

В.И. Усачёв

**СТАБИЛОМЕТРИЧЕСКИЕ
ПАРАМЕТРЫ**

памятка начинающему пользователю
издана при участии Сливы С.С.

ББК Р

Усачёв В.И.



Слива С.С.

Автор:

Владимир Иванович Усачёв — оториноларинголог, вестибулолог, постуролог. Профессор кафедры оториноларингологии Российской Военно-медицинской академии, заместитель директора Института Остеопатической медицины по научной работе (Санкт-Петербург), разработчик методологии компьютерной стабилотрии ЗАО ОКБ «РИТМ» (Таганрог). Доктор медицинских наук, профессор.

Слива Сергей Семёнович — руководитель научно-технического направления «Средства и методы компьютерной стабیلотрии» в ЗАО «ОКБ «Ритм».

Памятка предназначена для тех, кто начинает освоение компьютерной стабилотрии и испытывает затруднение при выборе и использовании стабилотрических параметров.

В ней приведена характеристика основных классических параметров, а также новых параметров, разработанных в ОКБ «Ритм» на основе принципа анализа векторов статокинезиграммы, с описанием их достоинств и недостатков. Параметры рассматриваются во взаимосвязи с тоническим и динамическим компонентами функции равновесия тела.

Первый отечественный компьютерный стабилограф был разработан ЗАО «ОКБ «РТИМ» (г. Таганрог) в 1990 г. под руководством Сливы Сергея Семеновича и изготовлена опытная партия компьютерных стабилографов первого поколения. Только в 2000 г. компьютерный стабилограф 4-го поколения был передан на Государственные технические и медицинские испытания для сертификации. В 2001 г. впервые в России ЗАО «ОКБ «РИТМ» был выдан сертификат на компьютерный стабилоанализатор с биологической обратной связью «Стабилан-01-2» и разрешение на его серийный выпуск. При этом удалось не только ликвидировать отставание от зарубежных аналогов на 10-15 лет, но по целому ряду технических характеристик и разработанных стабилотрических показателей даже опередить их.

В итоге в ЗАО «ОКБ «РТИМ» было сформировано научно-техническое направление «Разработка средств и методов компьютерной стабилографии».

© В.И.Усачёв, 2011

© ЗАО «ОКБ «Ритм», 2011

Оглавление в терминах

Физиологические механизмы поддержания вертикального положения тела	5
<i>Тоническая система установки тела</i>	6
<i>Система динамической стабилизации</i>	6
<i>Постуральная система</i>	6
Предмет стабилметрической диагностики.....	7
<i>Центр давления стоп</i>	7
<i>Общий центр масс</i>	7
<i>Стабилограмма</i>	7
<i>Спектральный анализ стабилограмм</i>	8
<i>Статокинезиграмма</i>	9
<i>Установка стоп</i>	11
<i>Площадь статокинезиграммы</i>	13
<i>Средний радиус отклонения тела</i>	15
<i>Средняя скорость перемещения центра давления</i>	15
<i>Векторная статокинезиграмма</i>	15
<i>Векторы скорости статокинезиграммы</i>	16
<i>Качество функции равновесия</i>	18
<i>Фактор динамической стабилизации</i>	19
<i>Индекс динамической стабилизации</i>	21
О нормах стабилметрических показателей и стабилметрической оценке эффективности лечения.....	23

Физиологические механизмы поддержания вертикального положения тела

Основу функции равновесия тела составляют открытые в начале XX века Рудольфом Магнусом, де Клейном, Радемакером, де Бурле, де Гуве и другими представителями физиологической школы в Утрехте (Голландия) тонические рефлексy положения и тонические рефлексy выпрямления (Магнус Р., 1962).

Тонические рефлексy положения перераспределяют тонус тела и конечностей сообразно действию вектора гравитации и взаиморасположения частей тела, а тонические рефлексy выпрямления способствуют поддержанию вертикальной позы. Оба типа рефлексов обеспечивают определённую ригидность тела человека, ограничивая степень свободы движения в суставах.

Находясь в вертикальном положении, тело представляет собой систему напряжённой целостности, совершающую колебания преимущественно в шарнире, объединяющем голеностопный и таранно-пяточный суставы.

Однако медленной тонической системы недостаточно для поддержания равновесия тела в вертикальном положении. Для этого существует ещё система динамической стабилизации. Благодаря центральному нервному механизму перераспределения усилий на различные группы мышц нижних конечностей посредством обратной связи от их проприоцепторов, а также от вестибулярного аппарата и сетчатки глаз эта система обеспечивает плавное перемещение тела в достаточно ограниченных пределах, составляющих в норме всего 1% от площади полигона опоры стоп.

Эта система противодействует различным дестабилизирующим факторам: физической неустойчивости тела, дыхательным экскурсиям, гидродинамическим эффектам

от перемещения крови, перистальтике кишечника, краниосакральному ритму, мотильности тканей и другим биоритмам с периодом от нескольких секунд до нескольких минут.

Процесс отклонения тела человека от вертикали является информационно абсолютно необходимым для восстановления постоянно утрачиваемого равновесия. С этой точки зрения у здорового человека функцию равновесия можно охарактеризовать как «устойчивое неравновесие», а у больного – как «неустойчивое равновесие». На самом деле, и в том и в другом случае речь идёт о разном уровне динамической стабилизации вертикального положения тела.

Таким образом, поддержание вертикального положения тела обеспечивают совместно *тоническая система установки тела* и *система его динамической стабилизации*. Обе эти системы содружественно функционируют в рамках единой *постуральной системы*.

Предмет стабилметрической диагностики

Компьютерные стабิโลграфы анализируют перемещение *центра давления стоп пациента* на платформу прибора. Центр давления условно принято считать проекцией *общего центра масс тела*, хотя это не совсем так. Дело в том, что стопа обладает тремя функциями. Это опора, один из основных сенсорных элементов постуральной системы, а также основной её эффектор. Стопа обладает регулирующей функцией, в то время как тело является регулируемым элементом. Перемещение центра давления всегда опережает перемещение центра масс и частота колебаний центра давления выше частоты колебаний центра масс. Но эти теоретические аспекты не имеют отношения к трактовке результатов стабилметрии.

