

Математическое моделирование потребности населения старших возрастных групп в стационарной медицинской помощи

С. Н. Черкасов^{1,2}, А. В. Федяева¹, В. Н. Авсаджанишвили³

¹ Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук, Российская Федерация, 117997, Москва, ул. Профсоюзная, 65

² Национальный научно-исследовательский институт общественного здоровья им. Н. А. Семашко, Российская Федерация, 105064, Москва, ул. Воронцово поле, 12/1

³ Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н. И. Пирогова, Российская Федерация, 117997, Москва, ул. Островитянова, 1

Для цитирования: Черкасов С.Н., Федяева А.В., Авсаджанишвили В.Н. Математическое моделирование потребности населения старших возрастных групп в стационарной медицинской помощи // Вестник Санкт-Петербургского университета. Медицина. 2022. Т. 17. Вып. 2. С. 132–140. <https://doi.org/10.21638/spbu11.2022.206>

Целью проведенного исследования являлось построение модели потребности населения старших возрастных групп в медицинской помощи, оказываемой в стационарных условиях. Моделирование проводили на основании данных о случаях оказания медицинской помощи в 2018–2019 гг. населению Московской области старших возрастных групп. Вероятность оказания стационарной медицинской помощи определялась в каждом одногодичном возрастном интервале, начиная с возраста 60 лет. При построении динамической кривой использовали 41 точку. При моделировании придерживались функционального принципа описания возрастной динамики алгебраической функцией, которую определяли методом наименьших квадратов (регрессионный анализ). Качество полученных моделей оценивали по величине коэффициента аппроксимации. Степень влияния возраста на зависимую переменную (величину потребности в медицинской помощи) определяли как эмпирическое корреляционное отношение в ходе дисперсионного анализа. Возрастная динамика потребности населения старших возрастных групп в медицинской помощи, оказываемой в стационарных условиях, а также в условиях дневного стационара, может быть описана с использованием параболы второго порядка с отрицательным первым коэффициентом. Следует отметить схожесть моделирующих функций, используемых для описания возрастной динамики востребованных объемов медицинской помощи, оказываемой в амбулаторных и стационарных условиях. Значимых гендерных различий при моделировании возрастной динамики потребности в медицинской помощи, оказываемой в условиях круглосуточного стационара, выявлено не было. Уровень потребности выше у мужчин во всех исследованных возрастных группах, что является противоположным результатом относительно потребности в медицинской помощи, оказываемой в амбулаторных условиях. Уровень потребности в медицинской помощи, оказываемой в условиях дневного стационара, выше у женщин во всех исследованных возрастных группах, что соответствует результатам, полученным при исследовании потребности в медицинской помощи, оказываемой в амбулаторных условиях.

Ключевые слова: планирование, потребность в медицинской помощи, моделирование, старшие возрастные группы, возрастная динамика, система здравоохранения, медицинская помощь, оказываемая в стационарных условиях.

Введение

Повышение степени эффективности системы здравоохранения в Российской Федерации является актуальной задачей настоящего периода [1; 2]. Данную задачу невозможно решить вне системного подхода к управлению отраслью и адекватного планирования ее деятельности как на краткосрочную, так и на долгосрочную перспективы [3; 4]. Одним из вариантов решения является оценка существующей ситуации в сфере оказания медицинской помощи, выделение главных факторов, влияющих на этот процесс, и выполнение прогноза потребности на последующие периоды [5–7]. Представление о необходимых объемах требуемых ресурсов позволяет избежать ресурсных кризисов, а знание возрастных периодов, в которых потребность возрастает, дает возможность планировать профилактические мероприятия, направленные на снижение уровня потребления стационарной медицинской помощи [8; 9].

Медицинская помощь, оказываемая в стационарных условиях, требует гораздо больше ресурсов, чем амбулаторная, что обуславливает важность контроля и управления объемами этого вида помощи. Реализация такого подхода возможна только в случае наличия информации о возрастной динамике востребованных объемов медицинской помощи [10; 11].

