

О МЕХАНИЗМЕ ДВИЖЕНИЯ КИШЕЧНИКА

Л. А. МАТИНЯН, М. Л. МАТИНЯН, С. М. ИСААКЯН

На основании сравнительного анализа показано, что в соответствии с морфологическим строением движение кишечника вместе с лишней носит винтообразный характер, периоды которого совпадают с периодами собственных колебаний содержимого при его контакте со стенками кишок.

Основными функциями пищеварительного аппарата являются, как известно, секреторная, моторная и всасывательная. Кишечнику как части этого аппарата присущи те же функции.

Не отрицая взаимодействия и взаимообусловленности всех органов с нервной системой в организме человека, здесь произведен динамический анализ именно моторной функции кишечника.

Известно, что перемещение пищи по кишечной трубке происходит благодаря координированным сокращениям поперечных и продольных мышечных волокон. Считается, кроме того, что «движение кишечника осуществляется благодаря разным видам сокращений, находящихся в сложных взаимоотношениях, трудных для анализа» [1].

Различают четыре вида кишечных сокращений: ритмическая сегментация с преимущественным участием циркулярного слоя; маятниковобразные сокращения, в осуществлении которых участвуют циркулярные и преимущественно продольные мышцы; перистальтические сокращения как результат координированных сокращений продольных и циркулярных мышц с участием интрамуральных рефлекторных механизмов; антиперистальтические сокращения.

При всех типах сокращений происходит как перемешивание, так и продвижение содержимого по кишечной трубке, при этом участвуют как циркулярные, так и продольные мышцы с преимущественным участием тех или других.

По литературным данным [2], все виды движений могут переходить одно в другое, при высокой двигательной активности особой электрофизиологической разницы между ними нет, а частота первых трех типов сокращений одинаковая. Исходя из этого можно заключить, что все указанные типы движений представляют собой одно движение, искусственно нами расчлененное, причем это расчленение возможно при медленных сокращениях. Для общего же представления рассмотрим движение кишки тогда, когда его нельзя расчленить, т. е. при высокой двигательной активности, названной «стремительной перистальтикой».

При этом отмечаются витки быстро движущихся петель кишки, создающих впечатление вращающихся колес [2]. Это пространственно представляется как спирально-винтовое движение, а описанные типы—как его разные проекции: сегментарное—как вращательное, маятникообразное—как колебательное: перистальтическое—как поступательное.

Существует ли морфологическая основа для подобного движения? Обратимся к анатомии кишечной стенки.

Учитывая спиральный ход всех соединительнотканых волокон и части мышечных, следует признать преобладающую роль спиральной конструкции стенки тонкой кишки [3].

Почему движение кишечника происходит по спирали?

В механике показано, что спираль—наиболее рациональная форма движения жидкости [4] и что устойчивое движение жидкости в трубе происходит именно по спирали [5]. Причем движение вниз происходит по правостороннему винту, вверх—по левостороннему.

Циркулярные мышцы кишечника имеют вид сильно сжатой левосторонней спирали ([2], 474). Поэтому их сокращение должно приводить к перемещению содержимого вверх, т. е. в оральном направлении. Это объясняет тот факт, что, согласно Гальперину и Рогацкому, «скорость эвакуации тем ниже, чем выше ритмическая активность кольцевой мускулатуры» ([6], 109) при наличии пищи в кишечнике. По данным этих авторов, при сокращении циркулярных мышц наряду с перемешиванием пищи происходит его частичное продвижение вперед, что, на наш взгляд, объясняется наличием в циркулярном слое спиральных мышечных волокон, местами образующих непрерывный слой спиральной мускулатуры ([3], 346), направленной орально-каудально, таким же образом, как мышечный слой слизистой и соединительнотканые волокна подслизистой ([3], 356). Из этого следует, что описанные структуры волокон расположены противоположно направлению циркулярных мышц и имеют вид правосторонней спирали, как и продольный мышечный слой, продвигающий пищу в орально-каудальном направлении. Продольный слой мышц представляет собой вытянутую спираль ([2], 474).

