

С.О. Коваленко, А.В. Рибалко

Особливості центральної гемодинаміки та її коливань в осіб з різним рівнем кровонаповнення органів грудної клітки

У 143 здорових молодих чоловіків вимірювали показники центральної гемодинаміки, потужність коливань ударного об'єму крові та тривалості інтервалу R-R у різних частотних діапазонах, рівень кровонаповнення органів грудної клітки в спокої лежачи та при ортопробі. З'ясовано, що існують дві стратегії пристосувальних змін гемодинаміки у здорових осіб, засновані на формуванні різних рівнів кровонаповнення органів грудної клітки. Для високого рівня цього показника характерний більший серцевий викид, який призводить до підвищення середнього артеріального тиску. Для низького рівня кровонаповнення органів грудної клітки властиво збільшення загального периферичного опору судин і відносно низький серцевий викид. За коливаннями ударного об'єму крові та тривалості інтервалу R-R у спокої лежачи та при ортопробі особи із середнім рівнем кровонаповнення органів грудної клітки мають більше регуляторне напруження, ніж чоловіки з високим і низьким рівнем. Ключові слова: гемодинаміка, варіабельність серцевого ритму.

ВСТУП

Відомо, що рівень серцевого викиду у популяції здорових людей має широкі межі мінливості, через що і розрізняють три типи гемодинаміки [11]. Разом з тим здорові особи виявляють суттєву міжіндивідуальну девіантність амплітуди та структури регуляторних ритмів гемодинаміки, причини якої нез'ясовано [18]. Розуміння причин індивідуальних відмінностей центральної гемодинаміки та варіабельності серцевого ритму може підвищити діагностичну цінність їх оцінки та відкрити нові напрямки у превентивній терапії захворювань серцево-судинної системи [16]. Доведено, що одним з факторів, який зумовлює особливості серцевого викиду та хвиль ударного об'єму крові (УОК) є об'єм циркулюючої крові в організмі людини [14, 20]. У зв'язку з цим метою нашого дослідження було визначити особливості центральної гемодинаміки та коливань УОК і тривалості ін-

тервалу R-R, а також їхнього взаємозв'язку в осіб із неоднаковим рівнем кровонаповнення органів грудної клітки (КНП) у спокої лежачи та при ортопробі.

МЕТОДИКА

Обстежено 143 чоловіки віком від 17 до 23 років в умовах, наближених до стану основного обміну. У стані спокою лежачи КНП коливається від 17,3 до 38,6 ум.од. і має декілька частотних піків [8]. У зв'язку з цим обстежених було розподілено на три групи залежно від рівня КНП. Чоловіки з низьким рівнем КНП (менше ніж 21 ум.од.) ввійшли до I групи (n = 31), із середнім рівнем (від 21 до 27 ум.од.) – до II групи, з високим (понад 27 ум.од.) – до III групи. При переході у вертикальне положення тіла такий поділ зберігався. Після 15-хвилинного відпочинку в положенні лежачи впродовж 5 хв реєстрували сигнали електрокардіограми, диференційної реоплетизмограми

© С.О. Коваленко, А.В. Рибалко

грудної клітки від біопідсилювача PA-5-01 (НДІ радіовиміральної апаратури, Київ) з частотою зондуючого струму 70 кГц. Сигнали перетворювали у цифрову форму через аналого-цифровий перетворювач ADC-1280 («Holit Data System», Київ) та записували на вінчестер комп'ютера, а потім аналізували за допомогою програми «Bioscan». Запис цих сигналів здійснювали і впродовж 7 хв ортопроби. Розраховували УОК за методикою Кубічека, тривалість інтервалу R-R – за всіма послідовними реалізаціями впродовж 5 хв у спокої лежачі та з 3-ї по 7-му хвилини ортопроби. Значення серцевого індексу (CI), середнього артеріального тиску ($AT_{сер}$) і загального периферичного опору (ЗПО) розраховували за загальноприйнятими формулами [2].

Відомо, що загальний електричний імпеданс органів тіла в нормі визначається в основному рівнем їхнього кровонаповнення [13]. Тому рівень кровонаповнення органів грудної клітки оцінювали за допомогою реографічної методики Палєєва та Каєвіцера [8].

