

Petr I. Kurilko,
ScD, researcher,
Ukrainian National Scientific and Technical Center,
Institute of Plasma Physics;

Nikolay F. Posokhov,
MD, neurosurgeon,
Institute "Narcology Neurology and Psychiatry"

Pain Measuring Method

Key words: *anesthesiology, neurology, pain syndrome, hemodynamic, homeostasis, pain index, square point reflection, mathematic expectation, dispersion.*

Annotation: *A newly developed tool, created to measure pain intensity index, is offered to make use of. Having image of PC procedure and presenting a subject of useful innovation, the measuring tool went clinic probation. It's recommended to be made use of in Neurology and Narcology.*

Введение.

В табели о рангах, Боль есть основной показатель нездоровья. Существуют и другие показатели неблагополучия. Такие показатели как, например, жар или озноб. Высокое или, слишком низкое, артериальное давление. Высокий уровень сахара в крови и т.п. Температуру можно измерить градусником, давление – тонометром, уровень сахара измеряется с помощью общего анализа крови. Боль же, до настоящего времени, принято измерять путем опроса! Однако субъективные оценки боли - в ряде случаев - не могут служить ориентиром для анестезиолога, невролога и хирурга. К примеру, пациент, находящийся под наркозом, не в состоянии давать интервью. То же самое можно сказать о невменяемом пациенте. Приступая к сложной операции, хирург должен знать вероятность того, что его больной, благополучно перенесет наркоз и хирургическое вмешательство. Эта вероятность напрямую связана с индивидуальной (объективной) восприимчивостью к боли **F**. По причинам, которые будут указаны ниже, действие боли следует представлять *комплексной функцией* параметров гомеостаза **Q**, включающей как объективную **F**, так и субъективную **R** составляющие восприимчивости в единый комплекс:

$$Q=F+ i\cdot R.$$

При постановке диагноза, лечащий врач обычно учитывает лишь субъективный показатель **R**, хотя требуется (повторяем) знать две, формально не зависимые, характеристики боли, которые не всегда совпадают.

Задача объективизации силы боли была задекларирована более полувека назад. Создание т.н. алгезиметра (**1**) - прибора, измеряющего реакцию человека на раздражение определенных участков кожи электрическим током - было лишь суррогатом объективизации боли. Требовался измеритель аутогенной боли, которую Карлос

Кастанеда назвал бы «Огонь изнутри». Но все попытки создать измеритель аутогенных болей неизбежно оканчивались неудачей, причина которых заключалась в отсутствии научной концепции боли и, главное – в отсутствии математической базы для разработки такого Прибора.

Цель работы, постановка задач.

Целью настоящей работы является построение математической модели болевого синдрома, которая бы привела к созданию виртуального измерительного устройства. В качестве маркеров боли, авторы приняли четыре показателя крови - 1) концентрация эритроцитов, 2) частота пульса, 3) группа крови и - 4) индекс PH.

Метод измерения.

Процессу становления боли силою F , прогрессирующей со временем, можно поставить в соответствие уравнение логистики / точечных отображений (2), где индекс $j = j(t)$ определяет текущее значение переменной z :

$$z_{j+1} = D \cdot z_j \cdot (1 - z_j). \quad (1)$$

Нарастающая со временем сила боли F связана с функцией z линейным соотношением: $F = k \cdot z$, где $k = 0.8$ - постоянный коэффициент. Множитель D есть, определенный ниже, коэффициент т.н. квадратичного отображения Пуанкаре; z - целочисленная функция индекса j . Формулировка итерационного уравнения (1) есть 1-й шаг к решению задачи. Следующий шаг - уточнение целевой функции – равновесного амплитудного значения Силы. • При повторяющихся импульсно-периодических болях, наиболее значимыми - для врача и для пациента - оказывается их пиковое (амплитудное) значение. Определение: максимальное на периоде значение силы боли $U = \max(F)$, соответствующее стационарному решению уравнения (1), мы называем индексом боли. По определению, Индекс боли U есть степенная функция коэффициента D , зависящего от 2-х показателей гемодинамики: $x = x(N, f, p)$ и показателя кислотно-щелочного равновесия крови p :

