

Н.А. Щукина, О.А. Нагибович, А.И. Андриянов, И.А. Коновалова,
А.Л. Сметанин, Л.П. Лазаренко, О.Г. Коростелева

Статистические методы в исследованиях статуса питания военнослужащих

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, г. Санкт-Петербург

Резюме. Рассматривается возможность применения непараметрических статистических методов для решения задач исследования и оценки статуса питания военнослужащих. Показана целесообразность параллельного использования нескольких статистических алгоритмов для проверки гипотезы. Разработан подход для цепочки гипотез, когда после проверки предыдущей гипотезы принимается решение о проверке той или иной последующей гипотезы. Данный подход представлен в виде формализованной схемы (модели) пошаговой оценки динамики статуса питания военнослужащих. Предлагаемая модель предназначена для получения в числовом выражении количественно-качественной оценки ожидаемого изменения (тенденции) отдельного контролируемого параметра или группы параметров статуса питания. Установлено, что среди рассмотренных показателей статуса питания преобладающее их количество претерпевало закономерное изменение в различные периоды длительного морского похода в зависимости от сбалансированности основных пищевых компонентов (белков, жиров и углеводов) с другими нутриентами и от энергетических затрат организма военнослужащих. Алгоритм исследования статуса питания военнослужащих с применением непараметрических методов статистического анализа позволил выявить ряд изменений обменных процессов, происходящих на донозологическом уровне и обусловленных особенностями питания и характером военно-профессиональной деятельности. На основе полученных результатов исследования могут быть сформулированы требования к содержанию витаминов и минералов в рационе питания, а также к витаминно-минеральным комплексам, необходимым для укрепления защитных функций организма и предупреждения различных заболеваний. Применение данной модели расширяет исследовательские возможности по разработке методических рекомендаций и совершенствованию нормативных документов, регламентирующих процесс организации питания военнослужащих.

Ключевые слова: статус питания, масса тела, витамины, минералы, военнослужащие, контролируемый параметр, статистический метод, физиолого-гигиеническая оценка, контрольная точка, закономерная тенденция.

Введение. Впервые термин «статус питания» был введен Н.М. Sinclair в 1948 г. для характеристики влияния фактического питания на здоровье человека [7]. В настоящее время наиболее часто употребляется определение, в котором статус питания (СП) человека рассматривается как состояние структуры, функций и адапционных резервов его организма, которое сложилось под влиянием фактического питания, условий потребления пищи и генетически детерминированных особенностей метаболизма питательных веществ. В соответствии с данным определением особенности питания, связанные с поступлением нутриентов с пищей, сбалансированностью количества основных пищевых компонентов (белков, жиров и углеводов) с другими нутриентами, определенным образом влияют на СП человека, т.е. СП человека – это динамичное явление. Сегодня данное утверждение не нуждается в доказательстве. Оно реализовано в руководящих документах, являющихся результатом научно обоснованного выбора вида продуктов питания [1].

Решение такого рода задач предполагает проведение физиолого-гигиенического исследования на базе контролируемого натурального эксперимента, в процессе которого изучают влияние фактического питания на СП военнослужащих в реальных условиях их жизнедеятельности.

Канва плана статистического исследования экспериментальных данных формируется на этапе планирования эксперимента сообразно поставленной цели исследо-

вания. В ходе первичного описания экспериментальных данных допускается уточнение этого плана. В частности, можно выяснить, является ли функция распределения экспериментальных данных нормальной, то есть применимы ли параметрические методы проверки гипотезы (например, традиционный t-критерий Стьюдента).

Для достаточно надежного установления нормальности распределения случайной выборки потребуется значительное число наблюдений. Так, чтобы гарантировать, что функция распределения результатов наблюдений отличается от некоторой нормальной не более чем на 0,01 (при любом значении аргумента), требуется порядка 2500 наблюдений [5]. В медико-биологических исследованиях число наблюдений существенно меньше и распределение результатов наблюдений практически отличается от нормального в той или иной степени, что сопряжено с проблематикой корректности использования параметрических методов.

Наиболее типичной статистической задачей является проверка однородности двух выборок (сравнительный анализ), к которой в конечном итоге сводятся множественные сравнения. Для проверки однородности упомянутым выше t-критерием Стьюдента недостаточно выполнения условия нормальности функций распределения $F(x)$ и $G(x)$: дисперсии выборок должны быть гомогенными. Но во многих медико-биологических задачах гомогенность невыполнима статистическими методами.

Кроме того, *t*-критерий Стьюдента позволяет проверять гипотезу о равенстве средних, но не гипотезу $H_0: F(x) \equiv G(x)$ о том, что обе выборки взяты из одной и той же генеральной совокупности. В большинстве же медико-биологических задач представляет интерес именно обнаружение различия генеральных совокупностей, из которых извлечены выборки, а не проверка равенства средних.

Поскольку априорное предположение о принадлежности функций распределения $F(x)$ и $G(x)$ какому-либо определенному параметрическому семейству (например, семействам нормальных) обычно нельзя достаточно надежно обосновать, следовательно, для проверки гипотезы H_0 следует использовать методы, пригодные при любом виде распределения (в том числе при нормальном), – непараметрические методы.

Разработано множество непараметрических методов – критерии Смирнова, Лемана – Розенблатта, Вилкоксона (Манна – Уитни), Ван-дер-Вардена и др. Распределения статистик всех этих критериев при справедливости гипотезы H_0 не зависят от конкретного вида совпадающих функций распределения $F(x) \equiv G(x)$. Поэтому точные, а также предельные (при больших объемах выборок) распределения статистик этих критериев и их процентных точек можно использовать при любых непрерывных функциях распределения наблюдений [2, 4–6].