Существующий дефицит ресурсов в здравоохранении усугубляется крайне низкой эффективностью их использования: несбалансированностью структурных звеньев медицинской помощи населению, диспропорциями в объемах помощи, оказываемой в стационарных и амбулаторных условиях при неэффективном использовании коечного фонда. На необходимость совершенствования методических подходов к определению потребности населения в медицинской помощи на основе применения экономико-математических методов моделирования указывали многие авторы, но задача по совершенствованию методов планирования продолжает оставаться актуальной для общественного здоровья [12–14].

Цель предпринятого исследования — построить модель потребности населения старших возрастных групп в медицинской помощи, оказываемой в стационарных условиях.

Материалы и методы исследования

Моделирование проводили на основании данных о случаях оказания медицинской помощи в период 2018–2019 гг. населению старших возрастных групп, проживающих на территории Московской области. Вероятность оказания стационарной медицинской помощи определялась в каждом одногодичном возрастном интервале, начиная с возраста 60 лет. При построении динамической кривой использовали 41 точку. Расчет показателей осуществляли на 1000 человек населения соответствующего возраста и пола.

При моделировании придерживались функционального принципа описания возрастной динамики алгебраической функцией, которую определяли методом наименьших квадратов (регрессионный анализ). Качество полученных моделей оценивали по величине коэффициента аппроксимации. Степень влияния возраста на зависимую переменную (величину потребности в медицинской помощи) опре-

деляли как эмпирическое корреляционное отношение в ходе дисперсионного анализа.

На первом этапе учитывали четыре показателя, характеризующих потребность в медицинской помощи, оказываемой в стационарных условиях: число госпитализаций в стационар круглосуточного пребывания и в стационар дневного пребывания (на 1000 мужчин и женщин в возрасте 60 лет и старше) и длительность лечения в условиях стационара круглосуточного и дневного пребывания (число койко-дней на 1000 мужчин и женщин в возрасте 60 лет и старше). Взаимозависимости между показателями исследовались с использованием корреляционного анализа путем построения корреляционной матрицы.

Результаты

В ходе корреляционного анализа получены данные о наличии сильной корреляционной зависимости (коэффициент корреляции $= 0,99 \pm 0,02$, отличие от нуля значимо, независимо от гендерной принадлежности) между показателями, характеризующими потребность в медицинской помощи, оказываемой в условиях круглосуточного стационара. Исходя из полученных данных, целесообразно для дальнейшего анализа оставить только один из показателей, а именно «Длительность лечения в стационаре круглосуточного пребывания» с учетом его большей информативности при вариабельности средней длительности пребывания в стационаре конкретного пациента. Более того, длительность пребывания может зависеть от возраста пациента, что может исказить объемные показатели при прогнозе уровня потребности.

Аналогичные результаты получены и в отношении показателей, характеризующих востребованные объемы медицинской помощи, оказываемой в условиях дневного стационара. Два показателя, характеризующие востребованность медицинской помощи, оказываемой в условиях дневного стационара, как в отношении мужчин, так и в отношении женщин, находятся в сильной корреляционной зависимости (коэффициент корреляции составил $0,96 \pm 0,03$ в отношении мужчин и $0,99 \pm 0,02$ в отношении женщин, отличие от нуля значимо). Исходя из полученных данных, целесообразно для дальнейшего анализа оставить только один из показателей, а именно — «Длительность лечения в условиях стационара дневного пребывания» с учетом его большей информативности при вариабельности средней длительности пребывания в стационаре конкретного пациента.

Объем медицинской помощи, оказываемой в стационарных условиях, у мужчин с возрастом увеличивался. Ежегодный темп прироста составил 7,8 %. Максимальный показатель потребности регистрируется в возрасте 76 лет (9774 дней пребывания в круглосуточном стационаре на 1000 мужчин соответствующего возраста). Второй локальный максимум наблюдается в возрасте 91 года (8426 дней пребывания в круглосуточном стационаре на 1000 мужчин соответствующего возраста). Между указанными возрастными группами регистрируется локальный минимум в возрасте 83 лет — 5549 дней пребывания в круглосуточном стационаре на 1000 мужчин соответствующего возраста. Однако темпы изменения показателя в возрастном интервале 77–90 лет существенно меньше, чем в других возрастных интервалах, что позволяет не акцентировать внимание на этом факте при моделировании динамики.

