

---

## ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭРИТРОЦИТОВ У ЗДОРОВЫХ МОЛОДЫХ ЛЮДЕЙ, НЕ ТРЕНИРУЮЩИХСЯ ФИЗИЧЕСКИ

С.Ю. Завалишина, Т.С. Фадеева

Курский институт социального образования (филиал) РГСУ  
ул. К. Маркса, 51, Курск, Россия, 305029

Проведена оценка функциональных особенностей эритроцитов у 109 здоровых молодых людей 22—35 лет, регулярно не тренирующихся физически. Отсутствие регулярных физических тренировок у молодых людей в период 22—35 лет приводит к отрицательной динамике липидного состава эритроцитов, усилению в них перекисного окисления липидов, способствуя уменьшению содержания в кровотоке их дискоидных форм с увеличением обратимо и необратимо измененных их форм. Это сопровождается превалированием потенциала загустения крови над потенциалом разжижения, постепенно усиливающимся к 35-летнему возрасту.

**Ключевые слова:** эритроциты, кровотоки, молодой возраст, отсутствие физических нагрузок, текучесть крови по сосудам.

Движение крови по сосудистому руслу во многом обусловливается функциональными особенностями эритроцитов, формирующимися в определенных экологических условиях, способностью их к деформации, определяющей изменение формы и размера эритроцитов [8]. Наиболее существенно эти их свойства определяют гемодинамику в микроциркуляторном русле, обуславливая приток необходимого количества  $O_2$  к тканям [3]. Нормальные эритроциты способны значительно деформироваться, не меняя при этом своего объема и площади поверхности. Эта их особенность весьма динамична и может меняться в течение онтогенеза [4]. Функциональная активность эритроцитов в молодом возрасте весьма важна, так как способна повлиять на динамику отклонений от гомеостаза и формирование патологических состояний в более старшем возрасте. Вместе с тем на деформируемость и цитоархитектонические свойства эритроцитов могут оказывать влияние большое количество факторов внешней среды, в частности отсутствие регулярных физических нагрузок. Влияние последнего фактора изучено недостаточно. В связи с этим было проведено настоящее исследование.

**Материалы и методы исследования.** Объектом наблюдения являлись молодые люди в возрасте 22, 25, 30 и 35 лет, не предъявляющие жалоб и не имеющие отклонений в объективном статусе и результатах инструментальных и лабораторных методов исследования.

Общее число обследованных составило 109 человек, из них 26 человек 22 лет, 28 человек 25 лет, 24 человека 30 лет и 31 человек 35 лет, не испытывающих в течение жизни регулярных физических нагрузок и пренебрегающих какими-либо физическими тренировками.

Активность перекисного окисления липидов (ПОЛ) в плазме оценивали по содержанию ТБК-активных продуктов набором фирмы «Агат-Мед» и ацилгидроперекисей (АГП) [2].

**Цель работы:** оценить функциональные особенности эритроцитов у здоровых молодых людей 22—35 лет, регулярно не тренирующихся физически.

Отсутствие регулярных физических тренировок у молодых людей в период 22—35 лет приводит к отрицательной динамике липидного состава эритроцитов, усилению в них перекисного окисления липидов, способствует уменьшению содержания в кровотоке их дискоидных форм с увеличением обратимо и необратимо измененных их форм. Это сопровождается превалированием потенциала загустения крови над потенциалом разжижения, постепенно усиливающимся к 35-летнему возрасту.

Для оценки антиокислительного потенциала жидкой части крови определяли ее антиокислительную активность по И.А. Волчегорскому [1].

В отмытых и ресуспендированных эритроцитах количественно оценены уровни холестерина (ХС) энзиматическим колориметрическим методом набором фирмы «Витал Диагностикум» и общих фосфолипидов (ОФЛ) по содержанию в них фосфора [5] с последующим расчетом отношения ХС/ОФЛ в эритроцитах.

Состояние внутриэритроцитарного ПОЛ определяли по концентрации малонового диальдегида (МДА) в реакции восстановления тиобарбитуровой кислоты в отмытых и ресуспендированных эритроцитах на основе принципа метода Смита [11] в модификации А.А. Кубатиева, С.В. Андреева [6] и содержанию ацилгидроперекисей [2]. Активность внутриэритроцитарных антиоксидантных ферментов устанавливали для каталазы и супероксиддисмутазы (СОД) [10].