Случаю повторных наблюдений (случай связанных выборок) свойственна альтернативная гипотеза сдвига $H_1: G(x) = F(x-d)$, $d \neq 0$. Критерии Вилкоксона, Ван-дер-Вардена и др. пригодны для применения в этой ситуации. Однако не всегда есть основание считать, что функции распределения, соответствующие таким выборкам, различаются только сдвигом, т. е. возникает вопрос выбора альтернативной гипотезы и критерия.

Естественно ожидать, что выбранный критерий (как рекомендуемый для массового использования проверки однородности) состоятелен, т. е. при любых отличных друг от друга функциях распределения $F(x)$ и $G(x)$ вероятность отклонения гипотезы H_0 стремится к единице при увеличении объемов выборок. Тем не менее это не всегда так. В частности, критерий Вилкоксона не позволяет отклонить гипотезу H_0 для функций распределения $F(x)$ и $G(x)$, связанных соотношением $\int F(x)dG(x) = 0,5$.

Если функции распределения $F(x)$ и $G(x)$ не совпадают, но удовлетворяют этому соотношению, то при больших объемах выборок гипотеза H_0 принимается столь же часто, как и в случае совпадения функций $F(x) \equiv G(x)$ [3, 5].

Можем лишь констатировать малоутешительный для исследователя вывод: если не учитывать математику, заложенную в алгоритм расчета статистики критерия (там кроются особенности его применения и интерпретации), можно основательно просчитаться при проверке гипотезы. Так, в алгоритм расчета статистики *W*-критерия Вилкоксона заложена математическая модель, предусматривающая при проверке гипотезы предварительное отсеивание выборочных значений с

нулевыми сдвигами, то есть фактически гипотеза проверяется на новом наборе выборочных наблюдений. Именно алгоритм расчета статистики *W* обязывает нас трактовать решаемую вычислительную задачу следующим образом: если изменение некоторых наблюдений имеет место, то оно может происходить или интенсивнее, или чаще, или одновременно интенсивнее и чаще в направлении увеличения (либо уменьшения) значений. Ключевое слово «может» подтверждается принятием гипотезы H_1 . В этой связи возникает потребность разъяснить, в каком именно направлении и как часто это происходит в проводимом исследовании. Надо понимать, что данный факт (принятие гипотезы H_1) есть отражение неслучайной (закономерной) тенденции изменения наблюдений, так как изменение в другом направлении также может иметь место, но при этом является делом случая. Более того, может оказаться, что изменению подвержена меньшая часть наблюдений, а преобладающему (отсеянному) большинству наблюдений присуща стагнация. А в этом случае закономерной тенденцией экспериментальных наблюдений является не их изменение в каком-либо направлении, а именно стагнация. То есть налицо парадокс: результат применения критерия Вилкоксона (также парного критерия Стьюдента!) может показать статистическую значимость различия там, где ее нет? На первый взгляд «да». На самом деле – это всего лишь результат нашей недостаточной осведомленности.

Чтобы исключить данный «псевдопарадокс», рекомендуется применять критерий Вилкоксона одновременно с критерием Манна – Уитни и критерием сравнения долей. В этом случае критерий Манна – Уитни выявит общегрупповую тенденцию изменения всех наблюдаемых значений, когда она хорошо выражена; критерий Вилкоксона поможет выявить частную тенденцию, когда общегрупповая зашумлена разбросом случайных изменений или стагнирующими значениями; критерий сравнения долей выявит долю тех наблюдений, которые поддерживают закономерную тенденцию изменения (либо стагнации) наблюдаемых значений.

Результаты проверки гипотезы по всем трем критериям могут совпадать. Случай, когда совпадение состоит в последовательном принятии нулевой гипотезы, не требует особого комментирования. Если же совпадение состоит в последовательном принятии именно гипотезы H_1 , значит, в целом для выборки характерно неслучайное смещение значений, наблюдаемых «до» и «после», причем происходило оно и интенсивнее, и чаще в определенном направлении. Это случается тогда, когда динамика изменения исследуемого параметра вообще достаточно хорошо выражена.

Результаты проверки гипотезы по каким-либо двум критериям могут не совпадать. В этом случае нужно искать причину в зашумлении экспериментальных данных и найти правильное истолкование возникшего разногласия.

Все вышеизложенное подтверждает, что для полноценного исследования СП военнослужащих необходимо тщательно планировать статистический

анализ экспериментального материала при проверке выдвигаемых гипотез.

Цель работы. Разработать и апробировать в научном эксперименте алгоритм исследования СП военнослужащих с применением непараметрических методов статистического анализа.

Материалы и методы. Ставилась задача физиолого-гигиенической оценки состояния питания военнослужащих надводного корабля (НК) по норме № 3 (морской паек) в условиях служебной деятельности в период длительного морского похода (ДМП). Была сформирована малая однородная выборка военнослужащих НК численностью 24 человека.

В качестве контролируемых параметров СП военнослужащих рассматривались показатели энергетических затрат, компонентного состава тела, витаминно-минерального статуса организма, биохимических показателей, характеризующих углеводный, белковый и жировой обмен веществ. С использованием широкого спектра антропометрических, инструментальных и лабораторных методов был осуществлен сбор экспериментальных данных перед морским походом – контроль № 1; в период морского похода (через 50 сут) – контроль № 2; по окончании морского похода (через 90 сут) – контроль № 3.

Все показатели, зарегистрированные при обследовании, были адаптированы для статистического анализа.

Принимая во внимание тот факт, что в течение ДМП основные условия жизнедеятельности личного состава НК сохраняются неизменными, соблюдается установленный режим труда, отдыха и питания, предполагалось, что определенные изменения контролируемых параметров СП в ДМП носят закономерный характер и отражают формирующиеся групповые тенденции (гипотеза H_0). Требовалось выявить эти тенденции, оценить степень их достоверности и клинической значимости. Для этого планировалось исследовать интенсивность и направленность изменения значений показателей СП у военнослужащих НК в динамике по следующей схеме:

- значения в контрольной точке № 2 по отношению к соответствующим значениям в контрольной точке № 1 (эффект за первый период ДМП);
- значения в контрольной точке № 3 по отношению к соответствующим значениям в контрольной точке № 2 (эффект за второй период ДМП);
- значения в контрольной точке № 3 по отношению к соответствующим значениям в контрольной точке № 1 (результатирующий эффект).

