

<https://doi.org/10.34883/PI.2024.14.3.021>



Шадиев А.Э., Насретдинова М.Т. ✉, Нормурадов Н.А., Давронов У.Ф.

Самаркандский государственный медицинский университет, Самарканд, Узбекистан

Возрастные функциональные изменения вестибулярного анализатора у здоровых людей по данным электрофизиологических исследований

Конфликт интересов: не заявлен.

Вклад авторов: концепция и дизайн исследования, редактирование – Шадиев А.Э.; концепция и дизайн исследования – Насретдинова М.Т.; сбор материала, обработка – Нормурадов Н.А.; написание текста – Давронов У.Ф.

Подана: 12.03.2024

Принята: 14.08.2024

Контакты: luna1088@mail.ru

Резюме

Введение. Сведения о возрастных изменениях функций вестибулярного аппарата немногочисленны. Уровень устойчивого реагирования отолитового отдела вестибулярного анализатора на прямолинейные, знакопеременные, затухающие по силе стимулы с возрастом также снижается.

Цель. Определение уровня структурной организации вестибулярного анализатора в пожилом и старческом возрасте.

Материалы и методы. Нами проведено комплексное вестибулометрическое обследование 176 здоровых лиц. Осуществлялась пороговая (скорость вращения от 0 до 10°/с) и надпороговая купулометрия, прямая отолитометрия на 4 штанговых параллельных качелях К.Л. Хилова и стандартная стабилография при вертикальном положении обследуемого на платформе стабилографа в позе непринужденного стояния. Высокий уровень устойчивого их реагирования сохранялся у здоровых людей до 60–70 лет, после чего наступал срыв стабильности вестибулярной реакции.

Результаты. Результаты обследования здоровых людей различного возраста методом стабилографии определенно свидетельствовали о наличии у них значимых возрастных изменений функции равновесия, которые проявлялись достоверными различиями формы и основных параметров стабилограммы.

Заключение. При проведении вестибулометрии у пожилых и старых людей с использованием вращательного теста необходимо контролировать у них состояние сердечно-сосудистой системы. В качестве индикатора целостной реакции организма на вестибулярный стимул может использоваться регистрация изменения частоты сердечных сокращений.

Ключевые слова: стабилограф, купулометрия, вестибулярный анализатор, нистагм, отолитовая реакция

Shadiyev A., Nasretdinova M. ✉, Normuradov N., Davronov U.
Samarkand State Medical University, Samarkand, Uzbekistan

Age-Dependent Characteristics of Vestibular Analyzer Function in Healthy Persons According to the Data of Electrophysiologic Investigations

Conflict of interest: nothing to declare.

Authors' contribution: concept and design of the study, editing – Shadiyev A.; concept and design of the study – Nasretdinova M.; collection of material, processing – Normuradov N.; writing of the text – Davronov U.

Submitted: 12.03.2024

Accepted: 14.08.2024

Contacts: luna1088@mail.ru

Abstract

Introduction. Information on age-related changes in the functions of the vestibular apparatus is scarce. The level of sustained response of the otolithic part of the vestibular analyzer to rectilinear, alternating, attenuating stimuli also decreases with age.

Purpose. Determination of the level of structural organization of the vestibular analyzer in the elderly and senile age.

Materials and methods. We conducted a comprehensive vestibulometric examination of 176 healthy individuals. Threshold (rotation speed from 0 to 10°/s) and over-threshold cupulometry were performed. Direct otolithometry on four parallel swing rods by K.L. Khilov and standard stabilography with the subject in an upright position on the stabilograph platform in a relaxed standing position. A high level of their stable response was maintained in healthy people up to 60–70 years old, after which the stability of the vestibular reaction was disrupted.

Results. The results of the examination of healthy people of different ages by the stabilography method definitely indicated that they had significant age-related changes in the equilibrium function, which were manifested by significant differences in the shape and main parameters of the stabilogram.

Conclusion. When conducting vestibulometry in the elderly and old people using a rotational test, it is necessary to monitor the state of their cardiovascular system. Registration of changes in heart rate can be used as an indicator of the body's holistic response to a vestibular stimulus.

