

В. В. Афанасьев, И. А. Осетров, П. В. Михайлов, М. А. Суворова

Математическое моделирование возрастных изменений параметров функциональных систем организма

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, соглашение 14.В37.21.0214 и 4.1695.2011.

При старении адаптация сердечно-сосудистой системы к субмаксимальным нагрузкам ухудшается. Это касается и эффективности транспорта кислорода в тканевые микрорайоны. При этом важно иметь в виду, что одним из главных интегральных показателей, характеризующих функциональные возможности организма, является уровень максимального потребления кислорода (МПК). По мнению многих авторов, уровень МПК служит количественной мерой здоровья. Получены данные исследования и разработаны методические приемы, в том числе и методы математического моделирования, позволяющие понимать роль возрастных изменений системы транспорта кислорода, ассоциированных с МПК.

Ключевые слова: возраст, максимальное потребление кислорода, математическое моделирование, корреляционный анализ, уравнения регрессии.

V. V. Afanasiev, I. A. Osetrov, P. V. Mikhailov, M. A. Suvorova

Mathematical Modeling of Age Changes of Parameters of Organism Functional Systems

It is generally known that the adaptation of the circulatory system is getting not so effective under aging. The O₂-transport efficiency probably has been decreased under these conditions. It is important to note that VO₂max is a very significant characteristic of the oxygen tissue delivery. Some authors strongly believe that the value of VO₂max may be considered as a level of health. Taken together the obtained data showed clearly that mathematical methods could help better understand the important role of age alteration of O₂-transport was associated with VO₂max.

Keywords: age, maximum oxygen consumption (VO₂max), mathematical modeling, a correlation analysis, equations of regression.

Существующие в настоящее время представления о взаимосвязи МПК и возраста показывают однозначную картину – с возрастом МПК уменьшается. Так, по данным Коркушко и др. 2010, показана сильная отрицательная взаимосвязь между показателем МПК и возрастом как у мужчин, так и у женщин. Имеются сведения о том, что чем ближе двигательный режим к оптимальному, тем лучше сохраняется умственная работоспособность. Более того, величина МПК отрицательно коррелирует как со смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний, так и с уровнем общей смертности (цит. по [5]). Однако характер изменений, а также влияние физической нагрузки на такие изменения изучены недостаточно и носят противоречивый характер.

Ранее было показано, как меняются показатели работоспособности у лиц, не занимающихся спортом [6]. С целью дальнейшего анализа проблемы были проанализированы возрастные изменения в группе обследованных лиц.

Материал и методы

В исследовании приняли участие добровольцы в возрасте от 20 до 74 лет (n=142). Для решения поставленных задач были сформированы 5 групп лиц разного возраста (данные приведены в разделе «Результаты»).

Для изучения функциональных возможностей применяли комплексный подход [7]. Определяли, используя велоэргометрический тест со ступенчато возрастающей нагрузкой (25 Вт/мин) с последующим расчетом показателей PWC₁₇₀ и МПК. Показатель PWC₁₇₀ устанавливали по формуле: $PWC_{170} = N1 + (N2 - N1)$, где PWC₁₇₀ – физическая работоспособность при изменяющейся с возрастом частоте сердечных сокращений; N1 – мощность нагрузки при ЧСС, составляющей 60 % от возрастного максимального значения; N2 – мощность нагрузки при ЧСС, составляющей 87 % от возрастного максимального значения. Максимальную ЧСС определяли по формуле $ЧСС_m = 217 - (0,85 \times \text{возраст})$ [9]. Для расчета МПК применяли форму-

лу: $MPK=(1240+1,7 \times PWC)/1000$ [4]. Обработку результатов, построение графиков и гистограмм проводили с помощью программ Microsoft Excel 2010 и Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение

Ввиду большого количества групп (табл. 1)

для сравнения средних значений показателей гемодинамики нецелесообразно использовать t-критерий Стьюдента. Поэтому на следующем этапе был применен однофакторный дисперсионный анализ, результаты которого представлены на диаграмме ниже (рис. 1).

