лінії, як для всіх інших вимірювань акомодації для наближення до природних умов її роботи;
15	Інше джерело похибки, властиве конструкції цього приладу, стосується монокулярних вимірювань. Похибка полягає в тому, що лінійка розміщена на середній лінії між двома очима, а не на зоровій осі ока, що вимірюється.	Похибка відсутня, оскільки конструкція приладу передбачає розташування мішені перед досліджуваним оком.

Примітки: RAF (Royal Air Force) Rule – лінійка для виміру акомодації, НТЯЗ – найближча точка ясного зору (см), АА – амплітуда акомодації (дптр).

Таблиця 4. Показники НТЯЗ та АА за Ховстеттером

Амплітуда акомодації (по Ховстеттеру)				Найближча точка ясного зору (перерахунок см в дптр)							
вік років	мінім. 15-0,25*р	оптим. 18,5-0,3*р	максим. 25-0,4*р	вік років	мінім. 15-0,25*р	оптим. 18,5-0,3*р	максим. 25-0,4*р	НТЯЗ		НТЯЗ	
								см	дптр	см	дптр
5	13,75	17,00	23,00	31	7,25	9,20	12,60	5	20,00	31	3,23
6	13,50	16,70	22,60	32	7,00	8,90	12,20	6	18,67	32	3,13
7	13,25	16,40	22,20	33	6,75	8,60	11,80	7	14,29	33	3,03
8	13,00	16,10	21,80	34	6,50	8,30	11,40	8	12,50	34	2,94
9	12,75	15,80	21,40	35	6,25	8,00	11,00	9	11,11	35	2,86
10	12,50	15,50	21,00	36	6,00	7,70	10,60	10	10,00	36	2,78
11	12,25	15,20	20,60	37	5,75	7,40	10,20	11	9,09	37	2,70
12	12,00	14,90	20,20	38	5,50	7,10	9,80	12	8,33	38	2,63
13	11,75	14,60	19,80	39	5,25	6,80	9,40	13	7,69	39	2,56
14	11,50	14,30	19,40	40	5,00	6,50	9,00	14	7,14	40	2,50
15	11,25	14,00	19,00	41	4,75	6,20	8,60	15	6,67	41	2,44
16	11,00	13,70	18,60	42	4,50	5,90	8,20	16	6,25	42	2,38
17	10,75	13,40	18,20	43	4,25	5,60	7,80	17	5,88	43	2,33
18	10,50	13,10	17,80	44	4,00	5,30	7,40	18	5,56	44	2,27
19	10,25	12,80	17,40	45	3,75	5,00	7,00	19	5,26	45	2,22
20	10,00	12,50	17,00	46	3,50	4,70	6,60	20	5,00	46	2,17
21	9,75	12,20	16,60	47	3,25	4,40	6,20	21	4,76	47	2,13
22	9,50	11,90	16,20	48	3,00	4,10	5,80	22	4,55	48	2,08
23	9,25	11,60	15,80	49	2,75	3,80	5,40	23	4,35	49	2,04
24	9,00	11,30	15,40	50	2,50	3,50	5,00	24	4,17	50	2,00
25	8,75	11,00	15,00	51	2,25	3,20	4,60	25	4,00	51	1,96
26	8,50	10,70	14,60	52	2,00	2,90	4,20	26	3,85	52	1,92
27	8,25	10,40	14,20	53	1,75	2,60	3,80	27	3,70	53	1,89
28	8,00	10,10	13,80	54	1,50	2,30	3,40	28	3,57	54	1,85
29	7,75	9,80	13,40	55	1,25	2,00	3,00	29	3,45	55	1,82
30	7,50	9,50	13,00	56	1,00	1,70	2,60	30	3,33	56	1,79

Примітка: АА – амплітуда акомодації, НТЯЗ – найближча точка ясного зору.

за віковими групами буде представлений в подальших публікаціях).

Переваги та недоліки результатів визначення АА при застосуванні лінійки RAF (Royal Air Force) Rule та методу вдосконаленої проксиметрії наведені в таблиці 3.

