

3. SanPiN 2.6.1.2523-09. Radiation Safety Standards (NRB-99/2009). Moscow; 2009. (in Russian)
4. Akhromeev S.V., Kiselev S.M., Titov A.V., Seregin V.A., Shlygin V.V., Starinskaya R.A. *Radiation survey at the nuclear legacy sites of the Russian Far East*. ANRI. 2016; (1): 65–71. (in Russian)
5. Kiselev S.M., Shandala N.K., Akhromeev S.V., Gimadova T.I., Seregin V.A., Titov A.V. et al. Radiation Hygienic Monitoring in the Vicinity of the Far-Eastern Center for Radioactive Waste Management (FEC «DalRAO» – subsidiary of FSUE «RosRAO»). *Gigiena i sanitariya*. 2015; 94(5): 49–52. (in Russian)
6. Shchepin O.P., ed. *The Public Health as a Basis for the Health-Care Development [Zdorov'e naseleniya – osnova razvitiya zdravookhraneniya]*. Moscow: Natsional'nyy NII obshchestvennogo zdorov'ya RAMN; 2000. (in Russian)
7. Bodyazhina V.P. *Obstetrics [Akusherstvo]*. Moscow: Meditsina; 1986. (in Russian)
8. Valentin J., ed. *ICRP Publication 103*. Essen: Elsevier; 2007.
9. Prokhorov B.B., Shmakov D.I. Prospects for social-economic and medical-demographic development of the Baikal-Far East region up to 2025. *Nauchnye trudy: Institut narodnokhozyaystvennogo prognozirovaniya RAN*. 2009; 7: 595–625. (in Russian)

Поступила 07.04.16
Принята к печати 13.05.16

Гигиена труда

© СМАГУЛОВ Н.К., АДИБЕКОВА А.А., 2017

УДК 613.1:001.891.573

Смагулов Н.К., Адилбекова А.А.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ МЕТЕОФАКТОРОВ НА АДАПТИВНЫЕ ФУНКЦИИ ЧЕЛОВЕКА

ГКП с ПХВ «Карагандинский государственный медицинский университет» МЗ и СР РК, 100008, Караганда, Казахстан

Работа посвящена методическим проблемам математической оценки влияния метеорологических факторов на адаптивные функции преподавателей вуза. Объекты исследования: мужчины-преподаватели вуза в возрасте от 24 до 49 лет. Оценивали метеорологические данные за обследуемый период, рост-весовые показатели, индивидуально-типологические особенности и физиологическую оценку ЦНС, сердечно-сосудистой системы преподавателей. Математическую обработку проводили с помощью пакета Statistica 6.0 и специальных статистических программ. Полученные в результате расчета парные коэффициенты корреляции использовали для оценки доли влияния входных факторов (аргументов) на выходные показатели (функции). Проведенный математический анализ позволил выявить ведущие метеорологические факторы, обуславливающие определенный уровень функционального напряжения на момент исследования. Использование нелинейного корреляционного анализа позволило существенно расширить возможности для аналитической обработки полученных результатов, повысить ее результативность и возможности интерпретации взаимодействия факторов в достижении оптимальной адаптированности преподавателей в процессе производственной деятельности и выявлении роли метеорологических факторов в данном процессе. Знание ведущих факторов и процент их вклада в функциональное состояние позволили дать более точную оценку напряжения организма в конкретных условиях. Конечной целью математического анализа должно быть нахождение не только критического значения определенного приоритетного фактора, характеризующего степень информационной нагрузки, но и критических сочетаний всех приоритетных факторов, вызывающих срыв и начало «запуска» адаптационного процесса в системе «доза-эффект».

Ключевые слова: математическая оценка; метеорологические факторы; преподаватели; функциональное состояние.

Для цитирования: Смагулов Н.К., Адилбекова А.А. Методические проблемы математической оценки влияния метеорологических факторов на адаптивные функции человека. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(3): 253–257. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-3-253-257>

Smagulov N.K., Adilbekova A.A.

