

ВПЛИВ НИЗЬКОЧАСТОТНИХ ФЛУКТУАЦІЙ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ НА ВЕГЕТАТИВНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛЮДИНИ

Горго Ю.П.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Берестейський пр. 37, 03056, м. Київ
yugorgo@ukr.net

Були проведені експерименти по вивченню впливу модельованих слабких ($A = 50\div 80$ Па) низькочастотних (< 1 Hz) коливань атмосферного тиску (НКАТ), що імітували природні флуктуації атмосферного тиску при помірному рівні збурень, на вегетативні показники здорової людини в стані спокою. На групі волонтерів було визначено, що 20-хвилинна експозиція НКАТ супроводжувалась змінами артеріального тиску, температури, тривалості затримки дихання та частоти серцевих скорочень. Проведено кореляційний та статистичний аналіз даних щодо відносних змін вегетативних показників людини при впливах НКАТ. Показано, що достовірне збільшення середньої тривалості кардіоінтервалів під впливом НКАТ, в порівнянні з контролем, супроводжується достовірним посиленням потужності спектра варіабельності серцевого ритму в низькочастотному і високочастотному діапазонах. З'ясовано, що хаотичні та періодичні НКАТ можуть мати стимулюючий чи дезорганізуючий вплив на характер реакцій вегетативних характеристик людини, який залежить від вікових та функціональних особливостей людини, а також особливостей центральної регуляції активності артеріальних барорецепторів. В атмосфері Землі часто виникають флуктуації атмосферного тиску в частотному діапазоні змодельованих НКАТ, але із більшими амплітудами. В сучасних умовах життєдіяльності людини також часто виникають штучні коливання тиску з подібними амплітудно – частотними характеристиками. Виявлені відмінності в реакціях на періодичні та хаотичні НКАТ вказують на можливі негативні фізіологічні реакції людини при дії значних рівнів природних та штучних коливань атмосферного тиску, які здатні впливати на безпеку життєдіяльності людини та можуть мати соціальні наслідки їх дії. Флуктуації атмосферного тиску слід вивчати та контролювати, як екологічно важливий фактор. *Ключові слова:* низькочастотні коливання атмосферного тиску, вегетативні показники, амплітудно-частотні характеристики.

The effect of low-frequency fluctuations in atmospheric pressure on human vegetative characteristics. Gorgo Yu.

Experiments were conducted to study the effect of simulated weak ($A = 50\div 80$ Pa) low-frequency (< 1 Hz) atmospheric pressure fluctuations (LAPF), which mimicked natural atmospheric pressure fluctuations at a moderate level of disturbance, on the autonomic parameters of a healthy person at rest. In a group of volunteers, it was determined that a 20-minute exposure to LAPF was accompanied by changes in blood pressure, temperature, breath-holding duration, and heart rate. A correlation and statistical analysis of data regarding relative changes in human vegetative parameters under the influence of LAPF was conducted. It was shown that a significant increase in the average duration of cardiac intervals under the influence of LAPF, compared to the control group, is accompanied by a significant increase in the power of the heart rate variability spectrum in the low-frequency and high-frequency ranges. It was found that chaotic and periodic LAPFs can have a stimulating or disorganizing effect on the nature of human autonomic responses, which depends on the individual's age and functional characteristics, as well as on the characteristics of central regulation of arterial baroreceptor activity. In the Earth's atmosphere, fluctuations in atmospheric pressure frequently occur within the frequency range of the simulated LAPFs, but with larger amplitudes. In modern living conditions, artificial pressure fluctuations with similar amplitude-frequency characteristics also frequently occur. The identified differences in reactions to periodic and chaotic atmospheric pressure fluctuations indicate possible negative physiological reactions in humans when exposed to significant levels of natural and artificial atmospheric pressure fluctuations, which can affect human safety and may have social consequences. Atmospheric pressure fluctuations should be studied and monitored as an ecologically important factor. *Key words:* low-frequency atmospheric pressure fluctuations, vegetative indicators, amplitude-frequency characteristics.