Первый стабิโลграф был разработан Е.Б. Бабским, В.С. Гурфинкелем, Э.Л. Ромелем и Я.С. Якобсоном в 1951 году. Кстати, эти авторы еще тогда назвали свой способ не оценкой функции равновесия, а способом исследования *устойчивости стояния человека*, стараясь подчеркнуть динамичность этого процесса.

В то время не было компьютеров и регистрацию колебаний тела проводили с помощью двухкоординатного самописца отдельно во фронтальной и сагиттальной плоскостях. В результате такой регистрации графически получалось две *стабิโลграммы* (рис. 1).

Вручную анализировались амплитудно-частотные характеристики стабิโลграмм, оценивались их длина, средняя скорость и другие параметры.

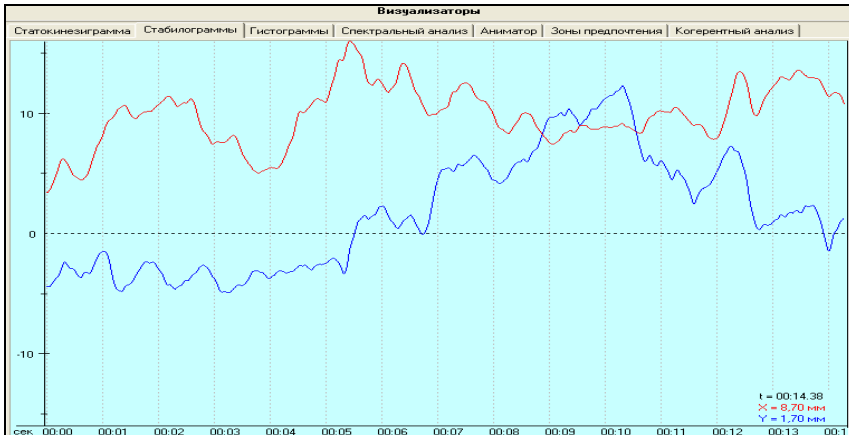


Рис. 1. Стабилограммы

X - колебания центра давления во фронтальной плоскости,
 Y - колебания центра давления в сагиттальной плоскости.

Необходимо отметить, что разделение интегрального перемещения центра давления на две плоскости является довольно условным. Это может быть оправдано лишь особенностью биомеханики стоп при биподальной опоре, которая обеспечивает возможность большего перемещения тела в сагиттальной плоскости, чем во фронтальной.

Тем не менее, только при таком подходе имеется возможность проведения **спектрального анализа** стабиллограмм методом быстрого преобразования Фурье. И это, безусловно, преимущество анализа стабиллограмм. С помощью него хорошо регистрируется тремор.

При некоторых патологических процессах, обуславливающих выраженное ухудшение эластических и демпфирующих свойств скелетно-мышечно-фасциальной системы, например ригидность позвоночника, в спектре может наблюдаться пик, соответствующий частоте дыхания ($\approx 0,2$ Гц).

При выраженной патологии сердца может наблюдаться пик, соответствующий частоте сердечных сокращений -1 Гц.

При проведении спектрального анализа есть и ограничения. Длительность исследования должна быть на порядок больше периода изучаемого процесса. Например, чтобы зарегистрировать медленные постуральные колебания с периодом в одну минуту длительность исследования должна составлять десять минут. Количество отсчётов должно быть не менее 256. Этим, в частности, регламентировалась длительность исследования в 51,2 секунды при частоте дискретизации 5 Гц.

У современных стабิโลграфов частота дискретизации сигнала составляет 40-50 Гц. Но некоторые исследователи, выбирая длительность пробы, до сих пор руководствуются не задачами исследования, а магической цифрой 51,2 из французских норм по стабилотрии 1985 г.

Компьютерная стабилотрия позволяет проводить и анализ стабิโลграмм и анализ *статокинезиграмм* — траектории перемещения центра давления стоп на горизонтальной плоскости опоры (рис. 2).

Эта задача, на первый взгляд, представляется довольно простой. Элементарными характеристиками статокинезиграмм являются её площадь, длина, средний радиус отклонения её точек от центра. Легко рассчитать среднюю скорость перемещения центра давления, разделив длину статокинезиграмм на время исследования.

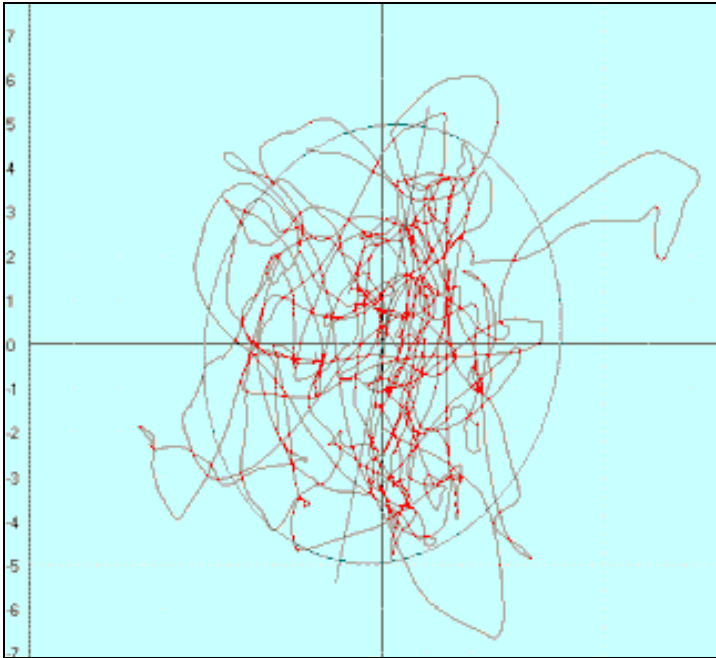


Рис. 2. Статокинезиграмма

Но проблема состоит в том, чтобы ответить на следующие вопросы:

- как ассоциировать отдельные стабилметрические параметры со статическим (тоническим) и динамическим компонентами постральной системы;
- о чём свидетельствует изменение того или иного параметра в большую или меньшую сторону;
- существуют ли нормы для стабилметрических параметров;
- как оценивать эффективность того или иного вида лечения?