$$U = \exp(D/h), \text{ где } h = 0.85,$$

$$D = 2.8 \cdot [1 + 0.41 \cdot \sin[b \cdot (x - 0.238) + \Theta]]; \quad (2)$$

$$\Theta = 20 \cdot \pi \cdot \left(\frac{p}{7.34} - 1 \right) + f(x)$$

Первый аргумент $D(x, p)$ получил название обобщенного показателя гемодинамики (3), сокращенно – ОПГ. Величина $\Theta(x, p)$ есть фаза тригонометрической функции «Синус», стоящей в правой части (2), которая включает два слагаемые: $f(x)$ – эмпирическая функция, определенная в разделе “Приложение” и $\Delta = 20 \cdot \pi \cdot [(p/7.34) - 1]$ – т.н. Сдвиг по фазе*; $b = 13.5$ – постоянная. *Note: Можно предполагать, что сдвиг по фазе состоит из постоянной, для каждого пациента, составляющей δ и - переменной ξ , которая определяется состоянием его психики: $\Delta = \delta + \xi$. Данное предположение есть –

разумеется - не более чем рабочая гипотеза, проверка которой требует проведения специального эксперимента.

Степень выраженности болевого синдрома.

Рассмотрим, для начала, подгруппу из **12**-ти Пациентов с разными x , но фиксированными показателями РН крови: $p=7.34$. Для этой группы больных, упорядоченных по возрастанию показателя x , коэффициент D оказывается функцией лишь одной переменной: $D=D(x)$. •Силу боли можно, ассоциировать с ускорением a движения заряженной, болевой частицы, которую мы назовем изображающей: $F=m \cdot a$, где $m=1$ есть масса частицы, q –ее электрический заряд. Траектория движения частицы, изображающей реального Пациента с $p=7.34$, $x=0.21$, представлена на Рис.1.

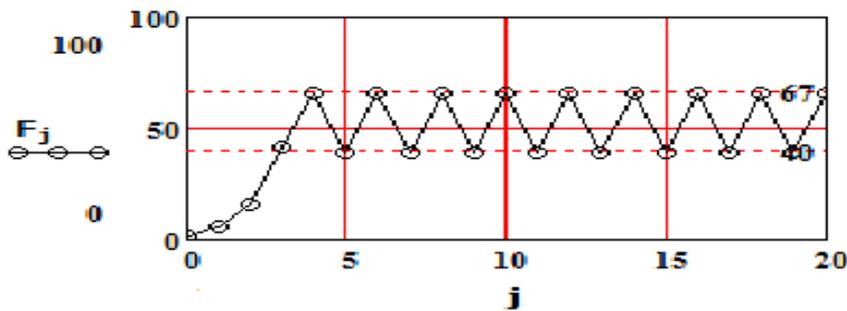


Рис.1. Сила боли $F[j]$ как функция дискретного времени $j=1..20$.

Комментарий к рисунку 1:

Как видно из Рисунка 1, *изображающая боль* частица, имеет два устойчивых состояния равновесия. Каждому состоянию соответствует свое экстремальное значение действия боли. В области параметрического пространства с малыми значениями коэффициента отображения $D < 2.5$, сила боли, начиная с определенного момента, оказывается не зависящей от дискретного времени j и совпадающей с индексом. Такой случай изображен на рис.2. Согласно теории квадратичных отображений, при достаточно высоких значениях коэффициента D , поведение болевой частицы должно стать непредсказуемым, когда сила боли хаотически изменяется от $F=1$ до предельного значения $F=100$. И подобное поведение, действительно, наблюдается на практике.

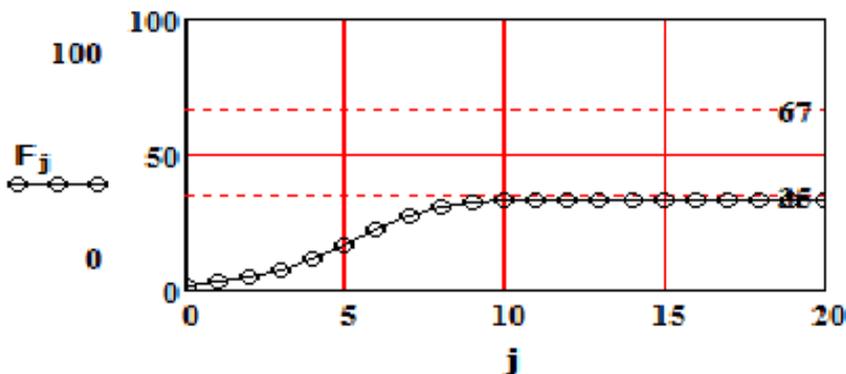


Рис.2. Динамика постоянных болей.