Признаком изменения значения конкретного показателя у каждого обследованного военнослужащего считалось приращение индивидуального параметра относительно его предшествующих значений: положительное – при возрастании; отрицательное – при убывании. По индивидуальным приращениям также можно судить в целом об интенсивности и направленности изменения значений исследуемого показателя у группы обследованных лиц. В свою очередь интенсивность и направленность изменения параметра может

служить объяснением формирования определенной тенденции в изучаемом процессе.

Было принято решение использовать непараметрические методы статистического анализа в силу недостаточного объема выборок для надежного установления нормальности их распределения.

Для проверки гипотезы (H_0) об отсутствии закономерных тенденций изменения СП военнослужащих под воздействием фактического питания и условий потребления пищи в ДМП планировалось использовать на каждом этапе исследования три критерия: U-критерий Манна – Уитни для исследования изменений общегрупповых характеристик контролируемого показателя СП, W-критерий Вилкоксона для исследования изменений индивидуальных значений контролируемого показателя СП и ϕ -критерий углового преобразования Фишера для сопоставления доли лиц с различным направлением изменения контролируемого показателя СП.

При статистическом анализе экспериментальных данных для понижения неопределенности, порождаемой зоной неопределенности при проверке всякой статистической гипотезы, было решено принять уровень значимости $\alpha=0,05$. Данный порог доверия к нулевой гипотезе считали приемлемым в проводимом физиолого-гигиеническом исследовании. Концептуальная схема экспериментального исследования, разработанная на этапе планирования, представлена на рисунке.

Результаты и их обсуждение. Выявлено, что на протяжении похода индивидуальные значения контролируемых показателей и их общегрупповые характеристики (медиана, среднее, разброс, количественные и качественные соотношения и т.п.) не оставались стабильными.

Уже на I этапе ДМП по группе обследованных военнослужащих была выявлена статистическая значимость обнаруженных изменений в результатах биохимического и клинического анализов крови (табл. 1).

Условие (1). В таблице 1 (и далее по тексту) «р» – это рассчитанная мера доверия к тому, что обнаруженное различие является случайным (уровень доверия к гипотезе H_0). При достаточно малых «р» – меньших принятого уровня значимости ($p < \alpha$) – случайный характер отклоняется и различие считается статистически значимым (принимается гипотеза H_1 о закономерном характере изменения показателя).

В соответствии с таблицей 1 по показателям биохимического анализа крови выявлено изменение белкового обмена – уменьшение содержания креатинина (CREA) (медианы 0,1 и 0,09 ммоль/л соответственно, $p=0,001$); изменения ферментного обмена – уменьшение содержания аспартатамино-трансферазы (AST) (медианы 0,1 и 0,09 мкмоль/л \times ч соответственно, $p=1 \times 10^{-6}$) и уменьшение содержания аланинаминотрансферазы (ALT) (медианы 0,1 и 0,09 мкмоль/л \times ч соответственно, $p=2 \times 10^{-4}$); изменения обмена жиров – увеличение содержания холестерина (CHOL) (медианы 0,1 и 0,09 ммоль/л соответственно, $p=0,010$).