И это не считая многих нюансов в различных областях применения стабилметрии.

Начнём с самого простого — с оценки статического компонента постральной системы.

Принимая центр статокинезиграммы за проекцию центра масс тела можно судить о его отклонении от нулевой точки системы координат (рис. 3).

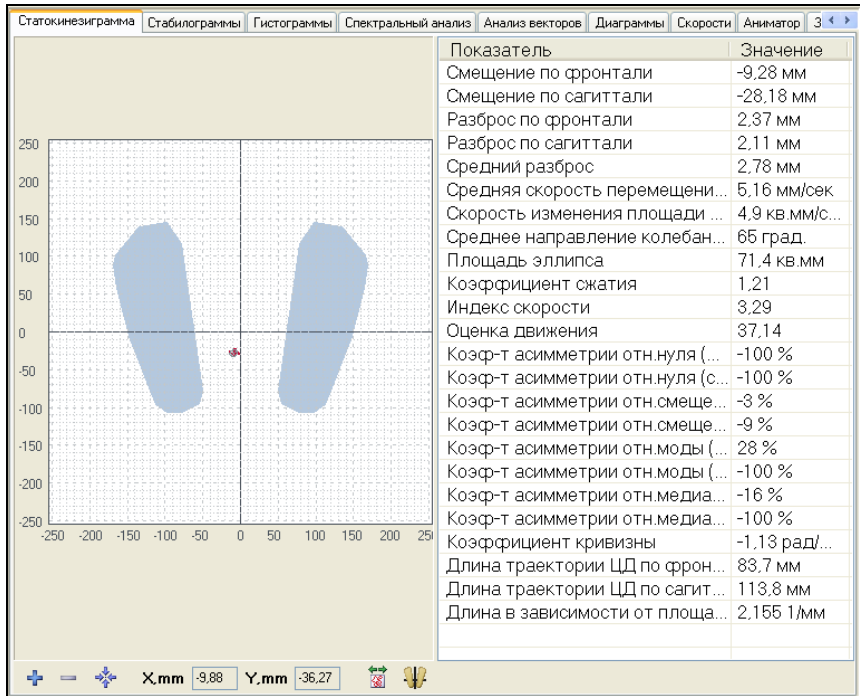


Рис. 3. Смещение центра давления стоп на 9,28 мм влево и на 28,18 мм назад (две верхних строки протокола)

Для того чтобы получить корректные сведения о смещении центра давления, необходимо соблюдать правильную **установку стоп**. Мы придерживаемся мнения о необходимости исследования пострального тонуса в клинической практике в Европейской стойке, предполагающей расположение стоп под углом 30^0 . Для этого достаточно встать на платформу стабилорафа, расположив внутренние края стоп по линиям разметки. Но это обеспечивает корректность данных о смещении центра давления только во фронтальной плоскости. Для получения таких сведений

в сагиттальной плоскости мы предлагаем выставлять стопы на фронтальной оси разметки стабиллографа по бугристости эпифиза пятой плюсневой кости (Tuberositas ossis metatarsalis V), которая является нижней реперной точкой вертикали Барре (рис. 4.)

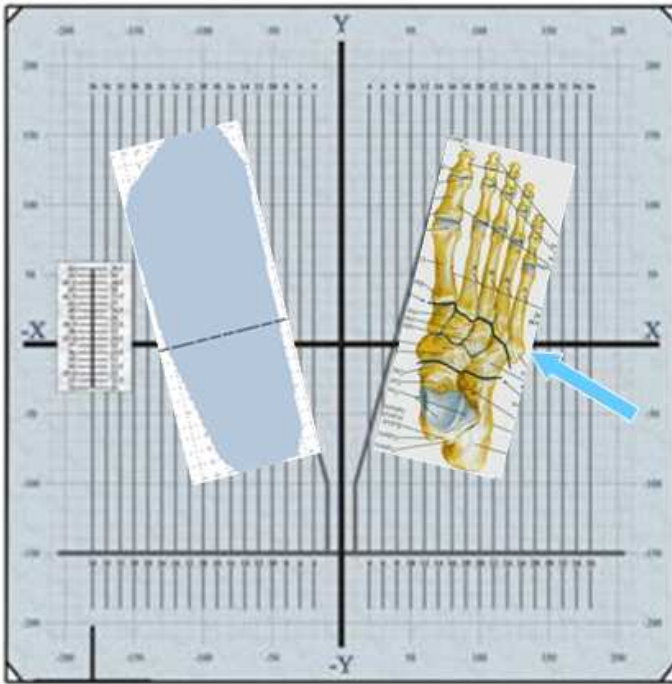


Рис. 4. Схема установки стоп на платформе стабиллографа под углом 30° и по бугристости эпифиза пятой плюсневой кости (указана стрелкой)

Эта бугристость легко пальпируется под кожей при проведении пальцем по наружному краю стопы. Перед установкой пациента на платформу необходимо поставить маркером метку на коже над этой бугристостью, по которой сам пациент будет выставлять стопы по фронтальной оси разметки.

С оценкой динамической стабилизации вертикального положения тела всё гораздо сложнее. Дело в том, что все

традиционные параметры оценки статокинезиграммы, отражают не динамическую стабилизацию, а скорее устойчивость тела.

Площадь статокинезиграммы (СКГ) характеризует итоговую зону перемещения центра давления. Её принято оценивать по площади эллипса, включающего 90% точек статокинезиграммы (рис. 2). Несмотря на кажущуюся информативность этого параметра, в нём кроются некоторые существенные недостатки.