METHODOLOGICAL PROBLEMS OF THE MATHEMATICAL ESTIMATION OF THE IMPACT OF METEOROLOGICAL FACTORS ON ADAPTIVE FUNCTIONS OF THE HUMAN

Karaganda State Medical University, Karaganda, 100008, Republic of Kazakhstan

The work is dedicated to methodological problems of the mathematical assessment of the impact of meteorological factors on the adaptive function of the teachers of the High School Institutions. Objects of research. Male teachers of the High School Institution, aged of from 24 to 49 years. Meteorological data were evaluated during the investigation of anthropometric indices of height and weight, individual-typological features and the physiological assessment of the central nervous system, cardiovascular system of the High School teachers. Statistical analysis was performed with the use of Statistica 6.0 package and special statistical software. Paired correlation coefficients obtained as a result of calculation were used to estimate the proportion of the influence of input factors (arguments) on the output factors (functions). A mathematical analysis has allowed to reveal leading meteorological factors that cause a certain level of functional exhaustion during the investigated period. The use of a non-linear correlation analysis allowed to enhance significantly the ability for analytical processing of the results, increase of the effectiveness and the possibility of interpreting the interaction of factors in achieving optimal adaptation of teachers in the

Для корреспонденции: Смагулов Нурлан Кемельбекович, д-р. мед. наук, проф. каф. гигиены питания, общей гигиены и экологии, ГКП с ПХВ «Карагандинский государственный медицинский университет» МЗ и СР РК, 100008, Караганда, Казахстан. E-mail: msmagulov@yandex.ru

working process and to identify the role of meteorological factors in this process. Knowledge of leading factors and the percentage of their contribution to the functional state allowed to give the more accurate assessment of stress to the organism in specific circumstances. The ultimate aim of the mathematical analysis should be not only to find the critical value defined the priority factor characterizing the degree of information load, but the critical combination of all priority factors causing disruption and the beginning of "start-up" adaptation process in the system "dose-effect."

Key words: *mathematical estimation; meteorological factors; teachers; functional state.*

For citation: Smagulov N.K., Adilbekova A.A. Methodological problems of the mathematical estimation of the impact of meteorological factors on adaptive functions of the human. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(3): 253-257. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-3-253-257>

For correspondence: Nurlan K. Smagulov, MD, PhD, DSci., professor of the Course of General Hygiene and Ecology of the Karaganda State Medical University, Karaganda, 100008, Republic of Kazakhstan. E-mail: msmagulov@yandex.ru

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: 02 September 2015

Accepted: 13 May 2016

Введение

В последнее время для изучения сложных многофакторных явлений в биологии и медицине все более широкое применение находит системный подход, где каждый элемент системы должен представляться как автономно функционирующий, а его деятельность подчинена общему плану работы системы для получения полезного результата [1]. Системный подход поднимает эмпирические исследования на качественно новый уровень познания, поскольку позволяет количественно оценить роль каждого отдельного фактора в формировании общего эффекта, а также установить наличие или отсутствие корреляционных связей между факторами производства и функциональным состоянием организма. При этом изучаемое явление рассматривается как система, состоящая из отдельных элементов, связанных между собой определенными количественными либо качественными зависимостями. Количественное описание системного ответа организма человека на факторы среды жизнедеятельности позволяет непосредственно перейти к определению цены его адаптации, то есть степени напряжения регуляторных механизмов, и величине израсходованных функциональных резервов [2].

Цель работы: математическая оценка влияния метеофакторов на функциональное состояние преподавателей вуза.

Материал и методы

Работа выполнена в рамках спутниковых исследований программы «Марс-500» по исследованию адаптационных возможностей организма и риска развития заболеваний при длительном наблюдении за практически здоровыми людьми, находящимся в естественных условиях, при воздействии метеофакторов, соответствующих климатогеографическим особенностям данного региона.