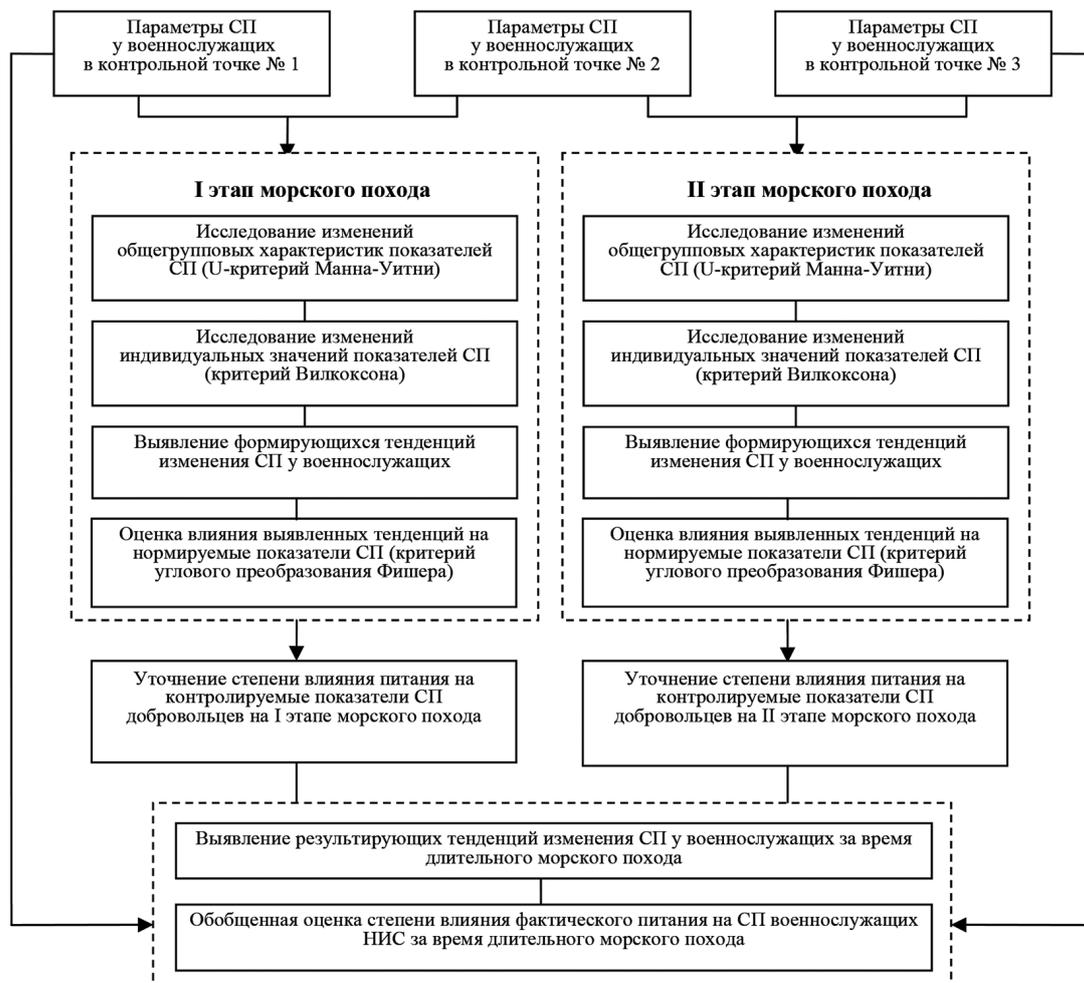


Рис. Схема исследования динамики СП военнослужащих НК в ДМП

Таблица 1

Сравнительная характеристика показателей биохимического и клинического анализов военнослужащих НК в контрольных точках № 1 и № 2 (U-критерий Манна – Уитни)

Показатель	n	Описательные статистики выборки				p
		контроль № 1		контроль № 2		
		Me [x _{min} ; x _{max}]	ΣR	Me [x _{min} ; x _{max}]	ΣR	
CREA, ммоль/л	15	0,101 [0,088; 0,118]	312,0	0,089[0,08; 0,099]	153,0	0,001*
AST мкмоль/лхч	19	0,3 [0,1; 0,5]	522,0	0,09[0,05; 0,31]	219,0	1×10 ⁻⁶
ALT мкмоль/лхч	19	0,3 [0,1; 1]	492,5	0,12[0,06; 0,27]	248,5	2×10 ⁻⁴
CHOL, ммоль/л	14	3,8 [2,97; 5,67]	126,0	4,7[3,9; 8]	225,0	0,010*
Вит. В, мкг/мл	16	10,88 [8,88; 12,62]	199,5	12,09[8,95; 14,7]	328,5	0,014*
Вит. С, мг/дл	16	1,04 [0,74; 1,2]	322,5	0,84[0,67; 1,16]	205,5	0,026*
Вит. А, мг/л	19	0,23 [0,11; 0,42]	257,0	0,34[0,11; 0,52]	484,0	0,001*
Вит. Е, нг/л	19	3,84 [1,39; 7,7]	273,0	5,37[3,16; 9,17]	468,0	0,004*
Na, мг/л	18	148,2 [120; 170]	269,0	160[120; 190]	397,0	0,044*
Mg, мкг/л	18	691,7 [585,7; 980]	239,5	815[660; 1000]	426,5	0,002*
Mn, нг/л	18	845 [380,8; 1008,1]	255,5	890[120; 1300]	410,5	0,013*
Co, нг/л	18	28,2 [25,7; 89]	212,0	72,5[24; 140]	454,0	5×10 ⁻⁵
Zn, мг/л	18	1,5 [1,3; 2]	259,5	1,6[1,4; 4,1]	406,5	0,019*
Hb, г/л	24	146,5 [131; 162]	432,0	155[142; 164]	744,0	0,001*
ЦВП, у. е.	24	0,9 [0,8; 0,9]	359,5	1[0,9; 1]	816,5	3×10 ⁻⁷

Примечание: n – объем выборки по показателю; Me – медиана (центральное значение); [x_{min}; x_{max}] – размах выборки; ΣR – суммарный ранг; * – α=0,05.

По концентрации витаминов в крови было выявлено уменьшение концентрации вит. С (медианы 1,0 и 0,8 мг/дл соответственно, $p=0,026$); снижение концентрации вит. В₁ (медианы 10,9 и 12,1 мкг/мл соответственно, $p=0,014$); увеличение концентрации вит. А (медианы 0,23 и 0,34 мг/л соответственно, $p=0,001$); увеличение концентрации вит. Е (медианы 3,8 и 5,4 нг/л соответственно, $p=0,004$).

В целом изменения биохимических и гематологических показателей находились в пределах физиологической нормы.

По уровню микро- и макроэлементов в крови выявлено увеличение уровня Na (медианы 148 и 160 мг/л соответственно, $p=0,044$); увеличение уровня Mg (медианы 692 и 815 мкг/л соответственно, $p=0,002$); увеличение уровня Mn (медианы 845 и 890 нг/л соответственно, $p=0,013$); увеличение уровня Co (медианы 28 и 73 нг/л соответственно, $p=5 \times 10^{-5}$); увеличение уровня Zn (медианы 1,5 и 1,6 мг/л соответственно, $p=0,019$).

Изменения в содержании Na и Mg находились в пределах нормативных значений. Выявлено повышение содержания Mn, Co и Zn, имевшее место на фоне повышенных исходных значений, что свидетельствовало о наличии дисбаланса эссенциальных микроэлементов в организме наблюдаемых военнослужащих.

Также по показателям клинического анализа крови было выявлено (см. табл. 1) увеличение значений гемоглобина (Hb) (медианы 147 и 155 г/л соответственно, $p=0,001$); увеличение значений цветного показателя (ЦВП) (медианы 0,90 и 0,97 у. е. соответственно, $p=3 \times 10^{-7}$).

