

УДК 611.85:616-008-057.36

ІНФОРМАТИВНІ ІНДИКАТОРИ ТА ВИРІШАЛЬНІ ПРАВИЛА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ ПІЛОТІВ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ПОСТУРОМЕТРІЇ

О.А. Компанієць (Київ)
Українська військово-медична академія

Резюме. Наведено результати дослідження функціонального стану вестибулярного аналізатора осіб льотного складу та контрольної групи з метою визначення інформативних індикаторів придатності до льотної роботи. За допомогою однофакторного дисперсійного аналізу визначено зміни рівнів групи показників («мода», $\ln P$, As^2 , d) якості функціонування аналізатора при дії «фактора професійної діяльності льотчика». Наведено вирішальні правила для оцінки функціонального стану пілотів за показниками постурометрії.

Ключові слова: вестибулярний аналізатор, льотний склад, постурометрія, дисперсійний аналіз.

Сьогодні існує система діагностики та контролю працездатності осіб льотного складу, яка функціонує відповідно до сучасної воєнної доктрини і «Програми будівництва і розвитку Збройних сил України», «Керівництва з медичного забезпечення польотів авіації Збройних сил України», в яких враховано основні положення Директиви Ради Європейського Співтовариства «Про проведення заходів з метою покращення безпеки та захисту здоров'я робітників під час роботи» (№ 89/391, ЄЕС, 1989).

Робота льотчика належить до категорії операторської праці і супроводжується значною напруженістю трудового процесу. Відповідно до «Гігієнічної класифікації...», сенсорні навантаження характеризуються тривалістю зосередженого спостереження понад 75% робочого часу (п. 3.2), кількість виробничих об'єктів одночасного спостереження – понад 25 (п. 3.2), спостереження за екранами відеотерміналів – понад 4 години (п. 3.2). Навантаження на слуховий аналізатор (розбірливість слів та сигналів) становить 90–70% (п. 3.1). Льотчик утримує в пам'яті отриману інформацію про стан приладів, радіосигналів, просторових уявлень в умовах швидкої зміни ситуації, приймає точні рішення, враховуючи великі швидкості переміщення літального апарату. Робота льотчика супроводжується значним емоційним навантаженням, що визначається відповідальністю за якість виконання бойового завдання. Неправильні рішення можуть зумовлювати пошкодження дороговартісного обладнання, а також становити загрозу для власного життя та життя інших осіб (п. 3.2). Режим роботи ха-

рактеризується нерегулярною зміною протягом доби, у т.ч. вночі (п. 3.2).

Таким чином, аналізуючи професійну діяльність льотчика, можна констатувати, що основним шкідливим фактором у цій професії є висока і надвисока напруженість трудового процесу, що пред'являє значні вимоги до організму людини. Відповідно до «Гігієнічної класифікації...», праця льотчика належить до категорії «шкідлива» (напружена праця) 3-го класу, 2-го ступеня (п. 3.2) [2;6].

Проблема забезпечення професійної придатності льотчиків і надійності «людського фактора» значною мірою лежить у площині психофізіологічного відбору з урахуванням їх функціонального стану і здоров'я, а також індивідуальних можливостей формувати важливі риси, які забезпечують високий рівень працездатності [1;4].

Мета роботи – визначити інформативні індикатори придатності пілотів до льотної роботи та навести вирішальні правила для оцінки функціонального стану таких осіб за показниками постурометрії.

Матеріали та методи

Для дослідження обрано три групи. До першої групи увійшли 84 льотчики. Другу та третю групу становили здорові та хворі особи (із захворюваннями вуха) різних військових спеціальностей (але не льотчики). Узагальнено група складалась з 410 осіб.

Стандартне постурографічне дослідження проводили таким чином. Пацієнта встановлювали в поло-