Спектральний аналіз коливань УОК і тривалості інтервалу R-R здійснювали у програмі «Caspico» (а/с України №11262) з використанням періодограмного методу. При цьому проводили корекцію частоти елементів періодограми залежно від середньої частоти серцевих скорочень [6]. Знаходили потужність спектра коливань показників гемодинаміки у наступних стандартних частотних діапазонах [19]: 0–0,04 Гц – діапазон хвиль дуже низької частоти (VLF); 0,04–0,15 Гц – хвилі низької частоти (LF); 0,15–0,4 Гц – хвилі високої частоти (HF); 0–0,4 Гц – загальна потужність спектра (TP). Розраховували нормалізовану потужність спектра УОК і тривалості інтервалу R-R у діапазоні 0,15–0,4 Гц за формулою:

$$HF_{norm} = HF / (LF + HF) \cdot 100.$$

Крос-спектральний аналіз коливань УОК і тривалості інтервалу R-R проводили

у програмі «Statistica». Для виявлення хвильової структури зв'язку часових рядів цих показників застосовували побудову медіанних крос-періодограм [4].

Вірогідність групових відмінностей між значеннями оцінювали за непараметричним критерієм Манна-Уїтні, між послідовними вимірюваннями – за методом парних порівнянь Вілкоксона. Статистичний та крос-спектральний аналіз здійснювали у програмі «Statistica» («Statsoft Inc», США).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Слід відмітити суттєві відмінності у рівнях основних показників гемодинаміки у всіх обстежених (табл. 1). Так, у людей у спокої лежачи значення УОК достовірно збільшувалися зі збільшенням КНП. CI був вірогідно вищим у осіб II та III груп порівняно з I групою. Рівень $AT_{сер}$ в осіб з високим рівнем КНП був значуще вищим, ніж у чоловіків з середнім, тим більше, з низьким рівнем. Разом з тим ЗПО був найвищим у I групі, а найнижчим – у III групі. Це є свідченням того, що підтримання відносно високого тиску крові у осіб з високим КНП більшою мірою зумовлюється серцевим компонентом, ніж судинним.

При ортопробі як і в горизонтальному положенні тіла УОК та CI в осіб з низькими значеннями КНП менші, ніж у чоловіків із відносно високим КНП. Зберігаються відмінності й у ЗПО між цими групами. Однак зникають різниці між рівнями УОК та CI у осіб II та I груп та ЗПО між II та III групами. Отже, у чоловіків з середнім рівнем КНП пристосування серцево-судинної системи до зміни положення тіла відбувається за рахунок більш значного підвищення тону судин периферичних судин, ніж у осіб з високим рівнем. $AT_{сер}$ при такому впливі підвищується в усіх трьох групах, але найбільше – в обстежених у III групи.

Пояснити такі особливості центральної гемодинаміки у обстежених чоловіків можна наступним чином. Відомо, що рівень КНП зумовлюється переважно кількістю крові, яка знаходиться у легенях [10]. Збільшення цього показника підвищує ефективність газообміну між кров'ю та повітрям у них [9] і створює сприятливі умови для підтримання стабільності серцевого викиду при дихальних рухах [7]. Разом з тим за механізмом Франка–Старлінга, збільшення кількості крові у легенях може спричиняти підвищення серцевого викиду, неадекватне енергетичним потребам організму, із підвищенням артеріального тиску. У осіб із відносно низьким КНП виникає потреба у більш стабільному рівні повернення венозної крові до серця, який забезпечується більш високим тонусом периферичних судин. Тобто може існувати дві

стратегії пристосувальних змін гемодинаміки, заснованих різним рівнем кровонаповнення легенів.

