

Індикатори змін рівня функціональних резервів організму операторів при розвитку вікових змін, втоми та асоційованих зі стресом захворювань

В.В. Кальниш¹, С.М. Пашковський², Н.В. Коваль², О.В. Пашковська³

¹Українська військово-медична академія, Київ;

²Військово-медичний клінічний центр Центрального регіону, Вінниця;

³ІІ Регіональна військово-лікарська комісія, Вінниця; e-mail: nata_renkas@ukr.net

В умовах ведення війни на території нашої держави суттєво змінилась інтенсивність розвитку подій, які оточують людину. У зв'язку з цим зросла необхідність у застосуванні простих та швидких методів оцінки функціонального стану. Особливо це стосується операторів безпілотних авіаційних комплексів, професійна діяльність яких пов'язана з великим інформаційним та фізичним навантаженням. Метою дослідження було вивчення можливостей методу стабілометрії при оцінці функціональних змін в організмі операторів, пов'язаних із втратою їх функціональних резервів. Це позначається на психофізіологічному віці, втоми та відхиленнях у операторів безпілотних авіаційних комплексів, що мають асоційовані зі стресом захворювання. Показано наявність односпрямованості психофізіологічних процесів, які відбуваються з віковими змінами, при розвитку втоми та захворювань, зумовлених впливом стресового фактора. Побудовано лінійну множинну регресійну модель, за допомогою якої можна визначити рівень та темпи старіння операторів, та нелінійну модель множинної регресії, котра може оцінити ступінь втоми, що розвивається протягом року в оператора під час виконання службових обов'язків. Використовуючи метод дискримінантного аналізу, розроблено спеціальні розв'язувальні правила, за якими можна визначити приналежність оператора до групи осіб здорових чи хворих на асоційовані зі стресом захворювання. Ключові слова: оператор безпілотних авіаційних комплексів; вік; втома; асоційовані зі стресом захворювання; стабілографічні дослідження; психофізіологічні параметри; функціональні резерви.

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку науки стабілографічний контроль більше не вважається просто сумою статичних рефлексів, основою на взаємодії динамічних сенсомоторних процесів. При розгляді цієї проблеми наголошується, що отримана інформація формується за рахунок сомато-сенсорної, вестибулярної та зорової систем [1]. Сенсорна орієнтація впливає на здатність направляти різні сегменти тіла залежно від різних умов гравітації, характеристик опорної поверхні, візуального оточення та внутрішніх орієнтирів. Статична рівновага включає в себе координацію стратегій руху для стабіліза-

ції центру тиску тіла оператора. Її корекції потрібні для підтримання рівноваги через компенсацію проявів дестабілізуючих сил. Пошкодження будь-якої з базових систем призводить до появи різних нестабільностей. Саме тому результати дослідження вестибулярної функції дають можливість, по-перше, визначити рівень збудливості вестибулярного апарата, а по-друге – ураження певних аналізаторів, якщо такі є [2].

Як вважають деякі автори [3], узагальнення основних моделей підтримання центру тиску пояснюють наявність зниження рівноваги у здорових людей старшого віку при порівнянні їх можливостей зі здоровими молодими людьми. Розглядаючи функціо-

нальну та фізіологічну оцінку балансу тіла оператора, можна зробити висновок, що вказаний метод варто використовувати для виявлення осіб, які потребують додаткового обстеження. Незважаючи на досить широке впровадження в клінічній практиці, цей метод може з успіхом використовуватись у багатьох прикладних дослідженнях, зокрема, в психофізіології праці, де свідчення про його позитивні сторони носять тільки фрагментарний характер.

Метою нашого дослідження було вивчення можливостей методу стабілометрії при оцінці функціональних змін, пов'язаних з втратою їх функціональних резервів, що впливає на психофізіологічний вік, рівень втому та функціональних відхилень у операторів безпілотних авіаційних комплексів (БпАК), що мають асоційовані зі стресом захворювання.

МЕТОДИКА

Згідно з «Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» [4], напруженість праці операторів БпАК сягає рівня 3-го класу 2-3-го ступеня [5]. Для визначення особливостей оцінки функціонального стану було обстежено 61 оператора БпАК віком до 40 років у період проходження стаціонарної лікарсько-льотної експертизи на базі Військово-медичного клінічного центру Центрального регіону. Дослідження виконували за допомогою активного медичного виробу «Прилад для дослідження вестибулярних функцій «СТА-БІЛІС» ТУ У 26.6. 37366104-002:2020» з комплектом програмного забезпечення «StabiliS» версії v2.00 [6]. Відомо, що функція рівноваги реалізується цілою низкою систем (вестибулярний та зоровий аналізатори, пропріоцептивна і тактильна чутливість та деякою мірою інші системи), але з найбільшим внеском вестибулярної,