Keywords: stabilograph, cupulometry, vestibular analyzer, nystagmus, otolith reaction

■ ВВЕДЕНИЕ

Сведения о возрастных изменениях функций вестибулярного аппарата немногочисленны и весьма разноречивы. Пока не представляется возможным по отдельным, большей частью несистематизированным, экспериментальным данным получить целостное представление как о возрастных особенностях отдельных групп рецепторов периферического и центрального отделов вестибулярного анализатора, так и о характере изменений устойчивости стареющего организма к вестибулярной

нагрузке. Уровень устойчивого реагирования отолитового отдела вестибулярного анализатора на прямолинейные, знакопеременные, затухающие по силе стимулы с возрастом также снижался. На это указывало возрастание абсолютной величины индекса асимметрии отолитовой реакции, рассчитанного для утрикулюса и саккулюса по максимальной и средней амплитуде волн окулограммы. Однако, несмотря на уменьшение с возрастом выраженности вестибулосоматических реакций, достаточно высокие значения максимальной и средней амплитуды окулограммы у лиц до 80 лет свидетельствовали о большом биологическом значении отолитового отдела вестибулярного анализатора и контрольной функции зрения в обеспечении статокINETической устойчивости человека в старческом возрасте. Об этом свидетельствовало уменьшение с возрастом числа случаев парадоксальной реакции (отклонения глазных яблок, не совпадающие с осью качания, максимальная амплитуда которых не превышала $10^\circ/\text{с}$) на прямолинейные, горизонтальные, знакопеременные ускорения. Вместе с тем уменьшение с возрастом абсолютной величины амплитуды окулограммы сопровождалось увеличением частоты появления волн последствия, представляющих собой серии гармоничных круговых движений глазных яблок, зафиксированных после соматического отолитового порога [1, 2, 4]. Анализ накопленных к настоящему времени данных убедительно показывает, что на всех уровнях структурной организации вестибулярного анализатора развиваются значительные изменения в пожилом и старческом возрасте [3, 5, 7]. Характер их чрезвычайно противоречив, так как они реализуются на фоне непрерывной мобилизации все новых компенсаторных механизмов организма, включающихся на базе неоднородных по времени, месту, скорости возникновения и направленности морфофункциональных перестроек, охватывающих самые тончайшие уровни биологической организации вестибулярного анализатора и организма в целом [4, 6, 7].

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение уровня структурной организации вестибулярного анализатора в пожилом и старческом возрасте.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено комплексное вестибулометрическое обследование 176 здоровых лиц (мужчин – 92, женщин – 84) в возрасте от 14 до 90 лет, подразделенных на 8 возрастных групп по десятилетиям.

У всех испытуемых отсутствовали жалобы на головокружение и плохую переносимость транспорта, а на электронистагмограмме не выявлялся спонтанный нистагм. В анамнезе у них не отмечено неврологических расстройств, нарушений зрения, заболеваний лор-органов и опорно-двигательного аппарата. Проводилась пороговая (скорость вращения от 0 до $10^\circ/\text{с}$) и надпороговая купулометрия со скоростью вращения электровращающегося кресла 15, 30 и $60^\circ/\text{с}$ при постоянном ускорении $15^\circ/\text{с}^2$ и последующем стоп-стимуле длительностью 0,15 с, а также прямая отолитометрия на 4 штанговых параллельных качелях К.Л. Хилова и стандартная стабิโลграфия при вертикальном положении обследуемого на платформе стабิโลграфа в позе непринужденного стояния. Все методики выполнялись с соблюдением описанных нами ранее принципов [3]. Исследованы пороги сенсорных и соматических реакций, параметры нистагма и глазодвигательной реакции, показатели стабิโลграфии,

а также проанализированы особенности электрокардиограммы, записанной при всех режимах вращательной стимуляции.

