

TRIMP Банистера – тренировочный импульс, как метод количественной оценки тренировочной нагрузки и расширенный Зонный Центровзвешенный Тренировочный импульс $TRIMP_{ZCW}$

Редакция 3,
июль 2020

Важным аспектом тренировочного процесса является умение правильно дозировать тренировочную нагрузку в течении определённого цикла тренировочного процесса, в течении сезона или другого периода. Это возможно только если есть полное понимание взаимосвязи между объёмом и интенсивностью тренировок и результирующих положительных адаптационных сдвигов и негативных факторов накопления усталости.

Тренировочный импульс TRIMP — это метод, призванный решить задачу объективной оценки величины той нагрузки, которую получает спортсмен в ходе тренировочного процесса

Зонный Центровзвешенный Тренировочный импульс $TRIMP_{ZCW}$ — это попытка автора на основе наблюдений в течении нескольких лет в разных видах спорта за тренировочным процессом спортсменов и их состоянием, внести коррективы в классический метод TRIMP с целью получения более объективных результатов. Сама концепция центровзвешенных коэффициентов является полностью авторским решением и может быть расширена и дополнена в дальнейшем кем либо, без каких либо ограничений.

*Эту работу я посвящаю своему отцу Игорю Фёдоровичу,
скончавшемуся в 2019 году после долгих лет тяжёлой болезни.
Именно его воспитанию я обязан непрерывным
поиском ответов на вопросы жизни.*

Содержание

1. Исторический экскурс
2. Понятие тренировочного импульса по Банистеру
 - 2.1. Суточный импульс
3. Зонный Центровзвешенный Тренировочный импульс ($TRIMP_{ZCW}$)
 - 3.1. Показатель стимулирующей нагрузки и фактор сдвига
4. Показатели ответа организма на тренировочный импульс
 - 4.1. Пошаговое вычисление показателей pd и fd
5. Разница между TRIMP Банистера и Зонным Центровзвешенным импульсом в разрезе сезона
6. Применимость и ограничения метода TRIMP
7. Центровзвешенные коэффициенты для разных видов спорта
8. Реализация $TRIMP_{ZCW}$ в Golden Cheetah

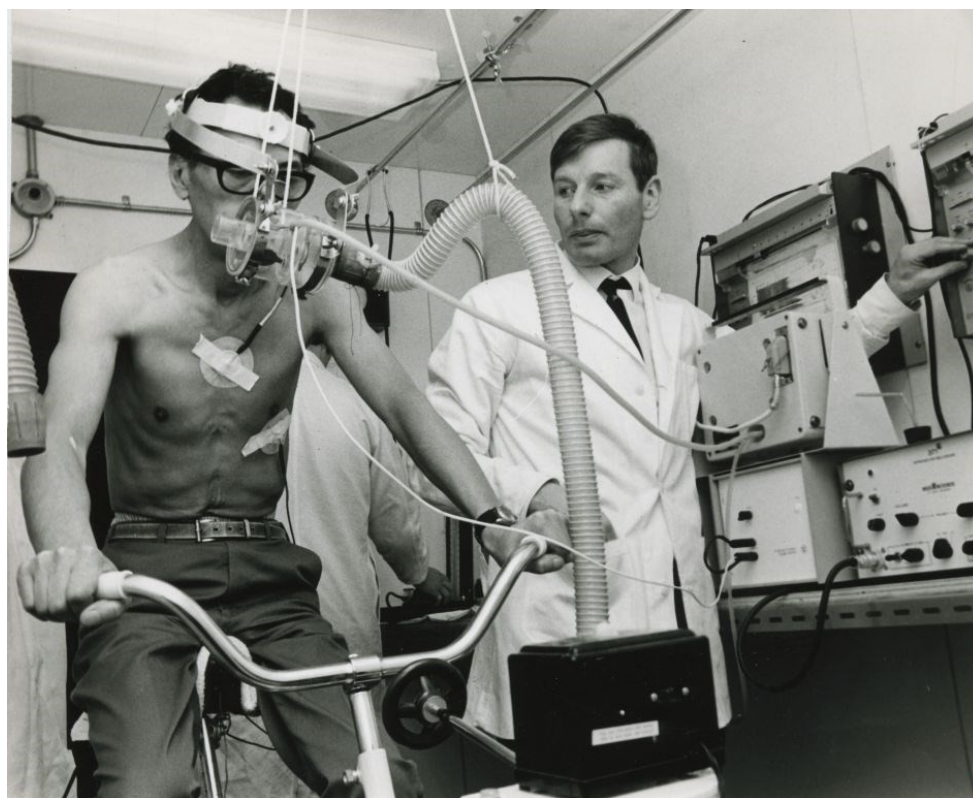
Литература
Глоссарий

1. Исторический экскурс

Что бы понять степень воздействия тренировки на спортсмена надо вначале каким-то образом количественно оценить нагрузку, которую тренировка оказывает на спортсмена. Одним из первых предложил метод оценки тренировочной нагрузки в количественном выражении доктор физиологии **Eric W. Banister**, совместно с доктором по компьютерным наукам **Thomas W. Calvert** в 1975 [1], 1976 [2] и 1980 [3] годах. Eric W. Banister ввёл понятие **TRIMP**, являющееся сокращением от «тренировочный импульс» (training impulse), как величину **количественной оценки тренировочной нагрузки**.

Главным новшеством его работ было простое математическое обоснование физиологии нагрузки, описывающее тот факт, что наибольших результатов спортсмен способен достичь в период снижения нагрузки после интенсивного периода, то что сейчас принято называть суперкомпенсацией. Хотя сейчас это основа тренировочного процесса, в 70-х годах прошлого века это рассматривалось только как гипотеза.

Профессор Eric W. Banister (1933-2010) получил докторскую степень по физиологии в Манчестерском университете, Великобритания. После чего эмигрировал в Канаду, где продолжил академическую карьеру в звании профессора в Университете Саймона Фрезера возглавив школу кинезиологии.



April 1969 - Dr. Eric W. Banister of the physical development centre at Simon Fraser University. (City of Burnaby Archives, Columbian Newspaper collection, item 480-412, 480-423)

Далее, в 1990 году [4] профессор, доктор по физиологии **Richard Hugh Morton** совместно с доктором медицинских наук **John R. Fitz-Clarke** и **Eric W. Banister** в своей работе провёл доказательную базу достоверности метода на бегунах, а в 1991 году [5] Eric W. Banister систематизировал подход к определению количественной оценки тренировочной нагрузки и использовании её для моделирования результативности в краткосрочном и долгосрочном периодах.

К этому моменту на основе работ Банистера появились производные работы, берущие за основу метод оценки Банистера, но вносящие некоторые отличия. Начиная с периода 1990-1991 года сам метод, описанный доктором Банистером и подтверждённый Мортонем принято называть как Banister TRIMP (TRIMP Банистера), что бы отличать его от производных методов и способов оценки. В дальнейшем, если не указано иное, то под TRIMP в тексте всегда подразумевается модель Банистера.

В 1991 [9] году **Thierry Busso**, профессор физиологии университета Jean MONNET, Saint Etienne, Франция, проанализировал в своей работе применимость метода Банистера и Мортон по отношению к не циклическим видам спорта на опыте тяжелоатлетов и пришёл к выводу о том, что модель Банистера плохо применима для оценки короткой высокоинтенсивной интервальной работы тяжелоатлетов. Основными проблемами применимости метода Банистера по мнению Бюссо были необходимость применения спортсменами записи ЧСС на всех тренировках, что экономически невозможно (речь про 1991 год, персональные кардиомониторы в ту эпоху большая редкость и огромная стоимость) и тот фактор, что при короткой взрывной работе ЧСС не успевает отслеживать нагрузку спортсмена. Последнее в равной степени справедливо для всех видов спорта, где нагрузка носит кратковременный импульсный характер.

Опосредованно к тематике учёта количества тренировочной нагрузки выглядят труды [6], [7] доктора по медицине **Philip Friere Skiba**, который описал методы учёта работы по показаниям мощности и сформулировал и описал понятия запаса анаэробной выносливости, критической мощности и др., а так же сформулировал критерии достижимости показателей целевой мощности на заданных отрезках времени и способы дозирования тренировочной нагрузки через показатели результативности.

Нельзя не упомянуть **Andrew R. Coggan**, который являясь критиком ограниченной применимости метода Банистера, совместно с известным тренером (и бакалавром по экономике) **Hunter Allen** взяли за основу метод Банистера, определив в качестве основной составляющей не ЧСС, а мощность и вычисляемые через мощность величины, по методам доктора **Philip Friere Skiba**, получив тем самым оценочные методы величины нагрузки опосредованно через показатели результативности [8]. Данный метод имеет более узкую применимость, по сравнению с TRIMP Банистера, основанного на ЧСС, т. к. может применяться только для велоспорта и требует использования измерителя мощности на всех тренировках и не может учитывать не связанную с велосипедом нагрузку. Но в своих узких задачах, для велоспорта, может решать поставленные задачи, правда надо принять во внимание, что как и в случае тяжелоатлетов у Бюссо, оперирование происходит не понятием нагрузки, а показателями достигнутой результативности.

Последней итерацией по приведению метода Банистера к тому виду, в котором он существует сейчас были работы доктора физиологии **Howard J. Green** в 1990 [10], 1991 [11] годах. Он систематизировал и унифицировал подход в определении весовых коэффициентов вклада тренировочного импульса в положительный и негативный ответ организма.

2. Понятие тренировочного импульса по Банистеру

Как правильно оценить величину тренировочной нагрузки, которую получает спортсмен на тренировке? Попробуем последовательно подойти к формулированию методов объективной оценки. Прежде всего первым составным показателем будет время тренировки. В этом случае примем что:

$$IMPx = t \quad (1)$$

где: t — время тренировки в минутах;

$IMPx$ — некий условный показатель количества тренировочной нагрузки, т. е. импульса получаемого от тренировки, который мы будем расширять далее новыми составными частями.