Сопоставление структуры и характера движения разных частей кишечника показывает, что наличие развитого продольного слоя мышц обуславливает преобладание перистальтических сокращений (тонкий кишечник). Антиперистальтические сокращения характерны в основном для структур с развитым циркулярным слоем (толстый кишечник).

Сказанное выше позволяет заключить, что стенка кишечника состоит из волокон, имеющих направление правостороннего и левостороннего винта. К первым относится большинство структур: продольные мышцы, расположенные в циркулярном слое спиральные мышцы, мышцы слизистой и соединительнотканые волокна подслизистой. Ко вторым относятся циркулярные мышцы.

Гальперин и Рогацкий ([6], 105), изучая взаимосвязь моторной и эвакуаторной функций кишечника, пришли к выводу, что величина проксимо-дистального градиента и связанная с ней скорость эвакуации

содержимого зависят от величины сопротивления участка кишки, по которому перемещается химус. Сопротивление кишки в свою очередь обусловлено величиной просвета ее и находится в тесной зависимости от той или иной формы координации сокращений.

Согласно Исаакян [5], движение жидкости по цилиндрической трубе носит винтовой характер, что обуславливает периодичность изменения его параметров во времени с частотой [5], зависящей от диаметра трубы, плотности жидкости и поверхностного натяжения [7], действующего на границах перемещающейся в ней жидкости.

Рассматривая движение пищи по кишечнику как следствие винтового движения мускулатуры кишечника, замечаем аналогию между винтовым движением жидкости по цилиндрической трубе и движением пищи по кишечнику. Для количественной проверки такой концепции воспользуемся данными работы Богача [2] о ритме сокращения разных участков кишечного тракта человека и расчетами Исаакян [5], касающимися частоты колебания винтового движения жидкости в цилиндрической трубе.

По данным измерений, приведенным Богачем [2], тонкая кишка с $D=(4,8-2,7)$ см имеет четыре характерных ритма сокращений: основной, соответствующий частоте медленных электрических волн с периодом $\tau=8$ сек, или с частотой $N=7,5$ 1/мин; более сложные монофазные волны, на которые иногда накладывается от 2 до 4 волн первого типа, период которых $\tau=20-45$ сек, или частота $N=3,0-1,33$ 1/мин; ритм с периодом $\tau=0,8-2,0$ сек, доходящим до нескольких минут, или с частотой $N=75-30$ 1/мин (на них накладываются волны первого типа и реже—второго); редко возникающие волны в конечной подвздошной кишке с периодом $\tau=25-50$ сек, или с частотой $N=2,4-1,2$ 1/мин.

Согласно этим же данным, толстая кишка человека с диаметром $D=7,0$ см ([2], 524) также имеет четыре типа сокращений: $\tau=5$ сек, или $N=12-13$ 1/мин—в сигмовидной кишке, $N=6$ 1/мин—в нисходящей кишке; $\tau=45-120$ сек, или $N=1,33-0,5$ 1/мин, $\tau=12-60$ сек, или $N=5,0-1,0$ 1/мин, что в среднем дает $\tau=25-30$ сек, или $N=2,0$ 1/мин; $\tau=15$ сек, или $N=4,0$ 1/мин, $\tau=5,0$ мин, или $N=0,2$ 1/мин; очень медленные волны, ритм которых не зарегистрирован.

Частота колебания параметров движения жидкости в цилиндрической трубе выражается, согласно Исаакян [5], функцией

$$N_n = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{8n(n^2-1)T}{\rho D^3}} \quad (\text{гц}), \quad (1)$$

где N_n —частота колебания, гц (1/сек); ρ —плотность жидкости, г/см³; D —диаметр трубы, см; $n=2,3,4$ —порядок действующей гармоники; T —поверхностное натяжение, действующее на контакте жидкости со стенками трубы (эрг/см²), определяемое по формуле, предложенной Исаакян [7]:

$$T = 28,2(3\rho_0 + 2\rho) \sqrt[4]{\frac{\rho_0 - \rho}{\rho}}, \quad (2)$$

где ρ_0 —плотность материала трубы, г/см³; ν —кинематический коэффициент вязкости жидкости, см²/сек.