женні за Ромбергом посередині постурографічної платформи босоніж із зімкнутими ступнями. Встановлювали місцезнаходження пацієнта на платформі для співставлення центра координатної сітки на екрані комп'ютера з проекцією центра ваги на площину платформи при строго вертикальному стоянні (точка відліку). Для цього протягом 10 с проводили каліброве дослідження статичної рівноваги за умови участі всіх задіяних у реалізації прямостояння сенсорних систем. Обчислювали результатну точку на комп'ютері (середнє арифметичне всіх одержаних точок постурограми), яка потім вважалася точкою відліку. Не змінюючи місцезнаходження пацієнта на платформі, а також його позу, проводили основні дослідження (зазвичай, сеансами протягом 30 с, спочатку з розплющеними, а потім із заплющеними очима). Відхилення тулуба в будь-якому напрямку, завдяки перерозподілу навантаження на сенсорні датчики платформи, призводило до відповідних лінійних змін показань датчиків. Результати змін передавались підсистемі відображення; підсистема відображення нормувала показання датчиків (перетворення в екранні координати) і формувала структуру даних для запису в базу даних. У результаті, зміщення проекції центра ваги на площину платформи відповідало зміщенню точки проекції центру ваги на екрані комп'ютера. Система налаштована так, що зміщення проекції центру ваги на площину платформи на одиницю довжини в 1 мм відповідало зміщенню точки проекції центру ваги на екрані комп'ютера на відстань, відкалібровану в 1 мм. Таким чином, одержані постурограми реально відбивали амплітудні характеристики відхилень тулуба під час дослідження і були зорієнто-

вані на амплітуду коливань проекції центру ваги на площину опори. Для стандартизації результатів обстеження програмно вносили коефіцієнт поправки на зріст. Зріст пацієнта реєстрували під час введення в комп'ютер паспортних даних [3;5;7].

Звичайно, при обробці постурограм аналізували такі статистичні параметри (статистичне оцінювання параметрів розподілу):

- характеристики розташування;
- характеристики розсіяння;
- характеристики асиметрії та ексцесу;
- коефіцієнт кореляції;
- довжину постурограми.

Результати дослідження та їх обговорення

Статистичні дані показників функціонування статокінетичного аналізатора наведено у табл. Привертає увагу значна неоднорідність майже за всіма показниками. Особливо відокремленим від нормального розподілення був показник «розмаху», що має суттєві відхилення за параметрами асиметрії ($p < 0,001$) та ексцесу ($p < 0,001$). Тільки показник КОР має розподілення, яке не відхиляється від нормального.

Відомо, що інформативні перемінні, необхідні для надійної сталої класифікації, мають бути незалежними. Безперечно, ідеального варіанту у підборі таких перемінних бути не може. Але слід прагнути до того, щоб задіяні перемінні якомога найменше корелювали. Додатково необхідно, щоб розподілення використовуваних перемінних було якомога наближеним до нормаль-

Таблиця

Показники функціонування статокінетичного аналізатора у осіб узагальненої групи дослідження

Показники постурографії	М	м	Асиметрія	м асиметрія	Ексцес (Ex)	м Ex
Математичне сподівання	0,49	0,21	-0,27*	0,12	-1,10***	0,24
Медіана	0,59	0,22	-0,24*	0,12	-1,20***	0,24
Мода	0,73	0,25	-0,23	0,12	-1,12***	0,24
Розмах	29,96	0,98	0,41***	0,12	-0,84***	0,24
КА	0,00	0,04	0,20	0,12	0,81***	0,24
КОР	0,05	0,01	0,05	0,12	0,45	0,24

Примітка: * – $p < 0,05$, *** – $p < 0,001$.

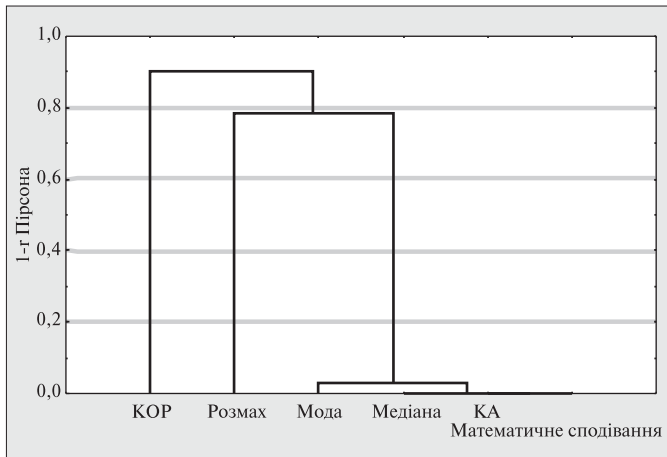


Рис. 1. Структура зв'язків показників, використаних для характеристики функції вестибулярного аналізатора (KOP, розмах, мода, медіана, КА, математичне сподівання)

