

Тема № 2

Кинематика движений человека

Механика занимается рассмотрением простейшей формы движения материи – механической. Такое движение состоит в изменении взаимного расположения тел или их частей в пространстве с течением времени (рис.1). При анализе необходимо исходить из ряда основных понятий. Рассмотрим их в отдельности.



Рис. 1

Материальной точкой называется тело, размеры и форма которого несущественны в рассматриваемой задаче. Например, при изучении скорости прохождения дистанции марафонцем нет никакой необходимости рассматривать части тела спортсмена в отдельности, поскольку размеры атлета и расстояние, им пройденное, отличаются на четыре порядка величины (рис. 2).



Рис. 2

Системой материальных точек или тел (механической системой) называется мысленно выделенная совокупность материальных точек или тел, которые, в общем случае, взаимодействуют как друг с другом, так и с телами, не включенными в состав этой системы. При определенных условиях биомеханика рассматривает тело спортсмена именно как систему материальных тел (рис. 3).



Рис. 3

Классическая механика, т.е. механика, имеющая дело с телами, движущимися с малыми скоростями (в отличие от релятивистской или квантовой механики, рассматривающих движение тел с субсветовыми скоростями или движение элементарных частиц) состоит из трех основных подразделов: кинематики, динамики и статики.

В *кинematике* изучается механическое движение тел вне связи с определяющим его взаимодействием между телами.

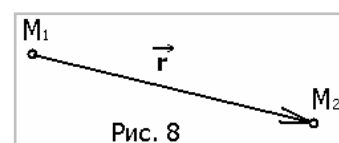
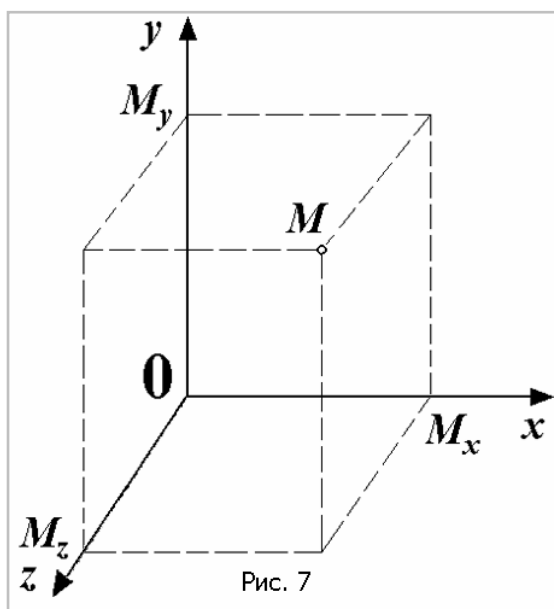
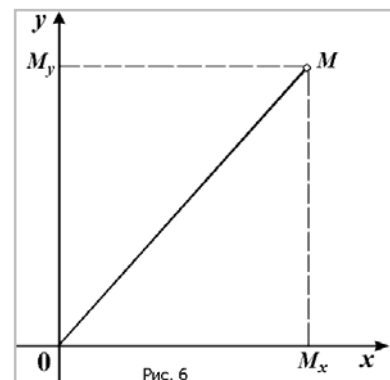
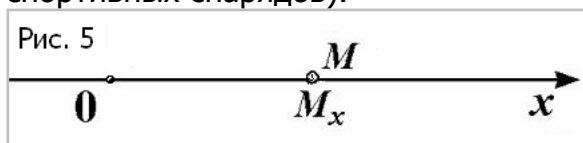
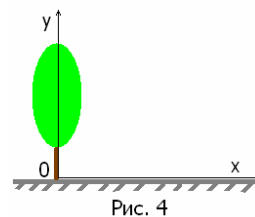
В *динамике* рассматривается влияние взаимодействия между телами на их механическое движение.

В *статике* исследуются законы сложения сил и условия равновесия твердых, жидких и газообразных тел.

Для указания положения тела в пространстве нужно задать тело отсчета, относительно которого будет рассматриваться движение, а с этим телом отсчета связать начало системы координат - получится система отсчета. Т.о. **система отсчета = тело отсчета + система координат**. В биомеханике в качестве тела отсчета выбирается любое физическое тело, неподвижное относительно Земли, например, дерево (рис. 4).

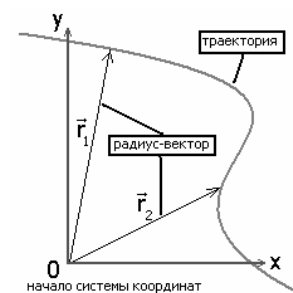
В зависимости от характера движения может использоваться:

- одномерная система координат (рис. 5), если движение прямолинейное (например, бег на 100м);
- двухмерная система координат (рис. 6), если движение криволинейное и происходит на плоскости (например, бег на длинные дистанции по стадиону - 400м, 800м);
- трехмерная система координат (рис. 7), если движение криволинейное и происходит в пространстве (например, прыжки спортсменов, полет спортивных снарядов).



Важной характеристикой движения является *перемещение* точки. Перемещение - это вектор¹, соединяющий точку начального положения тела с конечной (рис. 8).