Постановка проблеми. Людське суспільство знає, що існують несприятливі дні, коли кількість захворювань, аварій, нещасних випадків, проявів агресивності значно підвищується. Часто це пов'язують із змінами погоди, метеорологічних факторів чи геомагнітних збурень [1]. Одна із гіпотез пояснює це можливим космічним впливом на параме-

три атмосферного тиску повітря [2]. Показано, що вплив сонячної активності на живі істоти може передаватися через інфразвуковий шум, що створюється в атмосфері Землі природним шляхом чи через діяльність людини в діапазоні дуже низьких частот, біля 0.01-1 Гц [3]. Відомо, що існують різні типи низькочастотних флуктуацій атмосферного тиску



(ФАТ). Безладні (хаотичні) ФАТ існують в діапазоні частот нижче 1 Гц, і є природним шумом атмосфери, що виникає при багатьох природних явищах: проходженні атмосферних фронтів, штормах, ураганах, землетрусах тощо [4]. Амплітуди природних ФАТ залежать від потужності атмосферних збурень і їх помірні значення в середніх широтах можуть досягати 50-100 Па [5]. Існує ще турбулентний шум атмосферних течій з дуже широким спектром низьких частот та внутрішні гравітаційні хвилі, з частотами нижче 0.01 Гц [6].

При діяльності людини також виникають інфразвуки, що створюють технічні пристрої в діапазоні 0,5-5 Гц, які відомі своїми значним впливом на психофізіологічні системи [7]. Повідомлялось про значний негативний вплив штучних коливань тиску повітря з періодом близько 4 с та амплітудою від 50 до 500 Па на деякі види працездатності людини [8]. Ми відносимо такі коливання тиску до штучних ФАТ [9].

Тому актуальним завданням була перевірка гіпотези, чи може вплив низькочастотних природних та штучних ФАТ викликати помітні зміни у вегетативних та психофізіологічних характеристиках людини. Було виконано дослідження з метою перевірки здатності модельованих штучних коливань тиску повітря на частотах < 1Hz викликати суттєві зміни вегетативних параметрів здорової людини в стані спокою.

Методика досліджень. Група здорових волонтерів піддавалася дії змодельованих слабких низькочастотних коливань атмосферного тиску (НКАТ), з параметрами природних ФАТ в низькочастотному діапазоні, типовими для помірного рівня атмосферних збурень. Індикаторами реакцій організму людини на такі впливи були обрані такі вегетативні показники, як частота пульсу, тривалість затримки дихання, артеріальний тиск крові та температура тіла. Також було оцінено впливи змодельованих НКАТ на спектральну динаміку варіабельності кардіоінтервалів у високочастотному (дихальному) і низькочастотному (судинному) діапазонах [10].

Змодельовані НКАТ створювали за допомогою генератора низьких частот. Період і амплітуда таких НКАТ регулювалась відповідно у діапазоні 1÷100 с та $20 \div 100$ Па. Амплітуду НКАТ контролювали за допомогою приладу "Атмосфера-Р1", що вимірював амплітуду на частотах < 1Hz і виробляв запис у власну пам'ять з виходом на комп'ютера. В експериментах застосовувалися наступні види НКАТ:

- 1) близькі до синусоїди слабкі періодичні сигнали з періодами коливань $T = 15, 30, 45$ або 90 с з амплітудами $A = 50-80$ Па та $T = 6$ с ($A = 30$ Па);
- 2) квазіхаотичний сигнал, що імітував хаотичні ФАТ з амплітудою 50 Па.

В експериментах найчастіше період НКАТ складав 45 с, а амплітуда 50 Па.

Для вимірювань частоти пульсу, артеріального тиску та температури тіла був застосований автома-

тизований вимірювач фізіологічних характеристик КТД-8 фірми "Медімпекс". Періоди кардіоінтервалів вимірювались ритмокардіоскопом РКС-01. Для візуалізації кардіосигналу використовували електрокардіоскоп ЕКС 2-01.

У експериментах приймали участь 45 практично здорових волонтерів віком від 20 до 60 років. Кожен з них брав участь, в більшості, у 8 модельних і 8 контрольних експериментах. Всього було проведено 253 експериментів. Дослідження проводили індивідуально з кожним учасником, в ізолюваному для зовнішнього тиску приміщенні, один раз на день у призначений для цього час. Експерименти проводили у положенні сидячи. Частоту серцевого ритму ресстрували за першим стандартним відведенням.

