

НОРМАЛИЗАЦИЯ МАССЫ ТЕЛА ДОМАШНИХ ЖИВОТНЫХ

В.В. Кромер

Проблема ожирения среди домашних животных не менее актуальна, чем среди людей. Ожирением у домашних животных принято считать превышение веса над идеальным для данного экземпляра животного на 20%. Ожирение приводит к изменениям в поведении животного и сокращению срока его жизни, а также к проявлениям сопутствующих ожирению заболеваний.

Имеется ряд рекомендаций по нормализации массы тела животных, однако все они сводятся к общим рекомендациям снизить калорийность (или объем) корма, при этом даже не нормируется скорость снижения веса – общие рекомендации колеблются в пределах от 0,5 до 2% веса животного в день, т.е. ожирение в пределах 20% предлагается ликвидировать за сроки от 10 до 40 дней, что также не позволяет выработать четкий план нормализации массы тела животного.

Мы предлагаем взять за основу похудения животных нашу оправдавшую себя на практике и хорошо обоснованную систему нормализации массы тела человека «Минус фунт» [1, 2]. Система «Минус фунт» основывается на отрицательной обратной связи между скоростью изменения массы тела и калорийностью рациона питания, со стабилизацией скорости похудения. Скорость похудения стандартного человека (массой 65 кг) в системе «Минус фунт» принята равной 400 г в неделю (7 дней), поскольку система основывается на достаточно обоснованном предположении, подкрепленном пилотажным исследованием, практикой использования системы и опытом прочих диетических систем, что при еженедельных отвесах, превышающих 400 г, у человека снижается уровень основного обмена (УОО), что замедляет похудение и лишает его комфортности. Для переноса количественных характеристик оптимального похудения на теплокровное животное следует воспользоваться законом Клайбера [3], устанавливающим зависимость между УОО животного и его массой тела.

$$УОО_{жс} = 70M_{жс}^{0,75}, \quad (1)$$

где $УОО_{жс}$ – уровень основного обмена животного в ккал, $M_{жс}$ – масса тела животного в кг.

Прочие приведенные в литературе рекомендации, где УОО предполагается пропорциональным массе, либо линейно зависит от нее, оказываются неприемлемыми при широком диапазоне масс тела животного.

Вычисленный по формуле (1) УОО следует умножить на коэффициент физической активности (КФА) животного, что зависит от образа его жизни. В частности, для собак при очень малой активности КФА равен 1,2-1,4; для взрослой активной собаки 1,8; для работающих собак в пределах от 3 до 6 в зависимости от тяжести работы.

Подобным образом оценивается калорийность питания животного для условия удержания существующей массы тела. Далее требуется пересчитать темп похудения с оптимального для человека темпа 400 г в неделю на оптимальный для данного животного темп. Исходя из предположения об одинаковой энергетической ценности депонированного жира у человека и животного, скорость снижения МТ оказывается пропорциональной $UO_{жс}$, что в предположении УОО стандартного человека (с массой тела $M_ч = 65$ кг) $UOO_ч = 1600$ ккал и соответствующему темпу похудения 400 г в неделю отрицательному дисбалансу для человека $\Delta_ч = -400$ ккал, дисбаланс для похудения животного составляет

$$\Delta_{жс} = \frac{UOO_{жс}}{UOO_ч} \cdot \Delta_ч = \frac{70M_{жс}^{0,75}}{1600} \cdot (-400) = -17,5M_{жс}^{0,75}. \quad (2)$$

Помимо дисбаланса, ввиду более высокой скорости жизненных процессов у животных (с меньшей, чем у человека, массой тела), нуждается в переоценке длительность кванта времени, т.е. периода времени, за который производится оценка изменения МТ животного с целью внесения коррекции в калорийность ежедневного рациона. Для человека оптимальным квантом времени является календарная неделя (7 дней), поскольку, по результатам оценок, УОО человека при изменении питания меняется с постоянной времени порядка 25-30 дней, и за 7 дней не успевает значительно измениться, в противном случае сказала бы инерционность системы «человек – пища».