Для оптометричної практики запропонована зручна довідка визначення АА за перерахунком НТЯЗ та порівнянням з показниками вікової норми АА, розрахованими за формулами Ховстеттера, яка наведена в таблиці 4.

Обговорення

На сьогодні найбільш затребуваними вважаються чотири методи вимірювання АА.

Перш за все, push-up метод (наближення). У методі push-up лікар доручає пацієнту повідомити, коли тестовий об'єкт стає розмитим, поступово наближаючись до ока. Для цього вимірювання часто використовуються пристрої, що являють собою лінійку з ковзним тестовим об'єктом. Лінійка RAF (Royal Air Force) Rule є прикладом такого пристрою [2].

Другий метод – push-down метод (віддалення). Метод push-down також дозволяє використовувати лінійку RAF та подібні пристрої. Об'єкт відсувається від пацієнта, починаючи з положення, коли він знаходиться занадто близько, щоб пацієнт міг його чітко розрізнити, до того моменту, коли об'єкт можна буде чітко побачити. Цьому методу особливо бракує стандартизації з номенклатури та техніки. Різні автори вказують різні кінцеві точки [10]. Назва методу та його критерію кінцевої точки створює певну плутанину. Коли вперше було описано критерій «ледь розпізнаваний» [1], підхід push-down був описаний як «модифікований метод push-up», який використовувався [11, 12]. Однак «модифікований метод push-down» в одному звіті [13] суттєво відрізнявся від «модифікованого методу push-down» в другому [14] та від «модифікованого методу push-up» в іншому звіті [15]. Причому, у всіх наведених звітах використовувалися допоміжні розсіювальні пробні лінзи з фіксованою оптичною силою для розширення діапазону вимірювання.

Третій метод – мінусова лінза. У методі мінусової лінзи [16] негативна сферична сила лінзи додається до корекції рефракції на відстані, доки пацієнт не зможе підтримувати початкову гостроту зору на попередньо встановленій дистанції, що значно перевищує очікувану точку ясного зору зблизька. АА визначається максимальною доданою силою, доки пацієнт може підтримувати фокус, скоригованою на конвергенцію дистанції зору. Цей метод слід використовувати лише для монокулярного вимірювання та лише за монокулярних умов. Ці обмеження виникають тому, що акомодация та конвергенція працюють разом, хоча зв'язок між їхньою діяльністю не є жорстким [17].

Четвертий метод – динамічна ретиноскопія. АА також можна виміряти за допомогою ретиноскопа. Хоча ретиноскопія спирається на інтерпретацію клініцистом ретиноскопичного рефлексу, вона не вимагає оцінки з боку пацієнта. Її можна використовувати для вимірювання АА шляхом максимальної стимуляції акомодатії, поки лікар визначає кінцевий результат. Цей метод вимагає від практикуючого спеціаліста навичок, клінічного судження та досвіду [18]. Це може пояснити, чому про його використання повідомлялося рідше за інші методи.

Лінійка RAF є поширеним інструментом для вимірювання АА. Проте, на думку фахівців [2], містить 15 джерел помилок, кожне з яких може призвести до