Таблица 1

Возрастные группы и параметры системной гемодинамики

	Группы (возраст)	n	АДс	АДд	АДср
1	20–29	43	125,3±13,3	74,0±10,7	90,9±10,6
2	30–39	29	127,3±11,1	80,9±10,9	96,2±10,2
3	40–49	29	131,3±11,7	82,8±9,5	98,8±9,7
4	50–59	18	133,2±15,6	86,8±9,9	102,1±11,2
5	60–69	23	131,2±14,4	81,8±9,4	98,1±10,2
Вся группа		142	128,9±13,2	80,1±10,0	96,2±10,9

Анализ изменений данных в каждой возрастной группе и межгрупповые различия всех протестированных лиц позволили установить, что вариация систолического давления (АДс) не обусловлена возрастом ($F(4,142)=1,8, p>0,05$). В то

же время диастолическое (АДд) и среднее (АДср) давление с возрастом достоверно увеличиваются ($F(4,142)=6,4, p<0,01; F(4,142)=4,9, p<0,01$, соответственно).

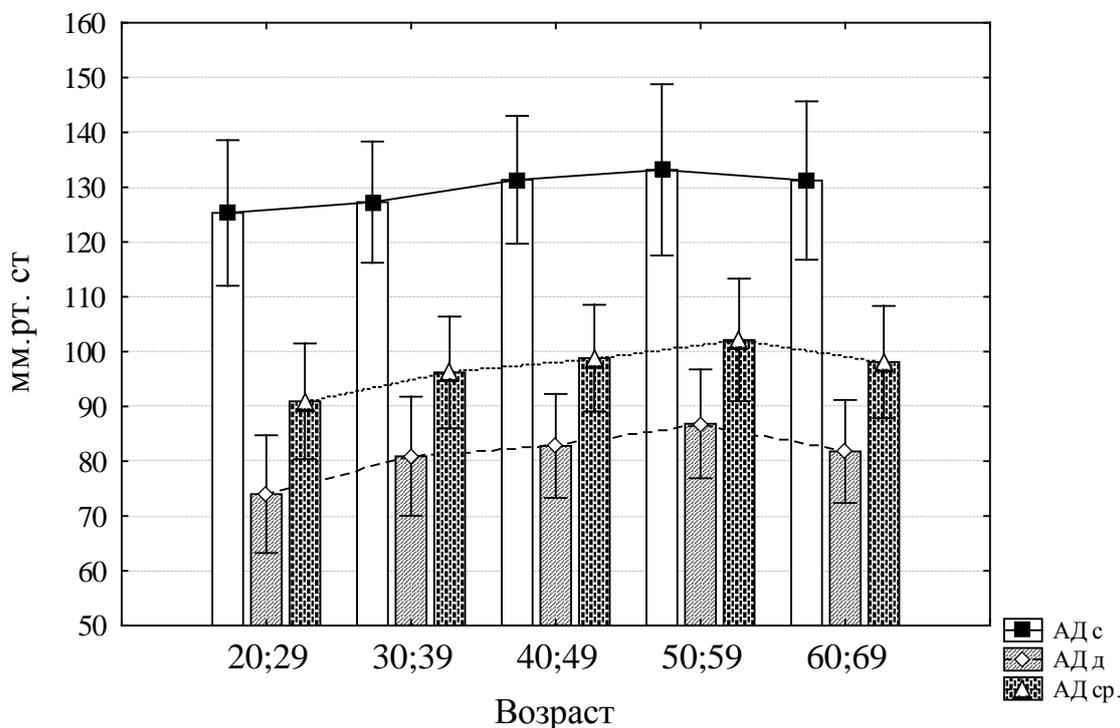


Рис. 1. Диаграмма дисперсионного анализа величин систолического, диастолического и среднего давлений у лиц разного возраста

Как видно из гистограммы на рис. 2, распределение показателей в общей группе протестированных приближается к нормальному закону.

В литературе, посвященной геронтологической проблеме, часто принимается, что интенсивность протекания физиологических функций

человека с возрастом снижается [2, 5]. Это касается, прежде всего, показателей физической ра-

ботоспособности, критериями которой выступают величины МПК и PWC_{170} (рис. 2).