Цілком можливо, що у формуванні специфічних функціональних систем у осіб з різним КНП важливу участь беруть і хвильові зміни гемодинаміки. Показники коливань УОК та тривалості інтервалу R-R у спокої лежачи, по-перше, не були розподілені нормально, а, по-друге, мали суттєвий розкид. Так, медіана та межі 25 і 75 перцентилів загальної потужності спектра коливань УОК становили 43,7 [27; 71,7] мл², мінімальне значення – 5,9 мл², а максимальне – 295,2 мл². Для тривалості інтервалу R-R ці значення склали відповідно 2767 [1839; 4758] мс², 241 мс² та 24680 мс². Подібна девіантність була характерна і для структури хвиль УОК та тривалості інтервалу R-R. Такі особливості

Таблиця 1. Показники центральної гемодинаміки в осіб з різним кровонаповненням органів грудної клітки (КНП)

Показник	Рівень КНП		
	низький	середній	високий
	(І група, n=31)	(ІІ група, n=71)	(ІІІ група, n=41)
Спокій лежачи			
Тривалість інтервалу R-R, м ²	932 [812; 1027]	896 [819; 995]	895 [787; 958]
Ударний об'єм крові, мл ²	62* [58,3; 66,8]	70,2* [63; 80]	81,6* [67,9; 90,4]
Серцевий індекс, мл · хв ⁻¹ · м ⁻²	2144* [1987; 2657]	2490 [2219; 2852]	2658* [2333; 3446]
Загальний периферичний опір, кПа · с · л ⁻¹	181,6* [158,6; 203,8]	155,3* [141,1; 176,7]	141,0* [126,7; 158,6]
Середній артеріальний тиск, кПа	12,0 [11,5; 12,4]	12,4* [11,6; 13,0]	13,1* [12,2; 13,3]
Ортопроба			
Тривалість інтервалу R-R, мс	704 [653; 821]	714 [649; 826]	729 [684; 795]
Ударний об'єм крові, мл ²	43 [36,7; 46,6]	43,9* [39; 51,3]	50,8* [46; 58,2]
Серцевий індекс, мл · хв ⁻¹ · м ⁻²	1834 [1543; 2150]	1945 [1722; 2236]	2006* [1820; 2239]
Загальний периферичний опір, кПа · с · л ⁻¹	254,4* [252,2; 277,5]	211,1 [183,6; 245,9]	202,9* [177,1; 234,9]
Середній артеріальний тиск, кПа	12,4 [12,2; 13,5]	12,9* [12,4; 13,5]	13,7* [13,1; 14,4]

Примітка. Тут і в табл. 2 *P<0,05 між показниками I–II, II–III, III–I груп.

цілком узгоджуються з другим загальним принципом формування захисних пристосувань організму сформульованим Анохіним [1, с.18]: „Чим менше діапазон відхилення даної константи організму, тим більше вона зумовлює жорстке підтримання адекватної для неї функції. І, навпаки, чим більш пластичні константи організму, тим більшої кількості інших функцій слугує їхнє відхилення як пристосувального фактора”. Тому коливання тривалості інтервалу R-R та УОК і розглядають як відображення динаміки регуляторних процесів у організмі [3, 5].

У спокої лежачи існують відмінності у хвильовій структурі як тривалості інтервалу R-R, так і УОК у групах осіб із різним рівнем КНП (табл. 2). Так, у чоловіків I групи потужність коливань тривалості інтервалу R-R у діапазоні 0,15–0,4 Гц була значно вищою, ніж у II групі. Відомо, що хвилі ЧСС у цьому спектральному діапазоні зумовлюються диханням і значенням дихальної синусової аритмії [19]. Дослід-

женнями Schafer і співавт. [17] та Kotani і співавт. [15] показано, що феномен дихальної синусової аритмії сприяє кращому обміну газів між повітрям і кров'ю. Отже, у осіб з низьким КНП для збільшення ефективності цього процесу у легенях дихальна синусова аритмія підтримується на високому рівні.

Крім того відмічено, що нормалізована потужність спектра тривалості інтервалу R-R (HF_{norm}) у діапазоні 0,15–0,4 Гц у осіб III групи вірогідно вища, ніж у II групі, що є свідченням більш високого тону парасимпатичного відділу вегетативної нервової системи.

Амплітуда коливань УОК у горизонтальному положенні тіла у діапазоні 0,15–0,4 Гц та їхня загальна потужність у осіб із високим рівнем КНП значно більша, ніж у інших групах. Такі особливості хвиль УОК є загальновідомими і використовуються для поточного визначення рівня рідини в організмі людини в умовах загальної анестезії [14, 20].