Порядок чергування модельних і контрольних експериментів був випадковим. Учасникам експерименту не повідомляли, коли застосовували НКАТ в поточному експерименті. В контрольному і модельному експериментах учасники виконували слабке розумове навантаження (комп'ютерна гра Tetris) та тест на затримку дихання. Всі вони були поінформовані про характер експериментів та сигнал, що застосовувався. В експериментах застосовували періодичні та хаотичні слабкі низькочастотні коливання атмосферного тиску, які імітували природні ФАТ. Експозиція НКАТ тривала 20 хвилин при 30-хвилинному часі експерименту.

Вимірювали 2 варіанти частоти серцевих скорочень: звичайну, усереднену за 1 хв, та текучу величину, що визначалася по 5 ударах пульсу. Останній варіант був корисний для оцінки варіабельності пульсу. Температуру тіла вимірювали за допомогою терморезистивного сенсора з відповідною похибкою $\pm 0.05^{\circ}\text{C}$. Термосенсор закріплювали на шиї учасника. За даними кожного двоххвилинного запису кардіоінтервалів обчислювали середню тривалість кардіоінтервалів (T-tr), а також такі спектральні показники ритму серця, як щільність потужностей високочастотної (ВЧ) (0.15-0.4Гц) і низькочастотної (НЧ) (0.04 – 0.15 Гц) компоненти спектру варіабельності кардіоінтервалів та співвідношення (НЧ/ВЧ) [11].

В отриманих даних аналізували відносні зміни вегетативних показників, як різницю між значеннями показника, отриманими в першому і повторному вимірюванні, віднесено до їхньої середньої величини. Індивідуальні значення частоти пульсу та артеріального тиску перед усередненням по групі ділили на відповідні індивідуальні середні величини для їх переведення у відносні одиниці.

Спектральний аналіз проводили за допомогою швидких перетворень Фур'є. Набори даних кардіоінтервалів перевіряли візуально та усували всі артефакти. Більшість наборів даних з абсолютними значеннями показників відхилялися від нормального розподілу. Однак відносні зміни показників (Смірнова-Колмогорова) вірогідних

відзнак від нормального розподілу не виявили. Вірогідність відмінностей між двома наборами даних оцінювали за t-критерієм Стьюдента. Для оцінки залежності відносних змін показників від вихідного рівня одного з показників застосовували дисперсійний аналіз. Вихідні значення показника відносили до підвищеного рівня, якщо його величина перевищувала середнє індивідуальне значення, і до пониженого, у протилежному випадку. Досліджували також характер взаємозв'язку між відносними змінами показників за допомогою кореляційного аналізу. Статистичну обробку даних проводили за допомогою пакетів Statistica-6 і Microsoft Excel.

Отримані результати. Ми спостерігали індивідуальну реакцію зміни частоти пульсу від початкових значень на включення та виключення хаотичних НКАТ з $A=50$ Па. Пульс вірогідно підвищувався при включенні НКАТ та повертався до попереднього значення після виключення генератора (рис. 1).

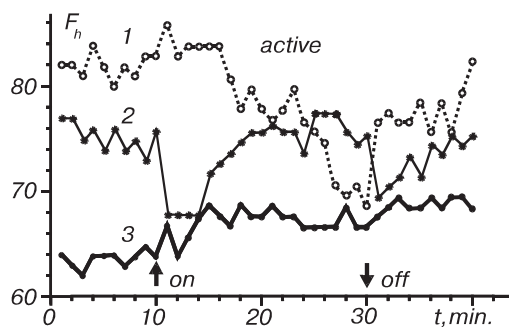


Рис. 1. Зміни в часі індивідуальної частоти пульсу у 1-му, 2-му та 3-му експериментах. Моменти включення та виключення генератора НКАТ указані стрілками. F_h – значення частоти пульсу (уд /хв)

Також відмічено, що включення НКАТ викликало збільшення варіабельності частоти пульсу, яка залишалася підвищеною протягом всього часу дослідження (рис. 2).

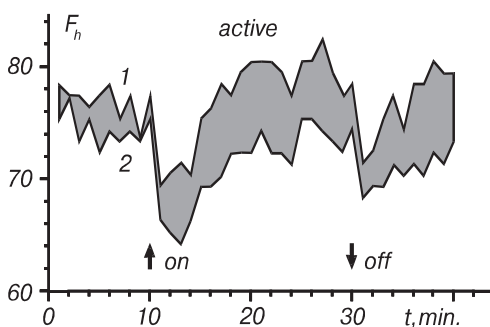


Рис. 2. Зміни в часі біжущих значень максимальної (1) та мінімальної (2) частоти пульсу в одному і тому ж експерименті. Виміри по 5 значеннях пульсу

F_h – значення частоти пульсу (уд /хв).