Такое комплексное изучение закономерностей возрастных сдвигов вестибулярной функции и функции равновесия показало, что с возрастом они претерпевают количественные и качественные изменения: увеличиваются пороги отолитовой реакции и нистагма, с высокой степенью достоверности возрастают сенсорные пороги. Вместе с тем обнаружен ряд феноменов вестибулярной реакции в пожилом и старческом возрасте. Прежде всего, обращало на себя внимание закономерное увеличение интенсивности нистагма и отолитовой реакции у лиц в возрасте 15–20 и 60–70 лет, а также последующее прогрессивное угасание нистагма и отолитовой реакции у людей старческого возраста.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Количественный и качественный анализ отдельных параметров нистагма и отолитовой реакции, изучение реактивности вестибулярного анализатора на вращательную стимуляцию по изменению кривых амплитуды, скорости медленной фазы нистагма (СМФ), частоты и длительности нистагма, числа нистагменных ударов и представленного нами дифференциального критерия – величины приращения (ВП) параметров нистагма в различных возрастных группах при переходе от вращения к стоп-стимулу 15–60°/с позволили установить, что с увеличением возраста реактивность центральных отделов вестибулярного анализатора снижается раньше и в большей степени, чем периферических. Достаточно высокий уровень устойчивого их реагирования сохранялся у здоровых людей до 60–70 лет, после чего наступал срыв стабильности вестибулярной реакции. Этот вывод сделан на основании изучения возрастной динамики показателей нистагма класса формы, к которым отнесены его длительность, общее число нистагменных ударов, а также амплитуда нистагма, так как динамика изменения ВП по амплитуде с увеличением возраста напоминала таковые, рассчитанные для длительности нистагма и общего числа нистагменных ударов. В то же время, если судить о функциональном состоянии периферического отдела вестибулярного анализатора по СМФ, высокий уровень реактивности его ампулярного отдела сохранялся у здоровых лиц до 80-летнего возраста. При этом индекс асимметрии нистагма (показатель синхронного функционирования ампулярных рецепторов, вычисленный по СМФ) был минимальным по абсолютной величине у здоровых людей в возрасте от 21 до 49 лет, а затем постепенно увеличивался, достигая максимума у лиц старше 80 лет.

Если волны последействия практически отсутствовали у обследованных до 30 лет, то в дальнейшем их выраженность усиливалась, и в старческом возрасте они наблюдались уже у всех. Этот и другие возрастные вестибулярные феномены пока не объяснены с позиции физиологической их значимости. Прежде всего важен ответ на вопрос: как же у пожилых и старых здоровых людей изменяется функция равновесия, более целостная и значимая для индивидуума, важной составляющей которой является ее вестибулярный компонент?

Результаты обследования здоровых людей различного возраста методом стабилографии определенно свидетельствовали о наличии у них значимых возрастных изменений функции равновесия, которые проявлялись достоверными различиями формы и основных параметров стабилограммы [5]. Нами установлено, что функция

равновесия у здоровых лиц до 60 лет изменяется незначительно, в 60–70 лет – более заметно, после чего наблюдается нарастание абсолютных значений основных параметров стабิโลграммы, указывающее на ухудшение равновесия в этом возрасте. У здоровых людей до 60 лет стандартная стабิโลграфия в покое характеризовалась преимущественно линейным или модальным типом стабิโลграммы. У лиц старше 60 лет преобладал тремоморфный, а у 70-летних и более старших возрастных групп – гиператаксический тип стабิโลграфической кривой. Отмечено также, что с увеличением возраста в большей степени усиливается напряжение механизмов, обеспечивающих функцию статического равновесия при колебании тела в сагиттальной плоскости, особенно при выключении зрения, корректирующая роль которого с возрастом увеличивалась. Эти факты свидетельствовали не только о снижении у таких лиц возбудимости и чувствительности ампулярных и отолитовых рецепторов, но и о значительном понижении уровня функционирования интегративно-пусковых структур центрального отдела вестибулярного анализатора. Очевидно, лишь полноценная организация центральных и периферических отделов анализатора может обеспечить быстрое проведение возбуждений от коркового его отдела к периферии, а также передачу с наименьшими искажениями афферентной импульсации к пусковым структурам анализатора как из подкорковых образований, так и из заинтересованных отделов коры головного мозга.