Площадь СКГ зависит от её формы. При одинаковой длине площадь вытянутой СКГ будет больше площади СКГ округлой формы (рис. 5). Эти различия тем больше, чем меньше длительность исследования.

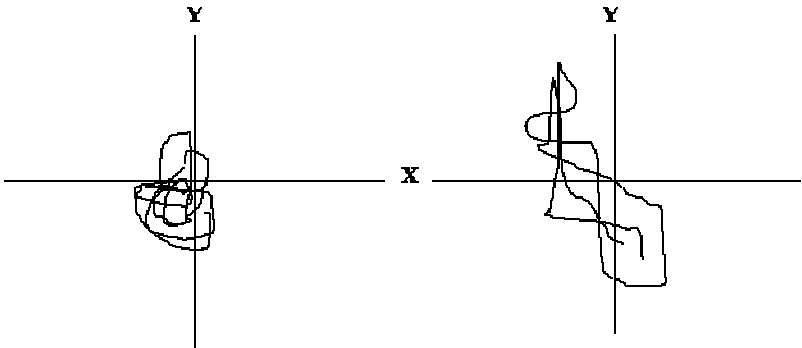


Рис. 5. Различие в площади статокинезиграмм при одинаковой их длине

Площадь СКГ нестабильна при проведении повторных исследований, что обусловлено различными случайными факторами. При проведении длительного исследования наблюдается такое же явление (рис. 6). Причём, по характеру динамики площади СКГ это нельзя объяснить утомлением.

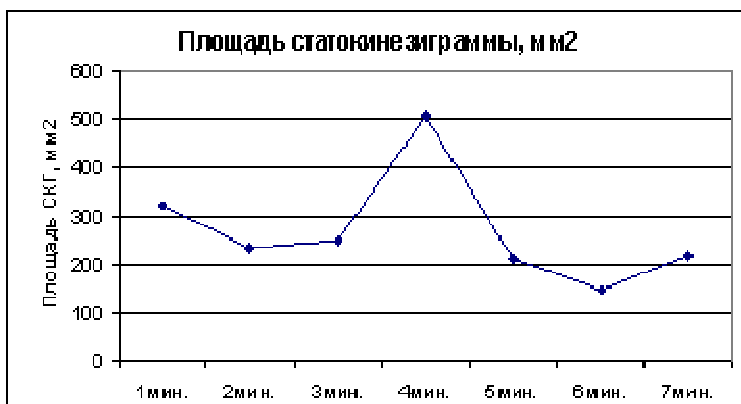


Рис. 6. Динамика минутных значений площади статокинезиграмы

Необходимо ещё учесть случайность моментов начала и окончания регистрации, вносящих свой вклад в непредсказуемость результата.

Площадь СКГ закономерно увеличивается во времени, что связано с постоянной сменой полигона опоры и медленными поструральными колебаниями, обеспечивающими эргономичность поддержания вертикального положения тела (рис. 7).

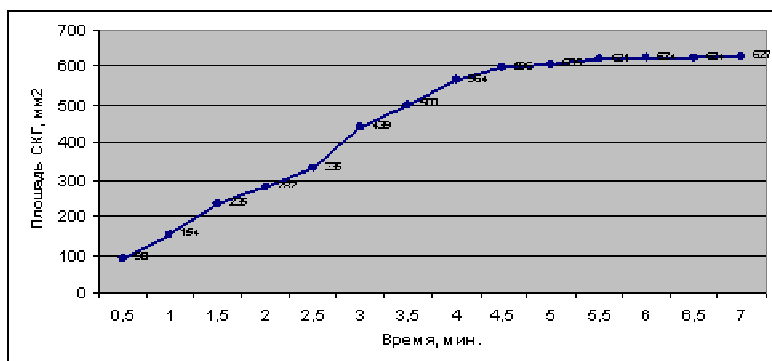


Рис. 7. Динамика суммарной площади статокинезиграмы

Все приведенные особенности статокинезиграмм не позволяют отнести её к надёжным стабилметрическим параметрам, к тому же она абсолютно не отражает динамика перемещения центра давления. Вероятно, по ней можно лишь ориентировочно судить о функции равновесия.

Аналогичными недостатками обладает и ***средний радиус отклонения тела***, определяемый как среднее значение отклонения всех точек статокинезиграмм от её центра.

Так же как при одинаковой длине СКГ её площадь может быть различной, так и при одинаковой площади СКГ её длина может быть различной.

Пожалуй, единственным надёжным стабилметрическим параметром является ***средняя скорость перемещения центра давления***, то есть отношение длины статокинезиграмм ко времени исследования. К тому же этот параметр в какой-то степени отражает динамику процесса.

В 1983 г. японский оториноларинголог Т. Okuzono предложил новый подход к оценке статокинезиграмм, названный им ***векторной статокинезиграммой***. Так как информация о координатах центра давления поступает в компьютер дискретно, имеется возможность, соединив предыдущую точку с последующей точкой, представить статокинезигрammu в виде ансамбля векторов (рис. 8).

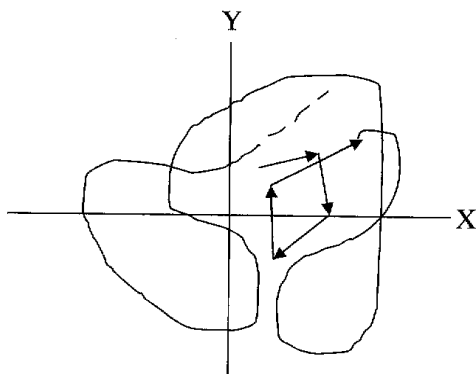


Рис. 8. Векторы статокинезиграмы

Т.Окузоно свёл все векторы статокинезиграмы в центр искусственной системы координат и получил свою векторную статокинезиграму (рис. 9). Будучи отоларингологом, Т.Окузоно полагал, что при поражении вестибулярного аппарата ушного лабиринта преобладают колебания во фронтальной плоскости, а при центральных поражениях — в сагиттальной плоскости. Несмотря на такой упрощённый взгляд на стабилметрическую дифференциальную диагностику периферических и центральных вестибулярных нарушений, сам подход анализа векторов СКГ является новаторским и весьма перспективным.



