

ОСОБЫЕ ТЕМПЕРАТУРНЫЕ ТОЧКИ (4, 20, 36,6 °С) И ОРТО-ПАРА-ИЗОМЕРЫ ВОДЫ ДЛЯ СТИМУЛЯЦИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ

*Першин С.М., д-р физ.-мат. наук¹,
Давыдовский А.Г., канд. биол. наук, доцент²,*

¹Научный центр волновых исследований Института общей физики
им. А.М.Прохорова РАН, Россия,

²Белорусский государственный университет физической культуры,
Республика Беларусь

Прохождение эритроцитов, доставляющих кислород ко всем органам, через капилляры имеет фундаментальное значение для обеспечения жизнедеятельности организма, особенно в экстремальных ситуациях. В данной работе предпринята попытка обосновать роль сверхслабых взаимодействий, например, спин-спинового взаимодействия орто- и пара-изомеров воды в управлении макроскопическими процессами, такими как доставка кислорода эритроцитом к периферийным отделам организма.

Физиологические мероприятия для повышения эффективности восстановления физической работоспособности. В настоящее время все мероприятия, направленные на ускорение восстановительных процессов, принято подразделять на педагогические, психологические, медицинские и физиологические. Если первые три вида достаточно хорошо известны и отражены в литературе, то по поводу физиологических мероприятий ясности нет. Конечно, в какой-то мере они взаимосвязаны с медицинскими и другими мероприятиями, но имеют и свои особенности. Все восстановительные физиологические мероприятия могут быть разделены на постоянные и периодические. Мероприятия первой группы проводятся с целью профилактики неблагоприятных функциональных изменений, сохранения и повышения неспецифической резистентности и физиологических резервов организма, предупреждения развития раннего утомления и переутомления спортсменов, в особенности молодых. К таким мероприятиям относятся рациональный режим тренировок и отдыха, сбалансированное питание, дополнительная витаминизация, закаливание, общеукрепляющие физические упражнения, оптимизация эмоционального состояния. Эти мероприятия достаточно хорошо известны, реализуются в спортивной практике и не требуют дополнительного обоснования. Мероприятия второй группы осуществляются по мере необходимости с целью мобилизации резервных возможностей организма для поддержания, экстренного восстановления и повышения работоспособности спортсменов. К мероприятиям этой группы относят различные воздействия на биологически активные точки, вдыхание чистого кислорода при нормальном и повышенном атмосферном давлении (гипербарическая оксигенация), гипоксическую тренировку, массаж, применение тепловых процедур, ультрафиолетовое облучение, а также использование биологических стимуляторов и адаптогенов, не относящихся к допингам, пищевых веществ повышенной биологической активности и некоторые другие. Часть мероприятий этой группы апробирована и внедрена в практику спорта, в отношении других (особенно фармакологических средств) следует говорить пока с определенной осторожностью. Во-первых, отдельные вещества, не относившиеся ранее к допингам, начинают причислять к ним, а во-вторых, систематическое применение некоторых препаратов может приводить к истощению резервных возможностей организма, снижению его неспецифической устойчивости и возникновению ряда патологических состояний. Из числа биологически активных веществ, рекомендуемых для ускорения восстановительных процессов и повышения работоспособности, наибольшее распространение получили растительные стимуляторы и адаптогены (женьшень, элеутерококк, левзея, китайский лимонник, заманиха и др.). Они

характеризуются широким диапазоном действия, низкой токсичностью, возможностью использования для ускорения адаптации, повышения общей неспецифической резистентности организма и улучшения восстановительных процессов.

Особое место среди средств восстановления физической работоспособности занимают вода и водные процедуры. Улучшение трансмембранного переноса молекул воды в клетках различных тканей, прежде всего, в красных клетках крови, может способствовать значительному ускорению анаболических процессов, выведению низкомолекулярных продуктов катаболизма и восстановлению физической работоспособности.