Для пересчета длительности кванта времени применительно к животному воспользуемся вытекающим из закона Клайбера правилом, согласно которому все жизненные процессы в организме теплокровного животного ускоряются обратно пропорционально его массе в степени 0,25. Отсюда длительность кванта времени для животного

$$T_{жс} = \frac{M_{жс}^{0,25}}{M_ч^{0,25}} T_ч = \frac{M_{жс}^{0,25}}{65^{0,25}} \cdot 7 = 2,47M_{жс}^{0,25}, \quad (3)$$

где $T_ч$ – длительность кванта времени для человека (7 дней).

Поскольку длительность кванта времени в днях для удобства должна быть целочисленной, а зависимость $T_{жс}$ от $M_{жс}$ слабая, можно составить таблицу соответствия между МТ животного и длительностью кванта времени.

Масса тела животного, от-до, кг	Длительность кванта времени, дней
0,1-1	2
1-4	3
4-11	4
11-25	5

25-48	6
48-86	7

Как следует из таблицы, у большинства домашних животных оптимальная длительность кванта времени составляет 3-4 дня, а для более крупного животного можно для удобства принять $T_{жс} = 7$ дней, с привязкой к календарной неделе.

Исходя из дисбаланса $\Delta_{жс} = -17,5M_{жс}^{0,75}$, ежедневная убыль МТ животного (в кг) должна составлять $\Delta M_{жс\text{еж}} = \frac{\Delta_{жс}}{\text{ЭЦ}} = \frac{-17,5M_{жс}^{0,75}}{\text{ЭЦ}}$, где $\text{ЭЦ} = 7000$ ккал/кг – энергетическая ценность депонированного жира, откуда $\Delta M_{жс\text{еж}} = \frac{-17,5M_{жс}^{0,75}}{7000} = -0,0025M_{жс}^{0,75}$. Однако на практике нас интересует не ежедневный отвес, а отвес за квант времени, поскольку коррекция калорийности производится именно с такой периодичностью, чтобы исключить влияние статистических отклонений МТ животного и выпадающих значений:

$$\Delta M_{жс\text{кв}} = \Delta M_{жс\text{еж}} T_{жс} = 0,0025M_{жс}^{0,75} \cdot 2,47M_{жс}^{0,25} = 0,0062M_{жс}, \quad (4)$$

где $M_{жс}$ – по-прежнему масса тела животного в кг.

Как видим, несмотря на изменение длительности кванта времени, оптимальный отвес животного за квант времени пропорционален массе его тела. На практике, ввиду округления длительности кванта времени до ближайшего целого или внесения некоторого произвола в это значение, соотношение (4) нарушается.

Для удобства перепишем выражение для отвеса за квант времени с расчетом на измерение отвесов в граммах:

$$\Delta M_{жс\text{кв}} = 2,5M_{жс}^{0,75} \cdot T_{жс}. \quad (5)$$

Для дальнейшей работы с животным это значение следует округлить до ближайшего целого числа граммов и впредь этим значением руководствоваться.

Взвешивать животное следует ежедневно, поскольку при более редких взвешиваниях (в частности, один раз за весь квант времени), будут сказываться случайные статистические колебания МТ животного, что исказит данные и внесет возмущения в процесс регулирования (похудения). Для оценки динамики МТ животного будут сравниваться не результаты отдельных взвешиваний, а типичные массы тела соседних квантов времени – ТМК. Типичную массу кванта времени для повышения робастности системы следует определять методами непараметрической статистики, а именно – применять в качестве ТМК одну из непараметрических мер цен-

тральной тенденции. Для ручного подсчета проще воспользоваться медианой ряда значений МТ¹. Количество значений в ряду определяется выбранным квантом времени и численно равно его длительности в днях. Для определения медианы следует ранжировать все значения МТ, т.е. выстроить их в порядке возрастания значений (хронологический порядок получения измеренных значений МТ при этом может нарушаться), и если количество значений нечетное, взять среднее значение в ранжированном ряду значений. Это и будет ТМК. Так, при длительности кванта в 3, 5 и 7 дней ТМК будет соответственно 2-е, 3-е и 4-е значение в ряду. При четном количестве значений в ряду, «средних» значений окажется уже два, и ТМК определится как полусумма этих двух средних значений. Т.е. при длительности кванта времени в 2, 4 и 6 дней медианой будет полусумма соответственно 1-го и 2-го, 2-го и 3-го, 3-го и 4-го значений в ранжированном ряду.