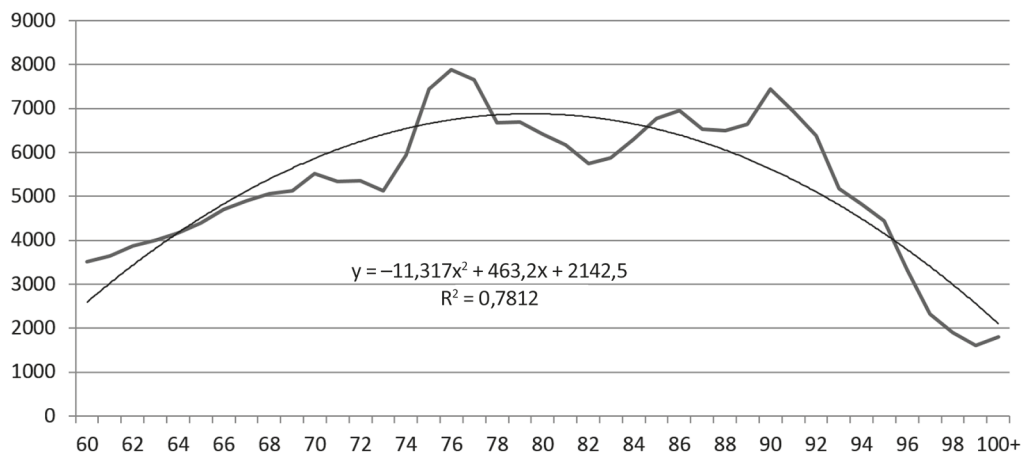


Рис. 1. Возрастная динамика востребованных объемов медицинской помощи, оказываемой в стационарных условиях мужчинам (число дней стационарного лечения на 1000 человек населения мужского пола соответствующего возраста)

Таблица 1. Характеристики математических моделей динамики интенсивности потребления медицинской помощи, оказываемой в стационарных условиях

Моделируемое состояние	Формула	D_y	$D_{ост.}$	Доля влияния исследуемого признака (возраста)	Доля случайных колебаний результирующей величины
Длительность стационарного лечения мужчин	$Y = -1,37x^2 + 463,2x + 2142,5$	3 296 075	1 073 549	0,821	0,179
Длительность стационарного лечения женщин	$Y = -10,72x^2 + 449,7x + 1353,2$	2 427 400	507 529	0,889	0,111

Парабола второго порядка с отрицательным первым коэффициентом достаточно точно отражает реальную динамику (рис. 1, во всех представленных далее графиках численные данные сглажены).

Величина коэффициента аппроксимации составляет 0,78, что достаточно для признания модели адекватной. При увеличении значения порядка степени до 3-х, значение коэффициента аппроксимации возрастает до 0,85, а при увеличении до 4-х — приводит к возрастанию коэффициента аппроксимации до 0,86. В итоге целесообразно не усложнять моделирующую функцию и использовать для моделирования параболу. В результате проверки качества созданной модели получены данные о том, что построенная модель на 82 % объясняет наблюдаемую дисперсию, что является вполне приемлемым показателем (табл. 1).

Снижение доли влияния исследуемого признака (возраста) обусловлено наличием локального снижения уровня потребности в возрастном интервале 77–90 лет и двумя экстремумами функции, наблюдаемыми в возрасте 76 и 91 года.