В данном случае, для тренировки длительностью 75 минут показатель тренировочного импульса составит 75 единиц. Это не учитывает характер интенсивности нагрузки за время тренировки, т. е. усилия затрачиваемого спортсменом во время тренировки, поэтому нельзя только один показатель времени рассматривать как оценку нагрузки.

Основным критерием оценки величины нагрузки для спортсмена является его ЧСС за время тренировки или гонки.

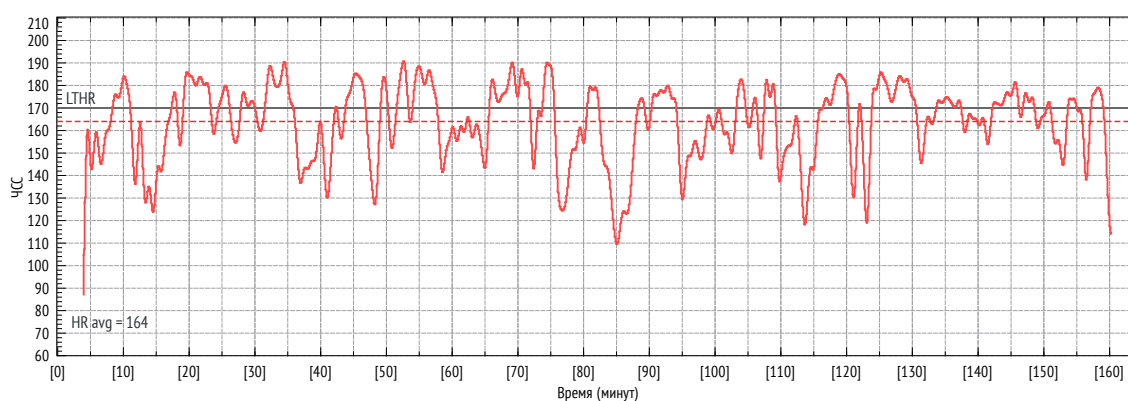


рис. 1. Запись ЧСС с групповой гонки, 160 минут. Средняя ЧСС = 164 уд/мин

На рисунке 1 представлена запись ЧСС спортсмена, участвовавшего в средне-холмистой групповой гонке, длительностью 2 часа 40 минут. Относительно короткая, но интенсивная гонка. Для шоссейного велоспорта характерно очень резкое изменение характера нагрузки при изменении тактической обстановки, рельефа, условий аэродинамики и других факторов. Как правило при езде в группе в гонке нагрузка постоянно колеблется в практически максимальном диапазоне. Таким образом спрогнозировать заранее нагрузку в таких ситуациях в принципе невозможно, её можно только констатировать по факту, на основе записи ЧСС.

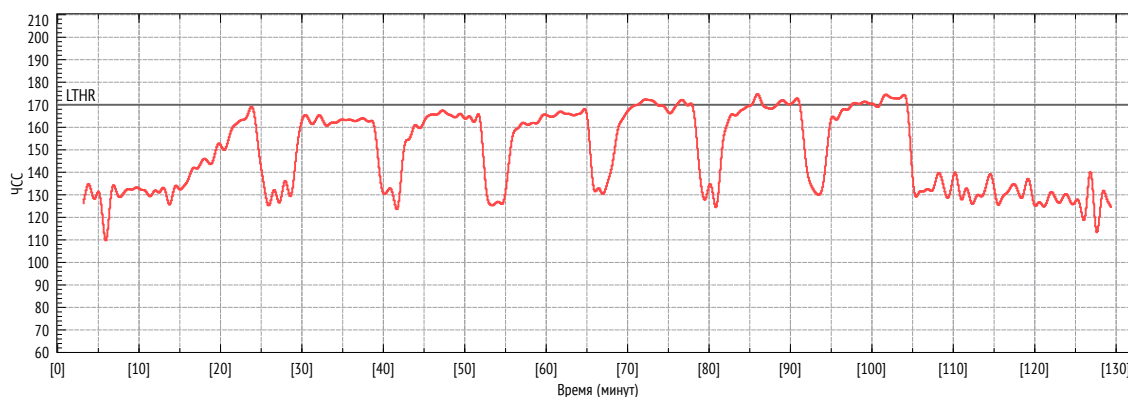


рис. 2. Запись ЧСС умеренно-интенсивной темповой тренировки с 10 минутными интервалами

На рисунке 2 можно видеть запись ЧСС с двухчасовой умеренно-интенсивной тренировки, где работа производилась 10 минутными отрезками в зоне возле лактатного порога и отдыхом между повторами. Такую работу уже можно отчасти спрогнозировать по нагрузке, однако если работа велась по

мощности, то фактическая нагрузка и ЧСС будут зависеть от функционального состояния и готовности спортсмена.

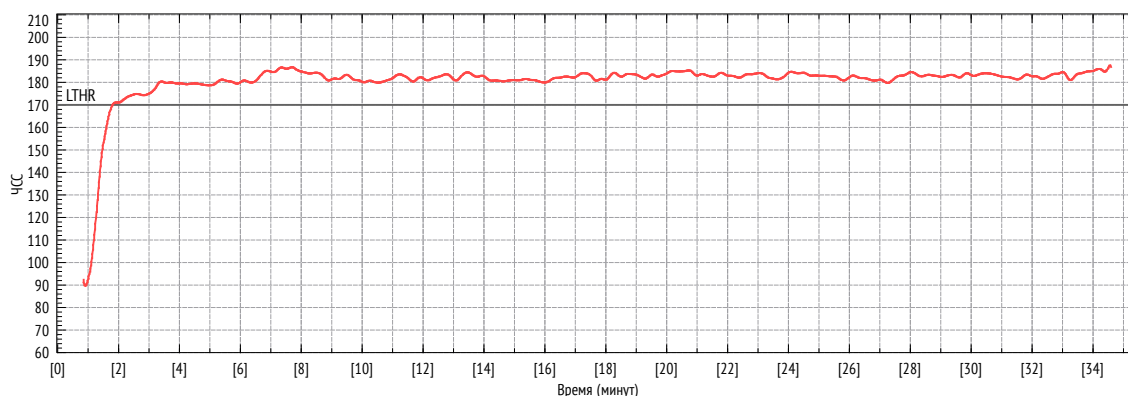


рис. 3. Запись ЧСС короткой индивидуальной гонки с раздельным стартом, 25 км

На рисунке 3 отображён случай наиболее равномерной интенсивной работы — короткая индивидуальная гонка с раздельным стартом по равнине. Продолжительность всего чуть более получаса и вся работа ведётся в анаэробной зоне исключительно за счёт анаэробной выносливости.

Таким образом, взяв за основной критерий нагрузки ЧСС спортсмена расширим наш показатель, который с учётом ЧСС будет выглядеть так:

$$IMP_x = t \cdot ЧСС_{\text{сред}} \quad (2)$$

где: $ЧСС_{\text{сред}}$ — средняя ЧСС за всю тренировку.

Предположим в нашем случае средняя ЧСС составила 154 уд/мин, таким образом $IMP_x = 75 \times 154 = 11550$. В данном случае учтены и длительность и интенсивность тренировки, но это справедливо только для конкретного человека, т. е. носит исключительно субъективный характер, потому что у каждого спортсмена разная величина ЧСС на разной нагрузке и сравнивать напрямую значение пульса у разных спортсменов нельзя.

Что бы исключить критерий субъективности, введём новое понятие:

резерв ЧСС — величина ЧСС относительно всего достижимого диапазона значений ЧСС для конкретного человека, выражается как:

$$\Delta ЧСС = \frac{ЧСС_{\text{сред}} - ЧСС_{\text{покоя}}}{ЧСС_{\text{макс}} - ЧСС_{\text{покоя}}} \quad (3)$$

где:

ЧСС_{покоя} — это величина ЧСС в состоянии полного покоя спортсмена (нижняя квазистационарная граница пульса во сне или рано утром);

ЧСС_{макс} — максимальная величина ЧСС, достижимая спортсменом.

Резерв ЧСС, выраженный в значениях от 0,0 до 1,0 является по сути средней ЧСС, выраженной в процентах от персональных возможностей спортсмена. Таким образом, наш показатель в **объективном** выражении будет выглядеть:

$$IMP_x = t \cdot \Delta ЧСС \quad (4)$$

Такой подход позволяет получить одинаковые значения для разных спортсменов, если оба выполняли работу с одинаковой, в относительном выражении, интенсивностью, но на разных абсолютных значениях ЧСС. Допустим, что два спортсмена выполняли часовую работу, каждый из которых работал индивидуально и поддерживал интенсивность, отслеживая её по ЧСС непрерывно на уровне 75% от максимальной ЧСС. Таким образом каждый получил персонально количество тренировочной нагрузки такое же, как и другой спортсмен, с учётом возможности своего организма.

Сам метод тренировочного импульса отслеживает прежде всего количество тренировочной нагрузки которое получает спортсмен, приведённое к такому виду, при котором можно сравнить показатели количества нагрузки между разными спортсменами напрямую. При этом метод никак не отслеживает получаемые показатели результативности.