В целом по группе выявить статистическую значимость различия параметров в контрольных точках может мешать «зашумление», обусловленное разбросом индивидуальных значений, если разброс индивидуальных значений слишком велик по сравнению с групповой тенденцией к их увеличению (уменьшению). В таком случае целесообразно обратиться к сравнительному анализу принятой в исследовании меры изменения индивидуальных значений – приращений, которые собственно и обуславливают флюктуацию групповых характеристик по каждому исследуемому показателю (табл. 2).

В соответствии с таблицей 2 полученные результаты не только не противоречили представленному ранее сравнительному анализу (см. табл. 1), но позволили выявить статистическую значимость изменений еще по ряду исследуемых показателей.

Так, показатель окружности талии (ОТ) чаще и интенсивнее изменялся в направлении увеличения (табл. 2): увеличение ОТ наблюдалось у 54% (13 чел.) обследованных по сравнению с его уменьшением у 25% (6 чел.) при $p=0,035$; интенсивность увеличения показателя ОТ превышала аналогичную меру уменьшения (медианы абсолютных приращений 2 и 1,5 см соответственно, $p=0,048$). Здесь и далее по тексту расчет значений p производился по ϕ -критерию углового преобразования Фишера через функцию $\arcsin(\cdot)$.

Показатель индекса «талия-бедро» (ИТБ) чаще и интенсивнее изменялся в направлении увеличения. Увеличение ИТБ наблюдалось у 71% (17 чел.) обследованных по сравнению с его уменьшением у 25% (6 чел.) при $p=0,001$; интенсивность увеличения показателя ИТБ превышала аналогичную меру уменьшения (медианы абсолютных приращений 0,040 и 0,025 у. е. соответственно, $p=0,022$).

Показатель биохимического анализа крови – триглицериды (TRIG) – чаще и интенсивнее изменялся в направлении увеличения: увеличение показателя TRIG наблюдалось у 74% (14 чел.) обследованных по сравнению с его уменьшением у 26% (5 чел.) при $p=0,002$; интенсивность увеличения TRIG превышала аналогичную меру уменьшения (медианы абсолютных приращений 0,5 и 0,45 ммоль/л соответственно, $p=0,046$).

Изменение содержания TRIG в крови не привело к выходу за пределы физиологической нормы, хотя факт его повышения был закономерен и согласуется с результатами изучения содержания CHOL, также характеризующимися повышением.

В соответствии с условием (1) случайный характер всех выше описанных изменений параметров СП военнослужащих был отклонен – изменения носили статистически значимый характер и отражали формирование закономерных тенденций СП обследованных военнослужащих НК на I этапе ДМП (таблица 3).

Предполагалось, что выявленные тенденции могли привести к выходу соответствующих индивидуальных параметров СП военнослужащих за пределы установленных физиологических норм. Поэтому в ходе работы осуществлялся контроль индивидуальных параметров СП на соответствие действующим нормам. Параметры СП анализировались на превышение верхней границы интервала нормы и снижение ниже нижней границы интервала нормы с учетом индивидуальных особенностей военнослужащих, зафиксированных непосредственно перед походом.

Так как индивидуальные показатели СП обследованных военнослужащих изначально могли не соответствовать нормативным значениям, то задача состояла в выявлении факта отягощающего влияния, привнесенного фактическим питанием и условиями потребления пищи. С этой целью осуществлялся сравнительный анализ доли лиц, у которых по нормируемым параметрам СП обнаруживался их избыток либо дефицит на разных этапах исследования (табл. 4).

В соответствии с таблицей 4 по ряду долевых соотношений была выявлена статистическая значимость различия, обусловленная закономерными тенденциями изменения параметров СП за первые 50 суток ДМП (контроль № 1 – контроль № 2).

Так, тенденция увеличения уровня К в крови военнослужащих по истечении 50 суток морского похода обусловила увеличение доли лиц с повышенным содержанием К (39 и 100% соответственно, $p=7 \times 10^{-8}$) и уменьшение доли лиц с пониженным содержанием К

Таблица 2

Характеристика направленности и интенсивности изменений показателей СП у военнослужащих НК за 50 сут. похода (W-критерий Вилкоксона)

Показатель	Описательные статистики приращений показателя						p
	мера увеличения			мера уменьшения			
	n ⁺	Me ⁺ [x _{min} ⁺ ; x _{max} ⁺]	ΣR ⁺	n ⁻	Me ⁻ [x _{min} ⁻ ; x _{max} ⁻]	ΣR ⁻	
ОТ, см	13	2 [1; 4]	143,5	6	1,5[1; 2]	46,5	0,048*
ИТБ, у. е.	17	0,04 [0,02; 0,1]	213,0	6	0,03 [0,01; 0,15]	63,0	0,022*
CREA, ммоль/л	3	0 [0; 0]	10,0	12	0 [0; 0]	110,0	0,004*
AST, мкмоль/лхч	1	0,09 [0,09; 0,09]	3	18	0,198 [0,07; 0,416]	187	2×10 ⁻⁴ *
ALT, мкмоль/лхч	4	0,03 [0,023; 0,15]	14,5	15	0,225 [0,058; 0,836]	175,5	0,001*
CHOL, ммоль/л	12	0,9 [0,1; 3,7]	78,0	0	0,0 [0,0; 0,0]	0	0,002*
Триглицериды, ммоль/л	14	0,5 [0,01; 1,1]	144,5	5	0,45 [0,09; 1,12]	45,5	0,046*
Вит. В ₁ , мкг/мл	12	2,2 [0; 4,9]	112,0	4	1,1 [0; 1,7]	24,0	0,023*
Вит. С, мг/дл	4	0,1 [0; 0,4]	25,0	12	0,2 [0,1; 0,4]	111,0	0,026*
Вит. А, мг/л	16	0,2 [0; 0,3]	174,0	3	0,1 [0; 0,1]	16,0	0,001*
Вит. Е, нг/л	16	1,7 [0,1; 4,8]	178,0	3	0,8 [0,7; 0,9]	12,0	0,001*
Mg, мкг/л	13	150 [40; 388,7]	137,0	5	70 [59,1; 170]	34,0	0,025*
K, мг/л	12	16,1 [6; 20,6]	134,5	5	12 [3; 14]	18,5	0,006*
Ca, мкг/л	14	155 [10; 440]	138,0	4	255 [250; 260]	33,0	0,022*
Co, нг/л	17	48,3 [2; 108,9]	158,0	1	65 [65; 65]	13,0	0,002*
Cu, мкг/л	5	30 [16,4; 390]	39,5	13	53,8 [10; 303,5]	131,5	0,045*
Zn, мг/л	13	0,3 [0; 2,8]	125,5	4	0,1 [0; 0,6]	27,5	0,020*
Mo, нг/л	13	4,7 [0,1; 27,7]	134,0	5	1,5 [0,4; 14]	37,0	0,035*
Hb, г/л	19	12 [1; 21]	252,5	4	4 [2; 6]	23,5	5×10 ⁻⁴ *
ЦВП, у. е.	21	0,1 [0; 0,1]	285,5	3	0 [0; 0,1]	14,5	1×10 ⁻⁴ *