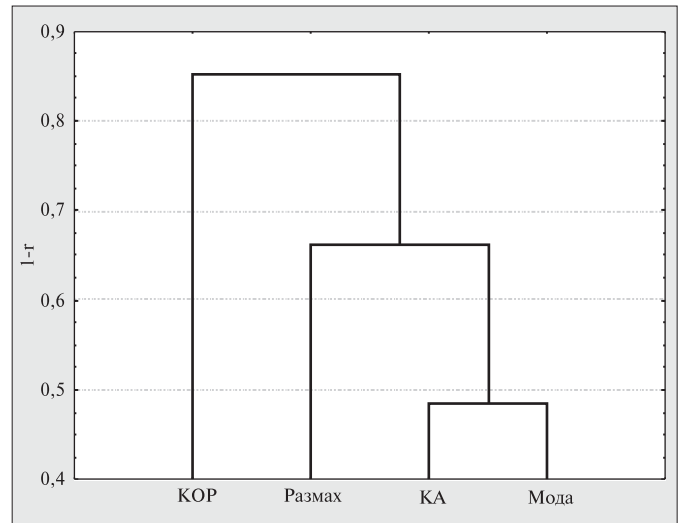


Рис. 2. Структура взаємозв'язків показників, використаних для характеристики функції вестибулярного аналізатора, без медіани та математичного сподівання

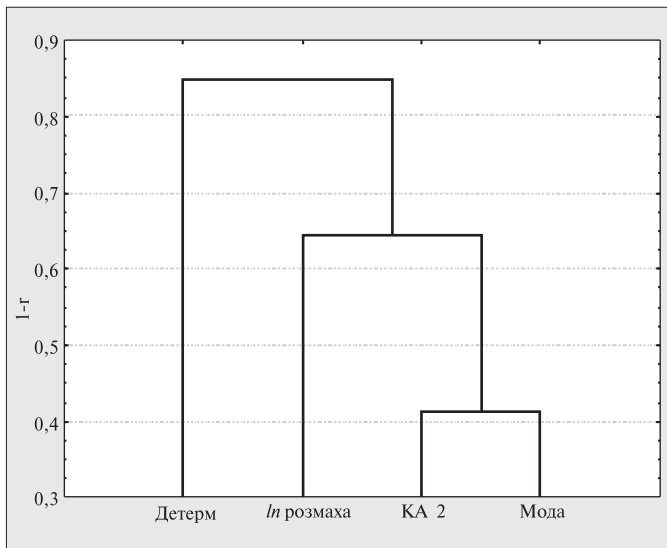


Рис. 3. Дані про взаємозв'язок модифікованих параметрів

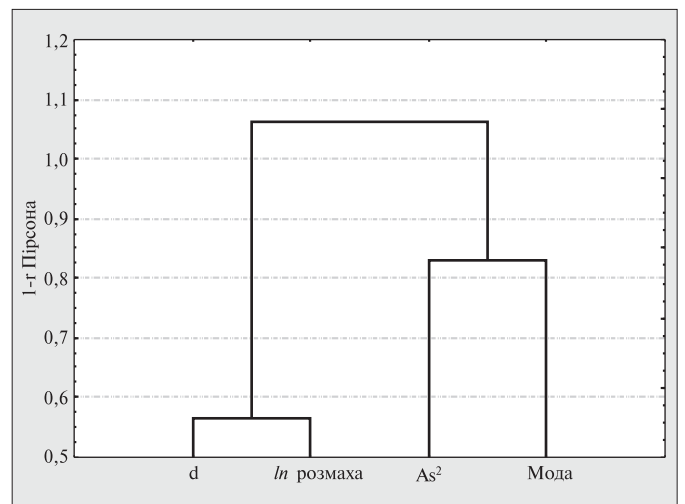


Рис. 4. Дендрограми зв'язків досліджуваних функцій вестибулярного аналізатора осіб другої групи

них. Для усунення (коригування) даного недоліку можна на основі існуючих розробити нові перемінні. Так, наприклад, перемінна «розмах» має найгірші характеристики асиметрії та ексцесу. Для їхньої нормалізації можна ввести нову перемінну – ln «розмаху». Ефект неоднозначності, коли відхилення показника КА в будь-який бік свідчить про асиметричне відхилення центру ваги, усувається шляхом введенням нового показника – квадрату КА. Такий самий ефект існує при використанні показника КОР, коли і позитивні, і негативні значення достовірного коефіцієнту кореляції свідчать про переважне «гойдання» центру тяжіння особи у певній площині. У цьому разі використовували показник – коефіцієнт детермінації.