особливо у разі виключення або мінімізації дії альтернативних джерел [2]. Тому дослідження проводили в положенні з відкритими та закритими очима. Час дослідження в кожному окремому положенні становив 2,5 хв (30 с встановлення нуля та 2 хв безпосередньо дослідження). Під час стабілографічного обстеження операторів БпАК реєстрували такі показники: Length – довжина траєкторії коливань центру тиску, AvgSpeed – середня швидкість переміщення центру тиску, Angle – усереднений кут коливань центру тиску, Pup2Sigma – відносна кількість точок стабілограми, що лежать у межах подвоєного стандартного відхилення, PirsonXY – коефіцієнт лінійної кореляції між коливаннями в фронтальній і сагітальній площинах; RangeX і RangeY – розмах коливань центру тиску у фронтальній і сагітальній площині відповідно, LengthX і LengthY – довжина траєкторії коливань центру тиску у фронтальній і сагітальній площині у фронтальній і сагітальній площині відповідно, MeanX і MeanY – середнє положення центру тиску у фронтальній і сагітальній площині відповідно, StdDevX і StdDevY – стандартне відхилення коливань центру тиску у фронтальній і сагітальній площині відповідно, SkewX і SkewY – асиметрія коливань центру тиску у фронтальній і сагітальній площині відповідно, KurtosisX і KurtosisY – ексцес коливань центру тиску у фронтальній і сагітальній площині відповідно, wAvgFX і wAvgFY – середньозважена частота спектра коливань центру тиску у фронтальній і сагітальній площині відповідно, wAvgFXY – середньозважена частота кроспектра коливань центру тиску в фронтальній і сагітальній площині, CC0X і CC0Y – зсув автокореляційної функції у фронтальній і сагітальній площині відповідно до отримання коефіцієнта кореляції менше від нуля, KPB – коефіцієнт передбачення майбутнього коливального руху порівняно з попереднім, розрахований на основі аналізу автокореляційної функції, DegKPB –

девіація коефіцієнта передбачення майбутнього коливального руху порівняно з попереднім, розрахований на основі аналізу автокореляційної функції, KFR – показник якості функції рівноваги [7–9]. KFR розраховується за допомогою аналізу векторів зсуву центру тиску щодо осей координат. Вибір цього параметра не випадковий, оскільки він є найстабільнішим інтегральним показником стійкості тіла [10]. Варто зауважити, що стабілографічна стабільність має досить сильний зв'язок зі зростом та параметрами стопи. Тому стабілографічні результати оцінки доцільно нормувати з відповідними результатами антропометрії [11].

Статистичний аналіз результатів було проведено за допомогою методів варіаційної статистики, покрокового множинного кореляційно-регресійного аналізу та методів непараметричної статистики пакету програм STATISTICA 13.3 (ліцензія АХА905I924220FAACD-N).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Як залежну змінну при дослідженні психофізіологічного віку (Т) був обраний календарний вік пацієнта, а як зовнішній індикатор рівня втоми – кількість днів, що пройшли від моменту виходу з відпустки до моменту обстеження (В). Цей показник приблизно відображає ступінь втрати функціональних резервів оператора після 100 робочих днів (фази впрацювання та стабільної працездатності). Причому кореляції між цими змінними не виявлено.

Для подальшого визначення інформативних показників та оцінки зв'язку між календарним віком обстежуваних та характеристиками їх стабілограми був застосований покроковий лінійний множинний кореляційно-регресійний аналіз, результати якого представлені на рис. 1, а. Варто констатувати, що кількість інформативних показників стабілограми, які ви-

раховували, дорівнює 11 (44% від загальної кількості аналізованих показників), а сила зв'язку з залежною змінною ($T_{во}$) сягає значення 0,61 ($P = 0,008$). Досить велику кількість інформативних показників можна пояснити невеликим діапазоном вікових розбіжностей (21 рік), що має досить складну структуру, та молодим віком контингенту військовослужбовців (від 19 до 40 років), коли можливі вікові зміни, зокрема, поступова втрата функціональних резервів організму, проявляється мінімально.

Для виявлення зв'язку між стабілографічними результатами та ступенем розвитку втоми потрібно виключити фази впрацювання і стабілізації працездатності, які проявляються після виходу з відпустки. За попередніми даними ці етапи продовжуються близько 100 днів [12]. Тому при проведенні подальшого аналізу результати операторів з терміном перебування на службі понад 100 днів були виключені. Покроковий множинний кореляційно-регресійний аналіз допоміг виділити 6 інформативних показників (24% від аналізованих), які були пов'язані із залежною змінною (кількість днів, що пройшли від моменту виходу з відпустки до моменту обстеження – $V_{во}$) зі значенням коефіцієнта кореляції 0,64 ($P = 0,01$). Аналізуючи отримані результати можна дійти висновку, що розвиток втоми у військовослужбовців протягом року відбувається більш упорядкованим чином (рис. 1, б), оскільки цей процес можна описати набагато меншою кількістю аналізованих показників стабілограми при однаковій силі зв'язку.