Рис. 9. Статокинезиграма (слева) и векторная статокинезиграма (справа) - по Окузоно Т., 1983

По сути дела мы имеем дело с **векторами скорости СКГ**. Длина вектора за единицу времени, заданную частотой

дискретизации, есть не что иное, как скорость. Кроме того, изменение направления последующего вектора относительно предыдущего даёт представление об угловой скорости перемещения центра давления.

Если проанализировать функцию распределения значений линейной скорости векторов, то она окажется экспоненциальной (рис. 10).

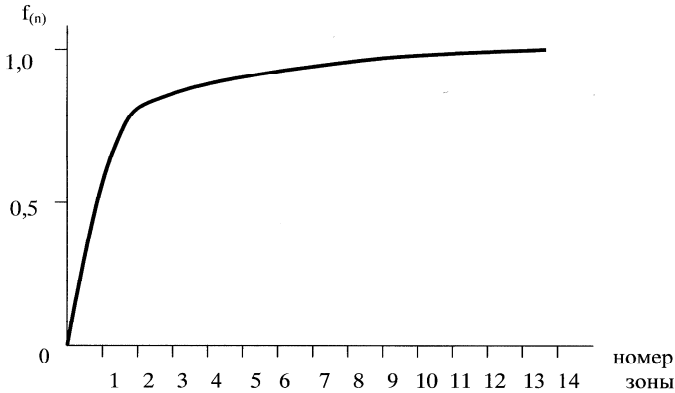


Рис. 10. Экспоненциальный закон распределения линейной скорости векторов

Коэффициент крутизны экспоненты λ представляет собой число, например 0,174, которое мало о чём говорит специалисту. Поэтому для анализа закона распределения линейной скорости векторов был применён графический способ (рис. 11).

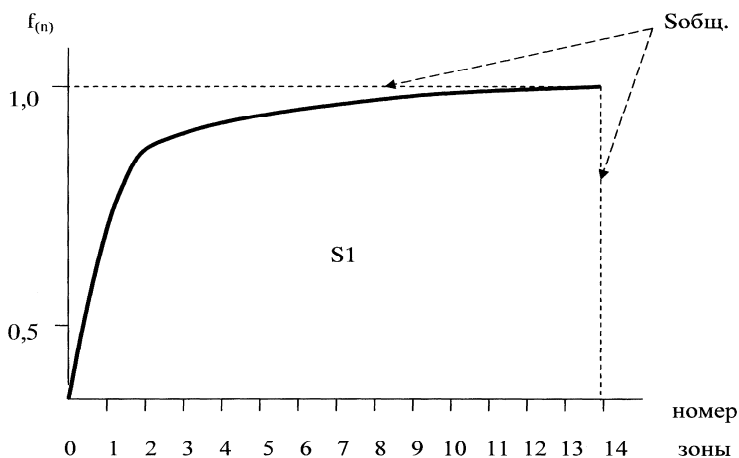


Рис. 11. Графический способ анализа закона распределения значений линейной скорости векторов стахокинезиграммы

Если площадь под экспонентой S_1 разделить на общую площадь $S_{общ.}$ и умножить на 100%, то получится показатель в процентах, который был назван **Качеством Функции Равновесия – КФР**. Он не зависит от площади СКГ и интегрально характеризует динамический компонент поддержания вертикального положения тела. Чем круче экспонента, тем КФР больше, чем она более пологая, тем он меньше. Эта закономерность хорошо проявляется при стабилметрическом тесте Ромберга (рис. 12).

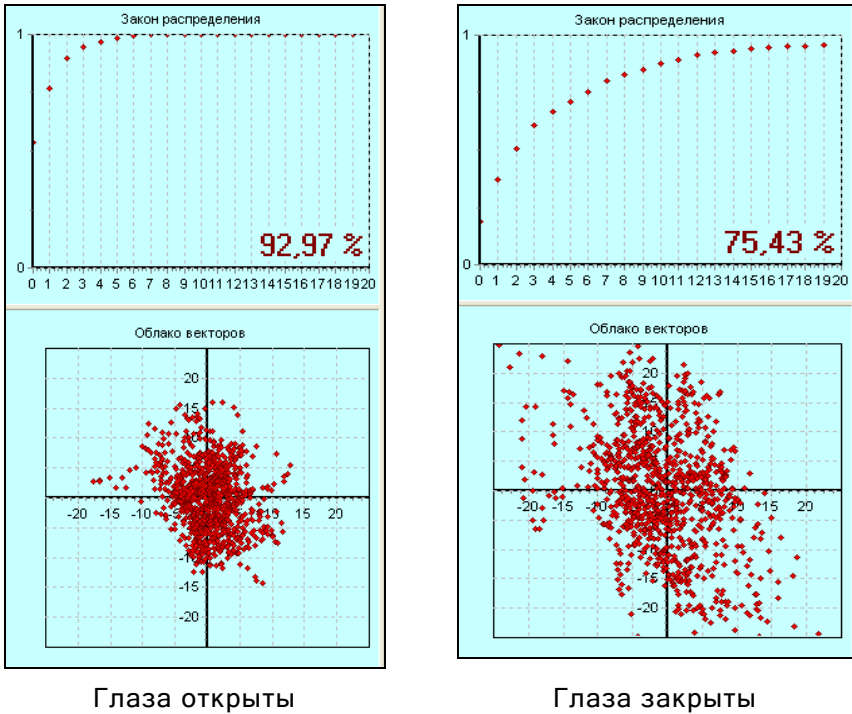


Рис. 12. Качество функции равновесия с открытыми и закрытыми глазами

В отличие от площади статокинезиграмы КФР значительно менее вариабелен (рис. 13). Он хорошо зарекомендовал себя за 10 лет применения, как в клинической практике, так и при оценке функционального состояния человека.