На пути к внедрению предлагаемого метода в практику, у Пользователя возникает препятствие: Ему трудно поверить, что **3** параметра гемодинамики могут быть сведены

к одному – обобщенному показателю гомеостаза $x(N, f, n)$. Показателю, который почти не известен медикам. А между тем, характеристики автоматических «систем Управления», аналогичные x и показателю кислотно-щелочного равновесия p , уже давно известны математикам и физикам под названием «адиабатические инварианты» (4). В разделе 3 приведены результаты обследования Выборки из 77-ти пациентов отделения Неврологии больницы №3, гор. Харькова.

Результаты. Верификация болемера.

На Рис.3 представлена зависимость объективной оценки индекса боли $U(t)$ от обобщенного показателя гомеостаза t , полученная в приближении фиксированного значения pH крови $p=7.34$. На том же рисунке даны прогнозируемые Y и субъективные r оценки индексов боли для контрольной группы из 12-ти Пациентов с разными значениями pH, показатели гомеостаза которых равномерно заполняют шкалу абсцисс $[0,0.81]$. Смещения изображающих точек r от гладкой кривой $U(t)$ обусловлены отклонениями индивидуальных показателей pH крови от его эталонного значения 7.34. Показателем высокой точности нашего метода измерения является близость к единице коэффициента корреляции 2-х оценок: $CORR(r, Y) = 0.95$.

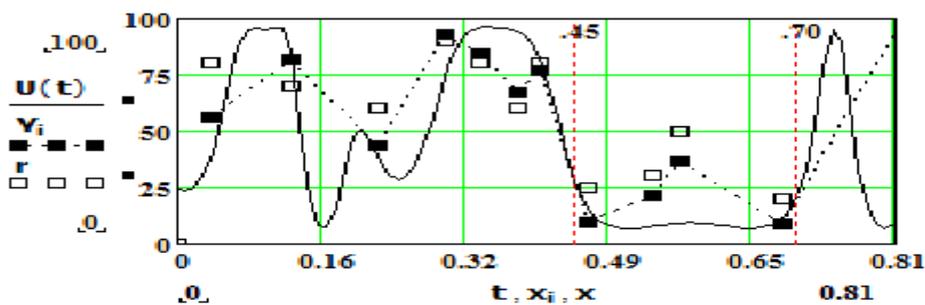


Рис.2. Зависимости индексов боли от обобщенного показателя гемодинамики. Здесь $U(t) \equiv F(t)$, где $t=x$, $Y[i]=Y\{x[i]\}$.

На следующем рисунке представлена функция соответствия 2-х формально независимых оценок, полученная для Выборки из 77 пациентов разного возраста и пола, страдающих импульсно-периодическими, главным образом – фармакологически резистентными, лицевыми болями.

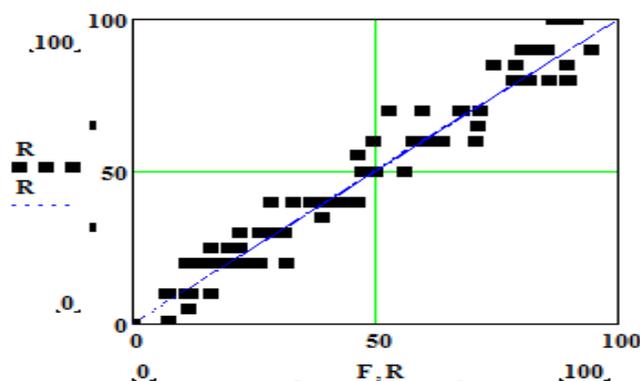


Рис. 3. $R=R(F)$ – Дискретная функция соответствия.

Анализ рисунка 3 убеждает: Прогностическая оценка индекса боли F есть, математическое ожидание ее субъективного ощущения R , которое можно считать случайной функцией. Хотя бы потому, что Пациент не в состоянии дать абсолютно точную оценку своего ощущения. Таким образом, наша оценка боли является точной в смысле математического ожидания случайной величины R .