клінічно значущої похибки: 1) неоднозначність щодо того, яка частина ковзного компонента визначає показання; 2) неоднозначність щодо того, яку шкалу-градацію (у сантиметрах чи діоптріях) описують числа шкали, оскільки кожне число знаходиться на однаковій відстані між двома градаціями та не вказує на жодну з них; 3) невизначеність щодо розташування нульової точки шкали, оскільки лінійки RAF можуть відрізнятися за відстанню градування будь-якої конкретної шкали від опори для щокі; 4) непрозорість повзунка, що ускладнює інтерполяцію між градаціями; 5) вплив на розташування шкали, що виникає внаслідок індивідуальних відмінностей в анатомії обличчя на будь-якій заданій відстані від точки опори щокі нижче вершини рогівки; 6) ефект відсутності вказівки точки опори, згаданий у пункті 5, оскільки анатомія обличчя не перпендикулярна лінійці RAF; 7) ефект відсутності уточнення точки опори, оскільки анатомія обличчя різна у різних людей; 8) вплив невказівки нахилу лінійки; 9) мінливість контрасту яскравості тексту (контраст можна стандартизувати за допомогою підсвічування тексту); 10) межі шкали: значення АА, вищі за діапазон вимірювання немодифікованого приладу, часто повідомлялися дослідниками [19]; 11) змінне місце фіксації в межах одного рядка відбитка мішені, оскільки різні літери в рядку тестової мішені, довжиною 27 мм, знаходяться на різних відстанях від кожного ока, що створює різну акомодативну вимогу (до 0,25 дптр) при вимірюванні приблизно 6,0 дптр акомодатії за лінійкою RAF, більші похибки виникають на коротших відстанях до мішені; 12) вплив розміру деталей цілі через глибину фокусування; 13) вплив лінійності інтервалу шкали через час реакції, як обговорювалося раніше; 14) мінливість відхилення рейки, адже лінійку можна тримати вище або нижче основного положення погляду; нахил лінійки впливає на результат; 15) джерело похибки, властиве конструкції цього приладу, стосується монокулярних вимірювань.

Похибка полягає в тому, що лінійка розміщена на середній лінії між двома очима, а не на зоровій осі ока, що вимірюється. Це завищить результати на величину, яку можна тригонометрично оцінити приблизно як 5% на найвищих рівнях АА та приблизно пропорційно менше на нижчих рівнях, тому вона не така велика, як деякі інші похибки, перелічені вище. Корекція цього джерела похибки була точною, приблизною або відсутньою [20]. У наведеному вище списку джерел помилок, що виникають через очевидні недоліки в розробці та виробництві лінійок RAF, опубліковану інформацію для пунктів 1–13 не було знайдено [2].

Аномальні сигнали відстані. Усвідомлення відстані до візуального об'єкта впливає на акомодацию. При порівнянні методів вимірювання акомодатії об'єкт дослідження знаходиться далі при використанні методу мінусової лінзи, а умови вимірювання є монокулярними, що знижує усвідомлення близькості. Інші методи дають вищі результати, різною мірою [21].

За допомогою особливо ретельної методології було виявлено, що акомодация, амплітуду яку вимірювали методом push-up або push-down, була вищою, коли учасник тримав і направляв мішень, ніж коли її тримав і направляв екзаменатор [22]. Причина цього висновку не була продемонстрована, але це могло бути пов'язано з різними психологічними факторами, включаючи підвищене усвідомлення близькості, коли учасник контактував з мішенню та контролював її. Тому лінійки акомодации (такі як лінійка RAF) можуть давати вищі показники з таких причин, як фізичний контакт учасника з пацієнтом.

Аналіз отриманих протягом даного дослідження результатів свідчив, що запропонований метод вдосконаленої проксиметрії відрізняється застосуванням скельця Баголіні замість пристрою, який в даний час не виробляється [23]. Враховуючи суб'єктивність відповідей пацієнта про момент фіксації НТЯЗ, можливість нетривалого затумення зору під час загальновідомої проксиметрії із-за порушень сльозобілля, можливість відволікання уваги пацієнтів, особливо дитячого віку, від зосередженості на виконанні тестів та інших недоліків застосування push-up методу, оцінку НТЯЗ доводиться проводити за декілька спроб.

В той же час, отримані результати нашого дослідження продемонстрували, що запропонований метод вдосконаленої проксиметрії зменшує потребу в повторних спробах, якщо отримані дані у двох етапах процедури співпадають у визначених межах: при НТЯЗ більше 20 см допустима різниця в 1 см (похибка НТЯЗ менше 0,25 дптр), з 20 до 15 см допустима різниця в 0,5 см (похибка НТЯЗ менше 0,50 дптр), з 15 до 10 см допустима різниця в 0,3 см (похибка НТЯЗ менше 0,50 дптр), при НТЯЗ менше 10 см допустима різниця в 0,2 см (похибка НТЯЗ менше 0,50 дптр), проте суттєвого клінічного значення різниця в останньому випадку не має, оскільки АА при таких значеннях характеризує нормальну роботу акомодативної функції [1].