Якщо прийняти за доречну думку, що близькі за своїм змістом і напрямом формування процесу втрати фізіологічних резервів організму при поступовому його старінні та розвитком втоми із застереженнями про різну інтенсивність цих процесів, то можна припустити, що серед інформативних показників (які, ймовірно, описують процеси вичерпання фізіологічних резервів організму

операторів) є односпрямовані в процесі генезу аналізованих станів. Дійсно, таких показників виявлено 5: MeanX, PirsonXY, StdDevX, SkewX та RangeY. Вони здебільшого описують різні параметри коливання центру тиску тіл оператора у фронтальній площині. При цьому показники SkewX та PirsonXY вказують на можливе асиметричне та стійке привалювання сформованого коливання у фронтальній площині. Описане можливе відхилення від симетричного коливання центру тиску та упорядкування його коливань у фронтальній площині вказує на порушення положення центру тиску тіла оператора, яке викликається втомою, віковими змінами функціонального стану та наявністю асоційованих зі стресом захворювань.

Оскільки виокремлені інформативні показники займають 83% від кількості виділених за допомогою покрокового множинного кореляційно-регресійного аналізу, можна припустити їх великий внесок при

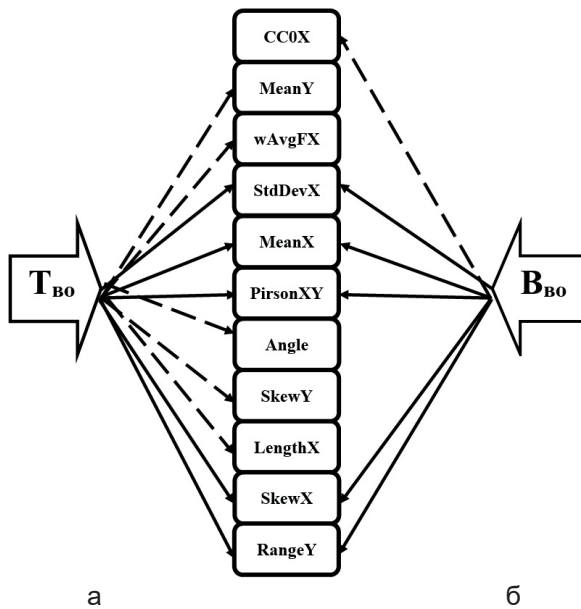


Рис. 1. Структура зв'язків залежних змінних (T_{bo} – календарного віку (а) та V_{bo} – кількості днів від моменту виходу з відпустки до моменту обстеження військовослужбовців (б)) стабілограми з показниками при їх ресстрації з відкритими очима. Безперервна стрілка – тотожні зв'язки між T_{bo} та V_{bo} з параметрами стабілограми; переривчата стрілка – їх відсутність

оцінці зміни функціонального стану в процесі розвитку втоми. Про цей факт додатково свідчать значення парціальних коефіцієнтів кореляції, які оцінюють силу зв'язку залежної (кількість днів, що пройшли від моменту виходу з відпустки до моменту обстеження) та незалежної змінної.

Показник StdDevX віддзеркалює варіабельність похитування тіла у фронтальній площині. Його збільшення (має позитивний парціальний коефіцієнт кореляції з V_{bo} , який становить 0,44; $P = 0,01$) свідчить про підвищення амплітуди коливань центру тиску, тобто є індикатором посилення втоми. Потрібно відмітити, що при розвитку втоми відбуваються події, спрямовані на дезорганізацію положення центру тиску тіла оператора. Аналіз отриманих результатів констатує наявність зв'язку V_{bo} та $CC0X$. Парціальний коефіцієнт кореляції між цими змінними є негативним і сягає рівня -0,55 ($P = 0,001$). Тобто підвищення $CC0X$, яке свідчить про покращення упорядкованості, детермінованості процесу коливання центру тиску, говорить про зменшення V_{bo} . Іншими словами, можна припустити, що сильна хаотизація переміщення центру тиску тіла оператора може віддзеркалювати процес формування втоми і, навпаки, зменшення ентропії цих коливань свідчить про нормалізацію його функціонального стану. Інші показники, які збігаються (MeanX та RangeY) розглядати не доцільно оскільки їх парціальні коефіцієнти кореляції занадто малі ($P = 0,05$).