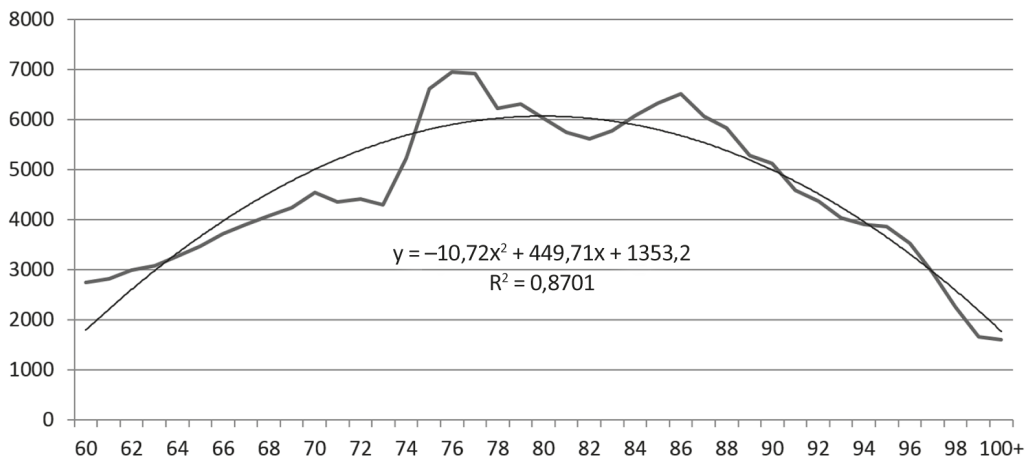


Рис. 2. Возрастная динамика востребованных объемов медицинской помощи, оказываемой в стационарных условиях женщинам (число дней стационарного лечения на 1000 человек населения женского пола соответствующего возраста)

Возрастная динамика востребованных объемов медицинской помощи, оказываемой в стационарных условиях женщинам, очень схожа с динамикой востребованных объемов медицинской помощи, оказываемой в стационарных условиях мужчинам (рис. 2).

Также и у мужчин в возрастном интервале 60–76 лет регистрируется возрастание потребности в медицинской помощи. Максимум наблюдается в возрасте 76 лет — 8643 дней стационарного лечения на 1000 человек населения женского пола соответствующего возраста, второй (менее выраженный) максимум наблюдается в возрасте 85 лет — 6686 дней стационарного лечения на 1000 человек населения женского пола соответствующего возраста. По достижении 85 лет регистрируется нисходящая часть функции. Значения величины потребности в 60 лет практически идентичны величине потребности в возрастной группе 97–99 лет. Ежегодный прирост потребности составляет 9% на сглаженных данных.

Величина коэффициента аппроксимации созданной модели составляет 0,87, что достаточно для признания модели адекватной, и выше, чем в случае моделирования потребности у мужчин. В результате проверки качества созданной модели получены данные о том, что построенная модель на 89% объясняет наблюдаемую дисперсию, что является очень хорошим показателем (см. табл. 1).

Возрастная динамика востребованных мужчинами объемов медицинской помощи, оказываемой в условиях дневного стационара, целесообразно описывать полиномиальной функцией (рис. 3).

При значении показателя степени 2 моделирующая функция на конечном участке принимает отрицательные значения, что в реальности невозможно, поэтому повышение значения показателя степени до 3-х в данном случае вполне оправдано. Качество модели подтверждается высоким значением коэффициента аппроксимации ($R^2=0,95$).

Таблица 2. Характеристики математических моделей динамики интенсивности потребления медицинской помощи, оказываемой в условиях дневного стационара

Моделируемое состояние	Формула	D_y	$\sigma_{\text{ост.}}$	$D_{\text{ост.}}$	Доля влияния исследуемого признака (возраста)	Доля случайных колебаний результирующей величины
Длительность стационарного лечения мужчин	$Y = 0,16x^3 - 13,17x^2 + 247,5x + 1151,4$	749744	301,7	91024	0,937	0,063
Длительность стационарного лечения женщин	$Y = 0,24x^3 - 16,79x^2 + 264,3x + 1544,8$	931037	294,3	86587	0,952	0,048