Для описываемого нами случая $ЧСС_{\text{покоя}}$ спортсмена составляет 40 уд/мин, $ЧСС_{\text{макс}} = 175$ уд/мин, таким образом:

$$\Delta ЧСС = \frac{154 - 40}{175 - 40} = 0,844$$

$$ИМР_x = 75 \cdot 0,84 = 63$$

Полученная характеристика является линейной по отношению к длительности тренировки и её интенсивности. Однако из общей и спортивной физиологии известно, что увеличение интенсивности нагрузки приводит к увеличению выработки лактата (молочной кислоты) в крови. Функция лактата в общем случае является экспоненциальной показательной функцией вида:

$$f = a \cdot e^b \quad (5)$$

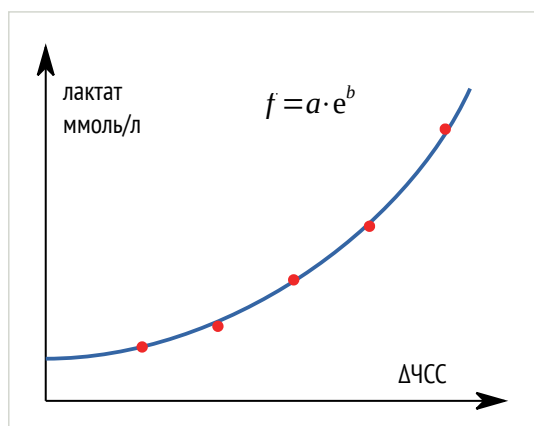


рис. 4. Функция лактата

где: a , b – коэффициенты лактата, зависящие от пола спортсмена

$a = 0.64$, $b = 1.92$ – для мужчин

$a = 0.86$, $b = 1.67$ – для женщин

Таким образом модель импульса, учитывающая лактатное накопление, предложенная Банистером выглядит следующим образом (**TRIMP по Банистеру**):

$$TRIMP = t \cdot \Delta ЧСС \cdot a \cdot e^{b \cdot \Delta ЧСС} \quad (6)$$

В результате мы имеем некое численное выражение количества тренировочной нагрузки за одну тренировку, в условных баллах. Для рассматриваемой выше тренировки тренировочный импульс составит:

$$TRIMP = 75 \cdot 0.844 \cdot 0.64 \cdot e^{1.92 \cdot 0.844} = 205 \quad (7)$$

Как видно из формулы (6) результирующие баллы количества тренировочной нагрузки линейно зависят от времени тренировки, а величина ЧСС, выраженная в объективном показателе через резерв ЧСС вносит экспоненциальный вклад по мере увеличения

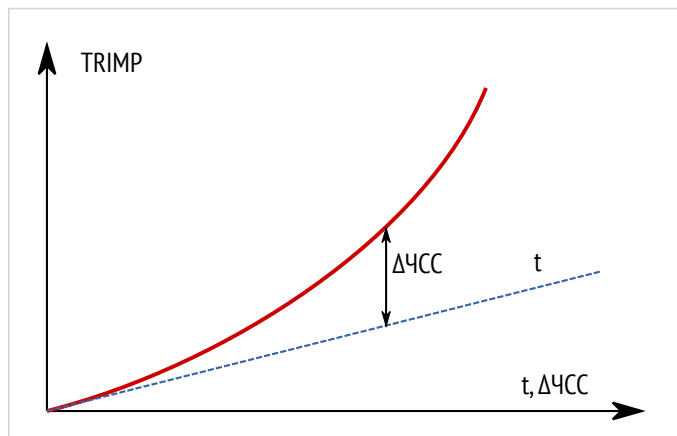


рис. 5. Составные части TRIMP

2.1. Суточный импульс

Метод подсчёта тренировочного импульса справедлив для каждой отдельной тренировки. Но сама модель тренировочного импульса, в классическом варианте, оперирует не импульсом от каждой тренировки, а суммой импульсов всех тренировок за день. Таким образом можно подсчитать суммарное количество тренировочной нагрузки за день от всех тренировок разного вида и характера работы.

Тренировочный импульс за сутки — простейшая арифметическая сумма баллов TRIMP всех тренировок за сутки

$$w_i = \sum_{j=1}^n TRIMP_j^i \quad (8)$$

где: w_i – тренировочный импульс за день i ,
 n – количество тренировок в день i .

Допустим в конкретный тренировочный день сбора у спортсмена были тренировки, которые дали определённое количество баллов TRIMP:

- 1) Зарядка: $TRIMP_1 = 25$
- 2) Первая тренировка, скоростная темповая работа: $TRIMP_2 = 223$
- 3) Вторая тренировка, объёмная откатка: $TRIMP_3 = 56$
- 4) Вечерняя растяжка, статика: $TRIMP_4 = 9$

Итого, тренировочный импульс за весь день в баллах TRIMP составит:

$$w = 25 + 223 + 56 + 9 = 313 \quad (9)$$

3. Зонный Центровзвешенный Тренировочный импульс (TRIMP_{ZCW})

Основным недостатком модели Банистера можно назвать тот факт, что по данной модели длительные тренировки на низком пульсе могут давать такое же количество тренировочной нагрузки как и более короткие, но более интенсивные. Это справедливо, в целом, для спортсменов низкого уровня тренированности и не тренированных людей. Однако для спортсменов среднего и средне-высокого уровня работа на низкой интенсивности не приводит к каким либо функциональным адаптационным сдвигам в организме, т. к. организм таких спортсменов уже имеет ощутимые сдвиги адаптационных способностей и работа на низких пульсах не приводит к ожидаемым, с точки зрения модели Банистера, сдвигам, даже с учётом правильно измеренных зон пульса.

Так же, спортсмены среднего и высокого уровня по факту имеют намного больший процент работы в низких зонах пульса, по сравнению с новичками и хотя эта работа является важной частью базового функционала, в модели Банистера она оказывается переоценённой по количеству тренировочной нагрузки в разрезе циклов и сезонов. В тоже время в модели Банистера работа на высокой интенсивности в соревновательные периоды и в гонках является недооценённой в плане нагрузки, в сравнении с объективными показателями химии крови и гормональным анализом.

Таким образом более объективную картину можно получить производя расчёт импульса TRIMP с учётом времени нахождения пульса в зонах ЧСС и коэффициентами коррекции показателя для каждой зоны ЧСС отдельно.

В модели зонного центровзвешенного импульса коэффициенты коррекции по зонам имеют экспоненциальную зависимость, а среднее арифметическое всегда равно 1.

Для велоспорта коэффициенты зон ЧСС составляют (для пятизонной схемы)¹:

$kz1 = 0.595, kz2 = 0.777, kz3 = 0.979, kz4 = 1.201, kz5 = 1.447$

$$\frac{kz1 + kz2 + kz3 + kz4 + kz5}{5} = \frac{0.595 + 0.777 + 0.979 + 1.201 + 1.447}{5} = 1$$

Здесь необходимо уточнить, что для данной методики применяется 5-ти зонная модель расчёта зон ЧСС, в которой зоны ЧСС выраженные через резев ЧСС (ΔЧСС) выглядят следующим образом:

зона 1: 0.5-0.6 ΔЧСС

зона 2: 0.6-0.7 ΔЧСС

зона 3: 0.7-0.8 ΔЧСС

зона 4: 0.8-0.9 ΔЧСС

зона 5: 0.9-1.0 ΔЧСС

При этом, если известна величина ЧСС на лактатном пороге (LTHR), то за верхнюю границу зоны 4, и соответственно за нижнюю границу зоны 5 берётся величина ЧСС лактатного порога. Таким образом работа в 5-й зоне ЧСС является анаэробной работой, а работа в зонах пульса ниже 5-й является аэробной и аэробно-анаэробной.

Зонный Центровзвешенный импульс представляет из себя сумму долей импульса по Банистеру, умноженных на время в зоне пульса и коэффициент зоны:

$$TRIMP_{ZCW} = \sum_{n=1}^5 \left(\frac{TRIMP}{100} \cdot kz_n \cdot tz_n \right) \quad (10)$$

где: TRIMP – величина импульса по Банистеру (6),

kz_n – коэффициент зоны n,

tz_n – процент времени в зоне ЧСС n

В рассматриваемой нами тренировке процент времени в зонах ЧСС составил:

1 - подробнее о различных коэффициентах для разных видов спорта в п. 7

$tz1 = 2, tz2 = 5, tz3 = 25, tz4 = 60, tz5 = 8$

$2 + 5 + 25 + 60 + 8 = 100\%$

Зонный центровзвешенный импульс составит:

$$\begin{aligned} TRIMP_{ZCW} = & \left(\frac{205}{100} \cdot 0.595 \cdot 2 \right) + \left(\frac{205}{100} \cdot 0.777 \cdot 5 \right) + \left(\frac{205}{100} \cdot 0.979 \cdot 25 \right) \\ & + \left(\frac{205}{100} \cdot 1.201 \cdot 60 \right) + \left(\frac{205}{100} \cdot 1.447 \cdot 8 \right) = 232 \end{aligned} \quad (11)$$

Сравнивая результаты вычисления для нашего примера (7) и (11), мы имеем разные показатели количества тренировочной нагрузки

$TRIMP = 205$

$TRIMP_{ZCW} = 232$

В нашем случае тренировка получила больше баллов по методу зонного центровзвешенного импульса, т. к. большая часть работы в ней происходила в 4-й и 5-й зонах ЧСС, а именно 68% времени от всей работы. Можно сказать, что это тренировка интенсивности выше среднего уровня.

3.1. Показатель стимулирующей нагрузки и фактор сдвига

Следующие два показателя являются косвенными по отношению к основной тематике TRIMP, но основаны на возможностях зонного центровзвешенного импульса, поэтому кратко остановимся на них.

Первый дополнительный показатель — это часть тренировочного импульса $TRIMP_{ZCW}$, в котором учитывается только работа в 3-й, 4-й и 5-й зонах ЧСС для стандартной пятизонной схемы. Как уже было описано выше, работа в зонах ЧСС с 3 по 5 включительно является аэробно-анаэробной.

Аэробно-анаэробная (эффективная) часть тренировочной нагрузки, как сумма долей TRIMP для 3 верхних зон ЧСС:

$$TRIMP_{ZCW}^{AAn} = \sum_{n=3}^5 \left(\frac{TRIMP}{100} \cdot k_{z_n} \cdot tz_n \right) \quad (12)$$

Таким образом, показатель (12) — это показатель количества тренировочной нагрузки в баллах из всей тренировки, которая стимулирует адаптационные сдвиги в организме спортсмена. Другими словами — это **количество стимулирующей нагрузки**.