Проведення дослідження у положенні із закритими очима пацієнта дає ефект часткового виключення впливу мозкових структур, пов'язаних з зоровим контролем руху центру тиску тіла оператора на функцію його рівноваги. Зважаючи на запропоновану гіпотезу щодо певної односпрямованості процесів вичерпання функціональних резервів організму людини, які відбуваються в процесі старіння і розвитку в неї втоми, доцільно розглянути тотожні інформативні стабілографічні параметри, отримані при

дослідженні у положенні із закритими очима (рис. 2). Варто зауважити, що таких параметрів виявилось 4: $CC0Y$, $SkewX$, $SkewY$ та $wAvgFX$. Вони характеризують змінні, які формуються без участі контролю візуальних систем організму за зміщенням центру тиску тіла оператора. Половина зазначених показників ($SkewX$, $SkewY$) пов'язана з наявністю асиметрії руху центру у фронтальній та сагітальній площинах, які є надійною ознакою послаблення контролю за нормальним симетричним зсувом положення цього центру в процесі підтримки вертикальної пози тіла. З цих результатів можна сформулювати думку, що асиметричне порушення стабільності центру тиску є маркерами зменшення контролю за цим процесом, який активізується при зниженні рівня функціональних резервів організму людини. Інші тотожні показники теж уточнюють фізіологічне забезпечення підтримки вертикальної пози тіла людини. Так, параметр $CC0Y$ оцінює ступінь випадковості рухів центру тиску тіла оператора в сагітальній площині, непередбачуваний значний зсув якого може призвести до його зниження. Показник $wAvgFX$ характеризує упорядкованість коливань тіла, що теж вказує на його важливість у підтриманні вертикального положення.

Проведений аналіз зв'язку T_{30} з параметрами стабілограми виявив 7 інформативних параметрів, що становить 28% аналізованих показників (див. рис. 2, а). Множинний коефіцієнт кореляції при цьому сягає значення 0,55 ($P < 0,006$). Такий рівень зв'язку з T_{30} є дещо меншим, ніж аналогічний, отриманий з відкритими очима, що підтверджує зміну коливання центру тиску за умов виключення зорового аналізатора. Показано наявність двох достовірних коефіцієнтів парціальної кореляції стабілографічних показників з T_{30} . Це позитивний зв'язок з параметром $MeanY$ – 0,29 ($P = 0,03$). Він показує, що зі збільшенням $MeanY$ підвищується значення психофізіологічного

віку обстежуваного. Інший уже негативний зв'язок з T_{30} виявляється з параметром $CC0Y$ ($r = -0,28$, $P = 0,04$). Тим самим констатується, що при збільшенні хаотизації руху центру тиску (зменшення $CC0Y$) підвищується психофізіологічний вік оператора. Тут доречно підкреслити, що значення парціальних коефіцієнтів кореляції з T_{30} є набагато меншими порівняно з отриманими при дослідженні цієї характеристики з відкритими очима, що свідчить про значний внесок зорового аналізатора в підтримання центру тиску тіла оператора.

Найбільш складною при побудові регресійного рівняння виявилася модель зав'язку комплексу стабілографічних характеристик, отриманих у положенні із закритими очима та залежною характеристикою B_{30} (див. рис. 2, б).

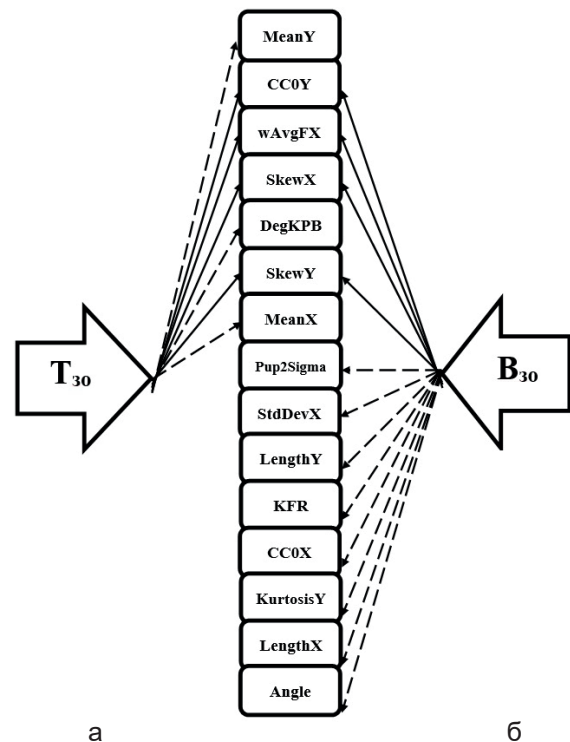


Рис. 2. Структура зав'язків залежних змінних (T_{30} – календарного віку (а) та B_{30} – кількості днів від моменту виходу з відпустки до моменту обстеження військовослужбовців (б)) стабілограми з показниками при їх реєстрації із закритими очима. Безперервна стрілка – тотожні зв'язки між T_{30} та B_{30} з параметрами стабілограми; переривчата стрілка – їх відсутність