Для исследования цитоархитектоники клеток кровь фиксировали в 1%-ном растворе глутарового альдегида (Fluka, Switzerland) на среде 199 (рН 7,4) при температуре 4 °С в течение одних суток, после чего готовился препарат «раздавленная капля». Подсчет клеток производился в процентах на 200 эритроцитов, которые идентифицировали по вышеописанной классификации, с использованием фазово-контрастного устройства светового микроскопа «Люам-Р1» под иммерсией [7].

Количественную оценку соотношения патологических и нормальных форм эритроцитов рассчитывали с помощью индекса трансформации (ИТ):

$$\text{ИТ} = (\text{ОД} + \text{НД}) / \text{Д},$$

где Д — процент дискоцитов; ОД — процент обратимо деформированных эритроцитов; НД — процент необратимо деформированных эритроцитов.

Для более детальной оценки морфологии эритроцитов рассчитывали еще три показателя:

индекс обратимой трансформации (ИОТ)

$$\text{ИОТ} = \text{ОД} / \text{Д};$$

индекс необратимой трансформации (ИНОТ)

$$\text{ИНОТ} = \text{НД} / \text{Д};$$

индекс обратимости (ИО)

$$\text{ИО} = \text{ОД} / \text{НД}.$$

Агрегацию эритроцитов определяли с помощью светового микроскопа, путем подсчета в камере Горяева количества агрегатов эритроцитов, агрегированных и неагрегированных эритроцитов во взвеси отмытых эритроцитов в плазме крови [7].

Агрегацию эритроцитов определяли прямым оптическим методом с вычислением среднего размера агрегата (CPA):

$$CPA = CЭА / КА,$$

где CЭА — сумма всех эритроцитов в агрегате; КА — количество агрегатов.

Рассчитывали показатель агрегации (ПА):

$$ПА = (CPA \cdot КА + КСЭ) / (КА + КСЭ),$$

где КСЭ — количество свободных эритроцитов.

Определяли процент неагрегированных эритроцитов (ПНА):

$$ПНА = (КСЭ \cdot 100) / (CPA \cdot КА + КСЭ).$$

В качестве показателя деформируемости эритроцитов использовался индекс ригидности (ИР).

Оценка учитываемых показателей у обследованных проводилась однократно в каждой возрастной группе молодых людей. Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием *t*-критерия Стьюдента, корреляционного и системного многофакторного анализа [9].

**Результаты исследования и их обсуждение.** Все взятые в исследование здоровые молодые люди, не тренирующиеся физически, при включении в исследование были тщательно обследованы. Перед исследованием каждого из них опрашивали, определяли основные физиологические параметры, проводили морфологический и биохимический анализы крови. Результаты этих исследований показали, что все включенные в исследование считали себя здоровыми людьми, а оцениваемые у них общие функциональные и биохимические величины (температура, ЧСС, частота дыхания, содержание в крови лейкоцитов, концентрация белка и уровень сгущения крови) во всех возрастных группах находились в пределах физиологической нормы, достоверно не отличаясь между возрастными группами, позволяя считать обследованных клинически здоровыми.

У обследованных молодых людей, не испытывающих регулярной физической нагрузки, было выявлено, что уровень ТБК-активных продуктов в жидкой части крови в 22-летнем возрасте составлял  $3,90 \pm 0,34$  мкмоль/л с тенденцией к увеличению до 30 лет, а с 30 лет с достоверным нарастанием, достигая  $4,03 \pm 0,44$  мкмоль/л у лиц 35-летнего возраста ( $p < 0,05$ ). Содержание АГП у обследованных достоверно нарастало в целом на 10,0%. Найденное усиление пероксидации было возможно в результате отмечающейся до 25 лет тенденции к ослаблению, а к 30 годам — к достоверному уменьшению уровня антиоксидантной защищенности организма молодых людей — их антиоксидантный потенциал плазмы снижался с  $29,5 \pm 0,28\%$  в 22 года до  $27,6 \pm 0,32\%$  в 35 лет ( $p < 0,05$ ).