Исследование выполнено по единой методике головной организации проекта «Марс-500» – ИМБП РАН [3]. Медико-экологический мониторинг проводился ежемесячно с июля по декабрь 2011 г. в отобранной группе практически здоровых мужчин-преподавателей вуза г. Караганды в возрасте от 24 до 49 лет. Всего были обследованы 9 преподавателей, общее число исследований составляло 54 человеко-наблюдений.

Метеорологические данные были получены с сайта <http://meteo.infospace.ru>.

Физиологические исследования включали: 1) измерение основных показателей физического развития: рост, вес, вычисление индекса массы тела (ИМТ), индекса физического состояния (ИФС); 2) изучение индивидуально-психологических особенностей по методике Г.Д. Айзен-

ка (1992), определение личностной тревожности (ЛТ) по методике Ч.Д. Спилбергера, Ю.Л. Ханина; 3) измерение показателей функционального состояния центральной нервной системы – простой зрительно- и слухомоторной реакций (СМР, ЗМР); 4) измерение показателей сердечно-сосудистой системы – систолического и диастолического артериального давления (САД и ДАД), частоты пульса (ЧП); 5) математический анализ ритма сердца проводили методом вариационной пульсометрии по критериям Р.М. Баевского и соавт. [3], аппаратно-программным комплексом «Варикард-2.4».

Статистическую обработку проводили с помощью пакета специальных статистических программ [4, 5]. Полученные в результате расчета парные коэффициенты корреляции использовали для оценки влияния входных факторов-аргументов (метеорологические параметры, возраст, индивидуально-психологические особенности человека, росто-весовые параметры и др.) на выходные показатели функции (данные рефлексометрии, параметры АД, вариабельность сердечного ритма (ВСР)). Использовали только достоверные значения коэффициентов корреляции ($p < 0,05$).

Долю влияния аргументов на функции оценивали по следующей методике. Строилась матрица из коэффициентов корреляции (r) между аргументами и функциями:

	Аргумент 1	Аргумент 2	Аргумент 3	...	...	Аргумент k
Функция 1	$r_{1(1)}$	$r_{1(2)}$	$r_{1(3)}$	...	...	$r_{1(k)}$
Функция 2	$r_{2(1)}$	$r_{2(2)}$	$r_{2(3)}$	...	...	$r_{2(k)}$
Функция 3	$r_{3(1)}$	$r_{3(2)}$	$r_{3(3)}$	...	...	$r_{3(k)}$
...
...
Функция j	$r_{j(1)}$	$r_{j(2)}$	$r_{j(3)}$	...	...	$R_{j(k)}$

Вычислялась k , характеризующая абсолютный вклад каждого аргумента в общую дисперсию наблюдаемых функций (ее весомость), по формуле:

$$k = \sum_{j=1}^n r^2,$$

где r – коэффициент корреляции между j -м функцией и k -м аргументом, матрица = $\{r\}$, $j = 1, 2, \dots, n$; $k = 1, 2, \dots, n$. Относительный вклад каждого аргумента (входного фактора) рассчитывается путем деления полученных абсолютных значений суммы на значение общей дисперсии системы (в процентах, P_k) [6].

При проведении математического анализа был использован не только линейный, говоря математическим