Сила зв'язку з цією характеристикою сягає 0,80 ($P = 0,007$), а кількість залучених до побудови моделі стабілографічних параметрів – 13 (52% від максимально можливих). Незважаючи на свою складність ця модель краще описує процеси втрати фізіологічних резервів організму, ніж та, що побудована на результатах у положенні з відкритими очима. Наведений факт, може свідчити, про маскування втрати фізіологічних резервів за участю зорового аналізатора і відповідних мозкових структур. Наявність додаткової зорової інформації вносить більшу кількість випадкових складових у модель зв'язку $V_{во}$ зі стабілографічними характеристиками, чим знижує рівень множинного коефіцієнта кореляції.

За допомогою низки парціальних коефіцієнтів кореляції можна виявити напрями зрушень стабілографічних параметрів при зміні рівня втоми. Так, V_{30} пов'язана з $Pup2Sigma$ на рівні $-0,47$ ($P = 0,04$). Із зазначеного можна зробити висновок, що збільшення кількості точок стабілограми, що лежать у межах подвоєного стандартного відхилення ($Pup2Sigma$) доводить факт меншого рівня втоми військовослужбовця-оператора. Збільшення амплітуди коливань центру тиску у вказаних вище межах за параметром $StdDevY$, який парціально корелює з V_{30} на рівні $-0,49$ ($P = 0,01$) свідчить про менший рівень втоми. Найбільше на V_{30} впливає параметр $LengthY$, що віддзеркалює довжину траєкторії коливань центру тиску в сагітальній площині. Ступінь зв'язку вказаного параметра з V_{30} дорівнює $0,57$ ($P = 0,003$). Тобто підвищення $LengthY$ говорить про збільшення рівня втоми. Майже такий, як і в попередньому прикладі зв'язок V_{30} , спостерігається з параметром KFR . Сила цього зв'язку за парціальним коефіцієнтом кореляції становить $0,48$ ($P = 0,01$). З цього результату видно, що збільшення показника якості функції рівноваги у положенні із закритими очима є індикатором поглиблення рівня втоми. Ще один показник має достатньо

високий зв'язок з V_{30} . Це параметр $KurtosisY$ (ексцес коливань центру тиску в сагітальній площині), який має парціальний коефіцієнт кореляції з вказаною залежною змінною на рівні $-0,40$ ($P = 0,05$). Тобто збільшення $KurtosisY$ у певних межах свідчить про зменшення рівня втоми.

Як видно з наведених результатів, кожен з параметрів унікальним чином віддзеркалює розвиток втоми. Крім наряду можливих змін втоми, описані індикатори мають свої коефіцієнти сили впливу на V_{30} . Тому для визначення рівня втоми потрібно застосовувати весь виділений комплекс стабілографічних параметрів.

Якщо зробити аналіз внеску тотожних параметрів у формування зв'язку між залежними (вік, втома) та незалежними стабілографічними показниками, отриманими у положенні із закритими очима, то можна сформулювати висновок, що тотожні параметри відіграють більшу роль в організації зв'язку з T_{30} (57% від загальної кількості інформативних стабілографічних показників). У формуванні зв'язку з рівнем втоми (V_{30}) вони мають менше значення (31%). Отже, розвиток втоми у операторів здебільшого зумовлений функціонуванням специфічних механізмів зниження функціональних резервів організму.

Практичну оцінку теоретичного віку оператора можна здійснити за допомогою наведеного рівняння:

$$T_{во} = 15,82 - 6,88 \times wAvgFX + 0,36 \times MeanY - 21,07 \times KPВ + 0,46 \times MeanX + 21,34 \times PirsonXY - 2,8 \times StdDevX - 0,21 \times Angle + 3,6 \times SkewY + 0,01 \times LengthX + 3,52 \times SkewX - 0,16 \times RangeY,$$

де: $T_{во}$ – психофізіологічний вік оператора БпАК у положенні з відкритими очима.

Для уточнення теоретичної оцінки рівня втоми, яка розвивається за менший проміжок часу, ніж вікові зміни, у розрахунок множинної регресійної моделі були включені квадрати стабілографічних параметрів.