Траекторией называется линия, описываемая в пространстве движущейся точкой (рис. 9 - траектория движения самолетов). Эта линия определяется поведением векторной величины - радиус-вектором. *Радиус-вектор* - это особый вектор, начало которого жестко связано с телом отсчета (началом системы координат), а его конец всегда указывает на точку, в которой находится движущееся тело (рис. 10).



Положение движущейся точки в некоторый фиксированный момент времени $t=t_0$ называется ее *начальным положением*. Длина пути точки определяется расстоянием между начальным положением и положением ее в некоторый момент времени t (*конечным положением*) и является скалярной функцией $s=s(t)$. Иначе говоря, длина пути - это часть траектории.

¹ В механике используются **два типа величин**: **скалярные** - это те, которые имеют только числовое значение (масса, время, пройденный путь) и **векторные** - это те, которые, кроме числового значения, характеризуются еще и направлением в пространстве (перемещение, скорость, ускорение, сила).

Длина пройденного пути и модуль вектора перемещения совпадают только в случае прямолинейного движения. Если движение криволинейное, эти величины будут иметь разные значения (рис. 11).

Быстрота движения материальной точки характеризуется ее *скоростью*. В случае равномерного движения (т.е. когда точка за равные промежутки времени проходит равный путь) скорость определяется длиной пути, пройденного за все время движения:

$$v = \frac{S}{t}.$$

Средняя скорость равна отношению модуля вектора перемещения ко времени:

$$v_{cp} = \frac{r}{t}.$$

В общем случае, когда движение неравномерное и меняет свое направление, используется мгновенная скорость (т.е. скорость в данный момент времени в данной точке траектории). Она определяется как векторная величина \vec{v} , равная первой производной вектора перемещения \vec{r} по времени:

$$v = \frac{dr}{dt}.$$

Мгновенная скорость всегда направлена по касательной к траектории в сторону движения точки (рис. 12).

Проекцией вектора называется разность конечной и начальной координат вектора. Следовательно, проекция - это скалярная величина, которая может иметь как положительное, так и отрицательное значение (рис. 13):

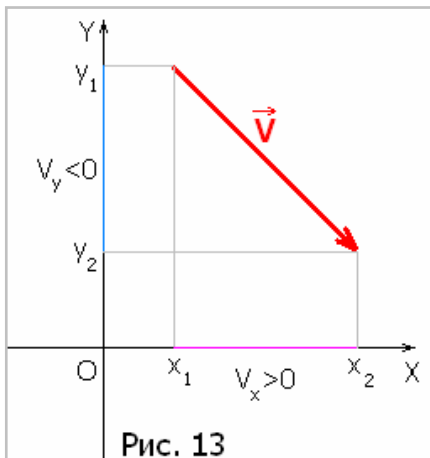


Рис. 13

проекция вектора v на ось Ox

$$V_x = x_2 - x_1 > 0$$

проекция вектора v на ось Oy

$$V_y = y_2 - y_1 < 0.$$

Если точка движется в трехмерном пространстве, описываемом трехмерной системой координат, то необходимо рассматривать по отдельности проекции вектора скорости на каждую из осей (x, y, z). В этом случае

$$v_x = \frac{dx}{dt}, v_y = \frac{dy}{dt}, v_z = \frac{dz}{dt} \rightarrow v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2}$$

Быстрота изменения скорости при неравномерном движении характеризуется *ускорением* \vec{a} , которое определяется как производная скорости по времени или, соответственно, вторая производная перемещения:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2r}{dt^2}.$$

Вектор ускорения проходит через главную нормаль и касательную к траектории и направлен в сторону вогнутости траектории. Для трехмерного движения, как и в случае со скоростью, необходимо работать с каждой из координат.

Движение точки называется *ускоренным* (рис. 14), если численное значение ее скорости возрастает с течением времени и ускорение имеет положительное значение, т.е.

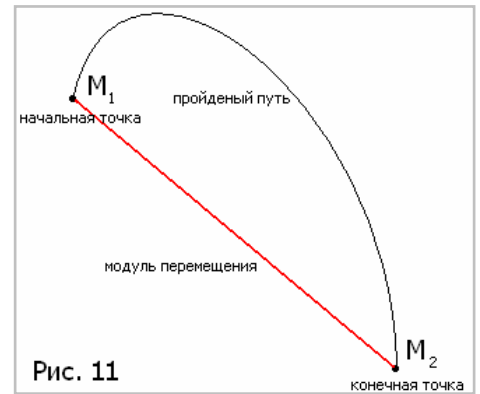


Рис. 11

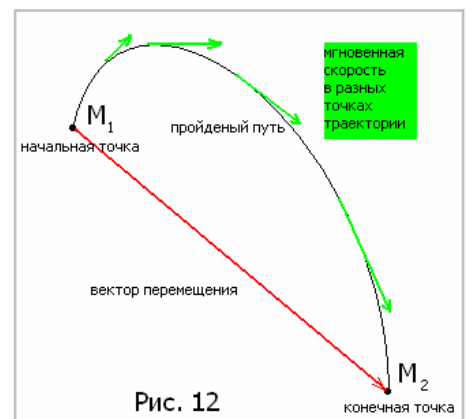
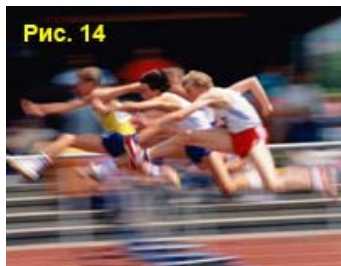


Рис. 12

² Векторные величины обозначают полужирным шрифтом \mathbf{S} или \vec{S} (со стрелкой).