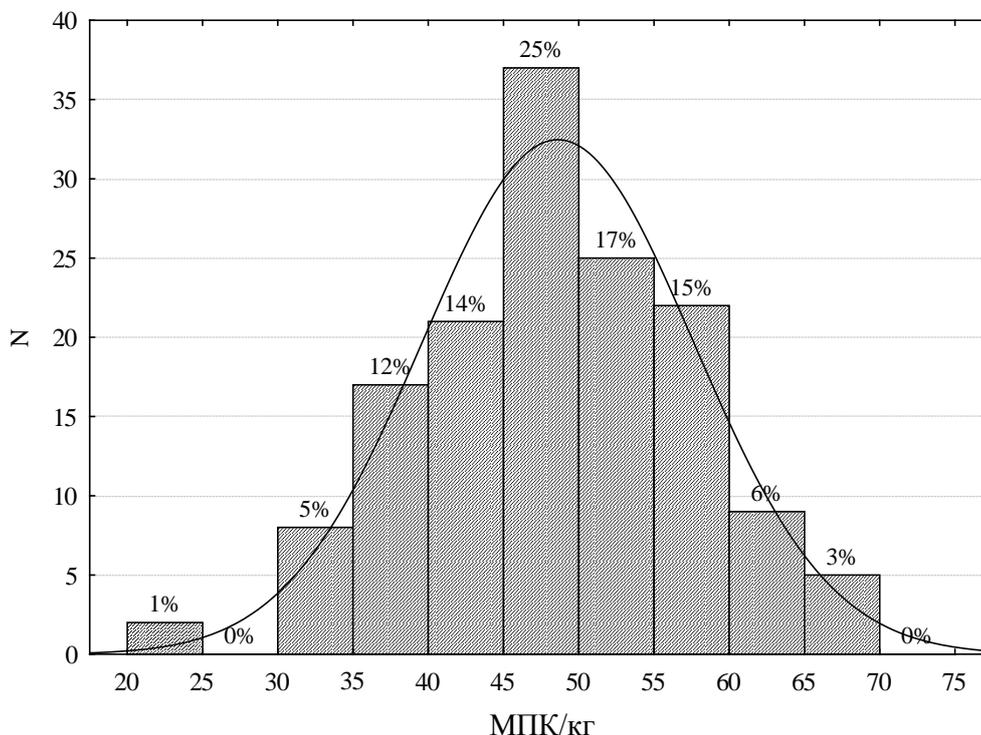


Рис. 2. Гистограмма распределения показателя МПК/кг (обобщенные данные по всем возрастным группам)

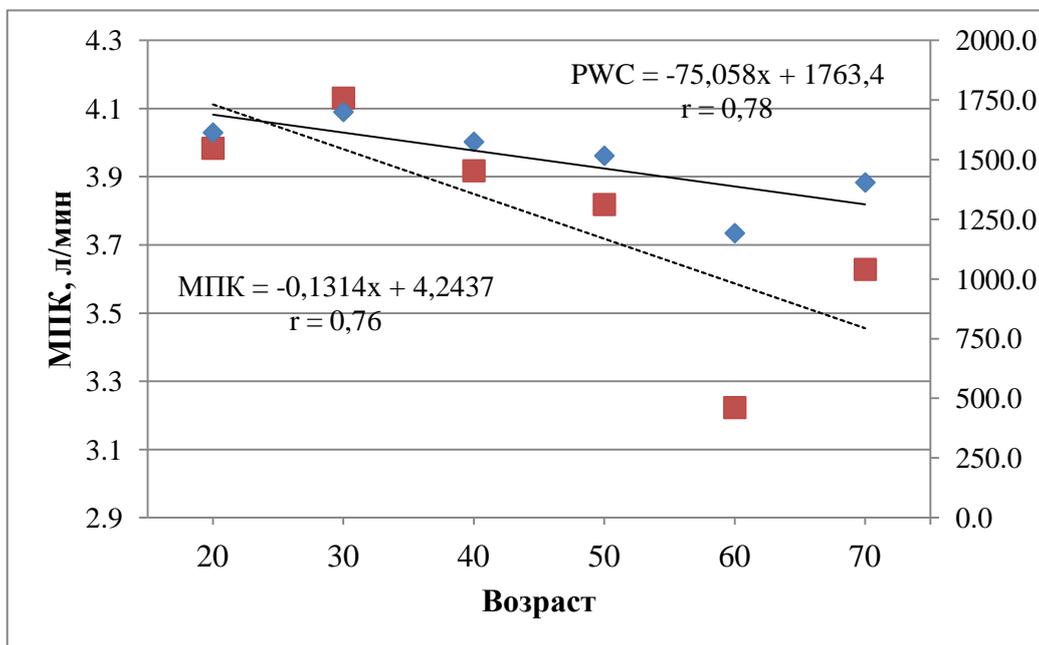


Рис. 3. Динамика показателя средних значений МПК и PWC в разных возрастных группах

