

УДК 612.75

А.В.Неокесарийский (аспирант каф. БиВ), А.В.Зинковский, д.б.н., проф.

## СИНЕРГЕТИКА ДВИЖЕНИЙ ЧЕЛОВЕКА

Системный подход в биомеханике позволяет сформировать картину строения движений. Двигательный акт человека можно рассматривать как результат взаимодействия энергетически и информационно открытой системы с окружающей средой. Все движения в структуре делятся на двигательные и информационные. Многие понятия в биомеханике можно рассматривать с позиций синергетики – современного междисциплинарного подхода, предметом исследования которого является динамическое поведение сложных открытых систем [2]. К самоорганизации очень часто приводит совокупность нелинейных динамических процессов, когда как динамическое, так и информационное содержание процесса оказывается согласованным с большой степенью точности и складывается в единую систему. Информационное поведение сложных систем связывается с проявлением свободы воли в критических точках бифуркации и ограничивается физическими законами динамики. Системе, в которой происходит увеличение порядка, можно приписать намерение измениться таким образом, чтобы добиться лучшей приспособленности к окружающим условиям.

Одним из проявлений самоорганизации в биомеханике можно считать упорядочивание системы движений, превращение ее в единый двигательный акт, сопровождаемое уменьшением симметрии системы движений и возникновением коллективных степеней свободы, в этом случае остальные степени свободы как бы «заморожены». Нелинейный характер взаимодействия между элементами биомеханической системы позволяет перераспределить энергию по степеням свободы. Как и в синергетике, в биомеханике сложная система движений приобретает свойства когерентных структур, отсутствующие у составляющих ее элементов, что позволяет значительно расширить арсенал методов и средств анализа и синтеза движений.

Классическая механика с ее детерминированным подходом рассматривает движение в его развитии во времени и в пространстве. Изучаемое движение разбивается на составные элементы – степени свободы. Начальные условия, накладываемые на каждую степень свободы, однозначно определяют траекторию и конечное состояние. Вместе с тем движение можно рассматривать, не расчлняя его на отдельные фазы, а как целостную двигательную структуру, где все движения взаимосвязаны. Такой метод был применен Зинковским А.В. для решения задачи «Гимнаст на перекладине», где от результата параметрического резонанса возникала единая структура движения не определяемая ее составными степенями свободы.

Структуру движений биомеханических систем можно исследовать с помощью принятых в синергетике, понятий внезапной потери или обретения устойчивости. Существование критических значений внешней нагрузки или разрушение той или иной внутренней связи приводит к бифуркационной перестройке и потере устойчивости. Изучаемые процессы устойчивости анализируются на основе энергетического принципа равновесия при помощи управляющих и внутренних параметров. Если в потенциальной яме первоначально небольшое отклонение от равновесия в дальнейшем затухает (аттрактор – устойчивый фокус на фазовой плоскости), то на вершине потенциала ситуация явно неустойчивая: малые отклонения увеличиваются, процесс развивается лавинообразно. Метастабильные неустойчивые состояния характеризуются тем, что к неустойчивости

приводят лишь достаточно большие отклонения: плато или небольшая ямка на вершине холма. Равновесие тела человека, обеспечиваемое балансом моментов всех сил, является примером метастабильного состояния [1]. Механическая энергия тела человека в статике состоит из суммы потенциальной энергии в поле силы тяжести и биопотенциальной энергии упругого напряжения мышц. При внешнем воздействии на тело возникает нормальная реакция двигательного центра – стремление поддержать состояние равновесия так, чтобы центр тяжести (ц.т.) находился над площадью опоры. Тогда отдельный энергетический уровень может быть представлен в виде потенциальной ямы, по ширине соответствующей площади опоры. Глубина ямы определяется высотой энергетического барьера, зависящего от работы, совершаемой по преодолению сопротивления мышц. Следует отметить, что статические режимы довольно условны: наличие шумов – неизбежных флуктуаций положения ц.т. является источником нестационарности, в результате чего возникают локальные экстремумы потенциала, приводящие к дополнительному запасу устойчивости. Движение человека во время ходьбы, бега представляет собой автоволну – последовательность переходов из одного метастабильного состояния в другое во время каждого шага, сопровождающегося частичным падением. Очевидна аналогия с так называемым явлением самоорганизованной критичности, возникающим в том случае, когда системе выгодно скачком перейти на другой энергетический уровень: имеет место устойчивое стремление к неустойчивому положению. В природе такое поведение обнаруживают снежные лавины, кучи песка и т.д. Таким образом, сочетание устойчивых и неустойчивых состояний обеспечивает необходимую стабилизацию движения; в целом можно говорить о самоорганизованной устойчивой динамике. Совместимость несовместимого, переход количества

Изучение характера выведения биомеханической системы из равновесия представляет интерес для единоборств [1]. В случае непосредственного преодоления энергетического барьера с фиксированным направлением приложенной силы приходится затрачивать много энергии: это «работа на силу». Однако можно обойти барьер, достичь неустойчивого положения с минимальными энергетическими затратами. Каждое из направлений подвижности – степеней свободы обеспечивается парой мышц взаимно противоположного действия, так называемыми мышцами-антагонистами. Другие же степени свободы оказываются незанятыми, ослабленными с точки зрения контроля, свободными для действий.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Ковалев В.А. Биомеханика и синергетика. – М.: Теория и практика физической культуры № 3, 2000.
2. Зинковский А.В. Моделирование на ЭВМ движений человека // Биофизика, 1975, т. XX, в. 6, с. 1115-1121.