происходит разгон. Движение точки называется *замедленным* (рис. 15), если численное значение ее скорости убывает с течением времени и ускорение имеет отрицательное значение, т.е. происходит торможение.



Тело называется *абсолютно твердым*, если:

- во время его движения взаимное расположение материальных точек, составляющих его, не меняется,
- оно не *деформируется* (не меняет форму и объем).

Примером такого тела может служить спортивный снаряд в движении, например, молот (рис. 16).

Для такого тела характерны следующие виды движения:

- *поступательное*, когда все точки имеют одинаковые траектории перемещения;
- *вращательное*, когда движение происходит вокруг оси вращения;
- *сложное*, когда движение состоит из двух и более простых движений; например, тело может совершать вращательное движение, а ось вращения может двигаться тем временем поступательно, например, полет диска (рис. 17).



Для поступательного движения абсолютно твердого тела справедливы законы, приведенные выше.

Вращательное движение разбивается на *линейную* и *угловую* составляющие.

Линейная скорость v любой точки вращающегося тела всегда направлена по касательной в сторону вращения и определяется по формуле Эйлера

$$v = [wr] - \text{векторное произведение, или } v = wR - \text{в скалярном виде,}$$

где R – расстояние от оси вращения до точки.

Угловой скоростью вращения твердого тела называется вектор w , численно равный первой производной от угла поворота по времени:

$$w = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Направление вектора w совпадает с направлением поступательного движения рукоятки буравчика (рис. 18).

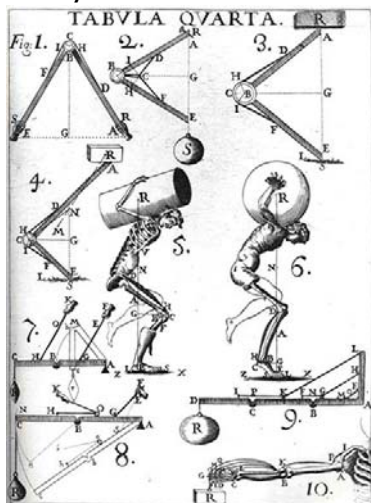
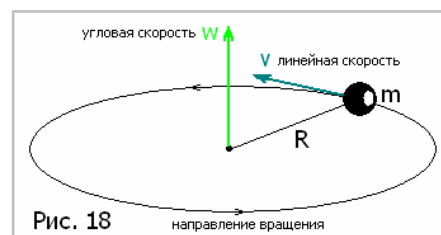


Рис. 19 (Фрагмент средневековой рукописи)

Применительно к спортивной биомеханике законы кинематики действуют в полном объеме. В этом случае мы, как правило, сталкиваемся со сложным движением, связанным с тем, что тело спортсмена представляет собой сложный механизм (рис. 19). При рассмотрении кинематики встречается и сложное движение в суставах при выполнении того или иного упражнения, и переменное движение при беге, когда спортсмен рассматривается как материальная точка.

Вопросы к теме №2

1. В чем суть механического движения?
2. Что в механике считают материальной точкой?
3. Что называется механической системой?
4. Из каких подразделов состоит классическая механика?
5. Дайте определение кинематики.
6. Дайте определение динамики.
7. Дайте определение статики.
8. Что нужно для указания положения тела в пространстве?
9. Из каких элементов состоит система отсчета?
10. В каких случаях используется одномерная система координат?
11. Приведите пример одномерного движения в спорте.
12. В каких случаях используется двухмерная система координат?
13. Приведите пример двухмерного движения в спорте.
14. В каких случаях используется трехмерная система координат?
15. Приведите пример трехмерного движения в спорте.
16. Дайте определение перемещения.
17. Что такое траектория?
18. Приведите примеры из спорта, когда траектория видима и когда она невидима.
19. Чем радиус-вектор принципиально отличается от других векторов?
20. Дайте общее определение скорости.
21. Что такое средняя скорость?
22. Что такое мгновенная скорость?
23. Как определить проекцию вектора на координатную ось?
24. Дайте общее определение ускорения.
25. Как направлен вектор ускорения в случае прямолинейного движения?
26. Как направлен вектор ускорения в случае криволинейного движения?
27. Какое движение называется ускоренным?
28. Какое движение называется замедленным?
29. Когда тело можно считать абсолютно твердым?
30. Какие виды движения характерны для абсолютно твердого тела?
31. Какие составляющие имеет вращательное движение?
32. Как направлена линейная скорость?
33. Как определить направление угловой скорости?
34. Можно ли применять законы кинематики в спортивной биомеханике?
35. Коротко охарактеризуйте движение в биомеханике.