Примечание: n⁺, n⁻ – число лиц, у которых значение показателя увеличилось (+) / уменьшилось (-); Me⁺, Me⁻ – медиана приращений; [x_{min}⁺; x_{max}⁺] – размах приращений; ΣR⁺, ΣR⁻ – суммарный ранг приращений; * – α=0,05.

Таблица 3

Тенденции изменения показателей СП у военнослужащих НК, обусловленные фактическим питанием на I этапе ДМП

Показатель	Тенденция	Среднее приращение	
		доверительный интервал	ожидаемое изменение
ОТ, см	Увеличение	2,154±2,179×0,296	Плюс 1,5–2,8
ИТБ, у. е.	Увеличение	0,039±2,12×0,005	Плюс 0,03–0,05
CREA, ммоль/л	Уменьшение	0,016±2,201×0,003	Минус 0,01–0,02
AST, мкмоль/лхч	Уменьшение	0,189±2,11×0,022	Минус 0,14–0,24
ALT, мкмоль/лхч	Уменьшение	0,296±2,145×0,059	Минус 0,17–0,42
CHOL, ммоль/л	Увеличение	1,045±2,201×0,271	Плюс 0,5–1,6
TRIG, ммоль/л	Увеличение	0,53±2,16×0,09	Плюс 0,3–0,7
Вит. В ₁ (по ПВК), мкг/мл	Уменьшение	2,108±2,201×0,477	Минус 1,1–3,2
Вит. С, мг/дл	Уменьшение	0,223±2,201×0,035	Минус 0,1–0,3
Вит. А, мг/л	Увеличение	0,142±2,131×0,019	Плюс 0,1–0,2
Вит. Е, нг/л	Увеличение	1,952±2,131×0,289	Плюс 1,4–2,6
Na, мг/л	Увеличение	21,831±2,228×4,15	Плюс 12,6–31,1
Mg, мкг/л	Увеличение	186,215±2,179×31,534	Плюс 117,5–254,9
K, мг/л	Увеличение	116,139±2,306×39,337	Плюс 25,4–206,9
Ca, мкг/л	Увеличение	16,1±2,201×1,124	Плюс 13,6–18,6
Mn, нг/л	Увеличение	166,726±2,16×62,603	Плюс 31,5–302,0
Co, нг/л	Увеличение	46,926±2,12×8,563	Плюс 28,8–65,1
Cu, мкг/л	Уменьшение	122,319±2,179×31,503	Минус 53,7–191,0
Zn, мг/л	Увеличение	0,855±2,179×0,264	Плюс 0,3–1,4
Mo, нг/л	Увеличение	7,402±2,179×2,245	Плюс 2,5–12,3
Hb, г/л	Увеличение	11,158±2,101×1,495	Плюс 8,0–14,3
ЦВП, у. е.	Увеличение	0,072±2,086×0,007	Плюс 0,06–0,09

Примечание: – доверительный интервал приведен в расчете на генеральную совокупность.

Таблица 4

Сравнительная характеристика долей (количества) военнослужащих с повышенным/пониженным уровнем нормируемого показателя СП в контрольных точках обследования № 1 и № 2

(φ-критерий углового преобразования Фишера)

Нормируемый показатель	Наблюдений, n	Доля военнослужащих из числа обследованных, % (кол-во)		Статистики критерия	
		контроль № 1	контроль № 2	U	p
Повышенный уровень нормируемого показателя СП ¹					
К, мг/л	18	39 (7)	100 (18)	5,385	7□
Со, нг/л	18	11 (2)	83 (15)	4,863	1□
Си, мкг/л	18	28 (5)	0 (0)	2,326	0,020 ³
Пониженный уровень нормируемого показателя СП ²					
К, мг/л	18	33 (6)	0 (0)	2,688	0,007 ³
Мо, нг/л	18	94 (17)	67 (12)	2,265	0,023 ³

Примечание: (1 – значение показателя больше верхнего предела нормы; (2 – значение показателя меньше нижнего предела нормы; (3 – α=0,05).