В нашем случае каждые 10 лет PWC_{170} снижается в среднем на 75 кгм/мин, а МПК – на 130 мл/мин. Вместе с тем моделирование показывает, что эффекты старения с возрастом постепенно замедляются, выявляя разнонаправленные тен-

денции, что отражается в результатах корреляционного анализа, где обнаруживаются существенные отличия у разных возрастных категорий лиц, участвовавших в тестировании.

По нашим данным, в возрасте до 29 лет такая

зависимость невелика (рис. 4), и можно говорить лишь о тенденции снижения $r = -0,25$. В период от 30 до 39 лет прослеживается четкая достовер-

ная отрицательная взаимосвязь средней силы (рис. 5): $y = -1,59x + 102,36$; $r = -0,5$.

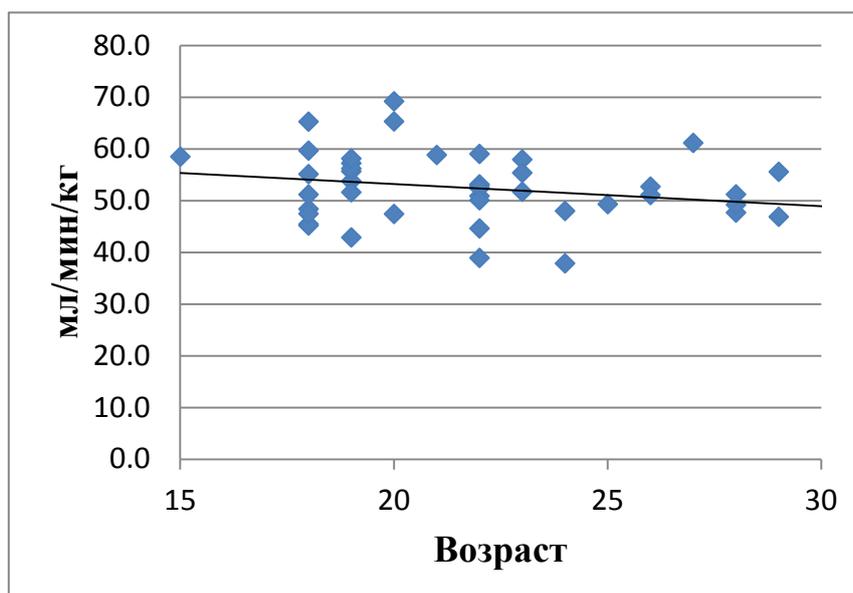


Рис. 4. Изменение величины МПК у лиц в возрасте до 29 лет

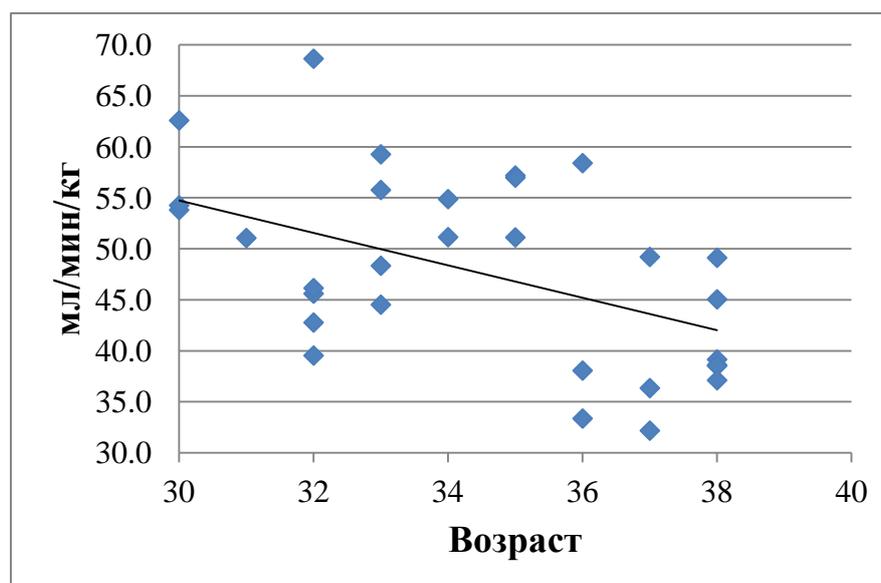


Рис. 5. Изменение величины МПК у лиц в возрасте от 30 до 39 лет

В возрасте 40–49 лет наступает «плато», продолжающееся от 50-ти до 60-ти лет, здесь коэффициент корреляции находится у нулевого значения $r = -0,02 - -0,07$. После 60-ти лет наблюдается обратная тенденция – с возрастом МПК растет. $y = 0,44x + 17,62$; $r = 0,21$.