Для нашего примера тренировки $TRIMP_{ZCW}^{AAn} = 222$

Исходя из того, что (12) является частью общей нагрузки (10), можно сформулировать соотношение эффективной (стимулирующей) нагрузки приводящей к адаптационным сдвигам к общему количеству тренировочной нагрузки за тренировку:

$$SF = \frac{TRIMP_{ZCW}^{AAn}}{TRIMP_{ZCW}} \quad (13)$$

где: SF – фактор сдвига (Shift Factor)

Для нашего примера он составит $SF = 222/232 = 0.955$

Если за всё время тренировки пульс не будет подниматься выше 2-й зоны ЧСС, то фактор сдвига для такой тренировки будет равен нулю.

4. Показатели ответа организма на тренировочный импульс

Само по себе количество тренировочной нагрузки за каждую тренировку (импульс) не даёт наглядного представления о характере потенциальных сдвигов в организме спортсмена в разрезе циклов и сезонов тренировочного процесса, но является основой для расчётной модели таких сдвигов. Саму модель всех сдвигов в организме под воздействием тренировочной нагрузки можно разделить на 2 фактора:

- 1) **положительный ответ организма** (положительные адаптационные сдвиги в организме), который можно кратко формулировать как повышение уровня тренированности спортсмена; так же известен как долговременный тренировочный стресс (Long Training Stress – LTS)
- 2) **негативный ответ организма**, характеризуется как накопление усталости в долговременном периоде и потенциальное истощение резервов организма, за счёт которых осуществляются адаптационные сдвиги; кратковременный тренировочный стресс (Short Training Stress – STS)

Существуют несколько различий в численных выражениях данных показателей, но все они сводятся к тому, что рассматриваемая в периоде времени величина ответа организма зависит от величины коэффициента (k) характеризующего вклад составляющей на величину ответа организма и постоянной времени (T , в днях), характеризующей период времени в течении которого происходит снижение ответа на импульс.

В рассматриваемом нами методе, для положительного ответа на тренировочный импульс (уровень тренированности) время регрессии T_1 , и для негативного ответа (уровень накопленной усталости) время регрессии T_2 составят:

$$T_1 = 42 \text{ дня, } T_2 = 7 \text{ дней} \quad (14)$$

Таким образом, положительный ответ организма на единичный импульс (сумму баллов TRIMP за все тренировки одного дня) будет меньше, чем негативный ответ организма в начальный момент времени, но будет постепенно снижаться и достигнет значительного снижения в течении 42 дней, в то время как негативный эффект будучи в первый момент времени выше, ощутимо снизится уже за 7 дней.

Весовые коэффициенты k_1 для уровня тренированности и k_2 для уровня накопленной усталости, по методу Банистера предлагалось рассчитывать индивидуально на основании данных последовательных тестирований. В работах Банистера [1], [2] предполагалась зависимость этих коэффициентов для конкретных тестируемых как $k_1 = 1$, $k_2 = 2$ для одного из тестируемых и $k_1 = 1$, $k_2 = 1.8$ для второго тестируемого, при этом использовались отличные от описанных выше постоянные времени T_1 и T_2 .

Доктор физиологии **Howard J. Green** в своих работах рассчитал универсальный подход, применимый для большинства случаев использования метода Банистера и предложил сделать коэффициенты k_1 и k_2 зависимыми от постоянной времени T_1 и T_2 :

$$k_1 = 1 - e^{\left(\frac{-1.0}{T_1}\right)} \quad (15)$$

$$k_2 = 1 - e^{\left(\frac{-1.0}{T_2}\right)} \quad (16)$$

Показатель уровня тренированности (p) и показатель уровня усталости (f) по дням являются функциями регрессии, где сумма тренировочного импульса (TRIMP или TRIMP_{zcw}) представлена в виде баллов w за каждый день диапазона:

$$p_d = k_1 \cdot \sum_{i=1}^{d-1} \left[w_i \cdot e^{\left(\frac{-(d-i)}{T_1}\right)} \right] \quad (17)$$

$$f_d = k_2 \cdot \sum_{i=1}^{d-1} \left[w_i \cdot e^{\left(\frac{-(d-i)}{T_2}\right)} \right] \quad (18)$$

где: p_d – величина положительного ответа организма на день d ,
 f_d – величина негативного ответа организма на день d ,
 w_i – сумма баллов TRIMP или TRIMP_{zCW} всех тренировок за день i

Положительный и негативный ответ организма вносят свой вклад в итоговый баланс с положительным и отрицательным знаком соответственно. Итоговый баланс долговременного и кратковременного стресса (баланс формы) является разницей между положительным и отрицательным ответом организма:

$$SB_d = p_d - f_d \quad (19)$$

где: SB_d – баланс стресса (формы) на день d

Развёрнуто, можно записать баланс стресса по методу Банистера-Мортон с коэффициентами Грина в следующем виде:

$$SB_d = \left(1 - e^{\left(\frac{-1.0}{T_1}\right)}\right) \cdot \sum_{i=1}^{d-1} \left[w_i \cdot e^{\left(\frac{-(d-i)}{T_1}\right)} \right] - \left(1 - e^{\left(\frac{-1.0}{T_2}\right)}\right) \cdot \sum_{i=1}^{d-1} \left[w_i \cdot e^{\left(\frac{-(d-i)}{T_2}\right)} \right] \quad (20)$$

Для единичного импульса TRIMP = 232 балла, показатели p_d , f_d и SB_d в течении интервала времени в 45 дней графически представлены ниже:

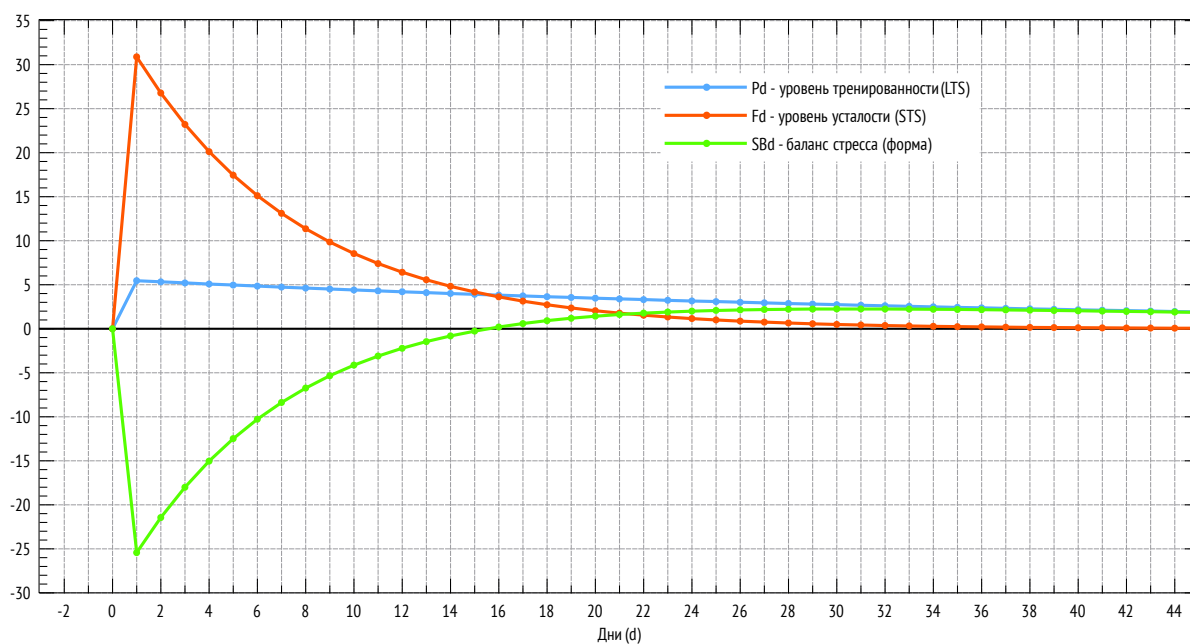


рис. 6. График ответа организма на единичный импульс TRIMP

Далее в п. 4.1. мы рассмотрим пошаговое вычисление регрессии на примере цикла.

Для примера, серия тренировок в течении нескольких дней, оценённая по количеству тренировочной нагрузки в баллах TRIMP (по методу зонного центровзвешенного импульса) за каждый день:

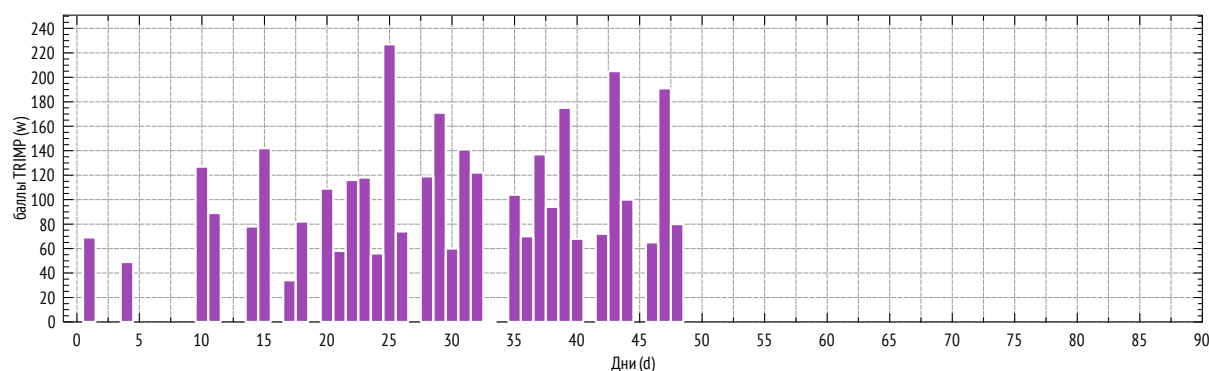


рис. 7. Серия тренировочных дней в виде суточных импульсов TRIMP

будет иметь следующие показатели уровня тренированности, усталости и баланса формы:

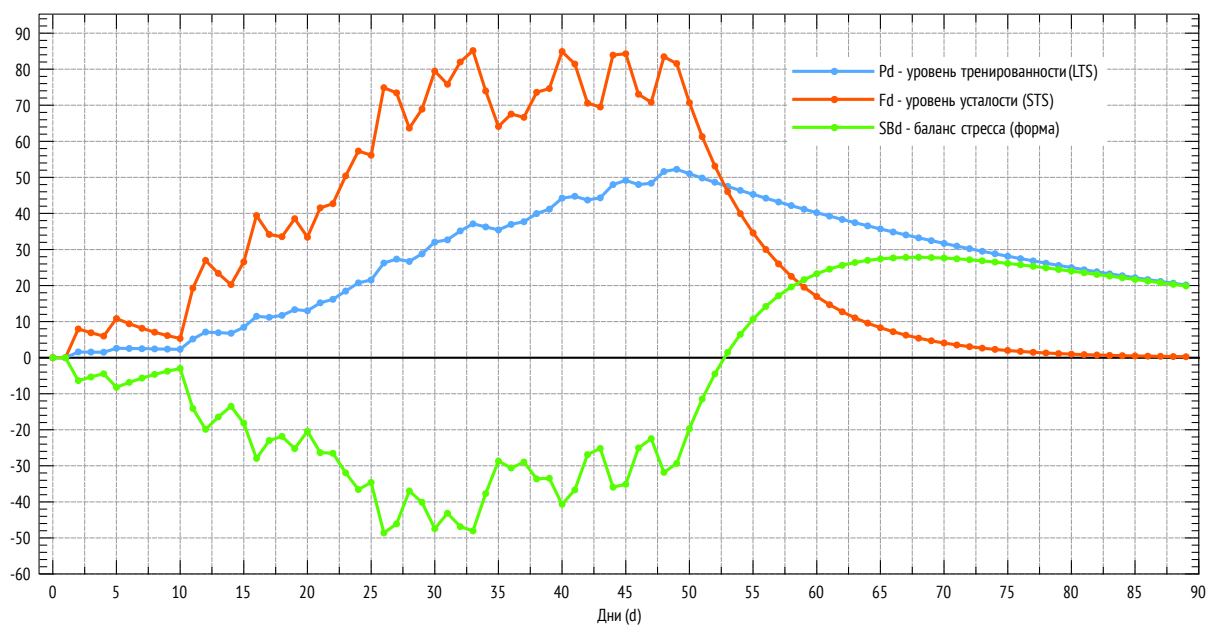


рис. 8. Ответ организма на серию тренировочных дней

Хорошо видно, что результирующий баланс формы, восстанавливается частично в дни отдыха и существенно увеличивается после окончания периода нагрузки, достигая максимальных значений через несколько дней после окончания тренировок. Это и есть математическое обоснование эффекта «суперкомпенсации», описанное доктором Банистером.

4.1. Пошаговое вычисление показателей p_d и f_d

Для понимания сути, представим регрессию показатели p_d и f_d на примере единичного импульса пошагово, как сумму текущего показателя за день и значений предыдущего дня. Показатели рассчитывается полностью идентично, сам расчёт покажем на примере f_d . Такое представление хорошо алгоритмизируется в объектно-ориентированных и процедурных языках программирования в виде циклов.

$$p_d = [w_d \cdot (1 - k_{LTS})] + (p_{d-1} \cdot k_{LTS}) \quad (21)$$

$$f_d = [w_d \cdot (1 - k_{STS})] + (f_{d-1} \cdot k_{STS}) \quad (22)$$

где: p_{d-1} – показатель p_d за предыдущий день,
 f_{d-1} – показатель f_d за предыдущий день,
 k_{LTS} – экспоненциальная часть коэффициента k_1 ,
 k_{STS} – экспоненциальная часть коэффициента k_2

$$k_{LTS} = e^{\left(\frac{-1.0}{T_1}\right)} \quad (23)$$

$$k_{STS} = e^{\left(\frac{-1.0}{T_2}\right)} \quad (24)$$

Дальше мы будем оперировать только показателем f_d , т. к. оба показателя идентично рассчитываются. Соответственно k_2 в такой нотации можно записать как:

$$k_2 = 1 - k_{STS} \quad (25)$$

Для наших расчётов получаем:

$$k_{STS} = e^{\left(\frac{-1.0}{7}\right)} = 0.867 \quad (26)$$

$$k_2 = 1 - k_{STS} = 0.133 \quad (27)$$

показатель f_d по дням, начиная с первого, по формуле (22), для одного единичного импульса TRIMP = 232 бала:

$$\begin{aligned} f_1 &= [w_1 \cdot (1 - k_{STS})] + 0 = 232 \cdot 0.133 = 30.884 \\ f_2 &= [w_2 \cdot (1 - k_{STS})] + (f_1 \cdot k_{STS}) = 0 + (30.884 \cdot 0.867) = 26.773 \\ f_3 &= [w_3 \cdot (1 - k_{STS})] + (f_2 \cdot k_{STS}) = 0 + (26.773 \cdot 0.867) = 23.209 \\ f_4 &= [w_4 \cdot (1 - k_{STS})] + (f_3 \cdot k_{STS}) = 0 + (23.209 \cdot 0.867) = 20.119 \\ f_5 &= [w_5 \cdot (1 - k_{STS})] + (f_4 \cdot k_{STS}) = 0 + (20.119 \cdot 0.867) = 17.441 \\ f_6 &= [w_6 \cdot (1 - k_{STS})] + (f_5 \cdot k_{STS}) = 0 + (17.441 \cdot 0.867) = 15.119 \end{aligned}$$

и т.д.²

Данные вычисления полностью совпадают с графиком на рисунке 6.

² – все расчётные значения приведённые для примера рассчитывались с высокой точностью и округлялись при выводе для удобства чтения

5. Разница между TRIMP Банистера и Зонным Центровзвешенным импульсом в разрезе сезона

Для того, что бы понять разницу в методе подсчёта количества тренировочной нагрузки по Банистеру и с использованием Зонного Центровзвешенного импульса, отследим положительный ответ организма на импульс (LTS) рассчитанный с применением обоих метрик на примере двух спортсменов в периоде времени 2,5 лет (с 1 января 2018 по середину июля 2020 года).

Первый спортсмен. Уровень — регулярно занимающийся любитель, 28 лет.

Гоночный километраж не значителен. Усреднённая среднемесячная ЧСС тренировок колеблется в значениях близких к середине резерва ЧСС, длинных периодов вкатки вначале сезона на низких зонах пульса нет, как нет и высокоинтенсивных гоночных циклов в середине и конце сезона. В целом, разница между показателями уровня тренированности на основе классического TRIMP и TRIMP_{ZCW} чисто символическая.

График первого спортсмена приведён ниже. К показателям применено сглаживание (фильтр ВЧ), для лучшей наглядности.

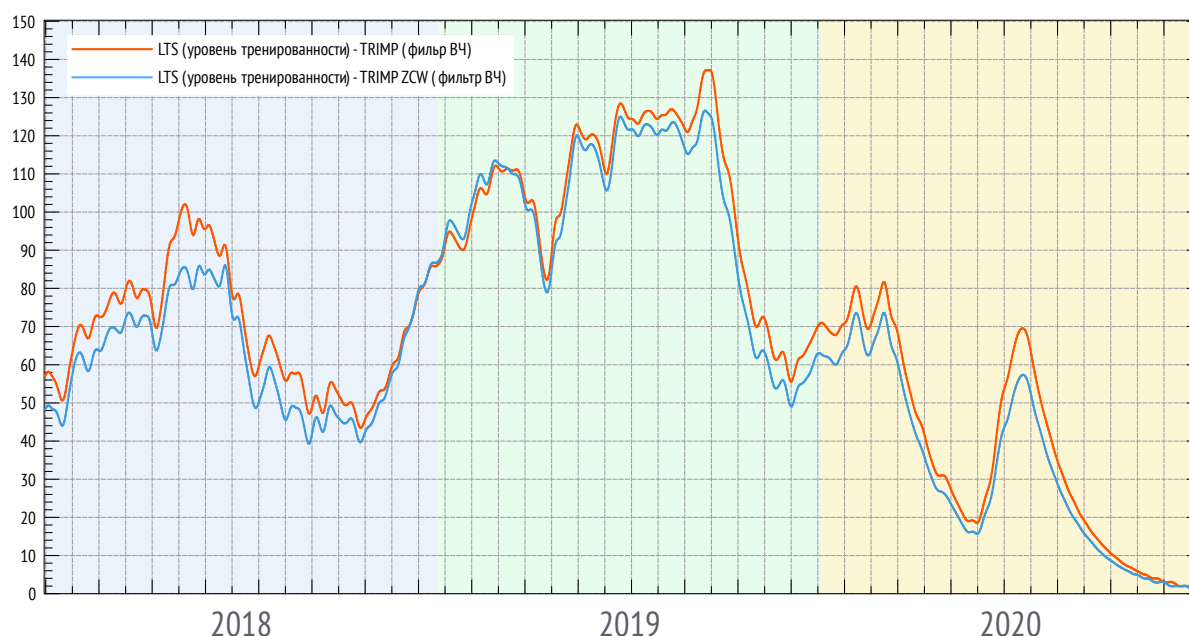


рис. 9. График положительного ответа организма первого спортсмена по двум методам TRIMP

Для любителей часто характерно выполнение тренировочной работы без разделения на циклы в пределах сезона и зачастую на больших значениях ЧСС. Из-за этого часто происходит быстрое утомление и потеря мотивации, поэтому отследить в долгосрочной перспективе таких любителей сложно. В нашем примере тренировочный процесс происходил под наблюдением тренера, с периодизацией и разбиением на циклы и сезоны, однако не было предсезонных длительных сборов с низкой интенсивностью и большой продолжительностью заездов, а так же не было гоночных сезонов с большим количеством соревнований.