При ортопробі потужність коливань тривалості інтервалу R-R у діапазоні низьких частот серцевого ритму в осіб I та II груп не

Таблиця 2. Показники потужності коливань ударного об'єму крові та тривалості інтервалу R-R у стандартних частотних діапазонах серцевого ритму у осіб з різним кровонаповненням органів грудної клітки (КНП)

Потужність коливань	Рівень КНП		
	низький	середній	високий
	(I група, n=31)	(II група, n=71)	(III група, n=41)
Спокій лежачи			
Тривалості інтервалу R-R у діапазоні 0,04-0,15 Гц, мс ²	707 [625; 1283]	696 [368; 1164]	728 [345; 1304]
Ударного об'єму крові у діапазоні 0,04-0,15 Гц, мл ²	4,2 [2,7; 7,9]	4,5 [2,9; 8,5]	5 [2,3; 11,9]
Тривалості інтервалу R-R у діапазоні 0,15-0,4 Гц, мс ²	1340* [938; 1994]	901 [484; 1502]	1346 [548; 1911]
Ударного об'єму крові у діапазоні 0,15-0,4 Гц, мл ²	18,1 [15; 40,3]	25,1* [15,9; 43,9]	53* [22,6; 111,6]
Ортопроба			
Тривалості інтервалу R-R у діапазоні 0,04-0,15 Гц, мс ²	756 [475; 1433]	880* [476; 1267]	1124 [688; 1491]
Ударного об'єму крові у діапазоні 0,04-0,15 Гц, мл ²	2,3* [1,8; 3,3]	4,1 [2; 7,5]	4,2* [2,3; 7,5]
Тривалості інтервалу R-R у діапазоні 0,15-0,4 Гц, мс ²	258 [135; 588]	210* [113; 484]	430 [238; 679]
Ударного об'єму крові у діапазоні 0,15-0,4 Гц, мл ²	5,4* [3,5; 9,3]	8,9 [4,9; 13,2]	11,5* [7,2; 14,9]

змінюється, а III групи – вірогідно збільшується щодо значень у II групі. HF_{norm} у осіб із середнім рівнем КНП (18,5 [11,8; 29,1]%) стає достовірно меншою, ніж у I (26,8 [23,1; 33]%) і більшою щодо значень у II групі (33 [16,4; 38,3]%). Це є свідченням більшої активації симпатичного відділу вегетативної нервової системи у них при переході у вертикальне положення тіла. Потужність коливань УОК у цих умовах також суттєво розрізняється у чоловіків з різними рівнями КНП. У діапазоні 0,04–0,15 Гц у II та III групах цей показник не змінюється порівняно з вихідним станом і вірогідно вищий, ніж у I групі. Для осциляцій УОК у дихальному діапазоні характерні такі самі закономірності.

Для з'ясування механізмів коливань тривалості R-R і УОК у діапазоні низьких частот серцевого ритму при ортопробі проводили крос-спектральний аналіз (рисунок). Крос-спектральна потужність на частоті 0,09 Гц у осіб з високим рівнем КНП була значно ($P < 0,05$) більшою, ніж у осіб з середнім і низьким КНП. На частотах, близьких до 0,1 Гц, цей показник може відображати рівень спонтанної барорефлекторної чутливості [12]. Так, для осіб III групи високе значення крос-спектральної потужності може свідчити про збільшення останньої при ортопробі. Для осіб II групи поряд з достатньо високою потужністю коливань

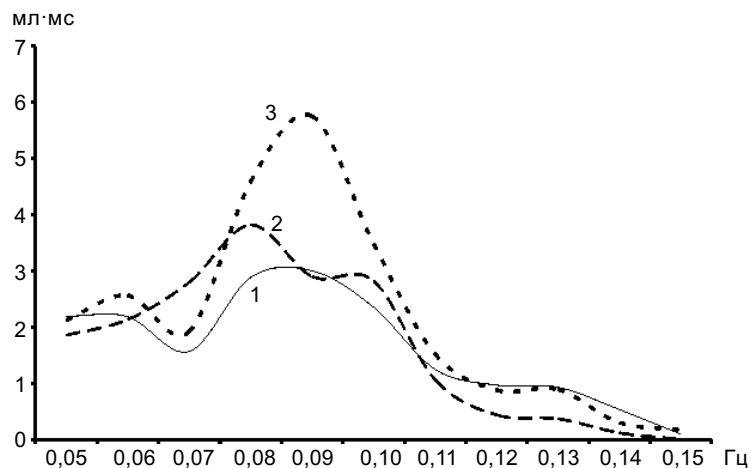
УОК у LF-діапазоні потужність хвиль тривалості R-R не змінювалася, що свідчить про більш низький рівень барорефлекторної чутливості у порівнянні з особами I групи.

