

Регуляция кровообращения при воздействии факторов внешней среды

Повседневная деятельность человека сопряжена с многократными изменениями позы, т. е. ориентации различных частей тела или всего тела в гравитационном поле Земли, с мышечной деятельностью (ходьба, бег, поднятие и перемещение тех или иных тяжестей), подверженностью климатическим воздействиям и атмосферной гипоксии.

Изменение положения тела

Для многих представителей животного мира, начиная уже с амфибий и позвоночных животных, обитающих в воде, продолжительное сохранение вертикального положения тела без какой-либо нагрузки на мышцы нижних конечностей грозит летальным исходом. Причина тому — постепенное уменьшение объема циркулирующей крови, сопровождающееся снижением наполнения сердца и падением артериального давления (АД) ниже уровня, необходимого для нормального кровоснабжения головного мозга. Столь значительное уменьшение объема циркулирующей крови обусловлено действием сил гравитации, точнее, создаваемого этими силами высокого гидростатического давления в венах и в обменных сосудах (венулах и капиллярах) нижней части тела. Первое приводит к чрезмерному растяжению вен и, как следствие, к скоплению большого количества крови в этих постепенно увеличивающих свой объем резервуарах, второе — к уменьшению объема жидкой фазы крови из-за усиленного перехода ее в ткани.

Ниже рассмотрены основные физические явления и свойства кровеносных сосудов, которые делают систему циркуляции крови столь уязвимой к простому изменению ее ориентации в гравитационном поле, начальные пассивные изменения в этой системе, которые, как уже ска-

зано, могут иметь весьма грозные последствия, и те физиологические явления и механизмы, которые должны обеспечивать необходимые компенсаторные изменения, как срочного характера (в первые секунды и минуты после изменения положения тела), так и на протяжении десятков минут и даже часов.

Напомним предварительно, что термин **гидростатическое давление** используется в физике для характеристики действия сил гравитации в жидких средах, и величина этого давления определяется как произведение ρgh , где ρ — плотность жидкости, g — ускорение свободного падения, т. е. характеристика гравитационного поля, а h — высота столба жидкости над уровнем, на котором измеряют давление. Реально гидростатическое давление измеряют относительно атмосферного, а за точку (уровень) отсчета принимают уровень расположения правого предсердия, точнее, уровень, на котором оказывается правый атриовентрикулярный клапан — так называемый веностатический уровень [1, 2].

Изменение гидростатического компонента давления в сосудах

Когда человек находится в горизонтальном положении, сердце и все кровеносные сосуды располагаются приблизительно на одном уровне. Поэтому величина гидростатического компонента давления во всей сосудистой системе невелика и не оказывает значимого влияния ни на распределение давления в разных отделах этой системы, ни на процессы транскапиллярного обмена.

Непосредственные измерения [1—3] показывают, что при горизонтальном положении тела величина среднего давления на всем протяжении крупных артерий большого круга кровообращения приблизительно одинакова и близка к 100 мм рт. ст. По ходу вен среднее давление постепенно снижается — от 15—20 мм рт. ст. в наиболее мелких посткапиллярных сосудах до 5 мм рт. ст. в полых венах вблизи правого предсердия. Из последнего следует, что перепад давления, под действием которого весь объем крови, поставляемой левым желудочком при каждом его сокращении, перемещается от посткапиллярных сосудов к правому желудочку, составляет 10—15 мм рт. ст.

При вертикальном положении тела на соотношение давлений в разных частях сосудистого русла, характерное для горизонтального положения, накладывается величина гидростатического давления, которая для каждого сегмента любого сосуда прямо пропорциональна высоте (h) **непрерывного** столба крови между уровнем, на котором расположен рассматриваемый сегмент, и уровнем сердца (рис. 10.1).

В сосудах, расположенных выше веностатического уровня, гидростатическое давление становится отрицательным по отношению к атмосферному, и по мере удаления от уровня сердца эта отрицательная составляющая нарастает. Для венозных сосудов это означает, что уже при