Слід також відмітити, що усереднена по групі відносна зміна ($F_h\%$) частота пульсу за весь час дії змодельованих (activ) НКАТ була достовірно та стабільно вищою за період, коли генератор був виключений. В контролі (control) для цієї ж групи такої стабільності підвищення частоти пульсу не відмічено (рис. 3).

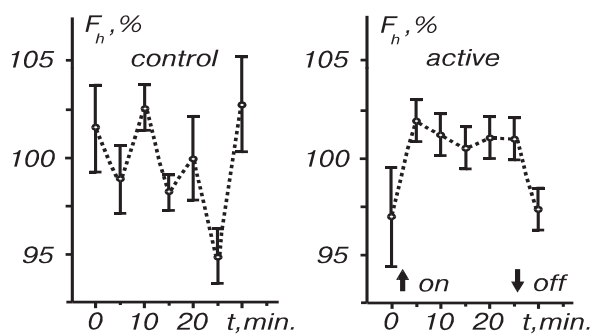


Рис. 3. Усереднені по групі відносні зміни ($F_h\%$) частоти пульсу

Вертикальні відхилення показують величину стандартної похибки кожного середнього значення виміру. 100-процентний рівень $F_h\%$ показника відповідає його середньому значенню під час експерименту.

Зміни артеріального тиску під дією НКАТ, в середньому по групі, відрізнялася від контролю. В контрольних досліджах як систолічний тиск P_{sys} (рис.4), так і діастолічний тиск P_{dia} (рис.5) мали явну тенденцію до зниження. Можливо, це відбувалось внаслідок зниження тонуусу судів системи кровообігу в процесі експерименту, як результат нерухомості, монотонії та відсутності будь-якої роботи.

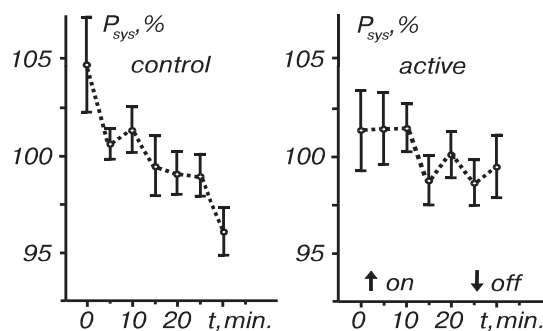


Рис. 4. Усереднені по групі зміни артеріального тиску в контролі та при моделюванні НКАТ

В той же час під дією НКАТ тенденція систолічного артеріального тиску до падіння зникала (рис.4), що вказує на стимулюючу дію НКАТ на тиск крові. Однак, всі індивідуальні реакції тиску крові у обстежуваних на дію НКАТ виявилися складними і потребують більш детального вивчення.

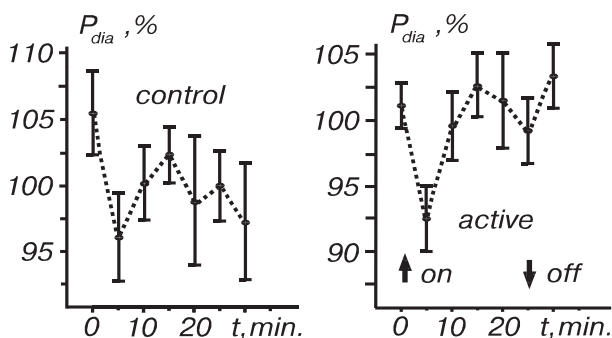


Рис. 5. Усереднені по групі зміни діастолічного артеріального тиску в контролі та при моделюванні НКАТ

Усереднена по групі температура тіла в контрольних дослідах показала виражену тенденцію до росту (рис.6). Це могло бути проявом адаптації організму до знаходження в пасивному, розслабленому стані, де будь-які емоційні впливи були виключені. В період роботи генератора НКАТ зміни температури тіла відбувалися, але не достовірно (рис.6). Різниця у поведінці змін температури під дією НКАТ та в контролі вказує на стимулюючу дію цього фактору на температуру.