(33 и 0% соответственно, p=0,007). Тенденция увеличения уровня Со в крови военнослужащих обусловила увеличение доли лиц с повышенным содержанием Со (11 и 100% соответственно, p=1×10⁻⁶). Тенденция

уменьшения уровня Си в крови военнослужащих обусловила уменьшение доли лиц с повышенным содержанием Си (28 и 0% соответственно, p=0,02). Тенденция увеличения уровня Мо в крови военнослужащих

Таблица 5

Преобладающая направленность изменения показателей СП военнослужащих НК на разных этапах ДМП

Показатель	Направленность изменения	
	I этап (контроль № 1 – контроль № 2)	II этап (контроль № 2 – контроль № 3)
МТ, кг	–	Увеличение
ОТ, см	Увеличение	Увеличение
ИМТ, кг/м ²	–	Увеличение
ИТБ, у. е.	Увеличение	Увеличение
ОВЖ, см ²	–	Увеличение
ЖМТ, кг	–	Увеличение
ПСЖО, %	–	Увеличение
Уровень тренированности, у. е.	–	Уменьшение
ВЕЛОК, г/л	–	Увеличение
ВIL-T, мкмоль/л	–	Уменьшение
CREA ммоль/л	Уменьшение	Увеличение
AST ммоль/лхч	Уменьшение	Увеличение
ALT ммоль/лхч	Уменьшение	Увеличение
CHOL, ммоль/л	Увеличение	–
TRIG, ммоль/л	Увеличение	Уменьшение
Вит. В ¹ , мкг/мл	Увеличение	–
Вит. С, мг/мл	Уменьшение	–
Вит. А, мг/л	Увеличение	Уменьшение
Вит. Е, нг/л	Увеличение	Уменьшение
Вит. D, нг/мл	–	Увеличение
Mg, мкг/л	Увеличение	Увеличение
Al, мкг/л	–	Увеличение
K, мг/л	Увеличение	–
Ca, мкг/л	Увеличение	Увеличение
Mn, нг/л	–	Увеличение
Со, нг/л	Увеличение	–
Си, мкг/л	Уменьшение	–
Zn, мг/л	Увеличение	Увеличение
Se, нг/л	–	Увеличение
Mo, нг/л	Увеличение	Увеличение
Hb, г/л	Увеличение	–
ЦВП, у. е.	Увеличение	–

обусловила уменьшение доли лиц с пониженным содержанием M_o (94 и 67% соответственно, $p=0,023$).

По аналогичной схеме (см. рисунок) был произведен статистический анализ контролируемых показателей СП военнослужащих НК на II этапе ДМП. Значительная его продолжительность (90 суток), а также частичное изменение ассортимента продуктов (по условиям натурального эксперимента) не могли не отразиться на динамике СП военнослужащих НК.

В рамках данной работы не представляется возможным изложить в достаточном объеме эту часть статистического анализа, а также обоснование результирующих тенденций изменения СП военнослужащих за все 140 суток ДМП. С материалами можно ознакомиться в отчете по НИР «Календарь» (ВМА им. С.М. Кирова).

Приводим сводную таблицу направленности закономерных изменений показателей СП военнослужащих НК, выявленных на I и на II этапах ДМП (табл. 5).

В соответствии с данными таблицы 5, индивидуальные изменения конкретного показателя СП военнослужащих на II этапе ДМП (контроль № 2 – контроль № 3) действительно могли повлечь:

- закрепление устойчивости ранее выявленной групповой тенденции;
- ослабление устойчивости ранее выявленной групповой тенденции до уровня случайных изменений;
- формирование новой групповой тенденции на базе случайных изменений, ранее не имевших ста-

статической значимости («длинные накопления», проявившие себя по окончании морского похода).

Этот эффект нашел отражение в агрегированной (объединенной) оценке СП военнослужащих НК в виде результирующих тенденций за весь исследуемый период (контроль № 1 – контроль № 3).

В таблице 6 представлены обобщенные итоги статистического анализа динамики СП военнослужащих НК под влиянием фактического питания и условий потребления пищи, а также ожидаемые изменения параметров СП за 140 суток ДМП.

Из таблицы 6 видно, что среди рассмотренных показателей СП военнослужащих НК преобладающее их количество претерпело закономерное изменение в различные периоды ДМП в зависимости от сбалансированности основных пищевых компонентов (белков, жиров и углеводов) с другими нутриентами, от энергетических затрат организма.

Заключение. Целенаправленное исследование СП военнослужащих сопряжено с проведением контролируемого натурального эксперимента по изучению влияния фактического питания и условий потребления пищи на СП военнослужащих в реальных условиях их жизнедеятельности с целью получения эффекта, дающего возможность управления процессом организации питания.

Успешность решения проблемы оценки СП военнослужащих зависит как от качества планирования натурального

Таблица 6

Агрегирование тенденций изменения параметров СП у военнослужащих НК во время ДМП

Показатель	Промежуточная тенденция		Результирующая тенденция	
	I этап (№ 1 – № 2)	II этап (№ 1 – № 2)	№ 1 – № 3	ожидаемое приращение
МТ, кг	–	Увеличение	Увеличение	Плюс 2,7–5,5
ОТ, см	Увеличение	Увеличение	Увеличение	Плюс 2,8–5,0
ИМТ, кг/м ²	–	Увеличение	Увеличение	Плюс 0,9–1,8
ИТБ, у. е.	Увеличение	Увеличение	Увеличение	Плюс 0,04–0,06
ОВЖ, см ²	–	Увеличение	Увеличение	Плюс 13,0–22,7
ЖМТ, кг	–	Увеличение	Увеличение	Плюс 2,4–4,9
ПСЖО, %	–	Увеличение	Увеличение	Плюс 3,3–5,4
ВЕЛОК, г/л	–	Увеличение	Увеличение	Плюс 4,2–9,2
СНОЛ, ммол/л	Увеличение	–	Увеличение	Плюс 0,7–1,5
Вит. В ₁ , мкг/мл	Увеличение	–	Увеличение	Плюс 0,7–2,7
Вит. С, мг/мл	уменьшение	–	уменьшение	Минус 0,1–0,3
Na, мг/л	–	–	Увеличение	Плюс 11,2–24,5
Mg, мкг/л	Увеличение	Увеличение	Увеличение	Плюс 135,6–249,3
K, мг/л	Увеличение	–	Увеличение	Плюс 10,5–18,0
Ca, мкг/л	Увеличение	Увеличение	Увеличение	Плюс 127,7–349,5
Cr, нг/л	–	–	Увеличение	Плюс 24,9–204,7
Mn, нг/л	–	Увеличение	Увеличение	Плюс 171,6–464,3
Co, нг/л	Увеличение	–	Увеличение	Плюс 31,0–60,9
Zn, мг/л	Увеличение	Увеличение	Увеличение	Плюс 0,6–1,7
Se, нг/л	–	Увеличение	Увеличение	Плюс 42,3–88,7
Mo, нг/л	Увеличение	Увеличение	Увеличение	Плюс 6,8–24,6
I, нг/л	–	–	Уменьшение	Минус 257,1–1249,1
ТМ пр. ноги, кг	–	–	Уменьшение	Минус 0,2–0,4
ТМ лев. ноги, кг	–	–	Уменьшение	Минус 0,2–0,4