** По определению, Математическое ожидание есть 1-й момент функции распределения случайной величины (5). Вторым моментом является, как известно, дисперсия. Будучи наиболее вероятным отклонением R от F , последняя представляет собой среднюю погрешность измерения силы боли ρ . Пусть $\rho[i]=1-(R[i]/F[i])$ есть ошибка измерения, полученная в обследовании пациента с порядковым номером i . Путем статистической обработки двумерного массива независимых оценок $\{R, F\}$, получаем рис.4.*

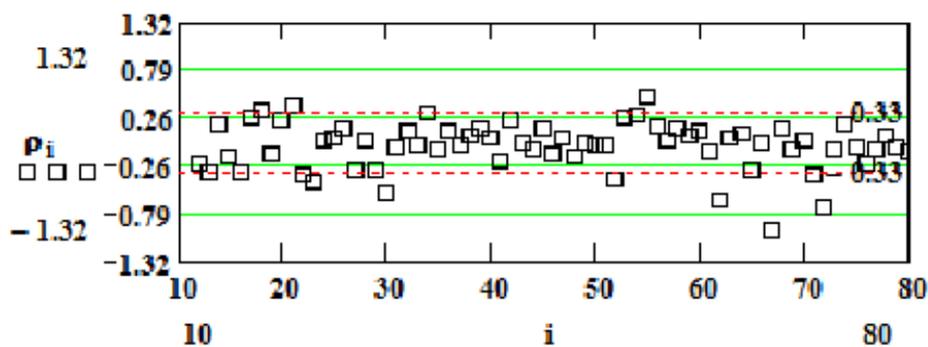


Рис.4. Расходимость 2-х оценок индексов боли R, F .

Из рисунка 4 можно сделать вывод - дисперсия расходимости оценок боли не велика. Вероятность того, что относительная ошибка измерения w не превышает $\rho=0.31$, близка к единице: $w= 0.894$.

Основные результаты.

Разработан численный код, позволяющий врачу измерять степень выраженности болевого синдрома S . Настоящая работа включает формулировку соответствующих определений, анализ физики боли и изложение общего подхода к решению задачи индексации СВБС. Наш подход состоял в том, что “несметное” количество параметров гомеостаза пациента было сведено к 4-м основным характеристикам гемодинамики – концентрации эритроцитов N , частоте пульса f , группе крови n и показателю кислотно-щелочного равновесия крови p . Произведя свертку 4-х показателей (N, f, n, p) к двум – 1) обобщенному показателю гомеостаза $x=x(N, f, n)$ и -2) индексу p , авторы получили индекс боли в виде экспоненциальной функции от степени выраженности боли $S(x, p)$:

Кроме того, получены два побочных результата, не входящие в первоначальную постановку Задачи. Первый результат - открытие ОПГ, имеет все признаки Открытия. Второй результат – разработка бесконтактного способа определения рН крови - можно отнести к разряду полезных изобретений.

Приложение.

Функция $f(x)$ есть 1-е приближение к фазе Θ и, как показано на Рис.7, она изменяется в пределах $(-\pi, \pi)$. В первом приближении, можно считать, что все пациенты диагностического центра имеют эталонное значение показателя $p=7.34$. Однако 1-го приближения не достаточно для получения достоверного прогноза субъективного ощущения силы боли.

Не всем известно, что вариации показателя $\delta p/p$, большие по модулю, чем **1.5%**, не совместимы с жизнью. То есть, малейшее возмущение индекса p способно привести к катастрофическим изменениям в состоянии здоровья человека. По этой причине, показатель кислотно-щелочного равновесия плазмы крови есть исключительно чуткий “барометр” общего состояния человеческого организма! И видимо, не случайно, в рассмотренной выше аналоговой модели болевого синдрома, индекс p оказался одним из 2-х ключевых маркеров боли.

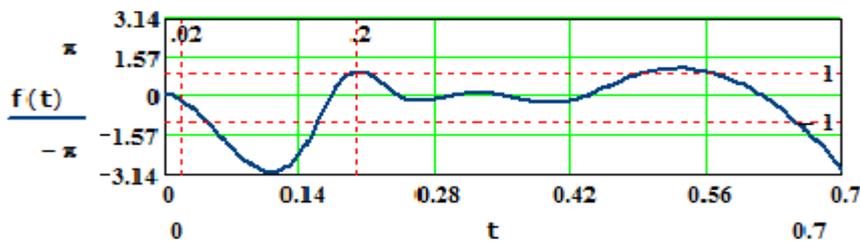


Рис.5. Интерполяционная функция сдвига по фазе.

