

І.Л. ПОПОВИЧ, С.В. РУЖИЛО, Б.Я. ГУЧКО.

ФАКТОРНИЙ АНАЛІЗ СТАНУ ГЕМОДИНАМІКИ ТА ЇЇ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ У ХВОРИХ ГАСТРО-ЕНТЕРОЛОГІЧНОГО ТА УРОЛОГІЧНОГО ПРОФІЛЮ

Приведены результаты факторного анализа (метод главных компонент) состояния гемодинамики и ее обеспечения у больных гастро-энтерологического и урологического профилей, типичных для контингента курорта Трускавец. Показано, что 2/3 дисперсии информационного поля объясняется соответственно 8 или 5 кластерами-факторами.

* * *

ВСТУП

Згідно з теорією факторного аналізу [2], вважається, що спостережувані параметри (змінні) є лінійною комбінацією деяких латентних (гіпотетичних, неспостережуваних) факторів. Іншими словами, фактори - це гіпотетичні, такі, що безпосередньо не вимірюються, приховані змінні, в термінах яких описуються вимірювані змінні. Деякі із факторів допускаються спільними для двох і більше змінних, інші - характерні для кожного параметру окремо. Характерні (унікальні) фактори ортогональні один до одного, тобто не вносять вкладу у коваріацію між змінними. Іншими словами, лише загальні фактори, кількість яких значно менша від кількості змінних, вносять вклад у коваріацію між ними. Можна точно ідентифікувати латентну факторну структуру шляхом дослідження результуючої коваріаційної матриці. На практиці неможливо отримати точну структуру факторної моделі, можна лише знайти оцінки параметрів факторної структури. Тому, за принципом *postulate of parsimony*, приймають модель з мінімальним числом загальних факторів.

Одним із методів факторного аналізу є аналіз головних компонент. Головні компоненти (ГК) - це лінійні комбінації спостережуваних змінних, які володіють властивостями ортогональності, тобто це природні ортогональні функції. Отже, ГК протилежні до загальних факторів, позаяк останні - гіпотетичні і не виражаються через комбінацію змінних, тоді як ГК - це лінійні функції від спостережуваних змінних.

Суть методу ГК полягає у лінійному перетворенні і конденсації початкової інформації. На основі матриць кореляції визначається система ортогональних, лінійно незалежних функцій, номінованих власними векторами, які відповідають системі незалежних випадкових величин, номінованих власними числами матриці кореляції (λ). Кілька перших власних чисел кореляційної матриці вичерпують основну частину сумарної дисперсії поля, тому при аналізі результатів розкладання особлива увага приділяється першим власним числам і відповідних їм компонентам. А оскільки широкомасштабні процеси, якими є функціональні системи організму, характеризуються великою дисперсією, то справедливо припустити, що саме вони відображені у перших компонентах.

Подібність аналізу ГК і факторного аналізу в тім, що в обох методах відбувається скорочення даних і вони застосовуються при дослідженні взаємозалежності змінних. Проте ГК, на відміну від загальних факторів, не пояснюють кореляції, а лише дисперсію; у випадку некорельованих змінних головних компонент не існує, тобто всі вони рівноправні, кожній з них відповідає однакова доля дисперсії. Далі, факторний аналіз представляє коваріаційну структуру в термінах гіпотетичної моделі, при цьому аналіз ГК скорочує дані шляхом використання кількох лінійних комбінацій спостережуваних змінних, чим відкидає необхідність введення гіпотетичної моделі, що уможливило пояснення кореляцій в термінах невеликого числа факторів. При цьому латентна факторна структура залишається "річчю в собі", тобто недоступною свідомості.

Аналіз ГК - це метод перетворення даної послідовності спостережуваних змінних у іншу послідовність змінних. Метод отримання напрямків головних осей базується на знаходженні власних чисел і векторів кореляцій (коваріацій). Власне число (λ) - найважливіша характеристика матриці (R); використовується при декомпозиції коваріаційної матриці і водночас - як критерій визначення числа виділюваних факторів і як міра дисперсії, що відповідає даному фактору. Власний вектор (V) - вектор, зв'язаний із відповідним власним числом і отримується в процесі виділення первинних факторів. Ці вектори, представлені у нормованій формі, є факторними навантаженнями. Зв'язок між згаданими характеристиками виражається рівнянням: $RV = \lambda V$.