Феномен орто-пара-изомерии молекул воды. В соответствии с квантовой статистикой при комнатной температуре равновесное орто/пара-отношение H_2O в газовой фазе (пар) равно 3:1 [1–7]. По-видимому, существует два варианта изменения равновесного орто/пара-отношения 3:1 в воде и во льду с понижением температуры. В первом случае орто/пара-отношение 3:1 сохраняется почти без изменения до температур около 60 К (вплоть до $-213,15$ °С). Во втором случае, орто/пара-отношение 3:1 изменяется с учетом фазовых переходов при конденсации и кристаллизации, а после этих переходов орто/пара-отношение не остается равным равновесной величине 3:1 и снижается по неравновесной траектории. Следует заметить, что реальное орто/пара-отношение в воде и во льду при разных температурах пока надежно не измерено. Нам удалось установить, что при комнатной температуре орто/пара-отношение в 2–3 раза меньше равновесного, т. е. ближе к 1:1, чем к 3:1 [2, 7]. При этом соотношение орто/пара-изомеров 3:1 создает тот водный матрикс, который необходим для оптимального развития биохимических реакций, функционирования трансмембранных механизмов молекулярного переноса в клетках различных тканей, в том числе крови, включая эритроциты. Повышение проницаемости эритроцитов через микрокапилляр способствует улучшению оксигенации работающих мышц, выведению кетоновых тел, продуктов неполного окисления и других продуктов катаболизма.

Скачок проницаемости эритроцитов через микрокапилляр при 36,6 °С. Зная, что живой организм, например человека, состоит из 60–70 %, а мозг содержит до 94 % воды, следовало ожидать проявления каких-либо изменений в окрестности температуры 36,6 °С. Действительно, сравнительно недавно было обнаружено, что эритроциты человека (диаметр эритроцита ~ 7 мкм) кардинально меняют свою проницаемость через микрокапилляр (диаметр 1,3 мкм) в окрестности 36,6 °С. Ниже этой температуры водного физраствора эритроциты не проходят через микрокапилляр и скачком увеличивают ее до 100 % в окрестности $36,6 \pm 0,3$ °С как показано на рисунке. При тщательном изучении этого явления в течение прошедшей декады авторам не удалось установить разумный механизм, который бы указывал на возможность такого фазового перехода при температуре 36,6 °С. Обнаруженные ранее спектральные особенности спектра ОН-полосы, вращательных орто/пара-переходов в воде и их корреляция с энергией теплового движения в окрестности температуры 36,6 °С позволили обосновать, что эта температура обусловлена орто/пара-конверсией.

Температурный скачок «текучести» эритроцитов. В конце 1990-х [1, 3] был обнаружен скачок 0–100 % «текучести» (по терминологии авторов) эритроцитов человеческого организма в капилляре при отборе пробы пипеткой с диаметром канала $1,3 \pm 0,2$ мкм, обеспечивающей перепад давления 2,3 кПа. Наиболее примечательным было то, что скачок наблюдался в очень узком температурном диапазоне, $36,4 \pm 0,3$ °С, т. е. вблизи физиологически нормальной температуры человека. При температурах, меньших 36,0 °С, эритроциты не проходили в капилляр, а при температурах, превышающих 37,0 °С, они деформировались и протекали по капилляру с большой скоростью. На рисунке показан характерный вид (квадраты) этой зависимости (по данным [3], линия – визуальная аппроксимация).

Было установлено, что при температуре ниже скачка эритроцит частично втягивался в микрокапилляр, теряя при этом до 20 % воды, и оставался на конце пипетки, как упругий

мячик. Иногда, в 45 % случаев, при приближении к температуре скачка оболочка эритроцита разрывалась, что авторы [3] относили к проявлению конформационных переходов в скелетообразующем белке мембраны-спектрине. Заметим, что диаметр эритроцита (около 7 мкм) существенно больше диаметра пипетки – $1,3 \pm 0,2$ мкм. При температурах выше скачка эритроцит сжимался и втягивался в капилляр за несколько секунд, при этом объем эритроцита в капилляре уменьшался более чем вдвое. Это уменьшение сопровождалось выходом воды (до 55 %) через каналы белка аквапорина в мембране эритроцита [1].