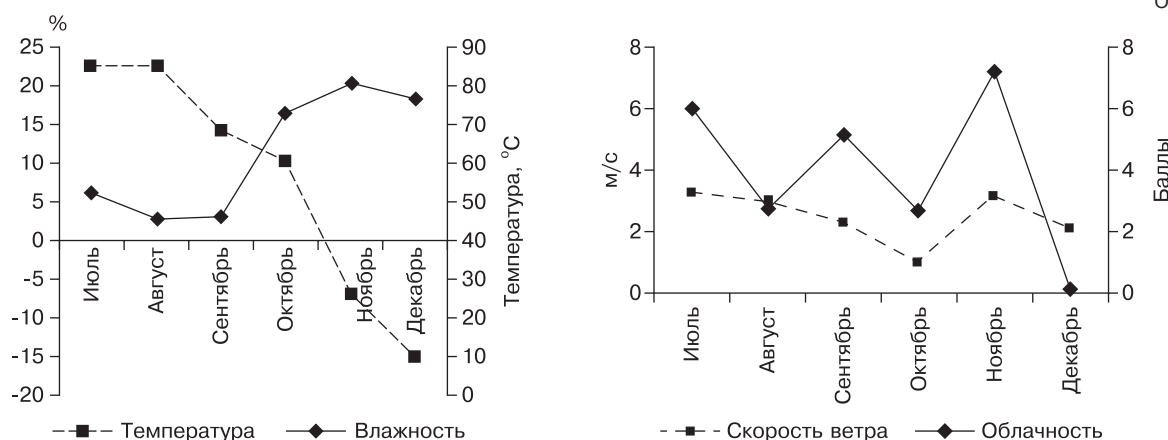


Рис. 1. Динамика метеорологических показателей.

языком, полином 1-й степени, но и нелинейный (в некоторых источниках его называют «криволинейный») корреляционный анализ (полином 3-й степени), для выявления S-образных зависимостей с двумя перегибами [3].

Результаты и обсуждение

Как показал анализ результатов, со стороны метеорологических показателей отмечалась динамика в зависимости от периодов времени года (рис. 1). И если динамика параметров температуры и влажности воздуха соответствовала сезонным периодам года, то со стороны скоро-

сти ветра и облачности определенной зависимости от времени года не отмечалось.

Анализ физиологических результатов также показал определенную динамику, обусловленную, по-видимому, не только сезонами года, но и этапами образовательного процесса (рис. 2). Так, у преподавателей в динамике наблюдения отмечалось снижение показателей в летний период на фоне относительно высоких исходных значений АД, ЧП, индекса напряжения (*SI*) и др. Отмечаемое напряжение функционального состояния организма объясняется пограничным состоянием преподавателей,

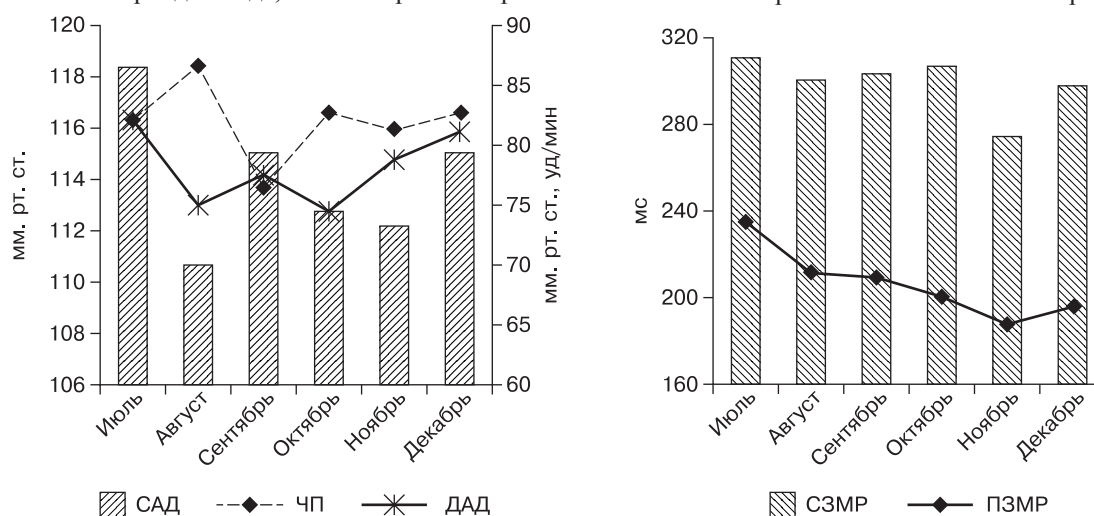


Рис. 2. Динамика физиологических показателей.