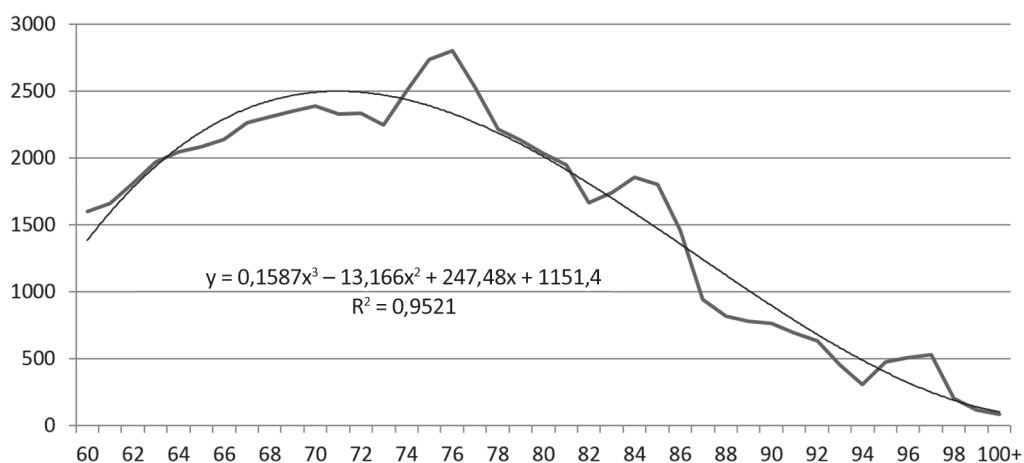


Рис. 3. Возрастная динамика востребованных объемов медицинской помощи, оказываемой в условиях дневного стационара мужчинам (число дней стационарного лечения на 1000 человек населения мужского пола соответствующего возраста)

Возрастная динамика потребности в медицинской помощи, оказываемой в условиях дневного стационара, у женщин старших возрастных групп также может быть описана с использованием полиномиальной функции третьей степени (рис. 4).

В результате проверки качества созданной модели получены данные о том, что построенная модель на 94 % объясняет наблюдаемую дисперсию, что является очень хорошим показателем (табл. 2).

Следует отметить схожесть моделирующих функций, используемых для описания возрастной динамики востребованных объемов медицинской помощи, оказываемой в условиях дневного стационара, а также в амбулаторных и стационарных условиях.

Качество модели подтверждается высоким значением коэффициента аппроксимации ($R^2 = 0,95$). В результате проверки качества созданной модели получены

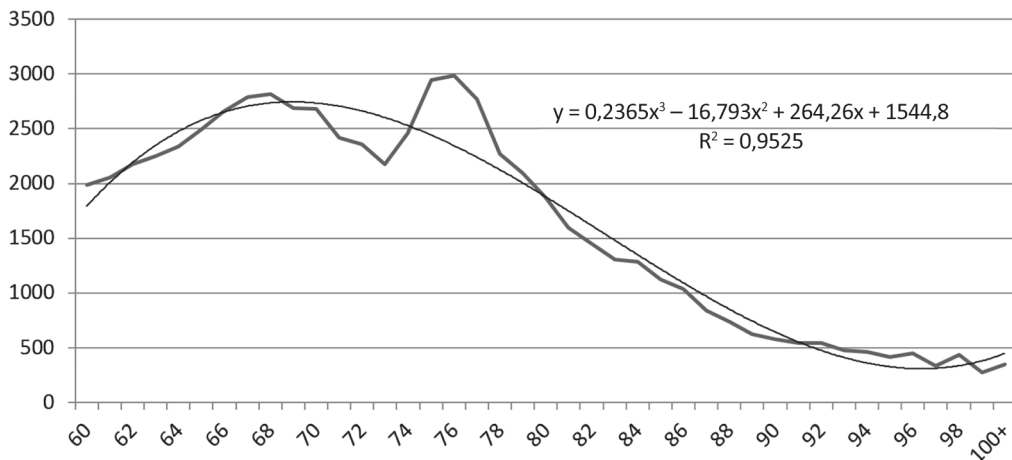


Рис. 4. Возрастная динамика востребованных объемов медицинской помощи, оказываемой в условиях дневного стационара женщинам (число дней стационарного лечения на 1000 населения женского пола соответствующего возраста)

данные о том, что построенная модель на 95 % объясняет наблюдаемую дисперсию, что является очень хорошим показателем (см. табл. 2).

Общий уровень потребности в медицинской помощи, оказываемой в условиях дневного стационара, выше у женщин. Если у мужчин объем потребности в возрасте 60 лет составляет 1532 койко-дня на 1000 человек, то у женщин — 1919 койко-дней. Максимум потребления как у женщин, так и у мужчин приходится на возраст 76 лет (3687 и 3182 койко-дня на 1000 женщин и мужчин соответственно). После указанного возраста объем потребности снижается независимо от гендерной принадлежности в возрастном интервале 77–99 лет независимо от гендерной принадлежности. После 85 лет уровни потребления становятся крайне малы (менее одного койко-дня на человека в год). Скорость изменения процессов потребления выше у мужчин.