В итоге участие на поздних этапах онтогенеза менее совершенных, недолгосрочных компенсаторных механизмов неизбежно приводит к мобилизации других, еще менее надежных адаптационных систем организма, что неизбежно сопровождается сужением функциональной подвижности всех систем организма, в том числе и равновесия, важным звеном которого является вестибулярный анализатор. Вот почему феномен увеличения выраженности глазодвигательной реакции и нистагма у людей пожилого и старческого возраста, в силу упомянутых особенностей развития у них изменений функциональных систем организма, никак не может быть охарактеризован как повышение уровня функционирования вестибулярного анализатора. Напротив, он в большей степени указывает на своеобразную экзальтацию изучаемых вестибулосоматических реакций в этом возрасте, за которой следует их угнетение. Положения принятой в нашей стране адаптационно-регуляторной теории старения позволяют, в частности, объяснить качественные изменения глазодвигательной реакции у лиц старческого возраста нарастающей рассогласованностью в субординационных отношениях «центр – периферия», нарушением динамического равновесия процессов возбуждения и внутреннего коркового торможения, сдвигами в механизмах нейрогуморальной регуляции функциональных систем организма. Однако рассмотренные выше факты не дают однозначного ответа на вопрос: увеличивается или уменьшается с угасанием выраженности вестибулярной реакции выносливость стареющего организма к адекватным вестибулярным стимулам? Каковы потенциальные возможности человека в старческом возрасте переносить увеличение вестибулярной нагрузки?

Анализ возрастных особенностей изменения частоты сердечных сокращений в зависимости от величины стимула по данным ЭКГ, записанной у 176 человек в режимах вращения и стоп-стимула 15, 30 и 60°/с, показал, что после вращательной стимуляции она отличалась в различных возрастных группах от исходного значения. Больше всего изменялась частота сердечных сокращений на вращение и стоп-стимул

60°/с. У женщин отмечалась большая частота сердечных сокращений, чем у мужчин, однако из-за чрезмерной дисперсии этого параметра он был статистически недостоверным ($P>0,05$). Колебания средних значений частоты сердечных сокращений в зависимости от величины стимула относительно исходного значения по возрастным группам отражены в таблице.

Обращает на себя внимание уменьшение с возрастом частоты сердечных сокращений при вращательной стимуляции. Так, при гоп-стимуле 15°/с их частота отличалась от исходного значения в 1-й возрастной группе на $6,2\pm1,09$ уд., во 2-й эта разница уменьшилась до $1,7\pm0,98$ уд. ($P<0,01$) и вновь увеличилась до $8,7\pm1,47$ уд. в 4-й, прогрессивно снижаясь в последующих группах, составив $0,5\pm1,52$ уд. ($P<0,01$) в 8-й возрастной группе (значения P рассчитаны в сравниваемых группах по отношению к показателям в 1-й). Характерно, что при увеличении силы стимула в первых 4 возрастных группах определялся выраженный тахитропный эффект (максимальный – у 40-летних лиц), который значительно снизился в 5-й и 6-й возрастных группах, сменившись прогрессивно нарастающей тенденцией к брадикардии в старших возрастных группах, особенно в 8-й.

Изменение средних значений частоты сердечных сокращений (в абс. ед.) относительно исходных в возрастных группах людей в зависимости от величины стимула ($M\pm m$)
The change in the average values of heart rate (in abs. units) relative to the initial values in the age groups of people, depending on the magnitude of the stimulus ($M\pm m$)