Путем сравнения двух значений ТМК по соседним квантам времени (последнему и предшествующему), т.е. путем вычитания из последней ТМК предшествующей ТМК, определяется фактическое изменение МТ за квант времени (при отвесе со знаком минус, при привесе со знаком плюс), и сравнивается с должным изменением (значение по формуле (5)). Разница задает т.н. сигнал ошибки (CO), пропорционально которому следует скорректировать калорийность рациона питания животного. Установим значение коэффициента пропорциональности между величиной коррекции калорийности и значением CO . При выбранной длительности кванта времени $T_{ж}$ и значении сигнала ошибки (в граммах) CO ежедневное изменение МТ животного в предположении равномерного ее изменения составит $CO_{еж} = \frac{CO}{T_{ж}}$. При энергетической ценности депонированного жира $ЭЦ = 7$ ккал/г (что равно выше принятому значению 7000 ккал/кг), и неких идеализированных условиях (динамика МТ определяется лишь энергетической ценностью пищи, случайные возмущающие факторы отсутствуют), калорийность ежедневного рациона питания животного следовало бы изменить на

$$\Delta K_0 = \Delta M_{ж\text{еж}} \cdot ЭЦ = \frac{CO \cdot ЭЦ_{дж}}{T_{ж}} = \frac{CO \cdot 7}{T_{ж}}, \quad (6)$$

где CO выражается в граммах, $ЭЦ$ в ккал/г, а ΔK – в ккал. Однако МТ животного в определенный день определяется не только его пищевым статусом, но и множеством случайных факторов – соленостью пищи, ее объемом (а следовательно, и ее средней энергетической плотностью), регуляр-

¹ Для компьютерного расчета возможно использование более сложных мер центральной тенденции.

ностью работы желудочно-кишечного тракта животного, условиями внешней среды, изменениями активности животного, и прочими случайными факторами. Для элиминирования этих факторов следует загрузить характеристики обратной связи в системе «животное – пища», и внести в нее дополнительную инерционность. (Основная инерционность же вносится самим фактом фиксации МТ животного не непрерывно, а с определенным интервалом времени). Загрузка системы производится умножением вычисленного по формуле (6) значения коррекции калорийности рациона на некоторый коэффициент, меньший 1. На практике для человека оправдало себя значение 0,5. Для данного животного с меньшей длительностью кванта времени значение коэффициента целесообразно принять за $\lambda = \frac{0,5T_{жс}}{T_{ч}} = \frac{0,5T_{жс}}{7}$, и, умножая (6) на λ , получаем значение коррекции калорийности в виде

$$\Delta K = \Delta K_0 \cdot \lambda = \frac{CO \cdot 7}{T_{жс}} \cdot \frac{0,5T_{жс}}{7} = 0,5 \cdot CO, \text{ т.е. коррекцию калорийности в ккал}$$

принимаем в половину сигнала ошибки в граммах.

Помимо загрузки, сигнал ошибки нуждается еще и в ограничении сверху (по модулю). Т.е. отрицательная коррекция и положительная по модулю не должны превосходить некоторого наперед заданного значения. Для человека максимальное значение модуля коррекции принято равным $\Delta K_{ч, макс} = 100$ ккал. Для животного максимальное значение модуля коррекции изменится пропорционально его УОО:

$$\Delta K_{макс} = \frac{УОО_{жс}}{УОО_{ч}} \Delta K_{ч, макс} = \frac{70M_{жс}^{0,75}}{1600} \cdot 100 = 4,4M_{жс}^{0,75}, \quad (7)$$

где $M_{жс}$ – МТ животного в кг.