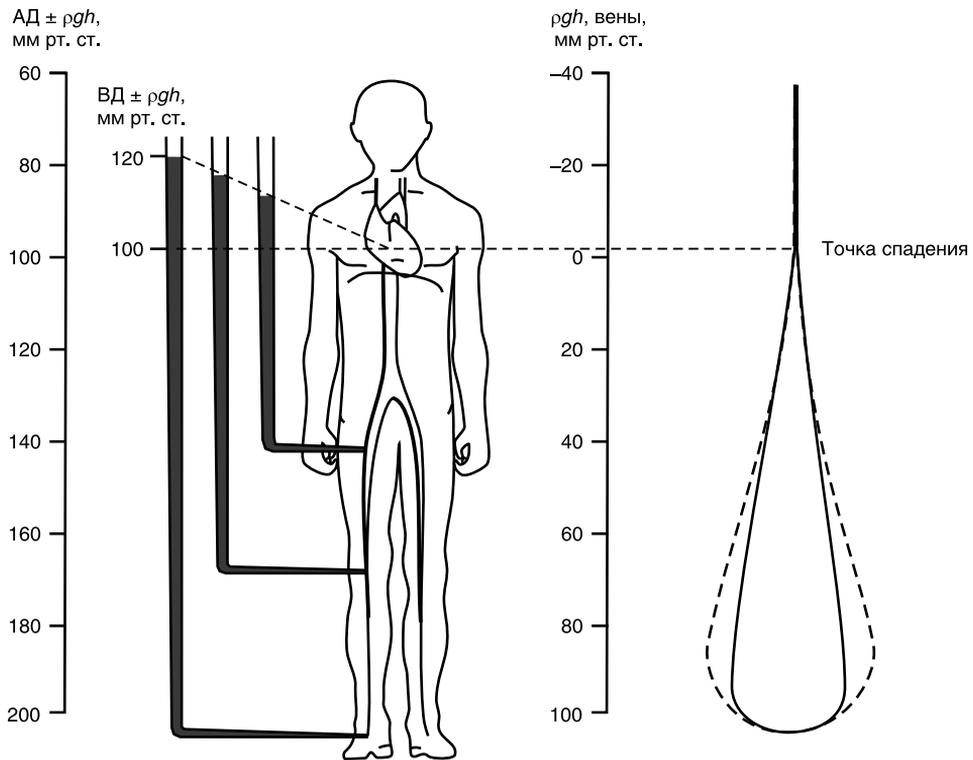


Рисунок 10.1. Влияние сил гравитации на соотношение давлений в сосудистом русле человека, находящегося в вертикальном положении и не совершающего каких-либо движений ([2], с изменениями). Шкала слева — давление в артериях, представленное как сумма гидростатического давления и динамического, обусловленного деятельностью сердца. Шкала правее фигуры человека (ρgh , вены) — гидростатическая составляющая давления. За начало отсчета на этой шкале (нулевая линия) принят уровень сердца. Заполненные подкрашенной водой трубки показывают реально измеряемое давление (сумма гидростатического и динамического давления) в венах на уровне стопы, колена и бедра. Правая часть рисунка — заполненный водой тонкостенный резиновый цилиндрический сосуд — иллюстрирует явление спадения сегментов вен, расположенных выше нулевого уровня гидростатического давления (обозначен как точка спадения). Штриховая линия вокруг основного контура сосуда обозначает результат добавления в такой сосуд жидкости: происходит только дальнейшее растяжение его нижней части, но точка спадения его стенок остается на той же высоте. АД — среднее динамическое давление в артериях; ВД — среднее динамическое давление в венах.

небольшом удалении от уровня сердца трансмуральное давление в них, т. е. разность давлений внутри сосуда и в окружающих его тканях, может приближаться к нулю. Для большинства венозных сосудов неизбежным следствием низкого трансмурального давления является их спадение. Именно этот эффект наблюдается у здоровых людей в виде

«опустошения» при переходе в вертикальное положение расположенных на шее наружных яремных вен. Исключение представляют лишь те вены головы и шеи, которые прикреплены к окружающим тканям, как, например, венозные сосуды мозга.

По мере удаления от уровня сердца вниз гидростатическое давление в кровеносных сосудах, напротив, нарастает, и у человека среднего роста (как на рис. 10.1) в сосудах на уровне стоп величина только лишь гидростатической составляющей давления может достичь значений, близких к 100 мм рт. ст. Этот эффект обычно иллюстрируют расчетом величины трансмурального давления в артериях, в предположении, что давление в окружающих эти артерии тканях остается на уровне атмосферного. В примере, приведенном на рис. 10.1 (шкала слева), среднее давление 100 мм рт. ст. существует уже при горизонтальном положении тела и определяется деятельностью сердца; добавление 100 мм рт. ст. гидростатического давления дает в сумме 200 мм рт. ст.

Здесь важно помнить, что величину гидростатического давления в кровеносных сосудах можно определить просто по расстоянию между уровнем сердца и уровнем, на котором расположен рассматриваемый сегмент сосудистого русла (как это показывает шкала «*рgh*, вены» на рис. 10.1), только при условии, что между этим сегментом и сердцем существует непрерывный столб крови. Для образования такого столба в венах все их клапаны должны быть раскрыты. В действительности, как полагают, клапаны могут становиться устойчиво раскрытыми лишь при их функциональной недостаточности.

Тем не менее, после завершения всех переходных процессов **гидростатический компонент давления** в венах и в артериях на каждой высоте становится одинаковым. Другими словами, физические условия перемещения крови из артерий в вены при вертикальном положении тела остаются практически такими же, как при горизонтальном, и следовательно, такое перемещение не требует дополнительных (по сравнению с горизонтальным положением) затрат энергии.

Необходимость перемещения крови от сосудов нижней части тела вверх, к правому предсердию, также нельзя рассматривать как причину дополнительной нагрузки на сердце, поскольку в этой ситуации действует известный закон сообщающихся сосудов. Для иллюстрации этого в левой части рис. 10.1 изображены водяные манометры, которые показывают реально измеряемое давление в венах стопы, колена и бедра. Гидростатический компонент в каждом случае соответствует длине трубки от области измерения до веностатического уровня, и числа «100» и «120» около крайней левой трубки обозначают величину давления, измеряемого именно этой трубкой. Первая из них (100) просто напоминает, что при данном расстоянии между уровнем сердца и уровнем стопы гидростатический компонент давления в венах стопы бли-