Кроме этого, было установлено, что вязкость водного раствора гемоглобина, извлеченного из эритроцитов, уменьшается почти на порядок в окрестности этой же температуры при увеличении (до 500 мкг/мл) его концентрации в растворе в $\sim 1,7$ раза. Такая концентрация гемоглобина, по оценке [1], достигалась в сферической части эритроцита на конце пипетки при втягивании остальной части внутрь. В этих исследованиях основное внимание было уделено изучению свойств гемоглобина (Hb), составляющего 92 % сухого веса эритроцита или до 330 мкг/мл при нормальных условиях. Предполагалось, что структурная перестройка Hb приводит к истончению гидратной оболочки белка Hb и выходу воды из эритроцита. Была установлена обратимость потери воды: эритроциты принимали начальную форму и объем после возвращения в физиологический раствор. Главный вопрос – почему скачок происходит при температуре $36,6$ °C, остается, однако, безответным. Отметим также, что зарегистрированный «скачок» (от 20 до 55 %) выхода молекул воды через мембрану эритроцитов в узком температурном диапазоне никак не связывается авторами со свойствами воды [1–3].

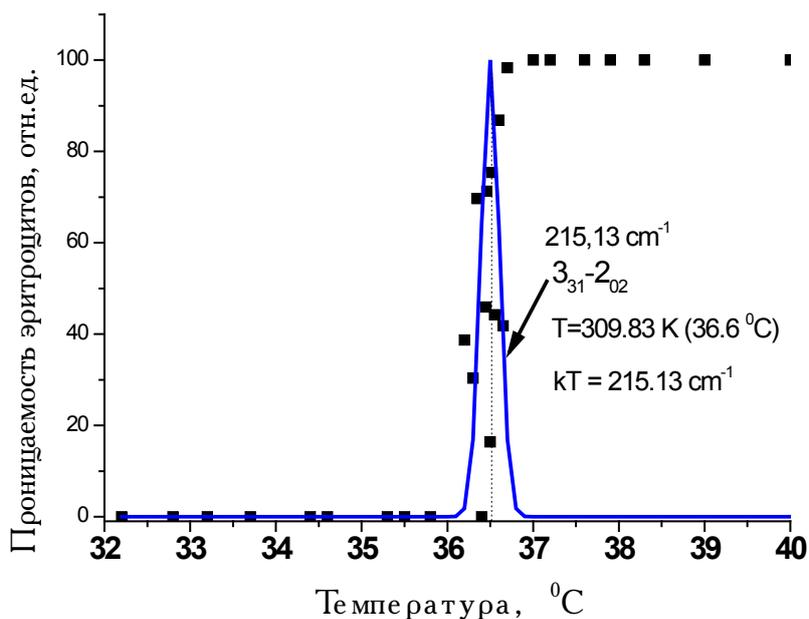


Рисунок – Температурная зависимость скачка проницаемости эритроцитов через микрокапилляр в области температур 36–37 °C

Основываясь в том числе и на собственных экспериментальных данных, опубликованных в наших работах [1, 2], можно утверждать, что вода в этом явлении играет определяющую роль. В первую очередь, само значение температуры скачка с минимумом теплоемкости при нормальном давлении. Кроме того, обнаружены скачки комбинационного рассеяния в дистиллированной воде вблизи температур 4, 20, 36–37 °C и других термодинамически экстремальных точек воды. Заметим, что температура 4 °C является «физиологически нормальной» для земноводных, а 19–20 °C – для хладнокровных особей.) Мы интерпретируем

эти скачки как проявление фазовых переходов, отражающих перестройку структуры сети водородных связей в воде [1–3]. Такие фазовые переходы, приводящие к скачку «текучести» эритроцитов, являются ключевым явлением, обеспечивающим нормализацию оксигенации тканей, стимуляцию метаболизма и оптимизацию во времени процессов восстановления физической работоспособности.