Можно сказать, что применение TRIMP_{ZCW} для расчёта показателей формы и усталости для спортсменов не высокой квалификации и любителей не даёт явного преимущества в анализе распределения тренировочной нагрузки в пределах сезона.

Второй спортсмен. Уровень — победитель чемпионата федерального округа, призёр всероссийских соревнований по элите, 21 год.

На графике этого спортсмена мы остановимся подробнее. Для данного спортсмена характерна периодизация работы внутри сезона и изменение характера работы по ходу сезона. Так вначале сезона

работа начинается с выполнения большого объема низкоинтенсивной работы — предсезонный сбор и набор аэробной базы. Этот цикл внутри сезона обозначен на графике литерой «А».

Дальнейшее продолжение сезона характерно включением специальной силовой, скоростно-силовой, взрывной работы, с уменьшением объема длительных низкоинтенсивных тренировок и **поддержанием** набранного за сборы уровня тренированности. Этот цикл обозначен литерой «В» на графике.

Дальнейшее продолжение сезона включает в себя участие в большом количестве соревнований, с подведением максимальных показателей ко второй половине лета. В этом цикле, обозначенном литерой «С», интенсивность и количество соревнований растёт последовательно, по мере начала сезона от проходных отборочных стартов, заканчивая крупными стартами уровня Чемпионата России и всероссийских многодневных гонок.

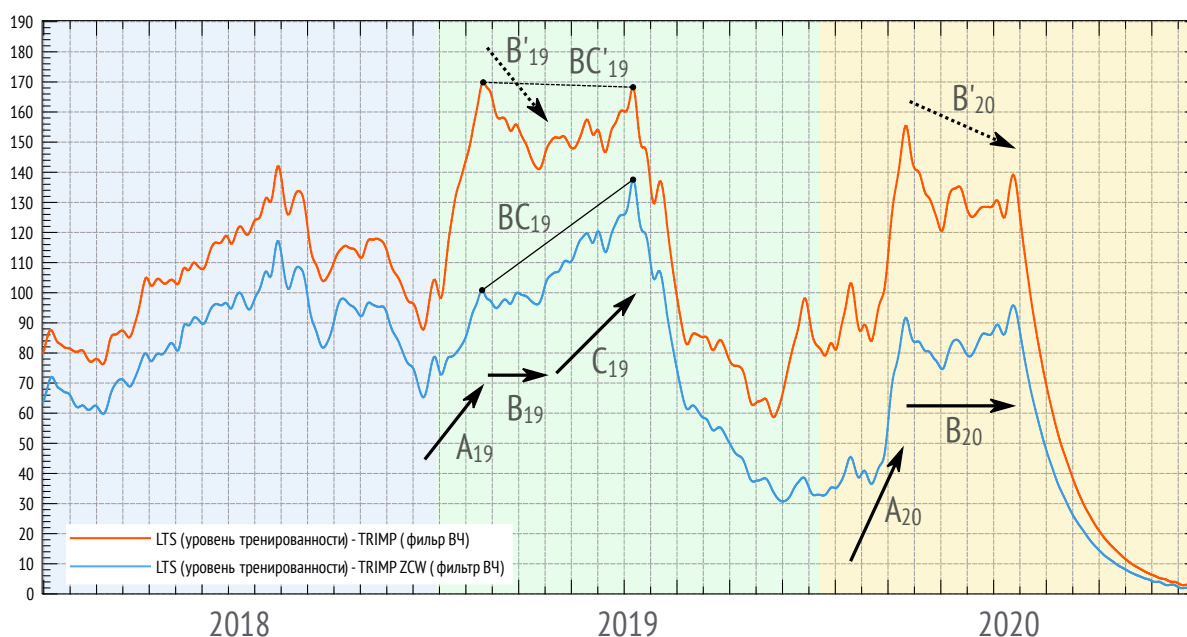


рис. 10. График положительного ответа организма второго спортсмена по двум методам TRIMP

Литерами «А», «В», «С» с указанием года в индексе, обозначены циклы сезона и вектора запланированного изменения показателей результативности, как они были спланированы тренировочным процессом и в последствии подтверждены анализом результатов и функциональных показателей. «ВС» – вектор изменения уровня тренированности за период после окончания начальных тренировочных сборов.

2018 год. Основная работа в этом сезоне велась на формирование специальной выносливости в течении всего сезона при относительно малом гоночном километраже и равномерном чередовании интенсивной нагрузки, соревновательной работы и низкоинтенсивной восстановительной работы. При таком смещении нагрузки равномерно в течении всего сезона обе метрики полностью одинаково отслеживают динамику ответа организма на тренировочную нагрузку.

2019 год. Здесь работа имела четкую периодизацию и разделение на циклы. В цикле «А₁₉» было много низкоинтенсивной работы. По методу TRIMP, такая работа оказалась существенно переоценена в количестве. Если бы такая работа производилась низкоквалифицированным спортсменом, то она бы привела к большим адаптационным сдвигам в организме, однако для спортсмена средней и средне-высокой квалификации это лишь способ выйти на тот уровень метаболизма относительного которого потом необходимо добиваться адаптационных сдвигов в организме.

В дальнейшем, в цикле «В₁₉» произошло снижение объемов работ, для компенсации усталости и повышение интенсивности для подведение к последующему соревновательному сезону. При оценке через TRIMP тренд положительного ответа организма «В'₁₉» стремительно пошел вниз, а при оценке через TRIMP_{ZCW} сохранил горизонтальную тенденцию, что больше соответствует квазистационарному

состоянию сохранения уровня тренированности после сбора, контролируемому по показателям результативности.

Цикл «С₁₉» характеризовался постепенным увеличением интенсивности тренировок и гонок, увеличением продолжительности работы на высокой ЧСС и участием в более длительных и интенсивных соревнованиях. При этом производился анализ физиологических показателей, показывающих рост уровня усталости, а так же увеличение производительности спортсмена и повышение его адаптации к нагрузкам. Вектор «BC₁₉» визуальнo полностью отражает рост уровня адаптационных возможностей организма спортсмена, его рост способности выполнения работы по ходу сезона, в то время как вектор «BC'» по классическому TRIMP предполагает только к концу сезона выход на уровень после предсезонных сборов, что в корне противоречит фактическому состоянию спортсмена.

Окончание сезона 2019 сопровождалось более длинным периодом восстановления, чем в предыдущий год и увеличением числа низкоинтенсивной работы в конце 2019 и начале 2020 года.

2020 год начался с более длительных сборов, чем это было в 2019 году. В разрезе долговременного анализа к началу 2020 года разница между долговременным ответом организма по методу TRIMP и TRIMP_{ZCW} достигает уже более чем двукратной величины в количественном выражении. Так же цикл «B₂₀» имел большую продолжительность из-за отмены соревнований 2020 года в связи с пандемией вируса SARS-COV-2 в мире, но по графику основанному на TRIMP_{ZCW} он в итоге отражает запланированное горизонтальное квазистационарное состояние, в то время как вектор «B'₂₀» аналогично «B'₁₉» заметно снижается.

Данный текст написан в момент окончания цикла «B₂₀», а потому на графике отсутствует цикл «C₂₀».

На двух примерах выше мы отобразили только одну метрику — положительный ответ организма (уровень тренированности). Вторая важная метрика, уровень усталости имеет точно такую же динамику в сравнении методов.

Далее отобразим все три показателя: уровень тренированности, усталости и баланс формы для второго спортсмена в эффективной части сезона 2019, по методу Банистера и по Зонному Центровзвешенному импульсу.

По методу Банистера (с коэффициентами Грина) в начале сезона 2019 года в цикле «А» происходит существенный рост усталости и баланс формы практически сразу же уходит в значительные отрицательные значения. При этом в цикле «С» усталость практически не растёт и её значение в конце сезона значительно меньше, чем в предсезонном низкоинтенсивном сборе.