Тем не менее, КФР характеризует только линейную скорость перемещения центра давления. Для того, чтобы учесть и его угловое перемещение был предложен другой показатель — **Фактор Динамической Стабилизации** вертикального положения тела (ФДС).

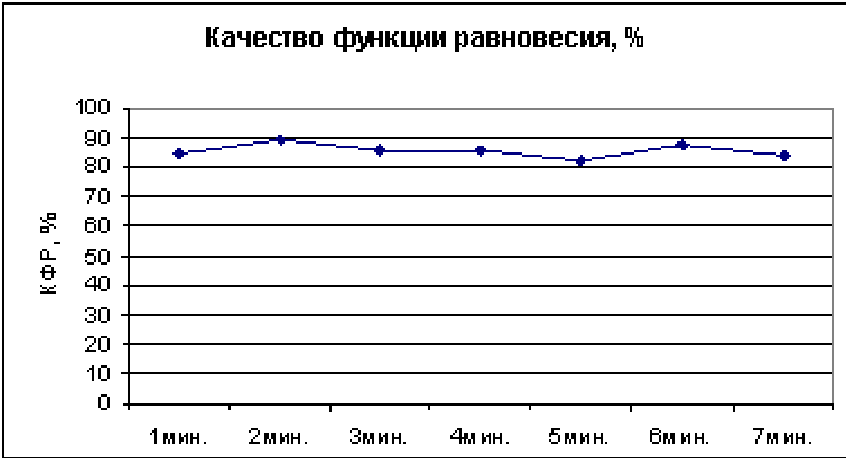


Рис. 13. Поминутная динамика КФР

Если представить себе два следующих друг за другом вектора АВ и ВС и поместить их в центр искусственной системы координат, получив векторограмму, то вектор АВ при перемещении к вектору ВС заметёт сектор АВС, который и является Фактором динамической стабилизации (рис. 14).

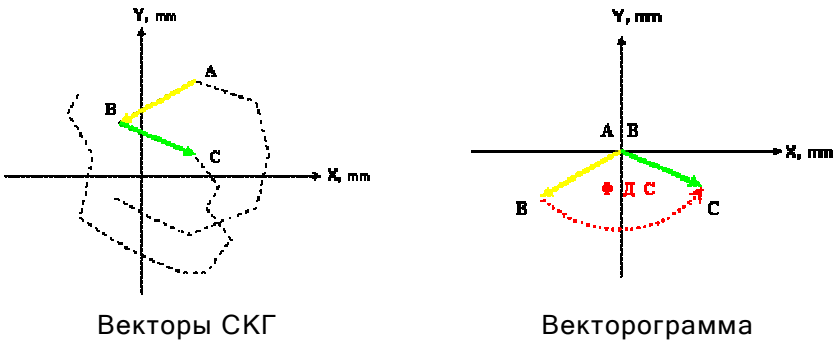


Рис. 14. Фактор динамической стабилизации

При рассмотрении динамики ФДС с открытыми и закрытыми глазами в течение 45 секунд (2250 точек отсчёта) отчётливо

наблюдается разница в динамической стабилизации (рис. 15). При открытых глазах амплитуда вариации ФДС значительно меньше, чем при закрытых глазах. При закрытых глазах наблюдаются высокоамплитудные всплески ФДС, что как раз и характеризует нарушение динамической стабилизации вертикального положения тела.

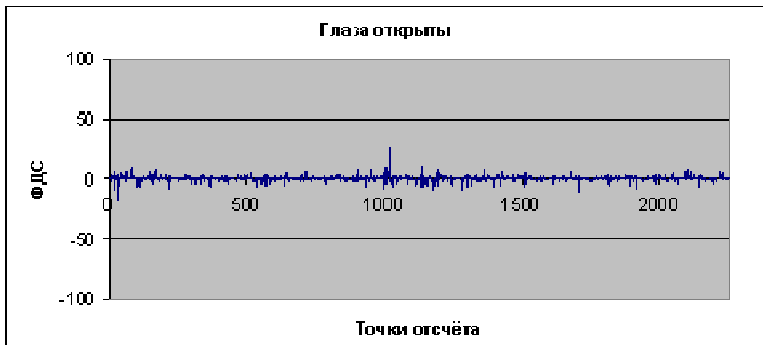


Рис. 14. Динамика Фактора Динамической Стабилизации при открытых глазах

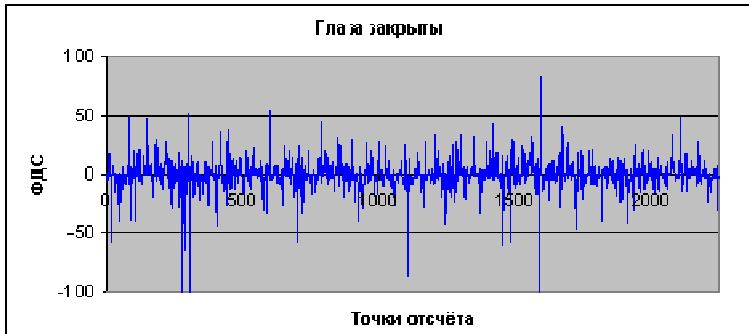


Рис. 14. Динамика Фактора Динамической Стабилизации при закрытых глазах

Математической мерой вариативности процесса является дисперсия. Выразив её по специальной формуле в процентах для ФДС получается **Индекс Динамической Стабилизации (ИДС)**.

Он так же как КФР является интегральным показателем динамического компонента поддержания вертикального положения тела, но в отличие от КФР характеризует как линейное, так и угловое перемещение центра давления.

Кроме того, по дисперсии ФДС имеется возможность оценки статистической значимости различия динамической стабилизации одного пациента по F-критерию Фишера при различных условиях функционирования постуральной системы и на разных этапах обследования.

Ни один из ранее предложенных стабилметрических параметров не позволяет этого сделать.