Еще лучше результаты аппроксимации для старшей возрастной группы описывает полином 2-й степени (рис. 6) с точкой перегиба в районе 67 лет:

$$y = -0,193x^2 + 26,46x - 858,4; r=0,53.$$

Заключение

Таким образом, выполнить математическое моделирование характера возрастных изменений функционального состояния организма путем приведения их к простым уравнениям линейной регрессии, как это иногда показано в литературе [3], не представляется возможным.

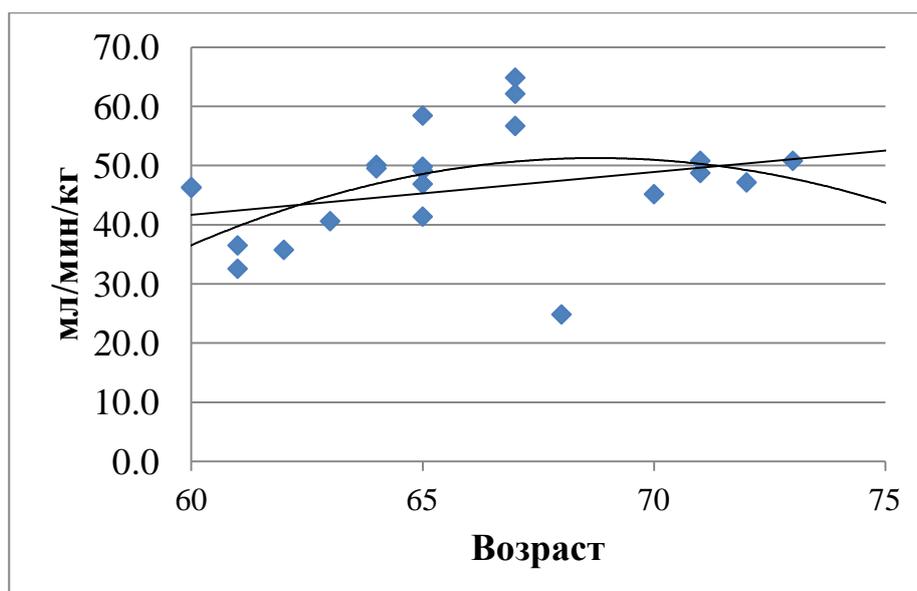


Рис. 6. Изменение величины МПК в старших возрастных группах (от 60 лет и старше)

Вместе с тем полученными данными и тщательным статистическим анализом подтверждено, что сердечно-сосудистая система является хорошим индикатором адаптационных возможностей организма на разных возрастных этапах

жизни. Результаты исследования показали, что возрастные изменения носят ступенчатый характер, связанный, по-видимому, с перенастройкой адаптационных механизмов на новый уровень.