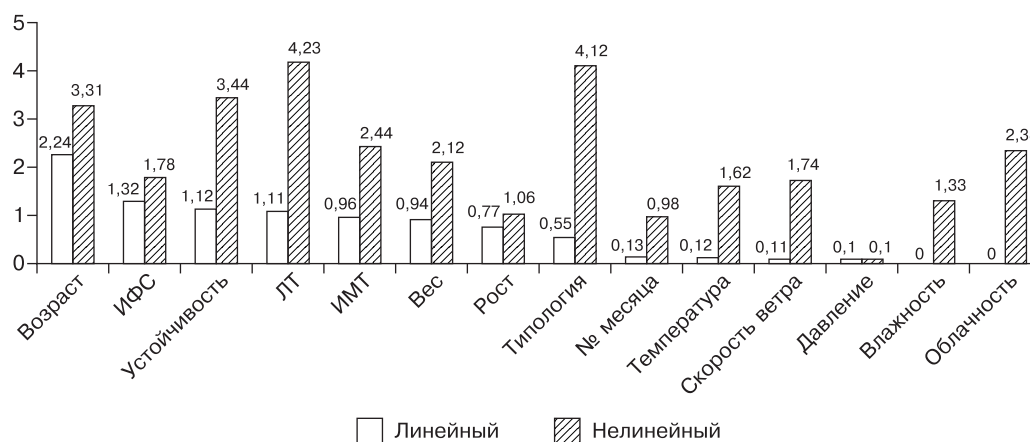


Рис. 3. Вклад входных показателей в общую дисперсию при использовании линейного и нелинейного корреляционного анализа.

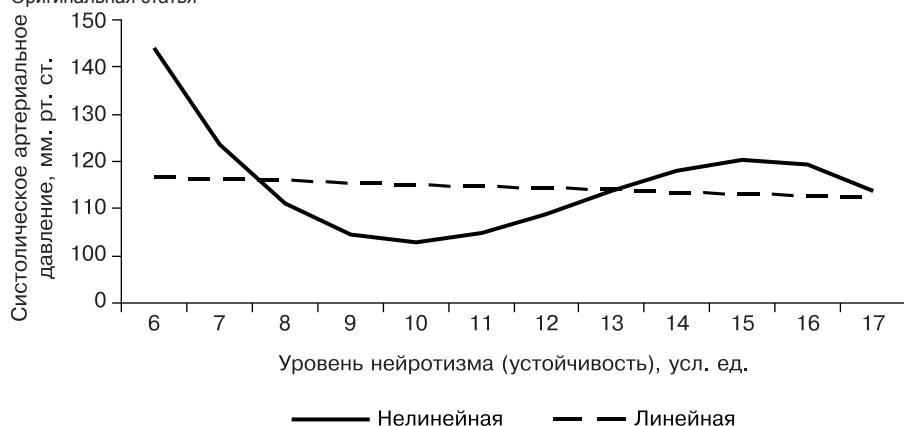


Рис. 4. Зависимость между уровнем нейротизма (устойчивость) и систолическим артериальным давлением (пояснения в тексте).

заканчивающих учебный год, и переходом их в трудовой отпуск. Период снижения напряжения отмечался в отпускной период с дальнейшим повышением в осенний и зимний период.

Проведенный корреляционный анализ с вычислением процента вклада входных показателей в общую дисперсию показал (рис. 3), что возрастной фактор и индекс функциональных изменений (ИФИ) обладали наибольшим вкладом 21,5 и 20,8% соответственно. Далее шли со значительным отрывом показатель нейротизма – устойчивость по анкете Айзенка (13,4%) и личностная тревожность (12,7%). Из метеорологических факторов значимыми оказались скорость ветра, температура воздуха и атмосферное давление (8,72; 5,82 и 4,8% соответственно). К значимым факторам можно отнести и фактор месяца обследования.