Таким чином, аналіз фізіологічних коливань гемодинаміки показав, що для осіб із середнім рівнем КНП характерне більш значне напруження регуляторних механізмів, ніж у чоловіків з високим і низьким рівнями.

ВИСНОВКИ

1. Існують дві стратегії пристосувальних змін гемодинаміки у здорових осіб, засновані на формуванні різних рівнів кровонаповнення органів грудної клітки. Для високого рівня цього показника характерне більше значення серцевого викиду, що призводить до збільшення середнього артеріального тиску. Для низького рівня кровонаповнення органів грудної клітки характерне збільшення загального периферичного опору судин та відносно незначний рівень серцевого викиду.

2. Особи із середнім рівнем кровонаповнення органів грудної клітки за коливаннями УОК та тривалості інтервалу R-R у спокої лежачи та при ортопробі мають більше напруження регуляторних механізмів, ніж чоловіки з високим і низьким рівнями.



Медіанні крос-спектрограми ударного об'єму крові та тривалості інтервалу R-R у діапазоні низьких частот серцевого ритму при ортопробі у чоловіків з низьким (I), середнім (II) і високим (III) рівнями кровонаповнення органів грудної клітки

С.О.Коваленко, А.В.Рибалко

ОСОБЕННОСТИ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ГЕМОДИНАМИКИ И ЕЕ КОЛЕБАНИЙ У ЛИЦ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ КРОВЕНАПОЛНЕНИЯ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

У 143 здоровых молодых мужчин измеряли показатели центральной гемодинамики, мощность колебаний ударного объема крови и длительности интервала R-R в разных частотных диапазонах, уровень кровенаполнения органов грудной клетки в покое лежа и при ортопробе. Выяснено, что существуют две стратегии приспособительных изменений гемодинамики у здоровых лиц, основанных на формировании разных уровней кровенаполнения органов грудной клетки. Для высокого уровня этого показателя характерный больший уровень сердечного выброса, который приводит к увеличению среднего артериального давления. Для низкого уровня кровенаполнения органов грудной клетки характерно увеличение общего периферического сопротивления сосудов и относительно низкий уровень сердечного выброса. По параметрам колебаний ударного объема крови и длительности интервала R-R в покое лежа и при ортопробе лица со средним уровнем кровенаполнения органов грудной клетки имеют более значительное напряжение регуляторных механизмов, чем мужчины крайних групп. Ключевые слова: гемодинамика, вариабельность сердечного ритма.

S.O.Kovalenko, A.V.Rybalko

THE PECULIARITIES OF THE CENTRAL HAEMODYNAMICS AND ITS OSCILLATIONS IN INDIVIDUALS WITH DIFFERENT LEVEL OF BLOOD FILLING OF CHEST ORGANS

The indexes of central haemodynamics, oscillations power of the struck blood volume and R-R interval duration in different frequency ranges as well as the levels of blood filling of chest organs were measured in 143 healthy young men at rest and during tilt test. Based on the formation of different levels of blood filling of chest organs, two strategies of haemodynamics adapting changes were found in healthy men. The high level of blood filling of chest organs is characterized by the higher level of heart throw, which results in an increase in the average arterial pressure. The increase of the general peripheral vessel resistance and rather low level of heart throw was typical for the low level of blood filling of the chest organs. Individuals with middle level of blood filling of chest organs were found to have more essential strain regulatory mechanisms than individuals of the edge groups according to the parameters of the struck blood volume oscillations and the R-R intervals duration at rest and during tilt test.