Возрастная группа	Всего обследованных	Средний возраст (в годах)	Исходное число сердечных сокращений (уд./мин)	Средние значения величины изменения частоты сердечных сокращений на вращение и стоп-стимул 15, 30 и 60°/с					
				15°/с		30°/с		60°/с	
				вращение	стоп-стимул	вращение	стоп-стимул	вращение	стоп-стимул
1-я	29	16,2	79,2 $\pm$ 1,13	0,8 $\pm$ 0,72	6,2 $\pm$ 1,09	2,2 $\pm$ 0,67	4,0 $\pm$ 0,52	3,4 $\pm$ 0,64	4,2 $\pm$ 0,63
до 20 лет				$P>0,05$	$P<0,001$	$P>0,05$	$P<0,01$	$P<0,02$	$P<0,01$
2-я	32	25,4	75,4 $\pm$ 0,94	1,3 $\pm$ 0,58	1,7 $\pm$ 0,98	2,0 $\pm$ 0,65	3,5 $\pm$ 0,62	2,4 $\pm$ 0,67	3,8 $\pm$ 0,64
21–30 лет				$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,02$	$P<0,05$	$P<0,01$	$P<0,01$
3-я	30	35,6	73,8 $\pm$ 0,98	4,6 $\pm$ 0,61	7,7 $\pm$ 0,71	6,2 $\pm$ 0,79	8,6 $\pm$ 0,58	7,4 $\pm$ 0,69	8,8 $\pm$ 0,67
31–40 лет				$P<0,001$	$P<0,001$	$P<0,001$	$P<0,001$	$P<0,001$	$P<0,001$
4-я	21	43,6	77,7 $\pm$ 1,41	4,3 $\pm$ 0,68	8,7 $\pm$ 1,47	8,3 $\pm$ 0,68	9,9 $\pm$ 0,79	8,6 $\pm$ 0,81	8,9 $\pm$ 0,85
41–50 лет				$P>0,05$	$P<0,001$	$P<0,001$	$P<0,001$	$P<0,001$	$P<0,001$
5-я	21	54,9	74,1 $\pm$ 1,22	0,4 $\pm$ 0,89	1,2 $\pm$ 0,74	0,8 $\pm$ 0,73	2,1 $\pm$ 0,81	1,5 $\pm$ 0,74	3,5 $\pm$ 0,81
51–60 лет				$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$
6-я	18	65,8	72,3 $\pm$ 1,56	0,3 $\pm$ 0,73	1,0 $\pm$ 0,78	1,1 $\pm$ 0,81	1,8 $\pm$ 0,79	1,9 $\pm$ 0,80	2,3 $\pm$ 0,78
61–70 лет				$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$
7-я	14	77,9	71,3 $\pm$ 1,26	0,4 $\pm$ 0,58	0,7 $\pm$ 0,67	0,1 $\pm$ 0,75	0,6 $\pm$ 0,91	–1,3 $\pm$ 0,72	–2,8 $\pm$ 0,73
71–80 лет				$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$
8-я	11	84,2	70,2 $\pm$ 1,52	0,2 $\pm$ 0,55	0,5 $\pm$ 1,52	0,1 $\pm$ 0,62	0,3 $\pm$ 0,76	–2,8 $\pm$ 0,75	–3,6 $\pm$ 0,86
81–90 лет				$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$	$P>0,05$
Среднее	176	50,5	75,0 $\pm$ 0,34	1,79 $\pm$ 0,33	4,0 $\pm$ 0,35	2,96 $\pm$ 0,38	4,44 $\pm$ 0,36	4,42 $\pm$ 0,32	4,15 $\pm$ 0,37
1–8-я				$P<0,001$	$P<0,001$	$P<0,001$	$P<0,001$	$P<0,001$	$P<0,001$

Примечание: P во всех возрастных группах рассчитан по отношению к исходному значению.