Однако использование элементов математического моделирования не избавляет полностью от методических ошибок при разработке критериев функционального напряжения, оценки и прогнозирования текущей работоспособности человека. К примеру, полученная низкая достоверная корреляционная зависимость обычно трактуется как отсутствие взаимосвязи между изучаемыми показателями и факторами, что в корне неверно. У биологических объектов редко наблюдается прямая (линейная) зависимость в системе «доза–эффект». Так как при возрастающем воздействии «дозы» (средовых факторов) соответствующее возрастание «эффекта» отмечается не сразу, а через определенный «инкубационный» период, организм за счет своих ресурсов через систему регулирования гомеостаза справляется с данной «нагрузкой». Однако через определенное время, когда организм уже не в состоянии справиться за счет своих внутренних ресурсов, происходит процесс срыва адаптации, и с этого периода отмечается увеличение «эффекта». Однако данный процесс увеличения также не бесконечен, поскольку через

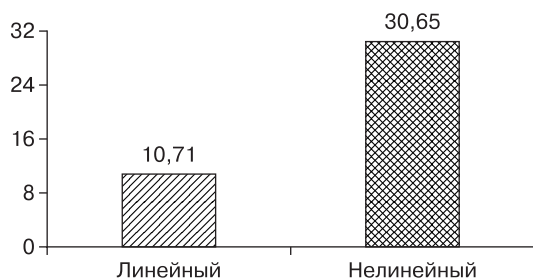


Рис. 5. Общая дисперсия в зависимости от используемых корреляционных анализов.

определенный период будет отмечаться вторая волна адаптационных процессов к воздействию «дозы» (экстремальных факторов), и, как следствие, уровень «эффекта» стабилизируется на определенном уровне и даже будет отмечаться некоторое его снижение. Дальнейшее увеличение «дозы» вызовет на определенном этапе вторую волну срыва адаптационных механизмов и соответствующее увеличение уровня «эффекта» [3].

В качестве примера можно привести определение корреляционной зависимости между относительно статическим показателем – уровнем нейротизма (условное обозначение «устойчивость») – X и динамическим – уровнем систолического АД – Y (рис. 4).

Проведенный корреляционный анализ с вычислением коэффициента линейной корреляции показал наличие слабой и к тому же недостоверной связи ($r = 0,11$, $t = 0,7$, $p > 0,1$). Уравнения регрессии для полинома 1-й степени имели вид:

$$Y = 119,044 - 0,393 \times X.$$

В данном случае можно было бы говорить об отсутствии зависимости между данными показателями. Однако проведенный дополнительно корреляционный анализ с вычислением коэффициента нелинейной зависимости показал наличие между данными факторами достоверной связи ($r_1 = 0,55$; $t_1 = 4,6$; $СКО_1 = 8,4$). Уравнения регрессии для полинома 3-й степени имели вид:

$$САД = 501,16 - 102,7 \times X + 8,561 \times X^2 - 0,227 \times X^3.$$

Дополнительным критерием достоверности полученного уравнения было вычисление среднеквадратических отклонений (СКО) разниц между исходными опытными значениями изучаемой функции (физиологического показателя) от расчетных, найденных по уравнениям линейной и нелинейной регрессии. Более низкие значения СКО по уравнению нелинейной модели показывают, что данное уравнение более точно описывает выявляемые зависимости. В первом уравнении значение СКО равнялось 9,99, во втором уравнении отмечается заметное снижение СКО до 8,4. То есть зависимость между факторами имеется, и как видно из рис. 3, она имеет вид S-образной кривой.

Использование для описания характера зависимости полинома 3-й степени кардинально меняет представление о характере взаимодействия между аргументом и функцией. Помимо нахождения более качественного описания характера зависимости, что выразилось в изменении кривой, в увеличении коэффициента корреляции, в ряде случаев наблюдались прямо противоположные процессы от полного отрицания зависимости (при коэффициенте корреляции $r = 0,05$) до нахождения тесной зависимости ($r = 0,73$). В случае положительного результата при использовании линейного и нелинейного (полином 3-й степени) анализов коренным образом изменяется представление о характере зависимости (см. рис. 3), появляется возможность в другой, качественно новой плоскости подойти к объяснению механизма действия, нежели при использовании традиционных методов математического анализа.