Key words: haemodynamics, heart rate variability.

Cherkasy National University

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Анохин П.К. Общие принципы формирования защитных приспособлений организма//Вестн. АМН СССР. – 1962. – 17, №4. – С.16–26.
2. Иванов Л.Б., Макаров В.А. Лекции по клинической реографии. – М.: АОЗТ «Антидор», 2000. – 320 с.
3. Ильин В.Н., Батырбекова Л.М., Курданова М.Х., Курданов Х.А. Ритмокардиографические методы оценки функционального состояния организма человека. – М.: Илекса; Ставрополь: Сервис-школа. – 2003. – 80 с.
4. Коваленко С.О. Аналіз варіабельності серцевого ритму за допомогою методу медіанної спектрограми // Фізіол. журн. – 2005. – 51, №3. – С.92–95.
5. Котельников С.А., Ноздрачев А.Д., Одинак М.М. и др. Вариабельность ритма сердца: представления о механизмах // Физиология человека. – 2002. – 28, №1. – С.130–143.
6. Машин В.А. Зависимость вариабельности сердечного ритма от средней величины R-R интервалов// Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова. – 2002. – 88, №7. – С.851–855.
7. Морман Д., Хеллер Л. Физиология сердечно-сосудистой системы. – Санкт-Петербург: Питер, 2000. – 250 с.
8. Палеев Н.Р., Каевицер И.М. Реография. – В кн.: Руководство по кардиологии / Под ред. Е.И.Чазова. Методы исследования сердечно-сосудистой системы. – 1982. – Т. 2. – С.40–54.
9. Уэст Д. Физиология дыхания. Основы. – М.: Мир, 1988. – 214 с.
10. Цыбенко В.О. Фізіологія кровообігу. – К.: Фітосоціоцентр, 2002. – 248 с.
11. Цыбенко В.А., Грищенко А.В. Изменение центральной гемодинамики при антиортостатических воздействиях у людей с различными типами кровообращения и уровнем физической подготовленности// Физиология человека. – 1993. – 19, №1. – С.100–105.
12. Шляхто Е.В., Конради А.О. Причины и последствия активации симпатической нервной системы при артериальной гипертензии//Артериал. гипертензия. – 2003. – 9, №3. – С.81–88.
13. Янчук П.И., Цыбенко В.А. Способ прижизненного определения содержания крови в органах животных: Патент 1838785 СССР, МКИ G01N33/49 – №94220204; Заяв. 04.06.90; Опубл. 07.04.93. Бюл. (СССР) №32. – 6 с.
14. Bouteau N., Tavernier B. Stroke volume variation as an indicator of fluid responsiveness // Anesth Analg. – 2004. – 98, №1. – P.278–279.
15. Kotani K., Hidaka I., Jamamoto Y., Ozono S. Analysis of respiratory sinus arrhythmia with respect to respiratory phase//Methods Inf. Med. – 2000. – 39, №2. – P.153–156.
16. Kupper N.H., Willemsen G., van den Berg M. et al. Heritability of ambulatory heart rate variability// Circulation. – 2004. – 110, №18. – P.2792–2796.
17. Schafer C., Rosenblum M.G., Kurths J., Abel H.H.

- Heartbeat synchronized with ventilation//Nature. – 1998. – **392**, №6673. – P.239–240.
18. Singh D., Vinod K., Saxena S.C., Deepak K.K. Spectral evaluation of aging effects on blood pressure and heart rate variations in healthy subjects// J. Med. Eng. Technol. – 2006. – **30**, №3. – P.145–150.
19. Task force of the european society of cardiology and the north american society of pacing and electrophysiology. Heart rate variability. Standards of measurements, physiological interpretation, and clinical use// Circulation. – 1996. – **93**. – P. 1043–1065.
20. Wiesenack C., Prasser C., Rodig G., Keyl C. Stroke volume variation as an indicator of fluid responsiveness using pulse contour analysis in mechanically ventilated patients // Anesth Analg. – 2003. – **96**, №5. – P.1254–1257.

Черкас. нац. ун-т
E-mail: kovstas@ukr.net

Матеріал надійшов до
редакції 05.02.2009