Коефіцієнт кореляції при цьому виріс до 0,92 ($P = 0,00003$). Для визначення рівня втоми за комплексом психофізіологічних показників з допомогою покрокового множинного регресійного аналізу була побудована така модель:

$$B_{30} = -705,55 - 33,98 \times \text{Pup2Sigma} + 115,8 \times \text{StdDevX} - 3,94 \times \text{StdDevY}^2 - 0 \times \text{LengthY} - 7390,18 \times w \text{AvgFXY}^2 + 118,18 \times \text{SkewX} + 13192,54 \times w \text{AvgFXY}^2 - 0,39 \times \text{RangeX} + 48,87 \times \text{KFR} - 12,54 \times \text{CC0X} + 1,32 \times \text{LengthY} + 0,17 \times \text{CC0X}^2 - 106,03 \times \text{KurtosisY}^2 - 3,53 \times \text{Angle} + 125,31 \times \text{AvgSpeed},$$

де: B_{30} – кількість днів, що пройшли від моменту виходу з відпустки до моменту обстеження операторів БпАК у положенні із закритими очима.

Ще одним процесом, який характеризується зменшенням функціональних резервів організму є розвиток асоційованих зі стресом захворювань. На думку деяких авторів [13, 14], їх викликають стресові фактори та поширюються вони практично на всі органи та системи організму. Було досліджено вплив асоційованих зі стресом захворювань серцево-судинної системи (ССС; гіпертонічна хвороба, вегето-судинні дистонії, порушення

серцевого ритму та провідності серця тощо) та шлунково-кишкового тракту (ШКТ; гастроєзофагеальна рефлюксна хвороба, гострі та хронічні гастрити, гострі ерозії шлунка та дванадцятипалої кишки, виразкова хвороба шлунка та дванадцятипалої кишки тощо) [13]. Фізіологічний стрес призводить до ульцерогенної комбінації ішемії та підвищення секреції соляної кислоти, що характеризується схильністю до розвитку відповідних патологічних змін слизової оболонки шлунка та дванадцятипалої кишки. Ці захворювання часто мають безсимптомний перебіг, тому можуть бути виявлені під час планових медичних обстежень. Згодом клінічна картина таких захворювань може з'явитися. На скільки швидким буде розвиток скарг у пацієнтів при цьому достеменно невідомо – все залежить від індивідуальних особливостей організму оператора. Та що довшим буде латентний період, то більше це впливатиме на їх психофізіологічний статус. Тому для оцінки наявності асоційованих зі стресом захворювань можна запропонувати використовувати коефіцієнт Ромберга, що рівний відношенню відповідних параметрів у положенні з закритими та відкритими очима [16, 17].

У таблиці наведено стабілографічні показники, які відрізняються у здорових

Стабілографічні показники (за коефіцієнтом Ромберга), які є індикаторами асоційованих зі стресом захворювань

Показник	Здорові (n = 13)	Хворі (n = 25)	Критерії відмінності
Середнє положення центру тиску, мм			Wald-Wolfowitz
у фронтальній площині	0,53	0,05	
у сагітальній площині	1,88	-0,18	U Mann-Whitney
Середньозважена частота спектра коливальності тиску у фронтальній площині, Гц	1,11	1,08	Wald-Wolfowitz
Коефіцієнт передбачення майбутнього коливального руху, ум.од.	1,15	0,97	Kolmogorov- Smirnov U Mann-Whitney
Девіація коефіцієнта передбачення майбутнього коливального руху, ум.од.	0,44	0,35	Wald-Wolfowitz

на хворих на асоційовані зі стресом захворювання операторів. Інформативними є 5 характеристик. За цими стабілометричними параметрами за допомогою покрокового дискримінантного аналізу розроблено спеціальні розв'язувальні правила, застосування яких може свідчити про наявність асоційованого зі стресом захворювання. Якість поділу операторів БпАК на здорових та хворих на асоційовані зі стресом захворювання становить 97,4%.

$$Z = -36,3 + 1,01 \times \text{MeanX} + 1,07 \times \text{MeanY} + 56,91 \times w\text{AvgFX};$$

$$X = -16,23 + 0,55 \times \text{MeanX} + 0,5 \times \text{MeanY} + 37,08 \times w\text{AvgFX},$$

де: Z – здорові оператори БпАК, X – хворі на асоційовані зі стресом захворювання оператори БпАК. Для визначення стану здоров'я оператора потрібно підставити його результати в обидві формули. Якщо X більше, ніж Z, то можна вважати, що у такого оператора зрушення стабілографічних параметрів свідчать про наявність хвороби. Для уточнення діагнозу слід застосувати додаткові методи обстеження.