При этом следует иметь в виду, что коррекция калорийности производится не по калорийности последнего кванта времени, а по средней калорийности двух последних квантов времени, поскольку типичная МТ кванта времени (ТМК) относится к середине кванта, а не к его концу.

Изложим методику расчета последовательно на примере похудения домашней собачки породы чихуахуа с начальной МТ 2,84 кг и признаками ожирения. Желаемая МТ определена в 2,32 кг после консультации со специалистом по породе.

1. Определяем УОО животного (по идеальному весу) по формуле (1): $УОО_{жс} = 70M_{жс}^{0,75} = 70 \cdot 2,32^{0,75} = 132$ (ккал).

2. Ввиду низкой физической активности собачки коэффициент физической активности выбираем равным $K\Phi A = 1,2$ и оцениваем калорийность питания животного с целью удержания МТ: $K_{уд} = K\Phi A \cdot УОО = 1,2 \cdot 132 = 158$ (ккал).

3. Определяем по формуле (2) требуемый дисбаланс при кормлении животного для похудения: $\Delta_{жс} = -17,5M_{жс}^{0,75} = -17,5 \cdot 2,32^{0,75} = -33$ (ккал).

4. Вычисляем по формуле (3) с последующим округлением до целого или выбираем из таблицы длительность кванта времени $T_{жс}$. Исходя из веса собачки, останавливаемся на значении $T_{жс} = 3$ (дня).

5. Определяем калорийность первых двух квантов времени кормления животного в режиме похудения: $K_{пox} = K_{уд} + \Delta_{жс} = 158 - 33 = 125$ (ккал).

6. По формуле (7) оцениваем величину предельной коррекции калорийности рациона: $\Delta K_{макс} = 4,4M_{жс}^{0,75} = 4,4 \cdot 2,32^{0,75} = 8$ (ккал).

7. Определяем целевой отвес животного за квант времени: $\Delta M_{жс кв} = \frac{\Delta_{жс} T_{жс}}{\text{ЭЦ}} = \frac{-33 \cdot 3}{7} = -14$ (г).

8. Кормим животное предназначенным для него кормом в течение двух т.н. установочных квантов времени (двух трехдневок в нашем случае), фиксируя ежедневно утром вес животного.

9. По истечении 2 квантов времени (6 дней) оцениваем типичную МТ за первый и второй кванты времени, для чего измеренные за первую трехдневку значения МТ в граммах 2820, 2805, 2775 и за вторую 2770, 2760, 2755 упорядочиваются по возрастанию, в результате чего имеем два ряда ранжированных значений 2755, 2805, 2820 и 2755, 2760, 2770, откуда оцениваем (по медиане) $ТМК1 = 2805$ (г) и $ТМК2 = 2760$ (г).

10. Оцениваем изменение МТ животного: $\Delta M_{жс кв} = ТМК2 - ТМК1 = 2760 - 2805 = -45$ (г).

11. Исходя из отвеса в -45 г, и планируемого отвеса -14 г, сигнал ошибки составляет $СО = -14 - (-45) = 31$ (г). Коррекция калорийности в ккал должна составить половину от этого значения, т.е. 15-16 ккал, но в силу вступает ограничение на изменение калорийности не выше 8 ккал. Таким образом, калорийность изменяется на 8 ккал, и следующую неделю животное получает корма на $\frac{125 + 125}{2} + 8 = 133$ ккал.

12. Подобным же образом калорийность корректируется по завершению каждого очередного кванта времени, вплоть до окончательной нормализации МТ животного, после чего оно переводится в режим удержания МТ.

13. При необходимости удержания МТ животного на достигнутом уровне методика расчета калорийности не меняется, меняется лишь значение целевого изменения МТ за квант времени – вместо определенного по п. 7, это значение принимается равным 0.