Ступінь зв'язку розглянутих показників перевіряли за допомогою кластерного аналізу. За критерієм зв'язку (коефіцієнт кореляції Пірсона) побудовано дендрограми, які віддзеркалювали структуру взаємозв'язків цих показників.

На рис. 1 наведено дендрограму показників: математичного сподівання, медіани, моди, КА, розмаху, КОР. Очевидно, що показники КА, математичного сподівання, медіани сильно взаємопов'язані. Очевидно, що можна використовувати один із них, наприклад КА.

Структуру взаємозв'язків досліджуваних показників без вищезгаданих показано на рис. 2. У цьому разі можна відзначити істотне зменшення взаємозалежності наведених параметрів.

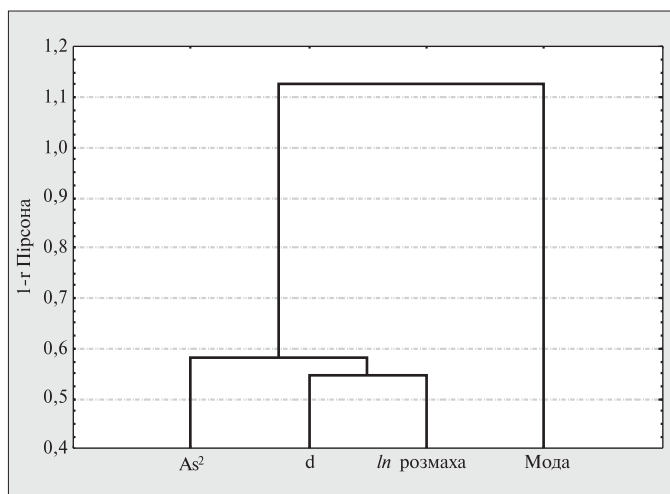


Рис. 5. Дендрограми зв'язків досліджуваних функцій вестибулярного аналізатора осіб третьої групи

На рис. 3 наведено дані про взаємозв'язок запропонованих модифікованих параметрів. Дендрограма показує, що рівень «незалежності» показників не погіршується порівняно з параметрами, наведеними на рис. 2. Це свідчить про перспективність проведення класифікації за цими параметрами.

Для перевірки правильності вибору інформативних параметрів використано кластерний аналіз. Цікаво, що дендрограми зв'язків досліджуваних функцій, побудовані за даними осіб другої та третьої груп (рис. 4, 5), вказують на наявність несуттєвих зв'язків між обраними інформативними показниками.

Для з'ясування ступеня внеску кожного з досліджуваних показників у диференціювання кластерів проведено однофакторний дисперсійний аналіз. За такий, що

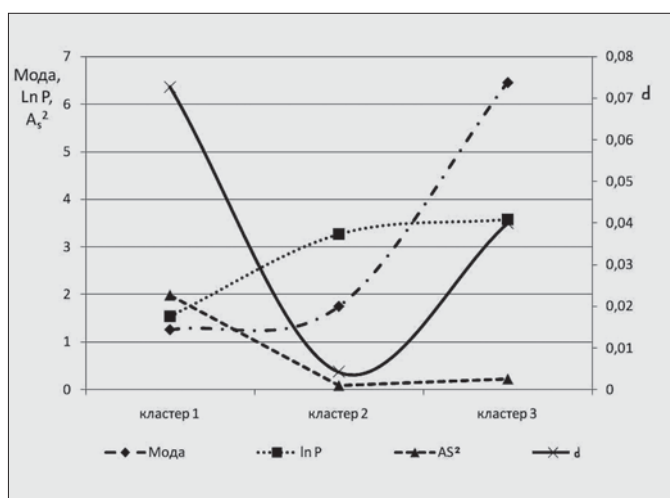


Рис. 6. Зміни рівня показника «мода», $\ln P$, A_s^2 , d групи показників якості функціонування вестибулярного аналізатора внаслідок дії фактора професійної придатності льотчика, виявлені за допомогою однофакторного дисперсійного аналізу (x – кластери, y – «мода», $\ln P$, A_s^2 , d)

впливає на відмінність одного кластера від іншого, прийнято чинник «ступінь професійної придатності льотчика» (СППЛ). Причому виділена кластерним аналізом група льотчиків (кластер 1) складалася з осіб, придатних до професійної діяльності, а змішані групи здорових і хворих (кластери 2 і 3) вважалися, відповідно до номеру групи, непридатними до льотної діяльності (рис. 6).