Установлено, что у обследованных 22-летнего возраста в составе мембран эритроцитов в среднем содержалось холестерина и ОФЛ  $0,96 \pm 0,028$  мкмоль/ $10^{12}$  эр.

и  $0,75 \pm 0,031$  мкмоль/ $10^{12}$  эр. соответственно, при уровне соотношения ХС/ОФЛ в эритроцитах  $1,28 \pm 0,02$ , что являлось оптимальным для состояния жесткости и текучести их мембран. К 25 годам у обследуемых отмечена явная тенденция к повышению в мембранах их эритроцитов ХС и снижению ОФЛ, что обусловило нарастание соотношения ХС/ОФЛ, достигнув уровня достоверности к 30 годам (ХС/ОФЛ возрос на 20,3%) с дополненным увеличением соотношения ХС/ОФЛ эритроцитов на 9,7% к 35 годам. Это создавало условия для нарастания уровня в них ПОЛ, в конечном счете способствуя повышению активности эритроцитов, затрудняя у молодых людей условия микроциркуляции по мере увеличения хронологического возраста.

Концентрация первичных продуктов ПОЛ-АГП в эритроцитах здоровых молодых людей, не тренирующихся физически, в возрасте 22 лет находилась на уровне  $3,05 \pm 0,16$  Д<sub>233</sub>/ $10^{12}$  эр., испытывая тенденцию к увеличению к 25 годам, достигшую уровня статистической значимости у 30-летних обследованных ( $3,18 \pm 0,12$  Д<sub>233</sub>/ $10^{12}$  эр.) и дополнительно нарастая к 35-летнему возрасту на 6,3%. При этом уровень МДА в эритроцитах — конечном продукте ПОЛ — испытывал аналогичную динамику к увеличению, повышаясь у 35-летних обследуемых по сравнению с 22-летними на 26,5%.

Нарастание уровня ПОЛ в эритроцитах здоровых молодых людей, не тренирующихся физически, в период 22—35 лет стало возможным вследствие ослабления у них их антиоксидантной защиты, и в первую очередь, каталазы и супероксиддисмутазы. Уровни каталазы и СОД в красных кровяных тельцах находившихся под наблюдением здоровых молодых людей в начале наблюдения имели тенденцию к ослаблению, а начиная с 30 лет достоверно уменьшались. Выраженность депрессии активности данных ферментов за оцениваемый возрастной период составляла в целом 17,5% и 9,6%, соответственно.

У молодых людей, не тренирующихся физически, отмечено постепенное снижение в потоке крови уровня дискоцитов, максимально выраженное в группе обследованных 35-летнего возраста. Их уменьшение к данному возрасту по сравнению с 22 годами составляло 9,2%. При этом у обследованных зарегистрировано увеличение ИТ: с  $0,18 \pm 0,16$  в 22 года до  $0,29 \pm 0,22$  ( $p < 0,01$ ) в группе 35-летних (табл. 1).

Таблица 1

**Цитоархитектоника эритроцитов у здоровых молодых людей, не тренирующихся физически**

Показатель	Здоровые молодые люди, не тренирующиеся физически, $M \pm m$				Средние значения, $n = 109$ , $M \pm m$
	22 года, $n = 26$	25 лет, $n = 28$	30 лет, $n = 24$	35 лет, $n = 31$	
Дискоциты, %	$84,5 \pm 0,48$	$82,9 \pm 0,64$	$80,5 \pm 0,70$ $p < 0,05$	$77,4 \pm 0,59$ $p < 0,01$	$81,3 \pm 0,6$
Обратимо изм. эритроциты, %	$9,5 \pm 0,31$	$10,1 \pm 0,42$	$11,4 \pm 0,28$ $p < 0,05$	$12,6 \pm 0,45$ $p < 0,01$	$10,9 \pm 0,36$
Необратимо изм. эритроциты, %	$6,0 \pm 0,52$	$7,0 \pm 0,34$	$8,1 \pm 0,25$ $p < 0,05$	$10,0 \pm 0,45$ $p < 0,01$	$7,8 \pm 0,39$