Функціональні резерви – це віддзеркалення здатності організму реагувати на змінні умови довкілля та зберігати оптимальну функцію органів і систем. Деякі автори [18] довели, що особи з високими функціональними резервами мають кращі функціональні показники, і навпаки, особи з низькими функціональними резервами мають гірші функціональні показники, ніж було прогнозовано. Наявність такого феномену може свідчити про певні проблеми, ймовірно, зміни у стані здоров'я оператора. Так, функціональний резерв має здатність знижуватися з віком та з розвитком втоми. Такі зміни можуть ставити від сумнів успішність виконання операторами завдань за призначенням [18, 19]. Функціональні резерви організму операторів достатньо тісно пов'язані з розвитком різними негативних

станів [20]: психофізіологічним старінням організму, розвитком хронічної втоми та асоційованих зі стресом захворювань. Застосування стабілографічного методу для попередження розвитку цих негативних станів є зручним і швидким прийомом для підтримання належного стану здоров'я військовослужбовців.

Оскільки основна частина операторів-військовослужбовців було віком до 40 років доцільно спочатку проводити обстеження осіб цього віку, а потім розглядати весь віковий діапазон за відповідними прийомами. Це дасть змогу не враховувати гормональні перебудови в організмі обстежуваних, які, можливо, будуть робити свій внесок у результати.

ВИСНОВКИ

1. Стабілографічні параметри можуть віддзеркалювати функціональні зрушення в організмі оператора, які пов'язані з рівнем його функціональних резервів, що, ймовірно, зумовлено односпрямованими психофізіологічними процесами, які свідчать про наявність вікових змін, розвитку втоми та асоційованих зі стресом захворювань.

2. Виявлено інформативні характеристики стабілограми у положенні з відкритими очима, які супроводжують вікові зміни організму операторів. Розроблено лінійну множинну регресійну модель, за допомогою якої можна визначати рівень та темпи психофізіологічного старіння операторів.

3. Встановлено інформативні характеристики стабілограми у положенні із закритими очима, які визначають розвиток втоми оператора, що формується протягом тривалого періоду. Побудована нелінійна модель множинної регресії, за допомогою якої можна оцінити ступінь втоми, що розвивається у оператора в процесі його професійної діяльності. Множинний коефіцієнт кореляції за лінійними показниками сягає значення 0,80, а з включенням нелінійних стабілографічних

параметрів – 0,92. Це значно покращує якість прогнозування.

4. Показано, що комплекс коефіцієнтів Ромберга, отриманих за результатами стабілографії, відображає процеси втрати функціональних резервів організму операторів при розвитку асоційованих зі стресом захворювань. Розроблені розв'язувальні правила, з допомогою яких можна оцінити стан здоров'я оператора з надійністю 97,4%.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of co-authors of the article.

V.V. Kalnysh¹, S.M. Pashkovskiy², N.V. Koval², O.V. Pashkovska³

INDICATORS OF CHANGES IN THE LEVEL OF FUNCTIONAL RESERVES OF THE ORGANISM OF OPERATORS IN THE DEVELOPMENT OF AGE CHANGES, FATIGUE AND STRESS-ASSOCIATED DISEASES

¹Ukrainian Military Medical Academy, Kyiv;

²Military Medical Clinical Centre of the Central Region, Vinnytsia;

³11th Regional Military Medical Commission, Vinnytsia; e-mail: nata_renkas@ukr.net

In the condition of war on the territory of our country, the intensity of the development of events that surround a person has changed significantly. In this regard, the need to apply simple and quick methods of assessing the functional state has increased. This especially applies to operators of unmanned aircraft systems, whose professional activity is associated with a large informational and physical load. The purpose of study was to study the possibilities of the stabilometry methods in assessing functional changes in the body of operators associated with the loss of their functional reserves. This affects the psychophysiological age, fatigue and deviations in operators of unmanned aircraft systems, which have a stress-associated diseases. The presence of unidirectionality of psychophysiological processes that occur with age changed, during the development of fatigue and diseases, caused by the influence of a stress factor is shown. A linear multiple regression model was built, which can be used to determine the level and rate of aging of operators, and a nonlinear multiple regression model

that can estimate the degree of fatigue that develops during the year in the operator while performing official duties. With help of the method of discriminant analysis, special solving rules have been developed, according to which it is possible to determine whether the operator belongs to a group of healthy persons or those suffering from stress-associated diseases.

Key words: operator of unmanned aircraft systems; age; fatigue; stress-associated diseases; stabilographic studies; psychophysiological parameters; functional reserves.