Періодичні та хаотичні змодельовані коливання атмосферного тиску (НКАТ) у багатьох випадках по різному впливали на вимірювані вегетативні показники. Найбільш явний ефект такого впливу на відносні зміни (F_h %) усередненої по групі частоти

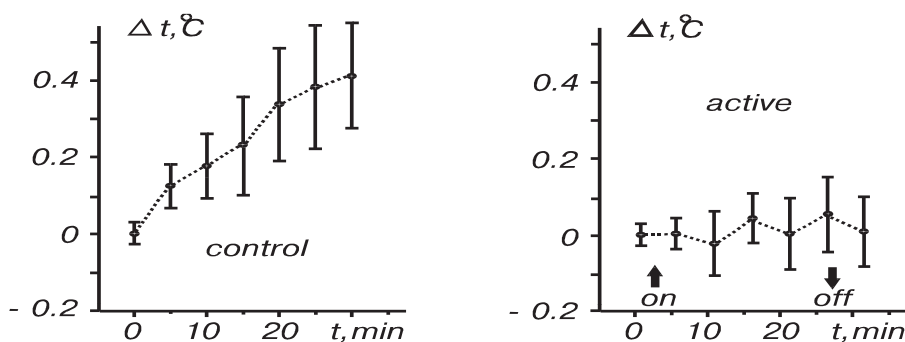


Рис. 6. Усереднені по групі зміни температури тіла в контролі та при моделюванні НКАТ

пульсу мав місце при дії періодичних НКАТ з $T = 30, 45$ та 90 с (рис. 7). При дії періодичних НКАТ на цих частотах спостерігались вірогідне уповільнення пульсу. Але видно, що при дії хаотичних НКАТ відбувається значне підвищення частоти серцевих скорочень (рис. 7).

Крім того, як з'ясувалось, при дії періодичних НКАТ з періодом $T = 30$ відбувалось найбільше збільшення тривалості затримки дихання (рис.8). Різниця у результатах змін тривалості затримки дихання під дією НКАТ та в контролі додатково вказує на стимулюючу дію цього фактору.

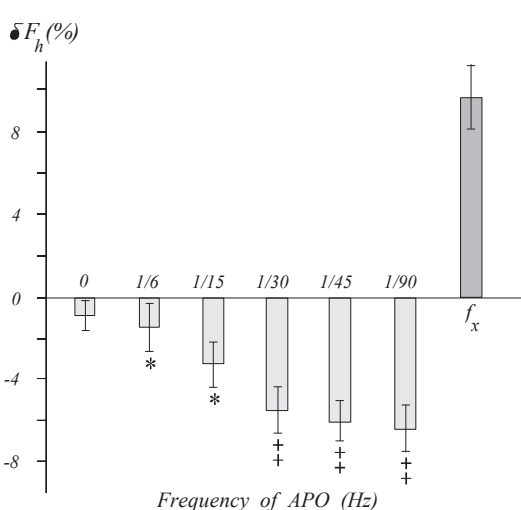


Рис. 7. Відносні зміни частоти пульсу в дослідях за дією періодичних та хаотичних (затемнені) НКАТ

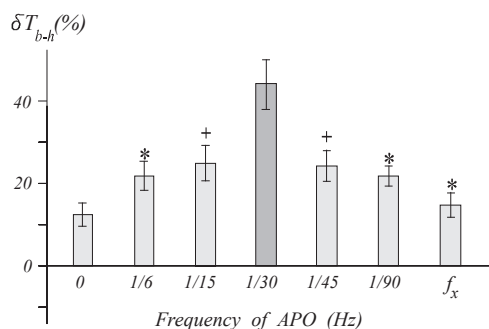


Рис. 8. Відносні зміни тривалості затримки дихання при дії періодичних та хаотичних (f_x) НКАТ. Затемнений стовпчик показує період НКАТ, при дії яких спостерігаються найбільші зміни тривалості затримки дихання

Були проведені обчислення записів спектральних показників ритму серця в двох вікових групах волон-

терів (20-40 та 41-60 років). Визначались середня тривалість кардіоінтервалів (T-RR), щільність потужностей високочастотної (HF) (0.15-0.4Гц) та низькочастотної компоненти (LF) (0.04 – 0.15 Гц), а також співвідношення (LF/HF) спектру варіабельності кардіоінтервалів при дії періодичних (T = 1/45) НККАТ (рис.9).