Окончание

Показатель	Здоровые молодые люди, не тренирующиеся физически, $M \pm m$				Средние значения, $n = 109,$ $M \pm m$
	22 года, $n = 26$	25 лет, $n = 28$	30 лет, $n = 24$	35 лет, $n = 31$	
Индекс трансформации	$0,18 \pm 0,016$	$0,21 \pm 0,011$	$0,24 \pm 0,017$ $p < 0,05$	$0,29 \pm 0,022$ $p < 0,01$	$0,29 \pm 0,016$
Индекс обратимой трансформации	$0,11 \pm 0,008$	$0,12 \pm 0,05$	$0,14 \pm 0,009$ $p < 0,05$	$0,16 \pm 0,006$ $p < 0,01$	$0,13 \pm 0,18$
Индекс необратимой трансформации	$0,07 \pm 0,002$	$0,08 \pm 0,007$	$0,10 \pm 0,004$ $p < 0,05$	$0,13 \pm 0,012$ $p < 0,01$	$0,09 \pm 0,006$
Индекс обратимости	$1,58 \pm 0,04$	$1,44 \pm 0,08$	$1,41 \pm 0,09$ $p < 0,05$	$1,26 \pm 0,11$ $p < 0,01$	$1,42 \pm 0,008$

Примечание: Здесь и далее:  $p$  — достоверность онтогенетической динамики оцениваемых показателей.

Вместе с тем у нетренирующихся молодых людей отмечено возраст-зависимое нарастание концентрации обратимо измененных эритроцитов с  $9,5 \pm 0,31\%$  в исходной группе до  $12,6 \pm 0,45\%$  у 35-летних обследованных. Рост содержания обратимо измененных эритроцитов у наблюдаемых молодых людей определил динамику ИОТ, увеличивающегося между 22 и 35 годами при отсутствии физических тренировок на  $45,4\%$  ( $p < 0,01$ ). При этом у молодых людей, избегающих физических нагрузок, количество необратимо измененных эритроцитов неуклонно нарастало с  $6,0 \pm 0,52\%$  в 22 года до  $10,0 \pm 0,45\%$ , сопровождаясь увеличением ИНОТ на  $85,7\%$ .

Выявлено, что у обследованных молодых людей по мере увеличения хронологического возраста ИО постепенно снижался. Его суммарная депрессия к 35 годам составляла  $25,4\%$ , что подтверждало значимость повышения числа измененных эритроцитов с возрастанием удельного веса необратимо измененных форм эритроцитов.

По мере увеличения хронологического возраста у обследованных отмечено увеличение суммы эритроцитов в агрегате и количества агрегатов при снижении величины свободно лежащих эритроцитов. Это сопровождалось повышением СРА к 35 годам до  $5,1 \pm 0,06$  клеток (табл. 2).

Таблица 2

**Показатели агрегации и микровязкости мембран эритроцитов у здоровых молодых людей, не тренирующихся физически**

Показатель	Здоровые молодые люди, не тренирующиеся физически, $M \pm m$				Средние значения, $n = 109,$ $M \pm m$
	22 года, $n = 26$	25 лет, $n = 28$	30 лет, $n = 24$	35 лет, $n = 31$	
Сумма всех эритроцитов в агрегате	$38,0 \pm 0,08$	$41,2 \pm 0,19$	$40,0 \pm 0,02$ $p < 0,05$	$50,0 \pm 0,13$ $p < 0,01$	$42,3 \pm 0,10$
Количество агрегатов	$9,0 \pm 0,16$	$10,5 \pm 0,08$	$8,0 \pm 0,06$ $p < 0,05$	$10,0 \pm 0,06$ $p < 0,01$	$9,4 \pm 0,09$
Количество свободных эритроцитов	$245,0 \pm 1,24$	$238,8 \pm 1,41$	$218,0 \pm 0,48$ $p < 0,05$	$158,0 \pm 0,83$ $p < 0,01$	$214,9 \pm 0,99$
Показатель агрегации	$1,13 \pm 0,10$	$1,12 \pm 0,24$	$1,20 \pm 0,07$ $p < 0,05$	$1,28 \pm 0,09$ $p < 0,01$	$1,18 \pm 0,12$
Процент не агрегированных эритроцитов	$86,7 \pm 0,14$	$85,1 \pm 0,29$	$84,5 \pm 0,18$ $p < 0,05$	$75,9 \pm 0,14$ $p < 0,01$	$83,05 \pm 0,18$