В 7-й и 8-й возрастных группах разница между частотой сердечных сокращений на вращение и стоп-стимул $60^{\circ}/с$ и исходным ее значением имела отрицательный знак. Если в первых 4 группах изменения частоты сердечных сокращений на вращение и стоп-стимул $60^{\circ}/с$, а также на стоп-стимул $30^{\circ}/с$ относительно исходных значений были достоверными (наибольшая степень достоверности отмечена в 3-й и 4-й возрастных группах), то в старших (начиная с 5-й группы) даже на максимальный стимул они оказались недостоверными. На первый взгляд, создавалось впечатление, что организм стареющего человека сравнительно ровно реагирует на увеличение вестибулярного стимула и готов выдерживать большие нагрузки на вестибулярный аппарат. Однако это не так. Значительное уменьшение у 50-летних испытуемых абсолютных значений прироста частоты сердечных сокращений на возрастающие стимулы свидетельствовало об обратном – снижении потенциальных возможностей организма выдерживать нарастание вестибулярной нагрузки. Отрицательные абсолютные величины изменения частоты сердечных сокращений на вращение и стоп-стимул $60^{\circ}/с$ у людей в 70–80 лет были ужестораживающим признаком возможного срыва у них адаптационных возможностей. В этом убеждает нас случай развития коллапса у здорового испытуемого 82 лет на вращение $90^{\circ}/с$ при выполнении предварительных исследований с целью определения оптимальных режимов надпороговой купулометрии. Указанные обстоятельства заставили нас ограничиться максимальным вращательным стимулом $60^{\circ}/с$ и соблюдать соответствующие меры предосторожности при вестибулометрическом обследовании лиц пожилого и старческого возраста. Эти данные указывают на значительные качественные изменения функционального состояния вегетативной нервной системы у лиц этих возрастных групп, отличительной особенностью которых является преобладание парасимпатического ответа на значительное внешнее воздействие, что указывает на трофотропную перестройку стареющего организма. Однако и она протекает, к сожалению, в рамках все более суживающегося динамического постоянства среды организма и менее стабильной системной его организации.

■ ВЫВОДЫ

1. Оптимальный уровень подвижности вестибуловегетативной реакции, а также высокая выносливость организма к нарастающей вестибулярной нагрузке у здоровых людей сохраняются до 40–50 лет.
2. В пожилом и старческом возрасте, несмотря на феномен увеличения вестибулосоматической реакции, способность организма человека выдерживать вестибулярную нагрузку уменьшается. С угасанием выраженности вестибулярной реакции, на фоне снижающейся реактивности центрального и периферического отделов вестибулярного анализатора значительно уменьшается выносливость организма к нагрузке на вестибулярный аппарат.
3. При проведении вестибулометрии у пожилых и старых людей с использованием вращательного теста необходимо контролировать у них состояние сердечно-сосудистой системы. В качестве индикатора целостной реакции организма на вестибулярный стимул может использоваться регистрация изменения частоты сердечных сокращений.

4. При отсутствии адекватного увеличения частоты сердечных сокращений на возрастание вестибулярного стимула, более того, при уменьшении частоты сердечных сокращений относительно исходного значения следует с максимальными мерами предосторожности завершить исследование либо прекратить его и в последующем воздержаться от дальнейшего увеличения вестибулярной нагрузки.
-

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Lilenko S.V., Yanov Yu.K. Optimization of diagnosis and treatment of vestibular dysfunction. *Mat. II St. Petersburg Forum of Otorhinolaryngologists of Russia*. 2013. P. 180–181.
2. Matkovski G.M., Migleeva T. Algorithm for the study of hearing and vestibular analyzer in the office of an otorhinolaryngologist in a polyclinic. *New technologies in otorhinolaryngology*. 2016:154.
3. Nasretdinova M.T., Nabiev O.R. Features of manifestation of optokinetic nystagmus in Meniere's disease. *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology*. 2020;14(4):7319–7321.
4. Yuntao Li, Yuting Zhang, Guoxing You, Danwen Zheng, Zhipeng He, Wenjie Guo, Kim Antonina, Ziyadullaev Shukhrat, Banghan Ding, Jie Zan, Zhongde Zhang. Tangeretin attenuates acute lung injury in septic mice by inhibiting ROS-mediated NLRP3 inflammasome activation via regulating PLK1/AMPK/DRP1 signaling axis. *Inflammation Research*. 2023;73:47–63.
5. Indiaminov S.I., Kim A.A. Epidemiological aspects and a current approach to the problem of carbon monoxide poisoning. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2020;6(4):4–9.
6. Solovykh E.A., et al. Comparative analysis of methods for evaluation of stabilometry parameters. *Bulletin of experimental biology and medicine*. 2011;152(2):266–272.
7. Scoppa F., et al. Clinical stabilometry standardization: basic definitions–acquisition interval–sampling frequency. *Gait posture*. 2013;37(2):290–292.