Выводы

Возрастная динамика потребности в медицинской помощи, оказываемой в стационарных условиях, а также в условиях дневного стационара у населения старших возрастных групп может быть описана с использованием параболы второго порядка с отрицательным первым коэффициентом. Следует отметить схожесть моделирующих функций, используемых для описания возрастной динамики востребованных объемов медицинской помощи, оказываемой в амбулаторных и стационарных условиях.

Значимых гендерных различий при моделировании возрастной динамики потребности в медицинской помощи, оказываемой в условиях круглосуточного стационара, выявлено не было. Уровень потребности выше у мужчин в старших возрастных группах, что является противоположным результатом относительно потребности в медицинской помощи, оказываемой в амбулаторных условиях.

Уровень потребности в медицинской помощи, оказываемой в условиях дневного стационара, выше у женщин старших возрастных групп, что соответствует результатам, полученным при исследовании потребности в медицинской помощи, оказываемой в амбулаторных условиях.

Литература/References

1. Khabriev R. U., Lindenbraten A. L., Komarov Yu. M. Public Health Strategies as the basis of the state's social policy. *Problems of social hygiene, public health and the history of medicine*, 2014, vol. 3, pp. 3–5. (In Russian)
2. Genovese U., Del Sordo S., Casali M., Zoja R., Pravettoni G., Akulin I. M. A new paradigm on health care accountability to improve the quality of the system: four parameters to achieve individual and collective accountability. *Journal of Global Health*, 2017, vol. 7, no. 1, p. 010301.
3. Kulichenko V. P., Polubentseva E. I., Rakhaeva I. V., Chertukhina O. B. Planning of medical care, as a tool for managing the health system of the region. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*, 2011, vol. 1, pp. 190–200. (In Russian)
4. Timofeev L. F., Savvina N. V., Krivoschapkin V. G., Lutskan I. P., Timofeev A. L. Medical and demographic situation in RS (I) in the context of strategic tasks of the development of the Russian Federation until 2024. *Yakut Medical Journal*, 2020, vol. 1, no. 69, pp. 49–52. (In Russian)
5. Cherkasov S. N., Meshkov D. O., Berseneva E. A., Bezmelnitsyna L. Yu., Lalabekova M. V., Fedyaeva A. V., Oleinikova V. S. Ways to improve the technology of planning the volume of medical care. *Bulletin of Semashko National Research Institute of Public Health*, 2016, vol. 5, pp. 95–104. (In Russian)
6. Shapovalova M. A., Veshneva S. A., Mammadov I. G., Shapovalova D. A. Formation of the financial strategy of a medical organization. *Modern Problems of Science and Education*, 2017, vol. 3, 15 p. (In Russian)
7. Shipova V. M., Vorontsov T. N. Modern problems of medical care planning. *Bulletin of Semashko National Research Institute of Public Health*, 2014, vol. 1, pp. 306–310. (In Russian)
8. Linnichenko Yu. V., Zudin A. B., Konovalov O. E., Vasiliev M. D. Opinion of persons of older age groups on geriatric and medical and social care. *Science of the Young (Eruditio Juvenium)*, 2021, vol. 9, no. 1, pp. 44–50. (In Russian)
9. Ogul L. A., Anopko V. P., Shapovalova M. A. Planning of LPU strategies. *Krasnoyarsk Science*, 2012, vol. 1, no. 5, pp. 60–68. (In Russian)
10. Saraev A. R., Mayorskaya A. S. Impact of demographic factors on medical care delivery planning. *Nauka XXI veka: aktual'nye napravleniia razvitiia*, 2016, vol. 2-2, pp. 137–140. (In Russian)
11. Cherkasov S. N., Shipova V. M., Berseneva E. A., Meshkov D. O., Bezmelnitsyna L. Yu., Lalabekova M. V., Fedyaeva A. V., Oleinikova V. S. Modern methodological approaches to planning the volume of medical care. *Bulletin of Semashko National Research Institute of Public Health*, 2016, vol. 4, pp. 95–109. (In Russian)
12. Makarov V. Yu., Lazareva E. V., Shilnikova N. F. An analysis of the incidence by conversion in age-sexual groups, as the basis for planning medical care. *The Transbaikalian Medical Bulletin*, 2014, vol. 4, pp. 142–147. (In Russian)
13. Moskvicheva M. G., Shchepilina E. S., Shchetinin V. B., Yakushev A. M., Savishcheva I. P. Analysis of the state of health of the population as the basis for planning medical care at the regional level. *Bulletin of Semashko National Research Institute of Public Health*, 2014, vol. 2, pp. 86–91. (In Russian)
14. Shcherbakov D. V. Problems of planning and assessing the need of the population for specialized (including high-tech) medical care. *Bulletin of Semashko National Research Institute of Public Health*, 2014, vol. 1, pp. 327–329. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 25 марта 2022 г.;
рекомендована к печати 27 мая 2022 г.