Видно, що показник «мода» досить добре розрізняє всі три досліджувані кластери, про що свідчить рівень достовірності дії чинника СППЛ ($p < 0,001$). Цей чинник пояснює 87,7% загальної дисперсії показника «мода». Кластери 1 і 2 за цим показником диференціюються нечітко, а кластер 3 відрізняється від кластерів 1 і 2 дуже істотно. Це свідчить про нерівномірне диференціювання досліджуваних кластерів за показником «мода». Навпаки, кластер 1 має істотно інший рівень показника $\ln P$. Загалом, результат однофакторного дисперсійного аналізу показав високий рівень достовірності дії чинника СППЛ ($p < 0,001$) за показником $\ln P$. Цей чинник пояснює 76,7% загальної дисперсії показника $\ln P$. За показником A_s^2 кластер 1 істотно різниться за рівнем від кластерів 2 і 3, які, своєю чергою, диференціюються за даним показником незадовільно. Але, якщо подивитися узагальнено, то дія чинника СППЛ достовірно на високому рівні ($p < 0,001$) пояснює 63,2% загальної дисперсії показника A_s^2 . Показник d також задовільно розрізняє досліджувані кластери. Дія чинника СППЛ виявляється з високою мірою достовірності ($p < 0,001$). При цьому показник d пояснює 21,2% загальної дисперсії. Нижчий, ніж у попередніх випадках, рівень пояснювальної здатності цього показника вірогідно обумовлений його невеликою варіацією. Проте його динаміка свідчить про достатньо хорошу розрізняльну здатність.

Вирішальне підсумкове правило для визначення осіб з прийнятними для льотної діяльності характеристиками статокінетичного аналізатора побудовано за допомогою покрокового дискримінантного аналізу зі зміною кількості перемінних методом винятку. Для його здійснення до першої групи включено дані льотчиків (84 особи), а до другої – об'єднані дані раніше досліджених хворих і здорових (410 осіб).

У підсумку виділено інформативні перемінні: \ln «розмаху», квадрат асиметрії та коефіцієнт детермінації та виведено таке рівняння:

$$ПР = 0,011 + 3,2 \times \ln \text{«розмаху»} + 1,16 \times A_s^2 + 0,04 \times d$$

$$НП = -0,014 + 3,6 \times \ln \text{«розмаху»} + 0,09 \times A_s^2 + 0,01 \times d;$$

де ПР – рівняння для віднесення до групи придатних до льотної діяльності;

НП – рівняння для віднесення до групи непридатних до льотної діяльності.

Підставляючи (KA^2 , \ln «розмаху», KOP^2) значення вказаних перемінних до наведених рівнянь і здійснивши відповідні розрахунки, можна віднести підслідного до тієї чи іншої групи:

- якщо одержане значення $PR \geq NP$ – «придатний»,
- якщо $PR < NP$ – «непридатний».

Перевірка ефективності розробленого вирішального правила виявила, що 82 льотчики, вертольотчики, штурмани (97,6%) віднесені до категорії «придатні». Двоє вертольотчиків, які не потрапили до цієї категорії, мали такі відхилення у параметрах вестибулярного апарату: перший (віком 42 роки) – за рахунок відносно низького показника асиметрії в квадраті та коефіцієнта детермінації при високому розмаху; другий (37 років) – переважно за рахунок низької асиметрії в квадраті при високому розмаху.

Вважаємо, що були виявлені фахівці, які відносяться до третьої групи [3] і не рекомендовані нами до роботи як льотчики; або була зафіксована ситуативна «непридатність» (на фоні хвороби, інтоксикації, втоми тощо) унаслідок виснаження компенсаторних можливостей центрального відділку вестибулярного аналізатора, що повинно було зумовити недопущення до польотів.