Крім того, слід зазначити, що пацієнт, для якого використовують метод push-up, буває мало вмотивованим до досягнення вищих результатів, хоча це може залежати від наданих інструкцій. Максимальні акомодацийні зусилля допоможуть вирішити проблему виявлення деталей, що зустрічаються в таких методах, як push-up з «ледь впізнаваною» кінцевою точкою, методах мінусової лінзи та ретиноскопії з відповідним візуальним об'єктом, таким як діаграма Снеллена, зменшена приблизно до 5% від її звичайного розміру [2].

«Джерела похибок значно відрізняються за своєю природою та величиною свого впливу. Деякі з них є відносно систематичними, тоді як інші мають непередбачуваний розмір або напрямок, або і те, й інше. Деякі впливають на нижчі показники більше, ніж на вищі, і навпаки, деякі впливають лише на певні методи вимірювання, деякі по-різному впливають на різні методи, деякі зумовлені людським фактором пацієнта або лікаря, інші зумовлені факторами обладнання або

методу, що використовується для вимірювання. Їхній загальний вплив значно знижує достовірність клінічних результатів, отриманих за допомогою сучасних методів» [2].

Погрішності Похибки вимірювання, спричинені цими численними джерелами похибок, можна зменшити (а деякі з них можна повністю усунути) шляхом приділення більшої уваги техніці вимірювання та стандартизації обладнання та методів. Однак таке вдосконалення існуючих методів, як правило, збільшує складність, тривалість та труднощі вимірювання [2].

В той же час, отримані протягом представленого наведеного оглядового дослідження результати свідчать, що окремих практикуючий лікар може вжити певні заходи для зменшення похибки вимірювання АА у сучасній клінічній практиці. Наприклад, деталізація візуального об'єкта повинна бути близькою до межі роздільної здатності в ближній точці, а використаний метод слід зафіксувати під час обліку результатів. Під час вимірювання за допомогою приладів, що використовують лінійку з ковзним візуальним об'єктом (як лінійка RAF), рух повзунка має бути повільним, приблизно одна діоптрія за секунду; під час вимірювання пацієнт повинен отримувати позитивний зворотний зв'язок за докладені зусилля; лінійку слід тримати в первинному положенні погляду; при push-down методі слід використовувати чіткий критерій кінцевої точки фокусування; вимірювання слід проводити від певної точки відліку, такої, як верхівка рогівки; будь-яку корекцію рефракційної помилки слід відносити до тієї ж точки; фахівець повинен перевірити точність окремої лінійки, вимірявши відстань до ближньої точки за допомогою окремого приладу; лікар повинен розглянути можливість проведення першого вимірювання методом push-up, а потім перемістити повзунок до пацієнта, щоб отримати вимірювання методом push-down. Зафіксоване значення АА буде середнім арифметичним значенням цих двох значень [22] [2]. Проте слід зазначити, що всі перелічені способи досить ненадійні, складні у повторюваності, що відповідно знижує їх достовірність.

Отримані протягом нашого дослідження результати свідчать, що загальновідомий метод проксиметрії має похибки і не забезпечує необхідну повторювальність результатів. Тому в умовах рутинної оптометричної практики залишається актуальним питання підвищення надійності дослідження акомодацийних функцій. Задля досягнення цієї мети необхідно задіяти наступні етапи персоналізованого менеджменту: роз'яснювати пацієнтам умови дослідження амплітуди акомодации; наголошувати бути уважними; своєчасно реагувати на появу розмитості саме контурів пред'явлених оптиків; збільшувати кількість парних повторних спроб визначення амплітуди акомодации зі скельцем Баголіні і без нього.