На рисунке 1 приведен график похудения животного в течение периода похудения длительностью 30 квантов времени (90 дней). Общая убыль

массы тела составила 520 г, или 18,3% от первоначальной массы тела. Среднее ежедневное изменение массы тела составило 0,20%.

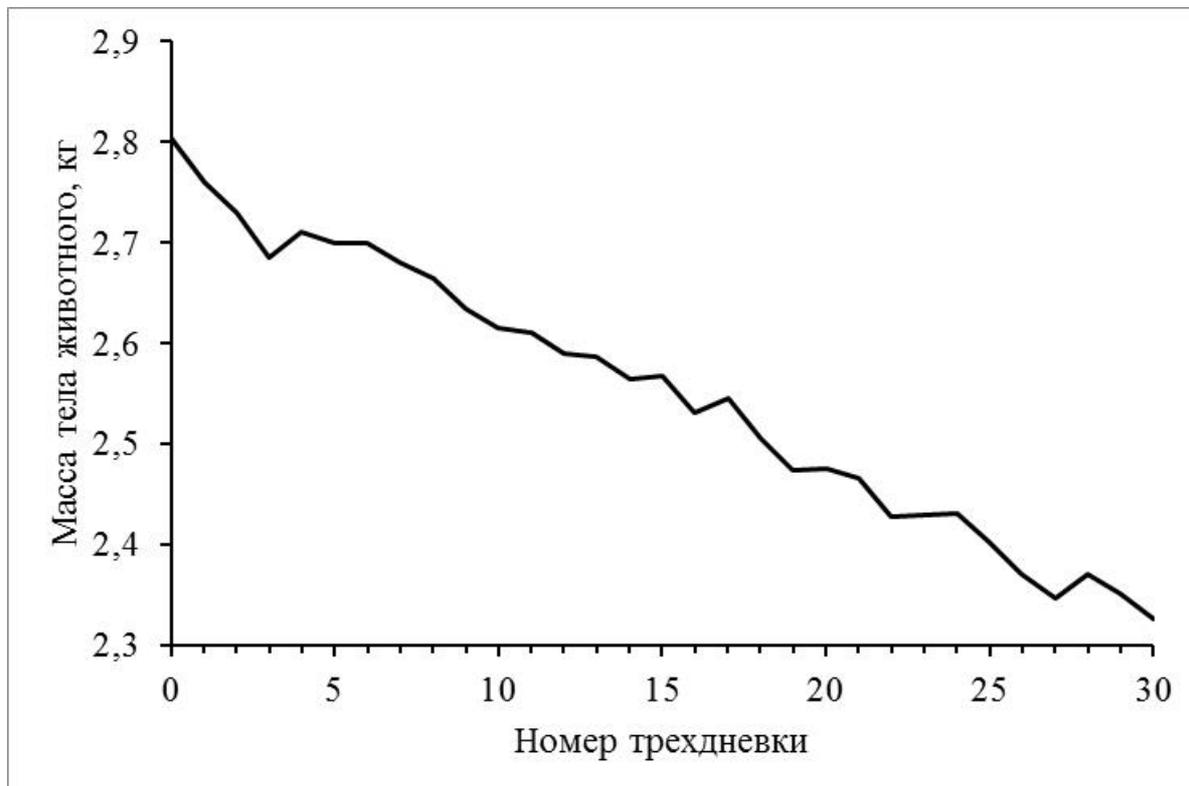


Рис. 1. График изменения массы тела животного за время похудения

Литература

1. Кромер В.В. Система нормализации и поддержания постоянства массы тела пациента с постоянством дисбаланса // Здоровьесберегающие технологии в образовании: Сборник матер. Всеросс. науч.-практ. конф.; Новосибирск, 11-12 ноября 2010 г. Новосибирск: Изд-во НИПКиПРО, 2010. С. 134-136.

2. Кромер В.В. Сколько существует способов нормализации избыточной массы тела? // Научный электронный архив.

URL: <http://econf.rae.ru/article/6167> (дата обращения: 16.04.2016).

3. Max Kleiber (1932). "Body size and metabolism". *Hilgardia* 6: 315–351.