В формуле (1) $n=2$ соответствует основному колебанию жидкости, с минимальной частотой и максимальной амплитудой; $n=3,4,5$ —соответственно первой, второй, третьей гармонике колебания с увеличивающейся частотой и уменьшающейся амплитудой—по мере увеличения n .

Подставив в формулу (1) значение T по формуле (2), при $n=2$, $\pi=3,14$, получаем частоту основного колебания жидкости в цилиндрической трубе в виде зависимости

$$N_2 = 5,85 \sqrt{\frac{(3\rho_0 + 2\rho)}{\rho D^2}} \sqrt[3]{\frac{\nu^4 (\rho_0 - \rho)}{\rho}} \quad (\text{Гц}). \quad (3)$$

Проверим ее соответствие фактическому материалу [2]. Плотность химуса в кишке определяется по формуле

$$\rho_x = \rho_{тв}\varphi + \rho_{ж}(1 - \varphi), \quad (4)$$

где $\rho_{тв} = 1,5$ г/см³—плотность твердой фазы химуса, составляющей его 2,0%; $\rho_{ж} = 1,01$ г/см³—плотность жидкой фазы химуса, составляющей его 98% [2]; φ —консистенция твердой фазы ($\varphi = 2,0\%$).

Тогда плотность химуса по формуле (4) составит

$$\rho_x = 1,02 \text{ г/см}^3.$$

Вязкость химуса принимаем равной 0,008 см²/сек, соответствующей вязкости воды при температуре 25°, имея в виду, что она уменьшается с повышением температуры (во внутренних органах человека $t=38-39^\circ$) и увеличивается в присутствии твердой фазы, которая составляет 2% в химусе.

Плотность материала стен кишок, ρ_0 , равна 1,15 г/см³. Подставив эти данные в формулу (3), получаем

$$N_2 = 0,386 D^{-3,2} \quad (1/\text{сек}). \quad (5)$$

При $D=4,8$ см по формуле (5) получим $N_2=2,2$ 1/мин. Подставив в формулу (1) $n=3,4,5$, получим частоты первой, второй и третьей гармоник колебания химуса в кишке ($D=4,8$ см): $N_3=4,38$ 1/мин, $N_4=6,95$ 1/мин, $N_5=9,8$ 1/мин.

При диаметре кишок $D=2,7$ см соответственно $N_2=5,22$ 1/мин; $N_3=10,4$ 1/мин; $N_4=16,5$ 1/мин; $N_5=26,8$ 1/мин.

Сопоставляя эти частоты с приведенными выше зарегистрированными ритмами сокращения тонкого кишечника, замечаем, что эти ритмы вписываются в общую шкалу расчетных частот колебания химуса в кишечнике. Основная частота $N_2=2,2$ 1/мин, колебания химуса ($D=4,8$ см) соответствует ритму второго и четвертого типов сокращений тонких кишок; $N_5=26,8$ 1/мин, частота колебания химуса ($D=2,7$ см),—ритму сокращений тонких кишок третьего типа; $N_4=6,95$ 1/мин, колебание химуса ($D=4,8$ см),—ритму сокращений кишок первого типа.

Для расчета собственных частот колебания химуса в толстой кишке имеются следующие исходные данные [2]: плотность химуса $\rho =$

1.06 г/см³; плотность стен кишок $\rho_0 = 1.2$ г/см³; вязкость химуса $\nu = 0.016$ см²/сек.

Тогда, при диаметре толстой кишки $D = 7.0$ см, собственные частоты колебания химуса в ней по формуле (1) получаются: $N_2 = 2.45$ 1/мин; $N_3 = 4.9$ 1/мин; $N_4 = 5.65$ 1/мин; $N_5 = 11.3$ 1/мин, что соответствует данным Богача [2] о ритме сокращения толстой кишки, в обратном порядке его классификации: $N_5 = 11.3$ 1/мин соответствует первому типу воли сокращения с $N = 12-13$ 1/мин; $N_4 = 5.65$ 1/мин—второму типу воли с $N = 5.0$ 1/мин; $N_2 = 2.45$ 1/мин—третьему типу с $N = 4.0-0.2$ 1/мин.