Таким образом, статический (тонический) компонент функции постуральной системы характеризует отклонение центра статокинезиграммы от центра координат во фронтальном и сагиттальном направлении.

Динамический компонент функции постуральной системы характеризуют средняя скорость перемещения центра давления, Качество Функции Равновесия и Индекс Динамической Стабилизации вертикального положения тела.

О нормах стабилметрических показателей и стабилметрической оценке эффективности лечения

Возможно, для большинства будет шокирующим, что наша школа стабилметрии придерживается мнения о том, что среднестатистических норм для стабилметрических показателей нет. Это связано с тем, что индивидуальные различия всех из них достаточно велики и при сравнении группы здоровых лиц с группой больных нет никакой гарантии получить статистически значимые различия, если эта патология не выражается в крайней степени нарушения функции равновесия. На практике пользователь при проведении стабилметрического исследования желает сравнивать индивидуальные показатели пациента с кем-то выведенными нормами, что вообще весьма проблематично.

Мы придерживаемся индивидуального подхода в оценке стабилметрических показателей.

Отклонение центра статокинезиграммы от центра координат, особенно во фронтальной плоскости, само по себе свидетельствует о нарушении постурального тонуса. По средней скорости перемещения центра давления, КФР и ИДС мы можем судить об уровне динамического компонента функции постуральной системы. Наиболее просто это сделать по КФР и ИДС, так как они выражаются в процентах. Низкие значения этих показателей могут отнюдь не свидетельствовать о патологии, а отражать низкое качество функционирования постуральной системы, данное от природы.

Реально мы имеем дело со здоровым или больным человеком, пришедшим на приём. Установив у него определённое тоническое отклонение тела и уровень динамической стабилизации,

последние принимаются за исходные значения. После этого здоровый человек работает (спортсмен тренируется), больной лечится. Отслеживание динамики стабилметрических показателей у здорового человека даст возможность судить об изменении его функционального состояния, а у больного — судить об эффективности лечения.

Статистическую значимость различия в динамической стабилизации просто оценить по дисперсии ФДС с помощью F-критерия Фишера.

Можно оценить и изменения в наблюдаемой группе целиком. В таком случае следует пользоваться t-критерием Стьюдента для связанных выборок, предполагающим сравнение изменения значений параметров каждого индивидуума в группе самого с собой (критерий дельта). Вполне достаточно того, что в основной группе получатся статистически значимые различия, а в контрольной нет, или степень значимости различий будет отличаться.

Наличие статистически значимых различий стабилметрических параметров между группами пациентов с разной патологией теоретически возможно, но маловероятно. Оно может быть (или не быть) случайным.

О нормах стабиллографических показателей в оценке профессиональной и спортивно-оздоровительной деятельности человека

Показатели результатов стабиллографических обследований позволяют формировать достаточно строгие нормативы для работников таких профессий, в которых проводится всесторонний отбор по физическим и психофизиологическим показателям, получаемым различными методами контроля. В эту категорию людей входят космонавты, лётчики, сотрудники спецназа и МЧС, спортсмены и лица других профессий, деятельность которых предъявляет повышенные требования уровню функционирования статокINETической системы.

С этой целью в составе программы методического обеспечения компьютерного стабиллоанализатора с биологической обратной связью «Стабилан-01-2» подпрограмма «Допусковый контроль», которая оценивает качество функции равновесия (КФР) при открытых, закрытых глазах и при активной минимизации колебаний тела.

Эта методика была отработана в 2003 г. при обследовании в течение года лётного состава полка военно-транспортной авиации.

В этой подпрограмме предусмотрена также возможность формирования индивидуальных нормативов, формируемых на основе 3-5 независимых стабиллографических обследований. Эти нормативы более строго определяют индивидуальные возможности человека и находят применение не только в «Допусковом контроле», но и в оценке динамики лечения и степени восстановления здоровья человека в санаторно-курортном лечении, а также для оценки динамики успешности тренировки спортсмена.

В 2011 г. ГНИИ военной медицины (г. Москва) завершает 3-х летний цикл психофизиологического сопровождения группы курсантов высшего военно-лётного училища в г. Краснодаре.

С этой целью в начале и конце каждого семестра проводились широкие физиологические, психологические и стабิโลграфические обследования курсантов одной группы. В итоге стабิโลграфические обследования оказались наиболее эффективными как по времени обследования, так и по значимости, а также надёжности получаемых показателей. Следует отметить, что в случаях принятия решения об отчислении курсанта по состоянию здоровья учитывалась динамика стабิโลграфических показателей и их отклонениях от профессиональных нормативов.

Были проведены обследования в трамвайном парке г. Санкт-Петербурга, где не предусмотрен профотбор. Попытка сформировать профессиональные нормативы по стабิโลграфическим показателям в этом случае не увенчалась успехом, так как диапазон показателей КФР составил от 15 до 98%. Однако, индивидуальные нормативы и здесь оказались эффективными. Следует отметить уникальную особенность проведения стабิโลграфического «Допускового контроля» - это фактически отсутствие подготовки человека к тестированию на стабิโลграфе, так как на теле испытуемого не крепятся ни датчики, ни электроды.

Методология определения профессиональных и индивидуальных стабิโลметрических нормативов начала применяться в службах психофизиологического обеспечения безопасности на железных дорогах ОАО «РЖД» и на некоторых электроэнергетических предприятиях.

По комфортности, информативности, времени обследования, чувствительности, а также по наглядности представления

результатов, стабиллографический метод превосходит все существующие методы оценки психофизиологического состояния.

Эта методика защищена патентом на изобретение № 2165733 РФ, МКИ А 61В 5/130, 5/00. Способ оценки общего функционального состояния человека.

В настоящее время другие (как отечественные, так и зарубежные) производители стабиллометрических платформ не используют методик определения профессиональных и индивидуальных стабиллометрических нормативов.