Достовірне збільшення середньої тривалості кардіоінтервалів (T – RR) під впливом НККАТ (АРМО), в порівнянні з контролем, супроводжується достовірним посиленням потужності спектра варіабельності серцевого ритму в низькочастотному (LF) і високочастотному (HF) діапазонах (рис.9). Відомо, що високочастотні варіації ритму серця генеруються

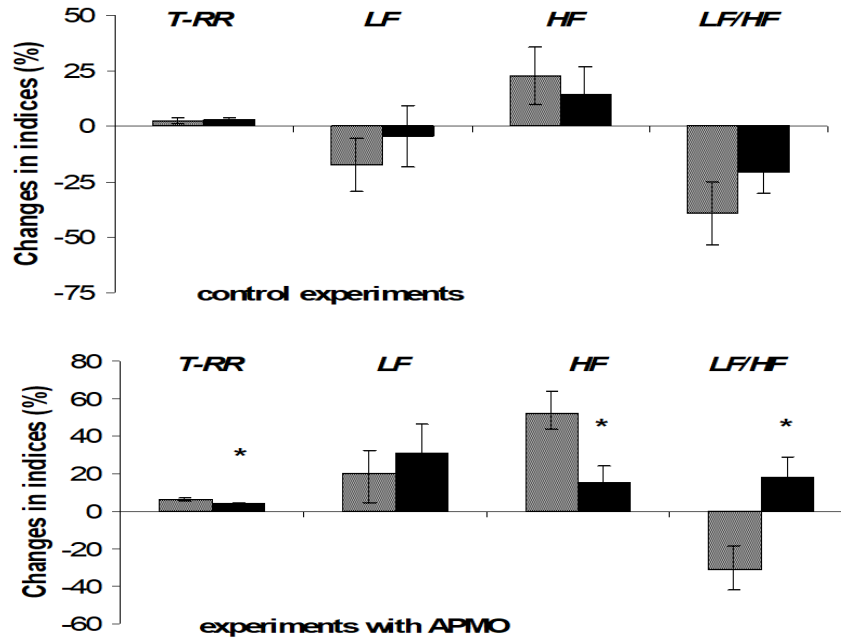


Рис. 9. Зміни параметрів серцевого ритму в контролі (вгорі) та при моделюванні впливу НККАТ (АРМО) (внизу). Сірі стовпчики – у молодшій віковій групі; чорні стовпчики – у старшій віковій групі. T-RR – середня тривалість кардіоінтервалів. LF – низькочастотна компонента спектра; HF – високочастотна компонента спектра; LF/HF – відношення низькочастотної до високочастотної компоненти спектра, варіабельності кардіоінтервалів. * – достовірність відмінностей даних між молодшою та старшою віковими групами з $p < 0,05$

дихальною модуляцією парасимпатичної активності [11], а показник HF розглядають як її маркер. Низькочастотні варіації LF сприймають, як механізм симпатико – барорецепторної ауторегуляції вазомоторного тону судин. LF також вважають комплексним показником, що включає симпатичну і парасимпатичну компоненти [12]. Тому співвідношення LF/HF часто може бути маркером симпатичної активності [13].

Із отриманих результатів видно, що збільшення тривалості кардіоінтервалів і варіабельності серцевого ритму найімовірніше пов'язане із парасимпатичним барорефлекторним вкладом в реакцію серцевого ритму в порівнянні із центральним. Зменшення центрального вкладу в реакцію ритму серця на дію НККАТ було достовірно більшим в старшій віковій групі (рис.9). В молодшій віковій групі вплив НККАТ супроводжувався достовірним збільшенням тривалості кардіоінтервалів (T-RR) і їх варіабельності

у високочастотному діапазоні (рис. 9). Такий вплив періодичних НККАТ на старшу вікову групу може бути пов'язаний із погіршенням з віком функціональних можливостей механізмів центральної регуляції активності артеріальних барорецепторів.

В середньому по всій групі, при впливах періодичних НККАТ, показник HF вірогідно збільшувався (56,87%, $p < 0,05$) та вірогідно зростала тривалість кардіоінтервалів (T-rr) (4,54%, $p < 0,05$), відносно контролю. Між змінами показників HF і T-rr спостерігалась найбільша позитивна кореляція ($r = 0.75$, $p < 0.001$). В той же час, в середньому по групі варіабельність кардіоінтервалів у діапазоні низькочастотної модуляції LF збільшилась (47,56%, $p < 0,05$) відносно контролю, але вірогідно не змінилась відносно T-rr (рис. 9).