Библиографический список

1. Амосов, Н. М., Бендет, Я. А. Физическая активность и сердце [Текст] / Н. М. Амосов, Я. А. Бендет. – Киев : Здоров'я человека, 1984. – 231 с.
2. Баевский, Р. М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии [Текст] / Р. М. Баевский. – М. : Медицина, 1979. – 289 с.
3. Булич, Э. Я., Муравов, И. В. Здоровье человека: биологическая основа жизнедеятельности и двигательная активность в ее стимуляции [Текст] / Э. Я. Булич, И. В. Муравов. – Киев : Олимпийская литература, 2003. – 424 с.
4. Карпман, В. Л. Тестирование в спортивной медицине [Текст] / В. Л. Карпман, З. Б. Белоцерковский, И. А. Гудков. – М. : Физкультура и спорт, 1988. – 234 с.
5. Коркушко, О. В., Ярошенко, Ю. Т. Значимость факторов гемодинамики в возрастном снижении максимального потребления кислорода [Текст] / О. В. Коркушко, Ю. Т. Ярошенко // Кровообіг та гемостаз. – 2010. – № 1–2. – С. 5–28.

6. Михайлов, П. В. Оценка физической работоспособности в разных возрастных группах [Текст] / П. В. Михайлов [и др.] // Ярославский педагогический вестник. – 2012. – № 3. – Т III (Естественные науки). – С. 145–148.
7. Новосельцев, В. Н. Математическое моделирование организма [Текст] / В. Н. Новосельцев // Наука в России. – 2003. – № 1. – С. 52–58.
8. Основы отбора, контроля и прогноза в спорте [Текст] : монография / под ред. В. В. Афанасьева. – Ярославль : Изд-во ЯГПУ, 2008. – 278 с.
9. Miller, W. C., Wallace, J. P. & Eggert, K. E. Predicting max hr and the HR-VO₂ relationship for exercise prescription in obesity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1993; 25(9):1077–1081.
10. Londeree, B. R., Moeschberger, M. L. Effect of age and other factors on maximal heart rate. *Res. Quarter Exerc. Sport* 1982; 53(4): 297–304.

Bibliograficheskij spisok

1. Amosov, N. M., Bendet, Ya. A. Fizicheskaya aktivnost' i serdtse [Tekst] / N. M. Amosov, Ya. A. Bendet. – Kiyev : Zdorov'ya cheloveka, 1984. – 231 s.
2. Bayevskiy, R. M. Prognozirovaniye sostoyaniy na grani normy i patologii [Tekst] / R. M. Bayevskiy. – M. : Meditsina, 1979. – 289 s.
3. Bulich, E. Ya., Muravov, I. V. Zdorov'ye cheloveka: biologicheskaya osnova zhiznedeyatel'nosti i

- dвига-tel'naya aktivnost' v yeye stimulyatsii [Tekst] / E. Ya. Bulich, I. V. Muravov. – Kiyev : Olimpiyskaya literatura, 2003. – 424 s.
4. Karpman, V. L. Testirovaniye v sportivnoy meditsine [Tekst] / V. L. Karpman, Z. B. Belotserkovskiy, I. A. Gudkov. – M. : Fizkul'tura i sport, 1988. – 234 s.
5. Korkushko, O. V., Yaroshenko, Yu. T. Znachimost' faktorov gemodinamiki v vozrastnom snizhenii mak-

simal'nogo potrebleniya kisloroda [Tekst] / O. V. Korkushko, Yu. T. Yaroshenko // Krovoobig ta gemostaz. – 2010. – № 1–2. – S. 5–28.

6. Mikhaylov, P. V. Otsenka fizicheskoy rabotosposobnosti v raznykh vozrastnykh gruppakh [Tekst] / P. V. Mikhaylov [i dr.] // Yaroslavskiy pedagogicheskiy vestnik. – 2012. – № 3. – Tom III (Estestvennye nauki). – S. 145–148.

7. Novosel'tsev, V. N. Matematicheskoye modelirovaniye organizma // Nauka v Rossii. – 2003. – № 1. – S. 52–58.

8. Osnovy otbora, kontrolya i prognoza v sporte [Tekst] : monografiya / pod red. V. V. Afanas'yeva. – Yaroslavl' : Izd-vo YAGPU, 2008. – 278 s.

9. Miller, W. C., Wallace, J. P. & Eggert, K. E. Predicting max hr and the HR-VO₂ relationship for exercise prescription in obesity. Med. Sci. Sports Exerc. 1993; 25(9):1077–1081.

10. Londeree, B. R., Moeschberger, M. L. Effect of age and other factors on maximal heart rate. Res. Quarter Exerc. Sport 1982; 53(4): 297–304.