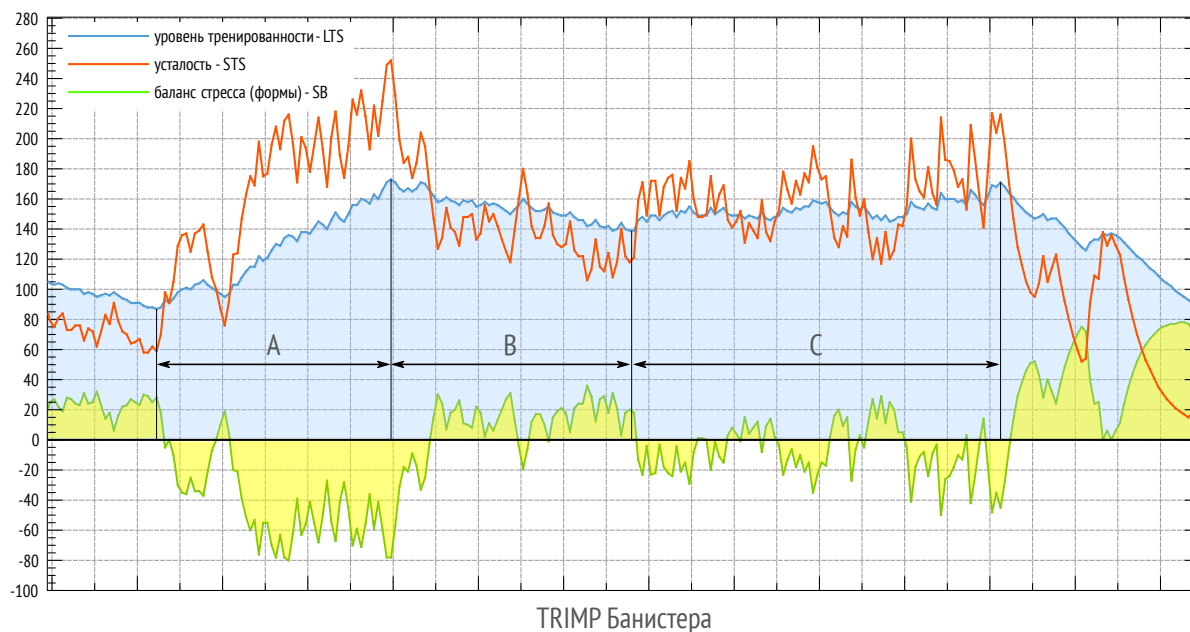
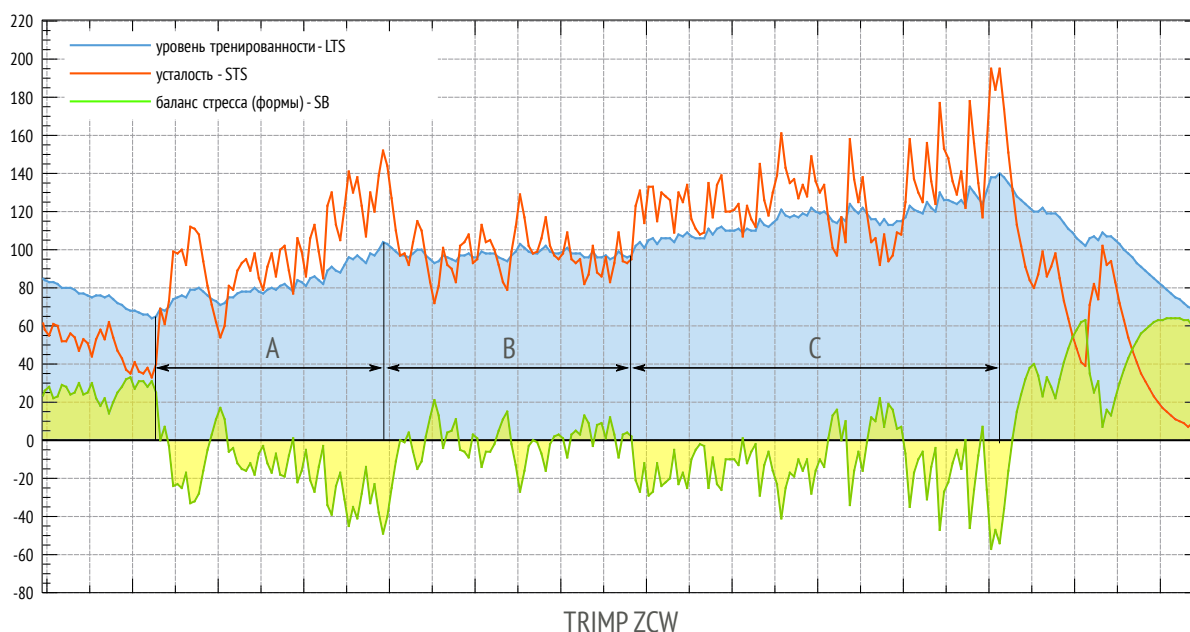


рис. 11. График показателей ответа организма второго спортсмена по TRIMP Банистера

Это не соответствует показателям гормонального баланса и других физиологических маркеров анализа крови, а так же субъективной оценке самочувствия спортсмена по ходу сезона и объективным факторам работоспособности в конце сезона.

Эти же показатели, но рассчитанные с использованием Зонного Центровзвешенного импульса дают картину более схожую с объективными факторами оценки. Так здесь присутствует более плавное накопление усталости и снижение баланса формы в цикле «А», на предсезонном сборе, при низкоинтенсивных тренировках. По ходу гоночного сезона «С» происходит более выраженное колебание амплитуды усталости и рост её максимальных значений.

рис. 12. График показателей ответа организма второго спортсмена по TRIMP_{ZCW}

Можно сделать вывод, что чем выше уровень подготовки спортсмена и чем более ранжированная по циклам в течении сезона производится работа, тем выше разница в долговременной оценке между классическим методом Банистера и его расширенным центровзвешенным методом, при этом более объективная картина складывается именно при методике использования зонного центровзвешенного импульса.

Существует несколько идентичных методов, основанных на использовании зонных коэффициентов, но в отличие от центровзвешенных коэффициентов они дают существенную переоценку всей производимой работы, в то время как при использовании центровзвешенных коэффициентов показатели количества тренировочной нагрузки при среднеинтенсивной тренировке полностью идентичны классическому TRIMP Банистера, а производится лишь слабо-экспоненциальная коррекция в случае отклонения работы в сторону заметного увеличения или снижения интенсивности.

Так же, как уже отмечалось ранее, при длительных и одновременно интенсивных тренировках (гонках) показатели центровзвешенного импульса и классического TRIMP так же очень близки. Это обусловлено чисто физиологическими факторами, в частности тем, что невозможно непрерывно совершать работу в анаэробной зоне нагрузки в течении 4-5 часов.

6. Применимость и ограничения метода TRIMP

Любой метод имеет свою сферу применения, свои критерии применимости и ограничения. Прежде всего надо отметить, что метод основанный на тренировочном импульсе в первую очередь применим к циклическим видам спорта и видам спорта на выносливость в частности. Но он так же может быть применён и к игровым и другим видам спорта, где одним из развиваемых показателей является выносливость и тренировочный процесс основан на двигательной активности.

Для классического TRIMP по Банистеру требуется подсчёт средней ЧСС за тренировку, следовательно необходимо применение спортсменом пульсометра (кардиомонитора). Причём датчик измерения пульса должен быть нагрудным электрическим, а не оптическим, т. к. оптический метод измерения ЧСС основан не на прямом измерении, а на анализе изменения скорости кровотока и вычленении, что из этого является пульсом, а что механическим воздействием, что приводит к большим задержкам при изменении ЧСС.

Для расширенного метода TRIMP по зонному центровзвешенному импульсу требуется запись не только одного показателя — средней ЧСС, а непрерывная запись всей ЧСС за всё время тренировки.

Метод основанный на тренировочном импульсе Банистера плохо применим для видов спорта, где работа носит кратковременный импульсный характер и чаще всего за счёт креатинфосфатного (алактатного) энергообмена, т. к. при такой работе не происходит накопления лактата и ЧСС не отслеживает в полной мере величину получаемой спортсменом нагрузки. К таким видам спорта можно отнести тяжёлую атлетику, поднятие тяжестей, метание, прыжки.

Так же метод не применим к видам спорта основанным на концентрации внимания и статическим усилиям с изометрическими (тетаническим) мышечными сокращениями, таким как например пулевая стрельба.

[...]

7. Центровзвешенные коэффициенты для разных видов спорта

Принцип расчёта коэффициентов зон основан на влиянии работы в определённой зоне на величину адаптационных сдвигов организме спортсмена.

[...]

| Вид спорта | kz1 | kz2 | kz3 | kz4 | kz5 |
|-------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Велоспорт, велотренажёр | 0.595 | 0.777 | 0.979 | 1.201 | 1.447 |
| Бег, беговая дорожка | 0.459 | 0.696 | 0.964 | 1.268 | 1.612 |
| Плавание | 0.432 | 0.680 | 0.962 | 1.282 | 1.644 |
| Лыжи | 0.387 | 0.656 | 0.959 | 1.304 | 1.694 |
| Конькобежный спорт | 0.234 | 0.560 | 0.938 | 1.378 | 1.889 |

[...]

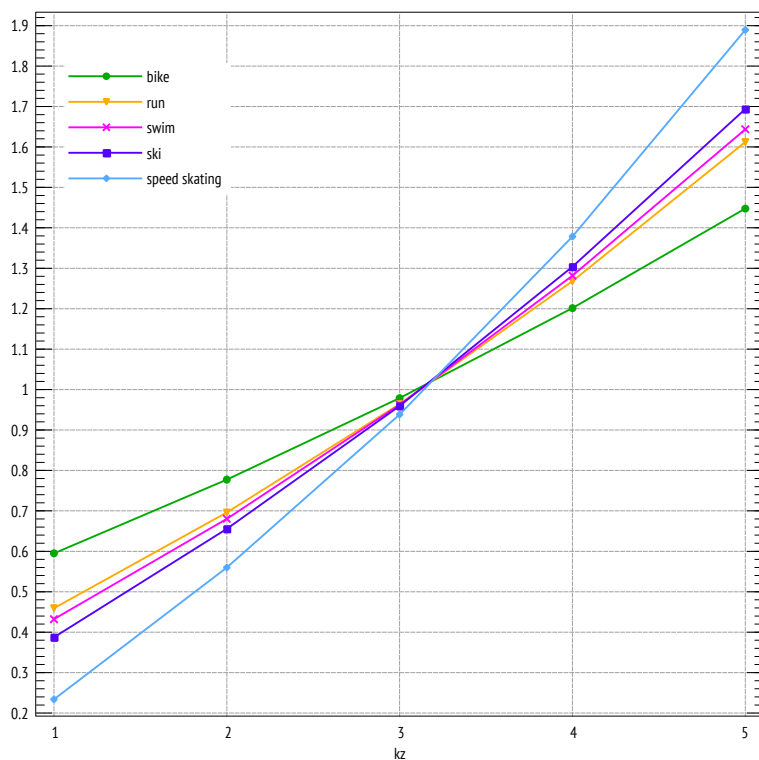


рис. 13. Центровзвешенные коэффициенты для разных видов спорта

[...]

8. Реализация TRIMP_{ZCW} в Golden Cheetah

Golden Cheetah – популярное профессиональное программное обеспечение для анализа тренировок и показателей эффективности и результативности. Главным преимуществом его является то, что этот продукт разрабатывается с открытым исходным кодом и абсолютно бесплатен, при этом обладает гибким функционалом и широкими возможностями.

Базовый классический TRIMP по Банистеру-Мортону-Грину в Golden Cheetah есть. Так же есть некоторый зонный TRIMP, правда не совсем корректный. Начиная с версии 3.6 в Golden Cheetah можно писать свои метрики тренировок на языке схожем с языком математического анализа R. Функционал написания своих метрик пока имеет ряд ограничений, но постепенно будет расширяться.