Варто відмітити суб'єктивні відчуття волонтерів в експериментах. Частина з них відмічали покращену працездатність, підвищений емоційний тонус

та відсутність втоми після дії модельованих *періодичних* НККАТ до самого вечора. Деякі повідомляли про появу почуттів розслаблення та сонливості при включенні НККАТ. Ці симптоми виникали переважно у людей із втомою або у волонтерів, що прийшли на експеримент після прийому їжі. В протилежність до *періодичних, хаотичні* НККАТ негативно впливали на ряд вегетативних характеристик людини. Найбільш виражені негативні реакції на дію хаотичних НККАТ спостерігались у людей, які почували себе не дуже добре. У них після впливу хаотичних НККАТ відмічали роздратованість, підвищену збудливість, які супроводжувалися суттєвими змінами частоти серцевих скорочень, кров'яного тиску, тривалості затримки дихання та температури тіла. Ми вважаємо, що хаотичні та періодичні НККАТ можуть мати стимулюючий чи дезорганізуючий вплив на вегетативні характеристики людини, а характер відгуку організму на вплив НККАТ залежить від вікових та функціональних особливостей і адаптаційних можливостей людини.

Обговорення результатів. В експериментах спостерігалось, як 20-хвилинна експозиція періодичних та хаотичних НККАТ, що імітували помірні флуктуації атмосферного тиску Землі, викликала достовірні різно направлені зміни вегетативних характеристик людини, особливо серцевого ритму. На рис.1–рис.6 видно, що при дії слабких низькочастотних змінах атмосферного тиску достатньо швидко виникають відгуки фізіологічних систем організму. Результати досліджень показують, що характер і величина змін вегетативних параметрів здорової людини під впливом НККАТ, пов'язані з інтенсивністю і впорядкованістю ритмічної організації флуктуацій тиску, а також із віковими та функціональними особливостями організму і центральної регуляції активності артеріальних барорецепторів.

В атмосфері Землі часто виникають ФАТ з амплітудами і в частотному діапазоні змодельованих НККАТ. Крім того, в сучасних умовах життєдіяльності людини також виникають штучні акустичні коливання з подібними амплітудно – частотними характеристиками. Наприклад, в закритих апаратах та приміщеннях їх можуть створювати системи із кондиціонуванням повітря чи використанням вентилятора. Зміна висоти на 1 м приводить до зміни атмосферного тиску приблизно на 13 Па. Тому, рухаючись в ліфті або пересікаючи горбисту місцевість в автомобілі, ми створюємо штучні НККАТ навколо себе. Збурення тиску повітря неминуче виникають в літаках. НККАТ також генерують тунелі внаслідок руху поїздів чи авто.

Нескладні оцінки показують, що амплітуда ФАТ природного та штучного походження, що виникають у доквітлі, може досягати значущих величин у десятки або сотні Паскалів, що може впливати на суттєві зміни фізіологічних характеристик людини. Рівень амплітуди та частоти природних та штучних ФАТ дуже мінливий, а людина не має виражених зовнішніх рецепторів для відчуття цього фактору, крім артеріальних барорецепторів. Виявлений вплив модельованих НККАТ на вегетативні параметри людини, роблять штучні та природні ФАТ важливим *екологічним* фактором, який може мати виражений вплив на безпеку на дорогах, в побуті або на робочому місці, особливо якщо враховувати тривалість його дії [14].

Виявлення зв'язків між впливом ФАТ з різними характеристиками на фізіологічні системи не є простим, оскільки ФАТ це складний фактор з широким амплітудно – частотним спектром, а характер впливу залежить від індивідуальних особливостей функціональних станів організму людини. Наші експерименти показали, що дія періодичних НККАТ може мати стимулюючий вплив на вегетативні характеристики, що може бути корисним для нормалізації стану та діяльності людини. А коливання тиску повітря з неоптимальною інтенсивністю та хаотичним частотним складом можуть негативно впливати на працездатність людини та її самопочуття. Ослаблені або хворі люди можуть відчувати появу виражених негативних наслідків при їх впливах.

Висновки.