Проведенные исследования показали, что метеофакторы неодинаково оказывают влияние на функциональное состояние организма (рис. 5). Более выражено это отмечается при использовании нелинейного корреляционного анализа. Показатель общей дисперсии в данном случае

составил 30,65 усл. ед., в то время как при использовании только линейного корреляционного анализа данный показатель составил всего 10,71 усл. ед. А поскольку общая дисперсия есть сумма квадратов коэффициентов корреляций между аргументом (воздействующим фактором) и наблюдаемыми функциями (физиологическими показателями), это и есть своеобразная величина, определяющая весомость воздействующего фактора, его значимость в формировании уровня функционального напряжения организма.

Проведенные исследования показали, что уровень адаптированности у преподавателей в большей степени зависит от индивидуально-типологических особенностей личности, чем от возраста. Вклад в общую дисперсию был в диапазоне $4,23 \div 3,33$ усл. ед. Немного ниже данный уровень адаптированности зависел от роста-весовых параметров преподавателей, ИФС ($2,44 \div 1,06$ усл. ед.). Выявилась роль и метеорологических факторов. И хотя она и не столь значима, как индивидуально-типологические особенности личности, значимость ее существенна. Вклад в общую дисперсию был в диапазоне $2,38 \div 1,33$ усл. ед.

При оценке знаковых значений полученных коэффициентов корреляции были выявлены определенные зависимости (рис. 6). Высокая активность функциональных систем организма преподавателей в зависимости от возрастного фактора и уровня ИФС в большей степени проявлялась простыми реакциями физиологических показателей, о чем свидетельствует преобладание числа линейных коэффициентов корреляций над нелинейными (14/7 соответственно). У весового фактора, индекса массы тела и нейротизма (устойчивость) соотношение линейных/нелинейных коэффициентов корреляции было примерно равно. А вот роль метеорологических факторов на процессы адаптации организма преподавателей к среде обитания однозначно нельзя описать простыми реакциями, по принципу «доза-эффект». У большинства факторов отмечалось значительное превышение нелинейных коэффициентов корреляций над линейными. Это свидетельствует о более сложном механизме влияния этих факторов, об опосредованном или сочетанном влиянии ряда факторов, в том числе и неучтенных факторов, учет которых на данном этапе не имеет количественных градаций либо затруднен в методическом плане.

Таким образом, проведенный математический анализ позволил выявить ведущие факторы, обуславливающие определенный уровень функционального напряжения на момент исследования. Немаловажную роль для повышения значимости выявленных зависимостей играет и качество математической обработки. Так, использование нелинейного корреляционного анализа позволяет существенно расширить возможности для аналитической обработки полученных результатов, повысить ее результативность и возможность интерпретации взаимодействия факторов в достижении оптимальной адаптированности преподавателей в процессе профессиональной деятельности и выявлении роли метеофакторов в данном процессе. Знание ведущих факторов и процент их вклада в функциональное состояние организма позволяет дать более точную