Для того что бы создать тренд динамики показателей TRIMP_{ZCW} в меню Инструменты → Настройки выбираем вкладку Показатели → Пользовательские → «+» и перед нами открывается окно описания новой метрики. Назовём её **TrimpZCW** и вставим следующий код описания:

```
{
  value {
    # резерв ЧСС
    dHR <- (Average_Heart_Rate-config(rhr))/(config(maxhr)-config(rhr));

    # коэффициент лактата
    b1 <- 1.92; b2 <- 0.64; # for Man or b1<-1.67; b2<-0.86 for Woman

    # весовые коэффициенты зон
    # велосипед, велотренажёр и по умолчанию
    kz1 <- 0.595; kz2 <- 0.777; kz3 <- 0.979; kz4 <- 1.201; kz5 <- 1.447;

    if (Sport = "Run" || Sport = "Treadmill")
      { kz1 <- 0.459; kz2 <- 0.696; kz3 <- 0.964; kz4 <- 1.268; kz5 <- 1.612; }
    if (Sport = "Swim")
      { kz1 <- 0.432; kz2 <- 0.680; kz3 <- 0.962; kz4 <- 1.282; kz5 <- 1.644; }
    if (Sport = "Ski" )
      { kz1 <- 0.387; kz2 <- 0.656; kz3 <- 0.959; kz4 <- 1.304; kz5 <- 1.694; }
    if (Sport = "Ice")
      { kz1 <- 0.234; kz2 <- 0.560; kz3 <- 0.938; kz4 <- 1.378; kz5 <- 1.889; }

    # база TRIMP
    base <- ((Time_Recording/60) * dHR * b2 * exp(b1*dHR))/(100.0);

    # сумма частей TRIMP по зонам
    trimp_zcw <- (base * H1_Percent_in_Zone * kz1) + (base * H2_Percent_in_Zone * kz2) +
    (base * H3_Percent_in_Zone * kz3) + (base * H4_Percent_in_Zone * kz4) + (base *
    H5_Percent_in_Zone * kz5);

    # если тренировка введена вручную и не содержит данных по пульсу,
    # а только продолжительность и средний пульс, возвращаем классический TRIMP
    if ( (Max_Heartrate) = 0 ) { trimp_zcw <- base * 100.0; }

    trimp_zcw;
  }
}
```

Изначально Golden Cheetah оперирует с видами спорта Bike, Run и Swim. Остальные виды спорта (если конечно у вас будут такие тренировки) надо добавить в настройках или изменить в этом коде на те названия видов спорта, как вы используете.

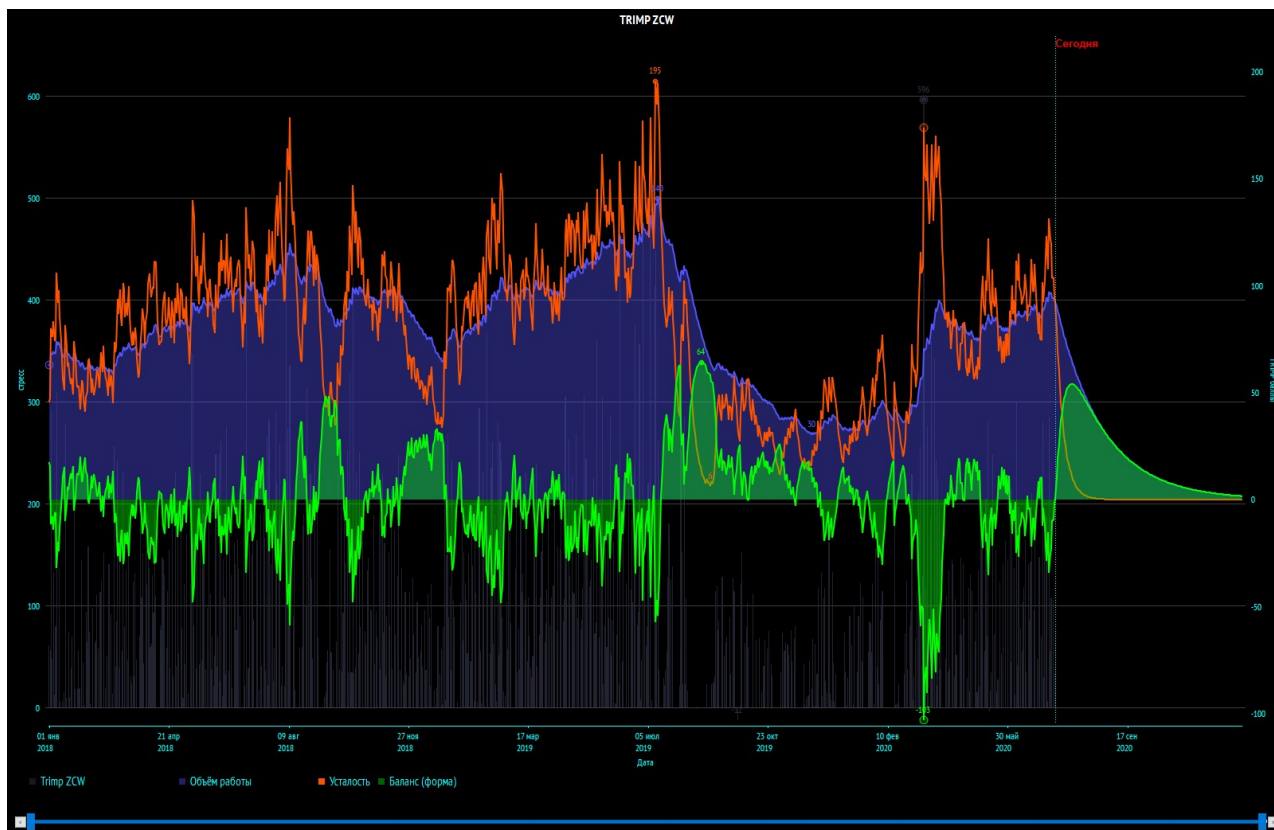
На момент написания статьи Golden Cheetah не позволял в метриках получать доступ к полу спортсмена из конфигурации, но это должно было быть исправлено к выходу релиза версии 3.6.

После этого перейти на вкладку «Динамика показателей» и там добавить новый график «Динамика показателей». На вкладке «Показатели» нажать кнопку «+», что бы добавить метрики. Там выбрать тип метрики «PMS», а в списке метрик найти созданную нами метрику **TrimpZCW** и выбрать тип

«Краткосрочная нагрузка STS/ATL». Повторить тоже самое но с «Длительной нагрузкой LTS/CTL» и «Баланс стресса SB/TSB».

На фон можно добавить саму метрику **TrimpZCW** как показатель в виде столбцов, отображающих суточный импульс за каждый день.

В результате получится график расширенного TRIMP на базе Зонного Центровзвешенного импульса.



Golden Cheetah позволяет настроить общие для всех методов постоянные времени T1 и T2 в настройках, по умолчанию он использует 42 и 7 дней, по Грину.

Если у вас не получилось создать руками метрики и тренды, вы можете импортировать готовые, простым перетаскиванием файла метрики и тренда на экран программы. Скачать метрики и тренды можно из Github репозитория:

<https://github.com/MaksVasilev/GoldenCheetah-metrics>

Там же находится актуальная версия этого документа:

[https://github.com/MaksVasilev/GoldenCheetah-metrics/raw/master/Doc/Vasilev-M-I TRIMP and TRIMP-ZCW.pdf](https://github.com/MaksVasilev/GoldenCheetah-metrics/raw/master/Doc/Vasilev-M-I%20TRIMP%20and%20TRIMP-ZCW.pdf)

Литература

1. BANISTER, E. W., T. W. CALVERT, M. V. SAVAGE, AND T. M. BACH. A systems model of training for athletic performance. *Aust. J. Sports Med.* 7: 57-61, 1975.
2. Calvert, Banister, Savage, & Bach. A systems model of the effects of training on physical performance (Institute of Electrical and Electronics Engineers Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 6(2), 94-102, 1976)
3. BANISTER, E. W., AND T. W. CALVERT. Planning for future performance: implications for long term training. *Can. J. Appl. Sports Sci.* 5: 170-176, 1980.
4. R.H. Morton, J.R. Fitz-Clarke and E.W. Banister. Modeling human performance in running. *J Appl Physiol*, 69(3):1171-7, 1990.
5. BANISTER, E. W. 1991. Modeling Elite Athletic Performance. In: MACDOUGALL, J. D., WENGER, H. A. & GREEN, H. J. (eds.) *Physiological Testing of Elite Athletes*. Champaign, Illinois: Human Kinetics.
6. Philip Friere Skiba; Weerapong Chidnok; Anni Vanhatalo; Andrew M. Jones, Modeling the Expenditure and Reconstitution of Work Capacity above Critical Power. *Medicine & Science in Sports & Exercise*: August 2012 - Volume 44 - Issue 8 - p 1526-1532 doi: 10.1249/MSS.0b013e3 182517a80
7. Skiba PF, Jackman S, Clarke DC, Vanhatalo A, and Jones AM. Effect of Work & Recovery Durations on W Reconstitution during Intermittent Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 46: 1433-1440, 2013
8. Hunter Allen and Dr. Andy Coggan, authors of *Training and Racing with a Power Meter*
9. Busso T, Carasso C, Lacour JR. Adequacy of a systems structure in the modeling of training effects on performance. *J Appl Physiol* 1991; 71 (5): 2044-9
10. Green Howard J, Jones LL, Painter DC. Effects of short-term training on cardiac function during prolonged exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1990; 22 (4): 488-93
11. Green HJ, Coates G, Sutton JR, et al. Early adaptations in gas exchange, cardiac function and haematology to prolonged exercise training in man. *Eur J Appl Physiol* 1991; 63 (1): 17-23

Глоссарий

[...]