Висновки

1. Запропонована методологія математичної обробки постурометричних даних зорієнтована на виявлення кількісних характеристик розташування проекції центру ваги; коефіцієнтів кореляції, асиметрії та ексцесу; довжини постурограми. Ці показники

дають змогу зробити висновок про індивідуальні можливості забезпечення функції рівноваги. За допомогою постурографічних вимірювань уточнюється уявлення про норму забезпечення функції рівноваги та межі відхилень.

2. Отримані результати однофакторного дисперсійного аналізу свідчать, що всі запропоновані постурометричні показники мають високу розрізняльну здатність і в комплексі можуть бути використані для побудови вирішального рівняння для визначення ступеня придатності до льотної діяльності.

Перспективи подальших досліджень

Показник «мода» досить добре розрізняє досліджувані кластери, про що свідчить рівень достовірності дії чинника СППЛ (ступінь професійної придатності льотчика). Цей чинник пояснює 87,7% загальної дисперсії показника «мода» ($p < 0,001$). Результат однофакторного дисперсійного аналізу показав високий рівень достовірності ($p < 0,001$) дії чинника СППЛ за показником ln «розмаху». Цей чинник пояснює 76,7% загальної дисперсії показника ln «розмаху». Водночас дія чинника СППЛ достовірно на високому рівні ($p < 0,001$) пояснює 63,2% загальної дисперсії показника A_s^2 . Отже, розроблене вирішальне правило доцільно використовувати для визначення придатності до льотної роботи.

Список літератури

1. Єна А. Моніторинг психофізіологічних функцій / А. Єна, В. Кальниш // Охорона праці. – 2003. – № 1. – С. 43–44.
2. Компанієць О. А. Гігієнічна характеристика діяльності осіб льотної складу Збройних сил / О. А. Компанієць, А. М. Нагорна // Проблеми військової охорони здоров'я: зб. наук. праць Укр. військ.-мед. акад. – К., 2008. – Вип. 24. – С. 184–198.
3. Компанієць О. А. Методика статистичної обробки результатів дослідження вестибулоспінального рефлексу в практиці комп'ютерної постурографії / О. А. Компанієць // Медицина сьогодні і завтра. – 2002. – № 3. – С. 98–101.
4. Макаренко Н. В. Теоретические основы и методики профессионального психофизиологического отбора военных специалистов / Н. В. Макаренко. – К.: НИИ ПВМ УВМА, 1996. – 336 с.
5. Прикладная статистика: Классификация и снижение размерности: [справ. изд.] / под ред. С. А. Айвазян. – М., 1989. – 607 с.
6. Швець А. В. Фізіолого-гігієнічна характеристика умов професійної діяльності військовослужбовців миротворчих контингентів ЗС України / А. В. Швець, І. А. Лук'янчук // Проблеми військової охорони здоров'я: [зб. наук. праць Укр. військ.-мед. акад.]. – К., 2006. – Вип. 16. – С. 382–387.
7. Carretta T. R. U.S. Air Force pilot selection and training methods / T. R. Carretta // Aviat. Space Environ. Med. – 2001. – Vol. 72, № 3. – P. 228–232.

**Информативные индикаторы
и решающие правила для определения
функционального состояния пилотов
по показателям постурометрии**

О.А. Компаниец (Киев)

Представлены результаты исследования функционального состояния вестибулярного анализатора лиц летного состава и контрольной группы с целью определения информативных индикаторов годности к летной работе. С помощью однофакторного дисперсионного анализа определены изменения уровней группы показателей («мода», $\ln P$, As^2 , d) качества функционирования анализатора при действии «фактора профессиональной деятельности летчика». Приведены решающие правила для определения функционального состояния пилотов по показателям постурометрии.

Ключевые слова: вестибулярный анализатор, летный состав, постурометрия, дисперсионный анализ.

**Informative indicators
and deciding rules for determining
the functional state of pilots
on indicators posturography**

О.А. Kompaniyets (Kyiv)

The article presents the results of functional studies of the vestibular analyzer of the pilots (84 expert) and the control group (420 persons) to identify informative indicators of fitness for discharge. With unvaried dispersion analysis identified changes in levels of group performance («moda», $\ln P$, As^2 , d) the quality of the analyzer under the influence «factor professional pilot. Featured deciding rules for determining the functional state of pilots on indicators posturography.

Key words: vestibular analyzer, pilot, posturography, ANOVA.

Рецензент: д-р мед. наук, проф. А.М. Нагорна.