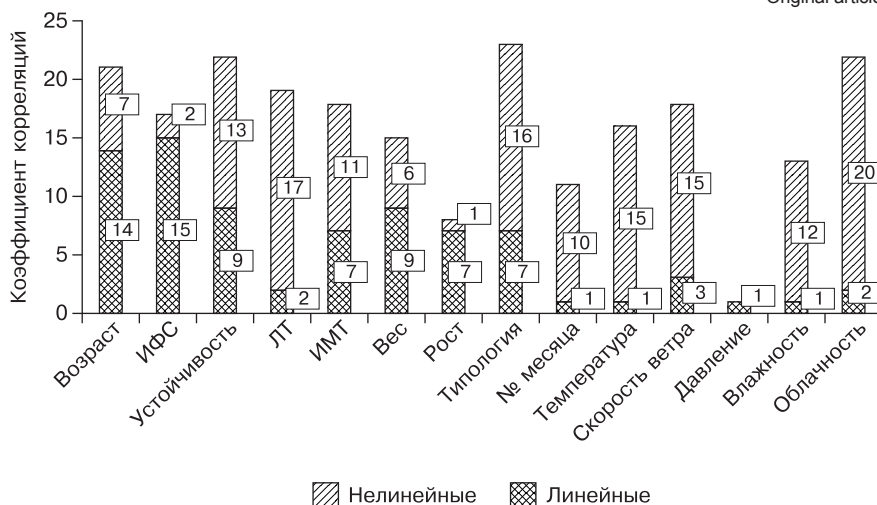


Рис. 6. Соотношение линейных и нелинейных коэффициентов корреляции.

оценку напряжения организма в конкретных условиях и составить долгосрочный прогноз. Конечной целью математического анализа должно быть нахождение не только критического значения определенного приоритетного фактора, характеризующего степень информационной нагрузки, но и критических сочетаний всех приоритетных факторов, вызывающих срыв и начало «запуска» адаптационного процесса в системе «доза-эффект».

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

1. Анохин П.К. *Системные механизмы ВНД*. М.: Наука; 1979.
2. Судаков К.В. *Избранные труды. Том 1: Развитие теории функциональных систем*. М.: ГУ НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина РАМН; 2007.
3. Баевский Р.М., Берсенева А.П., Берсенева Е.Ю., Лучицкая Е.С., Слепченко И.Н., Черникова А.Г. *Оценка уровня здоровья при исследовании практически здоровых людей*. М.: Слово; 2009.
4. Смагулов Н.К., Кулькибаев Г.А. *Оценка и прогнозирование напряженности труда операторов*. Караганда: Алматы Фылым; 1993.
5. Смагулов Н.К., Голобородько Е.А. Математическая оценка влияния неблагоприятной экологической обстановки на организм подростков. *Вестник Тверского государственного университета. Серия: биология и экология*. 2009; 15: 45–53.
6. Максимов Г.К., Синицын А.Н. *Статистическое моделирование многомерных систем в медицине*. Ленинград: Медицина; 1983.

References

1. Anokhin P.K. *System Mechanisms of GNI [Sistemnye mekhanizmy VND]*. Moscow: Nauka; 1979. (in Russian)
2. Sudakov K.V. *Selected works. Volume 1: Development of the Theory of Functional Systems [Izbrannye trudy. Tom 1: Razvitiye teorii funktsional'nykh sistem]*. Moscow: GU NII normal'noy fiziologii im. P.K. Anokhina RAMN; 2007. (in Russian)
3. Baevskiy R.M., Berseneva A.P., Bersenev E.Yu., Luchitskaya E.S., Slepchenkova I.N., Chernikova A.G. *Assessment of the Level of Health in the Study of Healthy People [Otsenka urovnya zdorov'ya pri issledovanii prakticheski zdorovykh lyudey]*. Moscow: Slovo; 2009. (in Russian)
4. Smagulov N.K., Kulkybaev G.A. *Assessment and Prediction of the Intensity of Work of Operators [Otsenka i prognozirovanie napryazhennosti truda operatorov]*. Karaganda: Almaty Fylym; 1993. (in Russian)
5. Smagulov N.K., Goloborod'ko E.A. Mathematical evaluation of the influence of adverse environmental conditions on body teenagers. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: biologiya i ekologiya*. 2009; 15: 45–53. (in Russian)
6. Maksimov G.K., Sinitin A.N. *Statistical Modeling of Multidimensional Systems in Medicine [Statisticheskoe modelirovanie mnogomernykh sistem v meditsine]*. Leningrad: Meditsina; 1983. (in Russian)

Поступила 02.09.15

Принята к печати 13.05.16