1. Змодельовані низькочастотні коливання атмосферного тиску в амплітудно-частотному діапазоні помірних природних рівнів впливають на зміни артеріального тиску, температури, тривалості затримки дихання, а особливо на показники варіабельності серцевого ритму.

2. Хаотичні та періодичні НККАТ можуть мати стимулюючий чи дезорганізуючий вплив на вегетативні характеристики людини, характер реакцій організму на такі впливи залежить від вікових та функціональних особливостей людини, а також особливостей центральної регуляції активності артеріальних барорецепторів.

3. Виявлені відмінності в реакціях на періодичні та хаотичні НККАТ вказують на можливі негативні фізіологічні реакції людини при дії значних рівнів природних коливань атмосферного тиску, які здатні впливати на безпеку життєдіяльності людини та можуть мати соціальні наслідки їх дії. Флуктуації атмосферного тиску слід контролювати, як екологічно важливий фактор.

Література

1. Richner H., Graber W. The ability of non – classical meteorological parameters to penetrate into buildings. *Int. J. Biometeorology*. 1978, 22 (2). P.242-248.
2. Ertel S. Bursts of creativity and aberrant sunspot cycles: hypothetical covariations. In: Nyborg H. (Ed.) *The Scientific Study of Human Nature. Tribute to Hans J. Eysenck at Eighty*. 1997, New York: Elsevier, P. 491-510.

3. Delyukov A. Infradian rhythms of extralow-frequency perturbations of atmospheric pressure: preliminary results. *In: Chronobiology and Its Roots in the Cosmos. Proceedings of the 3rd International Workshop. The High Tatras, Slovakia*, Sept 1997, P.201-208.
4. Нікберг І.І., Ревуцький Є.Л., Сакалі Л.І. Геліометеотропні реакції людини. Київ: Здоров'я, 1986, 144 с.
5. Bull G., Goering H., Neisser Z. Infrasonic waves in the atmosphere. *J. Meteorology*. 1988. №38. P. 265-283
6. Bedard A.J., Georges T.M. Atmospheric infrasound. *Physics today*.2000, №3. P. 32- 37.
7. Делюков А.О., Горго Ю.П. Про біологічну активність флуктуацій атмосферного тиску та їх роль у навколишньому середовищі. *Природничі науки*. Київ: Видавничий центр "Київський університет", 1999. С. 181-188.
8. Gorgo Yu.P., Dirckx J.J., Didyk L.A., Miroshnik T.G., Bogdanov V.B. Physiological effects of slight fluctuations of atmospheric pressure. *Deutscher Wetterdienst. Anallen der Meteorologie*. 2005. Vol.1, N 41. P. 368-371. ISSN 4122, ISBN 3-88148-405-1
9. Delyukov A., Gorgo Yu., Didyk L. Changes in physiological characteristics in humans caused by low-frequency atmospheric pressure perturbations. *In: Proceedings of the 14th International Congress of Biometeorology*. Ljubljana, Slovenia. Sept 1996. Part 2, vol.2, P.312-320.
10. Malliani A., Pagani M., Lombardi F., Cerutti S. Cardiovascular neural regulation explored in the frequency domain. *Circulation* 1991. Vol. 84, N2. P. 482-489.
11. Hojgaard M.V., Holstein-Rathlon N-H., Agner E., Kanters J.K. Dynamics of spectral components of heart rate variability during changes in autonomic balance. *Am. J. of Physiology*.1998. Vol. 275. P. 213-219.
12. Yoshikawa N., Baba A., Akaishi M. et al. Neurohumoral activations in congestive heart failure: correlations with cardiac function, heart rate variability, and baroreceptor sensitivity. *Am. Heart J.* 1999, Vol. 173, N 4, Pt 1, P. 666-671.
13. Bernardi L., Leuzzi S., Radaelli A. Low-frequency spontaneous fluctuations of R-R interval and blood pressure in conscious humans: a baroreceptor or central phenomenon? *Clinical Sci. (Colch)*. 1994, v. 87, p. 649-654.
14. Didyk L.A., Gorgo Yu.P., Dirckx J.J.J., Bogdanov V. et al. Atmospheric pressure fluctuations in the far infrasound range and emergency transport events coded as circulatory system diseases. *Int. J. of Biometeorology*. 2008. N 52. P.553-561. DOI: 10.1007/s00484-008-0163-6

Дата першого надходження статті до видання: 30.04.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 21.05.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 30.05.2026