Наші дослідження продемонстрували високу специфічність і чутливість вдосконаленого методу про-

ксиметрії, застосування якого визначало амплітуду акомодативної з чутливістю у 99,2% випадків у пацієнтів різних вікових груп та специфічністю у 95,6% випадків. Варто зазначити додаткову зручність, швидкість та економічність запропонованої інновації. Ця методика може бути застосована для використання при оптометричному обстеженні пацієнтів і подальших дослідженнях предикторів розвитку та прогресування аномалій рефракції.

Висновки. Розроблена адекватна методика вдосконаленої проксиметрії, яка стала можливою при застосуванні створеного оптичного проксиметра. Застосування розробленого методу вдосконаленої проксиметрії продемонструвало більшу точність за критеріями, що визначають джерела похибок при використанні лінійки RAF.

Авторський внесок

Крючко О. В. – проведення досліджень, створення електронної бази, аналіз та інтерпретація даних, написання статті. Шаргородська І. В. – розроблення концепції, методології, редагування статті. Шкрібляк І. І. – аналіз та інтерпретація даних, написання статті. Всі автори узгодили результати і схвалили остаточний варіант рукопису.

Джерела підтримки

Стаття є частиною ініціативно-пошукової науково-дослідної роботи кафедри офтальмології та оптометрії післядипломної освіти НМУ ім. О. О. Богомольця «Теоретичні та практичні аспекти удосконалення клінічних та експериментальних методів діагностики, лікування та профілактики захворювань та травм органу зору і їх ускладнень», (державна реєстрація № 0123U104207, термін виконання 2023–2026 рр.).

Автори заявляють, що під час підготовки цього рукопису не отримували жодних коштів, грантів чи іншої підтримки.

Відмови від відповідальності

Висловлені у поданій статті думки є власними думками авторів, а не офіційною позицією установи.

Конфлікт інтересів

Автори засвідчують про відсутність конфлікту інтересів, який міг би вплинути на їхню думку стосовно предмету чи матеріалів, описаних та обговорених в даному рукописі.

Заява про дотримання етичних норм

Дослідження проводилося за участю людей з дотриманням Конвенції Ради Європи про права людини та біомедицину, Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення наукових методичних досліджень за участю людини та відповідали чинному законодавству України. Від усіх учасників (або їх представників), включених у дослідження, була отримана інформована згода.

Заява про доступність даних

Дані, отримані та/або проаналізовані під час цього дослідження, можна отримати у відповідального автора за обґрунтованим запитом.

Скорочення

AA – амплітуда акомодативної, AB – акомодативна відповідь, AK/A – коефіцієнт співвідношення акомодативної конвергенції до акомодативної, GA – гнучкість акомодативної, дптр – діоптрія, HBA – негативна відносна акомодативна, НТЯЗ – найближча точка ясного зору, ПВА – позитивна відносна акомодативна, ПЗВ – передньо-задня вісь ока.