REFERENCES

1. Horak FB. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age Ageing*. 2006;35(2):7-11.
2. Companyets OA. Static equilibrium: clinical aspects and professional selection of military personnel. Kamianets-Podilskyi: Ruta Printing House; 2022. 288 p.
3. Lacour M, Bernard-Demanze L, Dumitrescu M. Posture control, aging, and attention resources: models and posture-analysis methods. *Contrôle postural, vieillissement et charge attentionnelle : théories et méthodes d'analyse de la posture*. *Neurophysiol Clin Clin Neurophysiol*. 2008;38(6):411-21.
4. On the approval of the State sanitary norms and rules "Hygienic classification of work according to indicators of harmfulness and danger of factors of the production environment, difficulty and tension of the labor process", Order of the Ministry of Health of Ukraine No. 248 [Internet], 8 Apr. 2014 [cited 24 Apr. 2023] (Ukraine). Available on: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14#Text>.
5. Kalnysh VV, Shvets AV, Pashkovskiy SM, Koval NV, Lutsenko LI. Features of the formation of work stress in operators of unmanned aircraft complexes. *Modern Aspects Military Med*. 2023; 30(1):20-37.
6. Kochina ML, Kaminskyi AA. Hardware and software complex for the study of the static dynamic stability of a person. *Appl Radio Electron*. 2012;11(1):120-4.
7. Kochina ML, Chernozub AA, Kochin OV, Adamovich RG, Stefiuk IK, Firsov OG. Approaches to predicting changes in the functional state of athletes specializing in hand-to-hand combat using fuzzy logic. *Klin Inform Telemed*. 2019;14(15):131-40.
8. Sliva SS. Domestic computer stabilography: engineering standards, functional capabilities, and fields of application. *Biomed Eng Jan*. 2005;39(1):31-4.
9. Sologubov EG, Yavorskii AB, Kobrin VI, Nemkova SA, Sinel'nikova AN. Use of computer stabilography and computer-assisted biomechanical examination of gait for diagnosis of posture and movement disorders in patients with various forms of infantile cerebral paralysis. *Biomed Eng*. 2000;34(3):138-43.
10. Usachev VI, Dotcenko VI, Kononov AF, Artemov VG. The new methodology of stabilometric diagnostic at dysfunction of body equilibrium. *Bull Otorhinolaryngol*. 2009;3:19-21.

11. Chaudhry H, Bukiet B, Ji Z, Findley T. Measurement of balance in computer posturography: Comparison of methods – A brief review. *J Bodyw Mov Ther.* 2011;15(1):82-91.
12. Kalnysh VV, Trinko IS, Pashkovsky SM, Koval NV, Bomk OV, Tyshchenko VK. The peculiarities of assessing the psychophysiological traits of military pilots when exercising periodic control of their professionally important qualities. *Rep Vinnytsia Natl Med Univ.* 2021;25(1):157-64.
13. Kalnysh VV, Serheta IV, Pashkovskiy SM, Koval NV. Peculiarities of the influence of stress-associated diseases on the psychophysiological state of operators of unmanned aircraft systems. *Ukr J Military Med. Proceedings of the 5th Scientific and Practical conference “Volodymyr Pasko Academic readings within the framework of the 31th International Medical Exhibition “PUBLIC HEALTH””.* 2022 Oct 6; 3(addition) (3):37-41. [Ukrainian].
14. Kundiev YY, Kalnysh VV, Nagornaya AM. The role of stress in shaping population health: a structural analysis. *AMS of Ukraine.* 2002;8(2):335-45.
15. Knyazkova II. Health of Ukraine / INFOMEDIA | information for healthcare professionals [Internet]. Gastric and duodenal ulcer disease: diagnostic aspects; 15 Nov. 2020 [cited 24 Apr. 2023]. Available on: <https://health-ua.com/article/62210-virazkova-hvoroba-shlunka--tadvanadtcyatipalo-kishki--aspekti-dagnostiki>.
16. Chen B, Liu P, Xiao F, Liu Z, Wang Y. Review of the upright balance assessment based on the force plate. *Int J Environ Res Publ Health.* 2021;18(5):2696.
17. Prieto TE, Myklebust JB, Hoffmann RG, Lovett EG, Myklebust BM. Measures of postural steadiness: differences between healthy young and elderly adults. *IEEE Trans Biomed Eng.* 1996;43(9):956-66.
18. Kraal AZ, Massimo L, Fletcher E, Carrión CI, Medina LD, Mungas D, Gavett BE, Farias ST. Functional reserve: the residual variance in instrumental activities of daily living not explained by brain structure, cognition, and demographics. *Neuropsychology.* 2021;35(1):19-32.
19. McKenzie C, Bucks RS, Weinborn M, Bourgeat P, Salvado O, Gavett BE. Cognitive reserve predicts future executive function decline in older adults with Alzheimer's disease pathology but not age-associated pathology. *Neurobiol Aging.* 2020;88:119-27.
20. Kalnysh VV, Shvets AV, Pavlyuk SS. Changes in the electrical activity of the brain during the rehabilitation of servicemen with remote consequences of combat mental trauma. *Fiziol Zh.* 2019;69(2):43-51.

*Матеріал надійшов
до редакції 10.05.2023*