Окончание

Показатели	Здоровые молодые люди, не тренирующиеся физически, M ± m				Средние значения, n = 109, M ± m
	22 года, n = 26	25 лет, n = 28	30 лет, n = 24	35 лет, n = 31	
Средний размер агрегата, клеток	4,2 ± 0,05	3,9 ± 0,12	5,0 ± 0,10 <i>p</i> < 0,05	5,1 ± 0,06 <i>p</i> < 0,01	4,55 ± 0,08
Микровязкость	2,63 ± 0,09	2,67 ± 0,08	2,74 ± 0,02 <i>p</i> < 0,05	2,80 ± 0,04 <i>p</i> < 0,01	2,71 ± 0,06
Индекс ригидности	65,2 ± 0,26	68,1 ± 0,15	79,0 ± 0,36 <i>p</i> < 0,05	87,5 ± 0,12 <i>p</i> < 0,01	74,9 ± 0,22

Аналогичная направленность отмечена для динамики ПА, достигшего к 35-летнему возрасту у обследованных  $1,28 \pm 0,09$ , увеличившись с 22 лет на 13,3%. Это сопровождалось постепенным снижением ПНА, понижение которого стало достоверным к 30 годам, а спустя еще 5 лет суммарно составило 14,2%.

Корреляционный анализ, проведенный у 35-летних обследованных, выявил отрицательные корреляционные связи средней силы между уровнем дискоцитов и ПА ( $r = -0,52, p < 0,05$ ), СРА ( $r = -0,47, p < 0,05$ ). Очевидно, увеличение агрегации эритроцитов и СРА происходит при увеличении трансформации эритроцитов в обратимые и необратимые формы, так как были выявлены прямые корреляционные связи между данными показателями. ПА достоверно коррелировал с ИТ ( $r = +0,49, p < 0,05$ ), ИОТ ( $r = +0,37, p < 0,05$ ), ИНОТ ( $r = +0,38, p < 0,05$ ). СРА прямо коррелировал с ИТ ( $r = +0,46, p < 0,05$ ), ИОТ ( $r = +0,32, p < 0,05$ ), ИНОТ ( $r = +0,36, p < 0,05$ ).

В результате проведенного исследования получены разнонаправленные показатели, определяющие загустевание и разжижение крови, неоднозначно влияющие на ее общую реологию у здоровых молодых людей, не тренирующихся физически. Данные показатели были статистически обработаны с применением системного многофакторного анализа. У обследованных отдельно были высчитаны потенциал загустевания крови (ПЗК) и потенциал разжижения крови (ПРК) с учетом степени влияния на него каждого из изученных параметров, также была установлена их направленность. Определен общий реологический потенциал крови (ОРП) здоровых молодых людей, не тренирующихся физически.

Выяснено, что в потенциале загустевания крови у здоровых молодых людей, не тренирующихся физически, наиболее весомыми оказались процент необратимо измененных эритроцитов ( $P_i = 383,6$ ), процент обратимо измененных эритроцитов, индекс ригидности и индекс необратимой трансформации ( $P_i$  от 334,5 до 320,6). Относительно высокими в ПЗК были коэффициенты влияния, принадлежащие индексу трансформации ( $P_i = 294,5$ ), показателю агрегации ( $P_i = 294,0$ ), среднему размеру агрегатов ( $P_i = 289,5$ ) и сумме всех эритроцитов в агрегате ( $P_i = 286,2$ ). Остальные показатели потенциала загустевания крови были менее весомы, существенно не различаясь между собой и играя в ПЗК более скромную роль. Взвешенная средняя потенциала загустевания, целостно характеризующая явления направленные на загустевания крови, у здоровых молодых людей, не тренирующихся физически, составила  $X_{Bi \text{ ПЗК}} = 0,112$ .

Наиболее значимыми в потенциале разжижения крови у здоровых молодых людей, не тренирующихся физически, являлись уровень СОД эритроцитов ( $P_i = 505,6$ ), содержания дискоидных эритроцитов в кровотоке ( $P_i = 501,1$ ) и активность каталазы ( $P_i = 498,1$ ). Относительно высокий коэффициент влияния в ПРК принадлежал уровню ОФЛ в мембранах эритроцитов ( $P_i = 406,2$ ). Остальные оцениваемые параметры были менее весомы, значимость их играла в ПРК более скромную роль.