эксперимента для получения достоверных экспериментальных данных, так и от качества их статистического анализа для получения обоснованного заключения.

Усилия исследователей по физиолого-гигиенической оценке СП военнослужащих в равной мере должны быть направлены на организацию обследования военнослужащих и на подбор релевантных статистических методов и алгоритмов проверки гипотезы (иногда их цепочек, когда после проверки предыдущей гипотезы принимается решение о проверке той или иной последующей гипотезы).

Поскольку объемы экспериментальных выборок, как правило, не обеспечивают надежного установления нормальности их распределения, постольку корректность применения параметрических методов и алгоритмов анализа, а также получаемые с их помощью результаты проверки гипотез чаще всего подвергаются сомнению. В этих случаях рекомендуется применять непараметрические методы, они пригодны при любом виде функции распределения экспериментальных данных.

Предложенный нами алгоритм исследования СП военнослужащих НК в ДМП включал проверку цепочки гипотез с применением непараметрических методов статистического анализа. Он позволил выявить целый ряд изменений обменных процессов, обусловленных особенностями питания и характером военно-профессиональной деятельности и свидетельствующих о необходимости комплексного подхода к коррекции содержания витаминов, макро- и микроэлементов в рационе питания военнослужащих, проходящих службу в районах Арктики и совершенствования технологий водоподготовки (применение систем минерализации).

Таким образом, предложенный алгоритм исследования СП военнослужащих с применением непараметрических методов статистического анализа позволяет оценить происходящие изменения на дозонологическом уровне. На основе результатов исследования СП военнослужащих, полученных при реализации предложенного алгоритма, могут быть сформулированы требования к содержанию витаминов и минералов в рационе их питания, а также к витаминно-минеральным комплексам, необходимым для предупреждения различных заболеваний и укрепления защитных функций организма. Предлагаемая модель расширяет исследовательские возможности по разработке методических рекомендаций и совершенствованию нормативных документов, регламентирующих процесс организации питания военнослужащих.

Литература

1. Андриянов, А.И. Нормирование питания военнослужащих / А.И. Андриянов, А.Л. Сметанин, И.А. Коновалова // Вестн. акад. воен. наук. – 2014. – № 4 (14). – С. 33–45.
2. Большев, Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов. – 3-е изд. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
3. Боровков, А.А. Математическая статистика / А.А. Боровков. – Новосибирск: Наука, 1997. – 772 с.
4. Гаек, Я. Теория ранговых критериев / Я. Гаек, З. Шидак; пер. с англ. – М.: Наука. 1971. – 376 с.
5. Орлов, А.И. О проверке однородности двух независимых выборок / А.И. Орлов // Заводская лаборатория. – 2003. – Т. 69, № 1. – С. 55–60.
6. Холлендер, М. Методы непараметрической статистики / М. Холлендер, Д.А. Вулф; пер. с англ. – М.: Финансы и статистика, 1983. – 520 с.
7. Sinclair, H.M. The assessment of human nutrition / H.M. Sinclair // Vitamins. Hormones. – 1948. – Vol. 6. – P. 101–162.

N.A. Shchukina, O.A. Nagibovich, A.I. Andriyanov, I.A. Konovalova, A.L. Smetanin, L.P. Lazarenko, O.G. Korosteleva

Statistical methods in studies on the status of nutrition of military personnel

Abstract. The possibility of applying the nonparametric statistical methods to solve the tasks of investigating and appraising the index status of nutrition of military servicemen is considered. The experience to use in parallel several statistical algorithms for testing hypotheses is shown. An approach was worked out to test a sequence of hypotheses going one after another when testing the previous hypothesis influences the choice of subsequent hypothesis to test. This approach is formalized as a scheme to incrementally estimate the status of nutrition of military servicemen. The proposed model of status of nutrition exploration is used to obtain the quality and quantity digital estimation of the expected trend of a certain controllable parameter or a group of parameters of status of nutrition. It is established that among the considered indicators of the status of nutrition, the prevailing number of them has undergone a regular change in different periods of a prolonged sea voyage, depending on the balance of the main food components (proteins, fats and carbohydrates) with other nutrients and on the energy costs of the body of servicemen. The algorithm for studying the status of nutrition of servicemen with the use of nonparametric methods of statistical analysis made it possible to reveal a number of changes in metabolic processes occurring at the prenosological level and conditioned by the peculiarities of nutrition and the nature of military professional activity. On the basis of the research results obtained, requirements for the content of vitamins and minerals in the diet, as well as vitamin-mineral complexes, necessary for strengthening the body's protective functions and preventing various diseases, can be formulated. Applying this model enlarges greatly the exploration possibilities when the methodical recommendations and normative documents to regulate the nutrition of military servicemen are developed.

Key words: nutritional status, body weight, vitamins, minerals, military personnel, controlled parameter, statistical method, physiological and hygienic assessment, control point, regular trend.

Контактный телефон: +7-952-263-89-70; e-mail: smet.alex1957@yandex.ru