Література

1. Scheiman M, Wick B. Assessment of accommodation disorders. In: Scheiman M, Wick B. Clinical management of binocular vision: heterophoric, accommodative, and eye movement disorders. Lippincott & Wilkins. 2014;18-24.
2. Burns D, Evans B, Allen P. Sources of error in clinical measurement of the amplitude of accommodation. J Optom. 2020 Jan-Mar;13(1):3-14. doi:10.1016/j.optom.2019.05.002.
3. Сергієнко М.М. [Офтальмологічна оптика]. Видання 3. Київ. 2015;264.
4. Antona B, Barra F, Barrio A, Gonzalez E, Sanchez I. Repeatability intraexaminer and agreement in amplitude of accommodation measurements. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2009 Jan;247(1):121-7. doi:10.1007/s00417-008-0938-9.
5. Leon A, Medrano S, Rosenfield M. A comparison of the reliability of dynamic retinoscopy and subjective measurements of the amplitude of accommodation. Ophthalmic Physiol Opt. 2012;32(2):133-141. doi:10.1111/j.14751313.2012.00891.x.
6. Крючко О.В., Шаргородська І.В., Шкрібляк. Заявка на патент на корисну модель u2024 058 33 від 10.12.2024. «Оптометричний проксиметр». І.І.
7. Петров ВВ, Алесва НМ, Антонов ЄЄ, Бутенко ЛВ, Крючин АА, Сенякіна АС, з співавт. Патент на корисну модель від 25.04.2019 №133832 «Спосіб виготовлення скелець Баголіні».
8. Hofstetter GW. The zone of clear binocular vision. American Journal of Optometry and Archives of the American Academy of Optometry. 1945; 22:301-333.
9. Гур'янов ВГ, Лях ЮЄ, Парій ВД, співавтори. 14.1.2. Оцінка якості й адекватності моделі. В: Гур'янов В.Г., Лях Ю.Є., Парій В.Д., співавтори. Посібник з біостатистики. Аналіз результатів медичних досліджень у пакеті EZR(R-statistics). Київ: ТОВ "Вістка". 2018;142-146.
10. Turner M. Observations on the normal subjective amplitude of accommodation. Br J Physiol Opt. 1958;15:70-100.
11. Koslowe K, Glassman T, Tzanani-Levi C, Shneor E. Accommodative amplitude determination: pull-away versus push-up method. J Optom Vis Dev. 2010;41:28-32.
12. Taub M, Shallo-Hoffman J. A comparison of three clinical tests of accommodative amplitude to Hofstetter's norms to guide diagnosis and treatment. J Optom Vis Dev. 2012;43:180-190.
13. Leon A, Estrada J, Rosenfield M. Age and the amplitude of accommodation measured using dynamic retinoscopy. Ophthalmic Physiol Opt. 2016;36:5-12. doi:10.1111/opo.12244.
14. Chen A, O'Leary D. Validity and repeatability of the modified push-up method for measuring the amplitude of accommodation. Clin Exp Optom. 1998;81:63-70.
15. Momeni-Moghaddam H, McAlinden C, Azimi A, Sobhani M, Ski-adaresi E. Comparing accommodative function between the dominant and the non-dominant eye. Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol. 2014;252:509-514. doi:10.1007/s00417-013-2480-7.

16. Woodruff M. Ocular accommodation in children aged 3 to 11 years. *Can J Optom.* 1987;49:141-145.
17. Evans B. Binocular vision assessment. In: Rosenfield M, Logan N, eds. *Optometry: Science, Techniques & Clinical Management*. 2nd ed. Edinburgh: Butterworth-Heinemann; 2009.
18. Roche O, Roumes C, Parsa C. Techniques de mesure du pouvoir accommodatif chez le sujet phake et le sujet pseudo-phake, distinction entre insuffisances accommodatives mécaniques et neurologiques. *J Fr d'Ophtalmol.* 2007;30(9):953-960. doi: 10.1016/s0181-5512(07)74039-1.
19. Adler P, Scally A, Barrett B. Test-retest reproducibility of accommodation measurements gathered in an unselected sample of UK primary school children. *Br J Ophthalmol.* 2013;97(5):592-597. doi:10.1136/bjophthalmol-2012-302348.
20. Sterner B, Gellerstedt M, Sjöström A. Accommodation and the relationship to subjective symptoms with near work for young school children. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2006;26(2):148-155. doi:10.1111/j.1475-1313.2006.00364.x.
21. Karania R, Evans BJ. The Mallett Fixation Disparity Test: influence of test instructions and relationship with symptoms. *Ophthalmic Physiol Opt.* 2006 Sep;26(5):507-22. doi:10.1111/j.1475-1313.2006.00385.x.
22. Fitch RC. Procedural effects on the manifest human amplitude of accommodation. *American journal of optometry and archives of American Academy of Optometry.* 1971 Nov;48(11):918-26. doi:10.1097/00006324-197111000-00004.
23. Вязовський ІА, Сердюченко ВІ. Новий пристрій для визначення об'єму абсолютної акомодатії ока. *Офтальмол журн.* 1987;1:12-14.