Взвешенная средняя потенциала разжижения крови, характеризующая одним числом способность организма ограничивать загустевание крови, у обследованных молодых людей составила  $X_{Bi \text{ ПРК}} = 0,089$ .

Общий реологический потенциал у здоровых молодых людей, не тренирующихся физически, оказался равен  $X_{Bi \text{ ОРП}} = X_{Bi \text{ ПЗК}} - X_{Bi \text{ ПРК}} = 0,023$ , что указывало на превалирование у них в ОРП явлений загустения крови, усиливающих к 35-летнему возрасту.

Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

Отсутствие регулярных физических тренировок у молодых людей в период 22—35 лет приводит к отрицательной динамике липидного состава эритроцитов, усилению в них ПОЛ, способствует уменьшению содержания в кровотоке их дискоидных форм с увеличением обратимо и необратимо измененных форм.

Неуклонное повышение функциональной активности эритроцитов способствует постепенному ухудшению реологических свойств крови у молодых людей, не тренирующихся физически.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Волчегорский И.А., Долгушин И.И., Колесников О.Л., Цейликман В.Э. Экспериментальное моделирование и лабораторная оценка адаптивных реакций организма. — Челябинск: Изд-во Челябинского государственного педагогического университета, 2000.
- [2] Гаврилов В.Б., Мишкорудная М.И. Спектрофотометрическое определение содержания гидроперекисей липидов в плазме крови // Лабораторное дело. — 1983. — № 3. — С. 33—36.
- [3] Головина Л.Л. Кровь и работоспособность. — М., 1995.
- [4] Киселев А.М., Клушков В.С., Сторожок С.А. О механизмах регуляции способности эритроцитов к упругой деформации // Вестник Уральской медицинской академии. — 2006. — Т. 3. — С. 39—40.
- [5] Колб В.Г., Камышников В.С. Справочник по клинической химии. — Минск: Беларусь, 1982.
- [6] Кубатиев А.А., Андреев А.А. Перекиси липидов и тромбоз // Бюлл. эксперим. биол. и медицины. — 1979. — № 5. — С. 414—417.
- [7] Медведев И.Н., Савченко А.П., Завалишина С.Ю. и др. Методические подходы к исследованию реологических свойств крови при различных состояниях // Российский кардиологический журнал. — 2009. — № 5. — С. 42—45.
- [8] Мельников А.А., Викулов А.Д. Реологические свойства крови у спортсменов. — Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2008.
- [9] Углова М.В., Углов Б.А., Архипов В.В., Горшкова Т.В., Петунина Н.А., Оль Т.Л., Прохуровская М.А., Шубин С.И. Применение методов морфометрии и статического анализа в морфологических исследованиях. — Куйбышев: Куйбышевское книжное издательство, 1982.

- [10] Чевари С., Андял Т., Штрэнгер Я. Определение антиоксидантных параметров крови и их диагностическое значение в пожилом возрасте // *Лабораторное дело*. — 1991. — № 10. — С. 9—13.
- [11] *Schmith J.B., Ingerman C.M., Silver M.J.* Malondialdehyde formation as an indicator of prostaglandin production by human platelet // *J. Lab. Clin. Med.* — 1976. — Vol. 88 (1). — P. 167—172.

## FEATURES ERYTHROCYTES IN YOUNG PEOPLE WITHOUT PHYSICAL TRAINING

**S.Y. Zavalishina, T.S. Fadeeva**

Kursk institute of social education (branch)  
of the Russian state social university  
*K. Marksa Str., 53, Kursk, Russia, 305029*

To assess the functional characteristics of erythrocytes in healthy young 109 people 22—35 years are not physically practicing regularly. The lack of physical activity among young people 22—35 years old leads to negative changes in lipid composition of red blood cells, increase in their lipid peroxidation, contributing to decrease the content in the bloodstream of their discoid shapes. This is accompanied by thickening of blood over the potential dilution, gradually growing to 35 years old.

**Key words:** red blood cells, blood flow, young age, lack of physical activity, flow of blood through the vessels.