Контактная информация:

Черкасов Сергей Николаевич — д-р мед. наук; cherkasovsn@mail.ru

Федяева Анна Владимировна — канд. мед. наук; orgzdravotdel@gmail.com

Левсанджанишвили Василий Нуззарович — канд. мед. наук, доц.; 7413938@gmail.com

Mathematical modeling of demand population of older age groups in medical care provided in inpatients conditions

S. N. Cherkasov^{1,2}, A. V. Fedyeva¹, V. N. Avsadzhanishvili³

¹ V. A. Trapeznikov Institute of Control Sciences of Russian Academy of Sciences, 65, ul. Profsoyuznaya, Moscow, 117997, Russian Federation

² N. A. Semashko National Research Institute of Public Health, 12/1, ul. Vorontsovo Pole, Moscow, 105064, Russian Federation

³ Pirogov Russian National Research Medical University, 1, ul. Ostrovityanova, Moscow, 117997, Russian Federation

For citation: Cherkasov S. N., Fedyeva A. V., Avsadzhanishvili V. N. Mathematical modeling of demand population of older age groups in medical care provided in inpatients conditions. *Vestnik of Saint Petersburg University. Medicine*, 2022, vol. 17, issue 2, pp. 132–140. <https://doi.org/10.21638/spbu11.2022.206> (In Russian)

The aim of the study is to construct a model of the needs of the population of older age groups in medical care provided in stationary conditions. Modeling was carried out on the basis of data on cases of medical care in the period 2018–2019. Population of older age groups living in the Moscow region. The probability of inpatient care was determined in each one-year age interval, starting at age 60. When constructing the dynamic curve, 41 points were used. In modeling, they adhered to the functional principle of describing age dynamics by an algebraic function, which was determined by the least squares method (regression analysis). The quality of the obtained models was evaluated by the value of the approximation coefficient. The degree of influence of age on the dependent variable (the magnitude of the need for care) was defined as the empirical correlation ratio during the variance analysis. The age dynamics of the need for medical care provided in inpatient conditions as well as in the conditions of a day hospital in the population of older age groups can be described using a second order parabola with a negative first coefficient. It should be noted the similarity of modeling functions used to describe the age dynamics of demanded volumes of medical care provided in outpatient and inpatient settings. There were no significant gender differences in the modelling of age dynamics of the need for medical care provided in a 24-hour hospital setting. The level of need is higher in men in all age groups studied, which is the opposite result relative to the need for outpatient care. The level of need for medical care provided in a day hospital setting is higher in women in all age groups studied, which corresponds to the results obtained in the study of the need for medical care provided in an outpatient setting.

Keywords: planning, need for medical care, modeling, older age groups, age dynamics, health system, medical care provided in stationary conditions.

Received: March 25, 2022

Accepted: May 27, 2022

Authors' information:

Sergey N. Cherkasov — MD; cherkasovsn@mail.ru

Anna V. Fedyeva — PhD in Medicine; orgzdravotdel@gmail.com

Vasily N. Avsadzhanishvili — PhD in Medicine, Associate Professor; 7413938@gmail.com