Перше власне число представляє величину дисперсії, що відповідає першій головній осі, друге - другій і т.д. Сума власних чисел дорівнює числу змінних, а доля дисперсії, відповідна даному напрямку чи ГК, отримується від поділу власного числа на число змінних. Завдання ГК полягає у поясненні максимальної долі дисперсії спостережень, а завдання загальних факторів - пояснення кореляцій між змінними.

В n -мірному факторному просторі перша ГК являє собою представництво точок (даних) вздовж вибраної головної осі, вона відтворює максимальну долю дисперсії експериментальних даних. Якщо описувати кожну точку в новій системі координат, то втрати інформації не відбувається. У випадку лінійного зв'язку між змінними перша ГК вміщує всю інформацію для опису кожної точки, якщо ж змінні незалежні, то головна вісь відсутня, і аналіз ГК не сприяє навіть мінімальному стисненню результатів спостереження. За наявності більш-менш тісного зв'язку між змінними решта інформації міститься у наступних ГК, при цьому вісь другої ГК перпендикулярна до осі першої ГК і вздовж неї розташована менша частина даних, тобто друга ГК відтворює наступну за величиною долі дисперсії; ще менше інформації міститься вздовж осі третьої ГК, перпендикулярної до перших двох, і т.д. Вважається, що для вивчення факторної структури досліджуваного поля можна обмежитися розглядом такої кількості ГК, сумарний вклад яких у загальну дисперсію вихідних даних перевищує $2/3$.

Факторна структура вважається найпростішою, якщо всі змінні мають одиничну факторну складність, тобто коли кожна змінна має ненульове навантаження лише на один загальний фактор. Якщо факторів не менше двох, то кожен рядок містить лише один ненульовий елемент, кожен стовбець має кілька нулів, для кожної пари стовбців нульові елементи не співпадають. Проте така проста структура для реальних даних недосяжна. Простота структури визначена, якщо для кожного фактора існує не менше трьох змінних, які мають на цей фактор значне навантаження. Первинні факторні навантаження - це проєкції змінних на осі n -мірного простору (n =числу факторів), тобто навантаження визначаються при опусканні перпендикуляра із даної точки на первинні ортогональні осі. Проста факторна структура отримується, коли всі значення змінних лежать на цих осях. В ортогональному випадку проста структура задається множиною точок, які мають ненульові навантаження лише на один фактор (вісь). Проєкція ненульова, якщо кут між скупченням точок відмінний від прямого. Отже, можна допустити, що скупчення точок знаходиться на первинних осях, або що проєкції точок на вторинних осях - нульові.

З метою знаходження матриці факторного відображення, найближчої до найпростішої ідеальної структури, проводиться процедура ортогональної ротації методами *quartimax*, *varimax* і *equamax*. *Varimax* - метод отримання ортогонального розв'язку, що зводиться до спрощення факторної структури з використанням критерія мінімізації стовбця матриці факторного відображення; *quartimax* - критерій отримання ортогонального розв'язку, що зводиться до спрощення опису рядків матриці, а *equamax* - поєднує властивості обидвох перших. Застосовуючи критерій *quartimax*, можна досягти простоти інтерпретації змінних за рахунок простоти інтерпретації факторів. Опис змінних спрощується при зменшенні числа загальних факторів, водночас опис факторів спрощується, якщо незначна кількість змінних мають суттєві навантаження на цей фактор, а інші - нульові. Метод *varimax* дає краще розділення факторів, ніж *quartimax*, позаяк в ньому розглядається дисперсія квадратів навантажень фактора замість дисперсії квадратів навантажень змінної. Факторна матриця, отримувана з допомогою методу ротації *varimax*, в більшій мірі інваріантна стосовно вибору різних множин змінних. Викладені аргументи зумовили наш вибір саме методу *varimax*.

Водночас факторний аналіз використано нами в якості евристичного методу виділення кластерів серед зареєстрованих даних, оскільки знайдені структури розглядаються як гіпотези, що відображують в отриманих даних деякі тенденції до скупчення змінних в кластери.

МАТЕРІАЛ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом спостереження були дві групи хворих, типових для контингенту курорту Трускавець. Першу групу склали 66 жінок з середнім віком $45,3 \pm 1,6$ року (в основному - 40-54 роки) і 18 мужчин з середнім віком $58,1 \pm 2,7$ року (в основному - 54-61 рік), котрі лікувалися в санаторіях "Кришталевий палац" і "Каштан" з приводу профільних для нього хронічних захворювань органів травлення (безкам'яний і калькульозний холецистити, стан після холецистектомії, дискінезія жовчечивідних шляхів, гастрит, гастродуоденіт, виразкова хвороба 12-палої кишки, панкреатит, коліт). Друга група складена із 58 хворих на оксалатний уролітіаз (21 жінки і 37 мужчин віком 28-52 роки, пересічно $43,4 \pm 1,2$ року) без серцево-судинної патології.

