Как теоретическая физика трактует явление свертывания крови

с.51 ←

После того как в конце 1980-х — начале 1990-х годов свежие идеи в области неравновесной теории самоорганизации и математический аппарат теории двудольных графов были обкатаны на реакции Белоусова-Жаботинского (самоорганизующаяся химическая система из малоновой кислоты, сульфата церия и бромида калия), стало понятно, что мы располагаем инструментарием, который может быть применен и к другим, более значительным для человека системам, в том числе — к системе регуляции агрегатного состояния крови.

Особенность физиологической системы регуляции агрегатного состояния крови — ее способность без промедления давать ответ на нарушение целостности сосудистого русла и вступать в единоборство с мощным макроскопическим потоком крови — за счет формирования тромба в окрестности места повреждения. Кровь переходит из жидкого агрегатного состояния в полимеризированное, обеспечивающее быструю локальную репарацию сосуда. Временная, а тем более стойкая неспособность к эффективной репарации грозит массивной кровопотерей.

У этого замечательного защитного явления есть и оборотная сторона. Формирование внутрисосудистых тромбов и вызванные ими инфаркты и инсульты, например, в Германии — причина смерти граждан в два раза более частая, чем рак. Общая причина неспособности врачей оперативно вмешаться кроется в том, что система свертывания крови действует сверхбыстро: тромб до 12 см длиной и 4 мм диаметром может образоваться за полторы минуты.

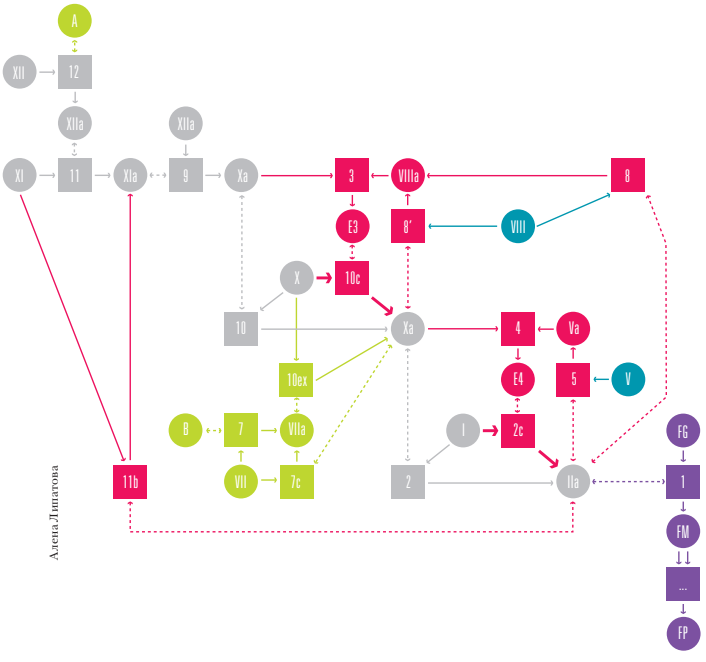

рис. 1
На схеме овалами обозначены вещества, участвующие в реакциях (показанных прямоугольниками). Стрелка, направленная из овала в прямоугольник, указывает на то, что данное вещество выступает в качестве реагента, а стрелка из прямоугольника в овал — что получающееся в ходе конкретной реакции вещество собственно и является продуктом данной реакции

Но скоротечность сердечно-сосудистых нарушений, крайне неприятное с медицинской и человеческой точки зрения обстоятельство, открывает принципиальную возможность эффективно использовать физико-математические подходы, так как позволяет выделять быстропротекающие процессы на фоне процессов медленных. Другими словами, можно отделять переменные от параметров, полагая последние несущественно меняющимися в процессе тромбообразования. Это позволяет снижать эффективную размерность рассматриваемой системы до вполне обозримого уровня.

Смена агрегатного состояния

С физической точки зрения свертывание крови — не что иное как смена агрегатного состояния, неравновесный фазовый переход. Согласно Джозайе Уилларду Гиббсу, фазовые переходы сводятся к смене устойчивости конкретной фазы при изменении параметров. Естественным языком описания многообразия состояний термодинамических систем, способных к смене агрегатного состояния, являются параметрические диаграммы, на которых выделяются области, соответствующие различным фазовым состояниям. Линии, разграничивающие смежные области, соответствуют границам устойчивости различных фаз.

Конечно, весьма заманчиво было построить аналогичную диаграмму состояний для крови. Эту задачу уже удалось решить для плазменной системы регуляции свертывания[1]. Общая схема молекулярных превращений при тромбообразовании показана на *рис. 1*.

Из схемы видно, что ключевую роль играет реакция 1, в ходе которой фибриноген (FG) под действием тромбина (IIa) превращается в фибрин-мономер (FM). Последующая полимеризация фибрин-мономеров в конечном счете ведет