Как уже было отмечено, важную роль в таком скачке «текучести» эритроцитов могут играть чувствительные к действию препаратов-диуретиков белки-аквапорины и водные каналы в цитоплазматических мембранах. Несмотря на малый диаметр водного канала (3–3,8 Ангстрема), его пропускная способность для одиночных молекул H_2O достигает $3 \times 10^9 \text{ с}^{-1}$. В то же время механизм разрыва водородных связей (энергия связи ~ 3 ккал/моль) между молекулами H_2O воды перед входом в канал остался до конца невыясненным. В других ситуациях проницаемость мембраны для молекул воды изучалась на диффузионных моделях. Результаты измерений температурной зависимости коэффициента самодиффузии через липидные бислоиные мембраны также не имеют пока убедительной интерпретации. Таким образом, до сих пор не установлено, что оболочка эритроцита снабжена каким-либо температурно-зависимым клапанным механизмом, который бы открывал и закрывал водные каналы при температуре около $36,6 \text{ }^\circ\text{C}$ и обеспечивал рассматриваемый здесь скачок проницаемости оболочки для молекул воды [1–3].

Заметим, что в цитируемых выше работах наблюдаемые особенности свойств белков и воды обсуждаются без привлечения квантовых характеристик молекул H_2O , например, их зависимость от взаимной ориентации спина протонов. Некоторые характеристики спиновых изомеров H_2O коррелируют с температурами особых точек льда и воды (4, 20, 36–37 $^\circ\text{C}$ и др.).

Практические перспективы. Практическое применение приведенных выше биофизических свойств воды для повышения эффективности тренировочного процесса может выражаться в создании комплексного метода температурозависимой модуляции восстановительных процессов в организме спортсмена путем кратковременного (от 1–2 до 5 мин) ванн (контрастного душа) с последовательным воздействием температур 4, 20, 36–37 $^\circ\text{C}$ для достижения эффекта и релаксации и с последовательным воздействием температур 36–37, 20, 4 $^\circ\text{C}$ для достижения эффекта стимуляции и мобилизации резервов физической работоспособности. Подобный эффект может достигаться благодаря частичной «ишемизации» тканей из-за «оттока» эритроцитов вследствие потери ими свойства «текучести» из микрокапиллярного русла мышечных тканей и развития феномена легкой гипоксии, гиперкапнии и метаболического ацидоза. Эти метаболические события, несомненно, могут способствовать повышению эффективности спортивной тренировки и адаптационных возможностей организма спортсмена.

1. Pershin, S.M. Two-liquid Water / S.M. Pershin // *Physics of Wave Phenomena*. – 2005. – Vol. 13, № 4. – P. 192–208.

2. Pershin, S.M. Coincidence of Rotational Energy of H_2O Ortho-Para Molecules and Transition Energy near Specific Temperatures in Water and Ice / S.M. Pershin // *Physics of Wave Phenomena*. – 2008. – Vol. 16, № 1. – P. 15–25.

3. Temperature transitions of protein properties in human red blood cells / G.M. Artmann [et al.] // *Biophys J*. – 1998. – Vol. 75, № 6. – P. 3179–3183.

4. Tikhonov, V.I. Separation of Water into Its Ortho and Para Isomers / V.I. Tikhonov, A.A. Volkov // *Science*. – 2002. – Vol. 296. – P. 2363.

5. Potekhin, S.A. Spin-dependent absorption of water molecules / S.A. Potekhin, R.S. Khusainova // *Biophysical Chemistry*. – 2005. – Vol. 118. – P. 79–82.

6. Зельдович, Я.Б. Магнито-спиновые эффекты в химии и молекулярной физике / Я.Б. Зельдович, А.Л. Бучаченко, Е.Л. Франкевич // *УФН*. – 1988. – Т. 155, № 1. – С. 3–44.

7. Miani, A. Can ortho-para transitions for water be observed? / A. Miani, J. Tennyson // *J. Chem. Phys.* – 2004. – Vol. 120, № 6. – P. 2732–2739.