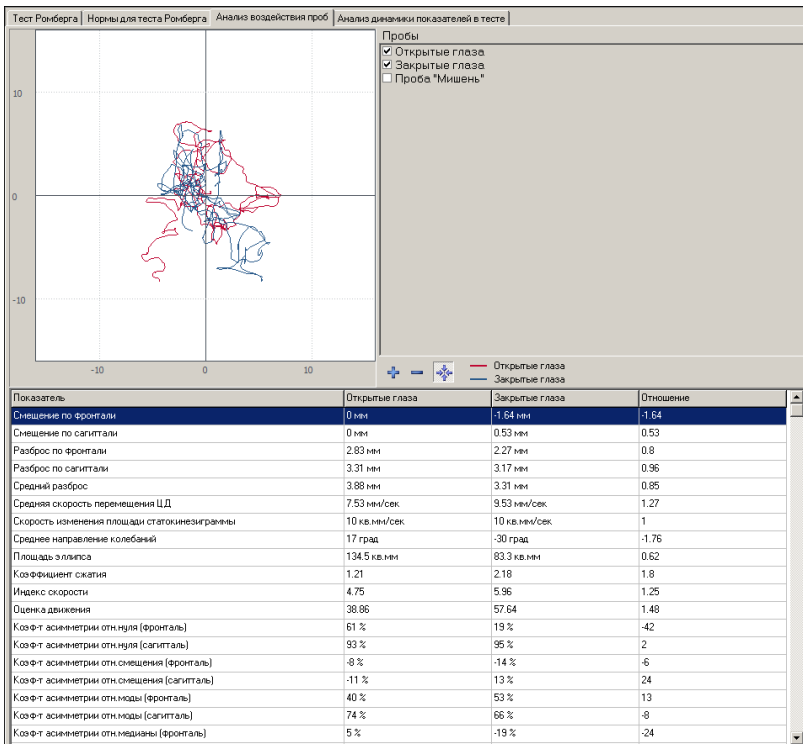


Рис. 15. Пример представления стахокинезиграмм и стабиллографических показателей в методике «Допусковый контроль»

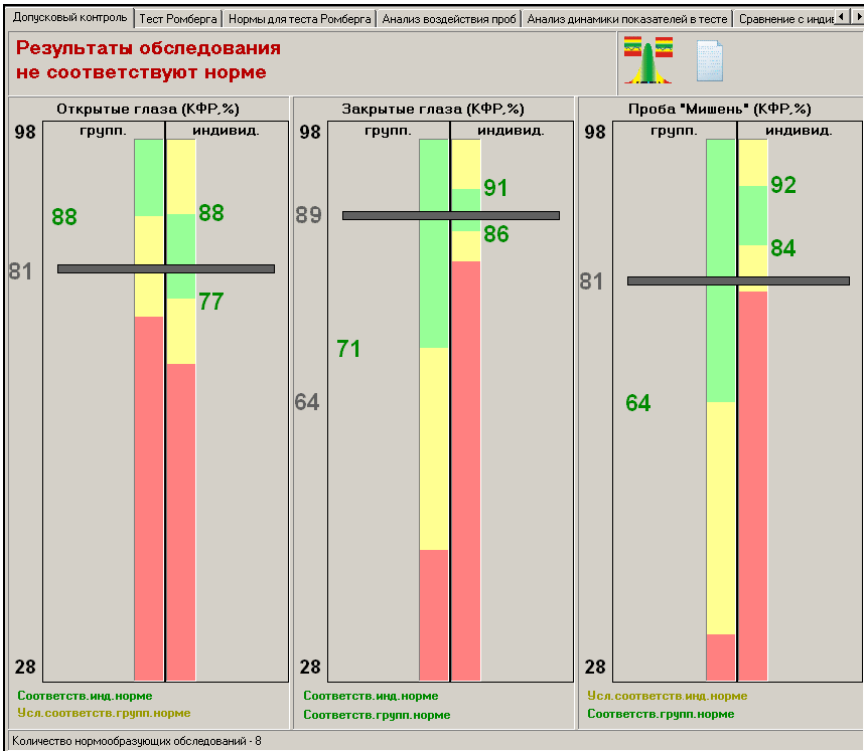


Рис. 16. Пример представления профессиональных норм и индивидуальных показателей в методике «Допусковый контроль»

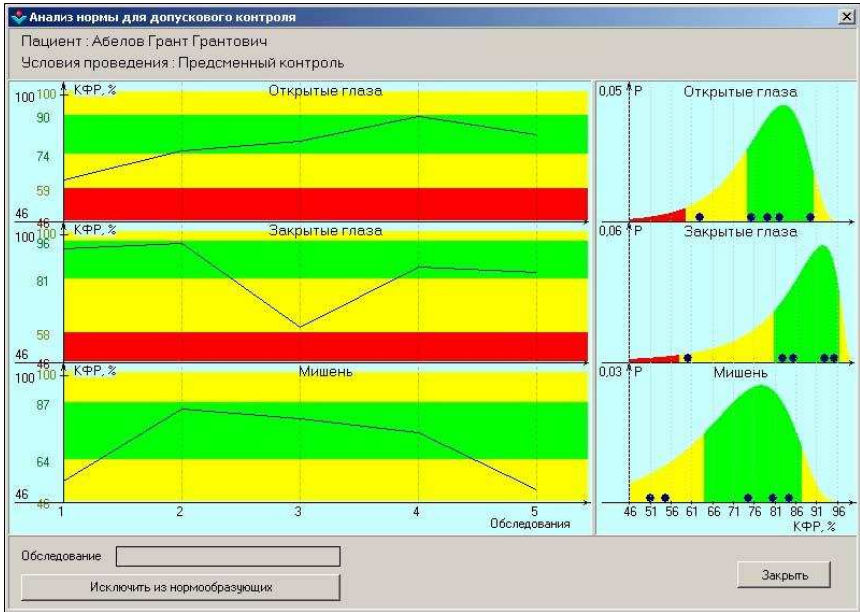


Рис. 17. Пример динамики индивидуальных показателей на фоне индивидуальных нормативов для методики «Допусковый контроль»