Таким образом, ритм сокращений кишечника соответствует ритму собственных колебаний химуса, обусловленному действием поверхностного натяжения на его стенках. Следовательно, в соответствии с морфологическим строением стенок кишечника движение последнего с содержанием также носит винтообразный характер.

Такой вывод имеет теоретический интерес, подтверждая количественным анализом существующее мнение об организме человека как о наиболее целесообразно устроенной технологической системе. ибо винтовое движение требует минимальной затраты энергии. Он имеет также практическое значение как основа диагностики патологии кишечника и ее лечения резонансными методами, учитывая воздействие нормального ритма колебания органов на нормализацию их функций [9].

Институт физиологии АН АрмССР

Поступило 28.VI 1978 г.

ԱՂԻՆԵՐԻ ՇԱՐՔՄԱՆ ՄԵԿԱՆԻԶՄԻ ՄԱՍԻՆ

Լ. Ա. ՄԱՏԻՆՅԱՆ, Մ. Ի. ՄԱՏԻՆՅԱՆ, Ա. Մ. ԻՍԱՀԱԿՅԱՆ

Սննդի տեղափոխությունն աղիներում պարբերական բնույթ ունի, որը պայմանավորված է աղիների պատերի պարբերական կծկումներով:

Գրականության տվյալներով հաստատված է, որ աղիների տարբեր հատվածների համար բնորոշ են կծկման տարբեր հաճախություններ [2]:

Աշխատանքում ցույց է տրված, որ այդ հաճախականությունները համընկնում են աղիներին համարժեք գլանական խողովակում խիմուսին համարժեք հեղուկի պտուտակային շարժման հաճախականությունների հետ:

Վերոհիշյալը, աղիների պատերի պտուտակային կառույցի փաստի հետ միասին բերում է այն եզրակացության, որ աղիների պատերի ու սննդի շարժումն աղիներում նույնպես պտուտակային են:

Քանի որ խողովակով հեղուկի պտուտակային տեղափոխությունը ամենաբիշ էներգիայի ծախս է պահանջում, վերոհիշյալը մարդկային օրգանիզմի հարմարվածության մի լրացուցիչ փաստ է ճանաչվում:

Աշխատանքում բերած քննությունը հանգեցնում է այն եզրակացության, որ, ըստ նրևույթին, կարելի է աղիների գործունեության առկա վիճակը պար-

զել նրանց կօկումների հաճախականության փաստացի տվյալների տեսական քննությունը և խախտումները կարգավորել ռեզոնանսային ազդեցություններով, ինչպես այդ կիրառվում է այլ օրգանների ուսումնասիրության դե բուժման ասպարեզում [9]:

ON THE MECHANISM OF INTESTINAL MOVEMENT

L. A. MATINIAN, M. L. MATINIAN, S. M. ISAHAKIAN

On the basis of comparative analysis it has been shown that according to the morphological structure, the intestinal movement is spiral-like, and its periods coincide with those of the internal fluctuations of the intestinal content during its contact with the intestinal walls.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Бабский Е. Б., Зубков А. А., Косицкий Г. И., Ходоров Б. И. Физиология человека, 168, 202, М., 1972.
2. Богач П. Г. Моторная деятельность тонкого кишечника. Физиология пищеварения. В сер. Руководство по физиологии, 478—483, 474, Л., 1974.
3. Привес М. Г., Лысенко И. К., Бушкович В. И. Анатомия человека, 346, 356, 357, Л., 1968.
4. Милович А. Я. Динамика жидкости. М., 1934.
5. Исаакян С. М. ДАН АрмССР, 50, 1, 1971.
6. Гальперин Ю. М., Рогоцкий Г. Г. Взаимоотношение моторной и эвакуаторной функций кишечника, 109, М., 1971.
7. Исаакян С. М. Арм. хим. журн., 28, 5, 1975.
8. Исаакян С. М. Теоретические основы химической технологии. 7, 2, 1973.
9. Вишневский А. А. Тез. Всесоюзн. симп. «Биологические ритмы в механизмах компенсации нарушенных функций», М., 1973.