* Процедура прямого измерения Ph , выполняемая обычно с помощью газовых анализаторов, отличается крайней ненадежностью. Не высокая точность традиционных анализаторов Ph заставила авторов изобрести собственный виртуальный измеритель p , который дает значение этого показателя, как функции концентрации эритроцитов: $p=p(N)$. Именно это значение p было использовано авторами для расчета фазы Θ , определяющей степень выраженности болевого синдрома $S(x, \Theta)$!

На Рис.6 приведена Схема вычисления Индекса боли, содержащая возможность переключения Измерителя на альтернативный метод индексации «Прогноз-Коррекция», где в качестве 1-го приближения используется субъективный показатель R . Данный запасной режим представлен левым крылом Блок-схемы, файл <OUTPUT-433>.

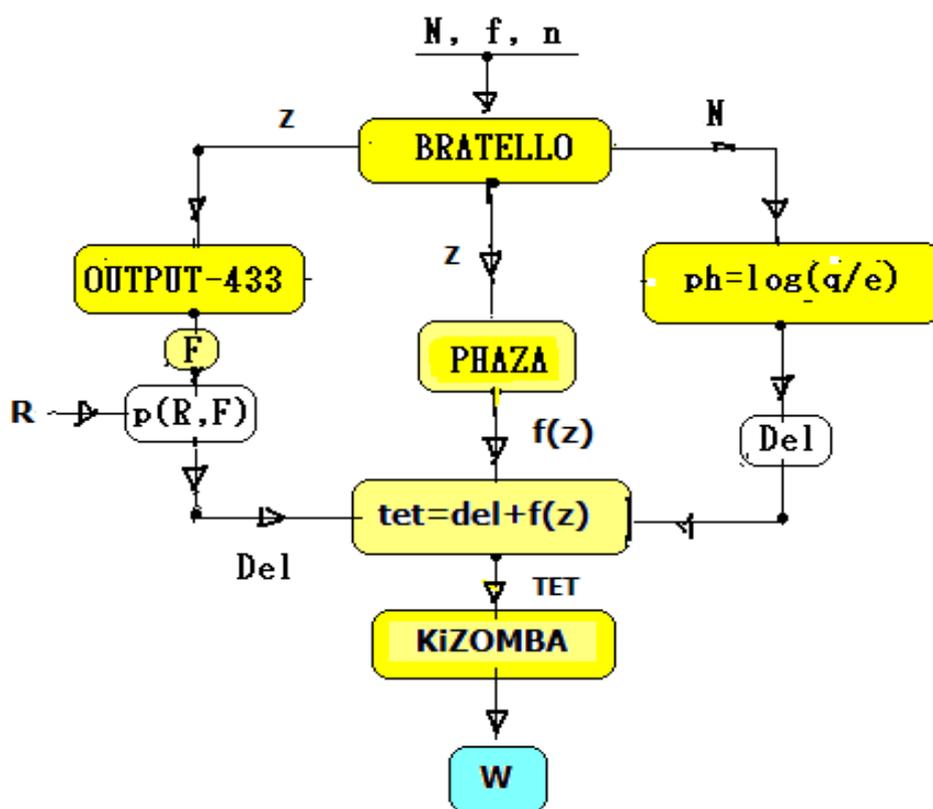


Рис.6. Блок-Схема индексации боли.

References:

1. Algesimeter (algesimeter), 2016. [Internet] Available from: www.bigmeden.ru
2. Loskutov AYu, Mikhailov AS. Introduction to Synergetics. Moscow, Science, 1990.
3. Ziebert PI, Upyr NF. Objectification strength pain in patients with pharmacologically resistant facial pain: Proceedings of the Scientific and Practical Conference on Pain with Internat. participation of Kharkiv, 2015.
4. Butenin NV, Fufaev NA. Introduction to analytical mechanics. 1991.
5. Pak VV, Nosenko YuL. Higher Mathematics: Textbook. 1997.