Інтракардіальна і центральна гемодинаміка досліджені методами двомірної ехокардіографії

в М-режимі та інтегральної реографії за Тищенко-Естрін, периферійна – методами реовазографії і доплерсонографії, вегетативний гомеостаз – методом варіаційної кардіоінтервалометрії за Баєвським Р.М., гуморальна регуляція - за вмістом в плазмі антидіуретичного гормону (АДГ) і глюкозону, в сироватці - інсуліну і гастрину, визначуваних методом радіоімунного аналізу, електролітний обмін – за вмістом в плазмі хлоридів, фосфатів, магнію, кальцію, натрію, калію, в еритроцитах – натрію і калію, активністю Na,K-АТФази, Са-АТФази і Mg-АТФази мембран тіней еритроцитів, креатинфосфокінази плазми, ліпідний обмін – за вмістом в плазмі триацилгліцеридів і холестерину в складі ліпопротеїдів дуже низької, низької і високої щільності з обчисленням коефіцієнту атерогенності Клімова. Фізична працездатність оцінена велоергометричним тестом.

Детальніша інформація міститься в монографії [1].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Підсумок факторного аналізу методом ГК поля змінних першої групи хворих відображено на табл.1.

Таблиця.1

Факторні навантаження (Varimax normalized). Кластери навантажень, котрі детермінують косокутні фактори для ієрархічного аналізу (гастроентерологічні хворі)

Змінна	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅	F ₆	F ₇	F ₈
Об'ємна швидкість викиду крові лівим шлуночком	0,93							
Серцевий індекс	0,92							
Потужність лівого шлуночка	0,91							
Індекс скоротливої активності Ружило-Поповича	0,91							
Індекс хвилинної роботи серця	0,90							
Ударний індекс лівого шлуночка	0,90							
Індекс ударної роботи серця	0,89							
Серцева продуктивність	0,86							
Ударний об'єм лівого шлуночка	0,85							
Серцева продуктивність, % належної	0,83							
Хвилинна робота серця	0,83							
Ударна робота серця	0,82							
Симпатичний тонус	0,80							
Індекс скоротливої активності Ружило-Поповича, % належного	0,76							
Питомий периферійний опір судин	0,69							
Загальний периферійний опір судин	0,68							
Загальний периферійний опір судин, % належного	0,66							
Фракція вигнання	0,66							
Вагальний тонус	0,65							
Індекс контрактильності Sagawa	0,49							
Натрій еритроцитів	0,41							
Середньодинамічний тиск в спокої, % належного		0,77						
Кінцеводіастолічний розмір лівого шлуночка		0,75						
Індекс кінцеводіастолічного об'єму		0,75						
Кінцевосистолічний об'єм лівого шлуночка		0,75						
Середньодинамічний тиск в спокої		0,73						
Систолічний тиск в спокої, % належного		0,73						
Індекс кінцевосистолічного об'єму		0,73						
Діастолічний тиск в спокої, % належного		0,72						
Систолічний тиск в спокої		0,70						
Діастолічний тиск в спокої		0,69						
Кінцевосистолічний розмір лівого шлуночка		0,67						
Кінцеводіастолічний об'єм лівого шлуночка		0,60						
Ріст		0,48						
Індекс Оріє в спокої		0,45						
Час вигнання		0,40						
Час вигнання, % належного		0,39						
Циркулярне напруження міокарду		0,32						
Mg-АТФаза еритроцитів		0,29						
Індекс тахікардійно-гіпертензивної реакції на 0,5 Вт/кг			0,82					
Індекс фізичного стану Åstrand			0,79					
Питоме максимальне поглинання кисню			0,79					
Індекс Оріє при навантаженні 1,5 Вт/кг			0,79					
Інд. тахікардійно-гіпертензивної реакції на 1,5 Вт/кг			0,78					
Середньодинамічний тиск (навантаження 1,5 Вт/кг)			0,77					
Систолічний тиск при навантаженні 1,5 Вт/кг			0,72					
Індекс тахікардійної реакції на навантаження 0,5 Вт/кг			0,72					
Діастолічний тиск при навантаженні 1,5 Вт/кг			0,70					
Маса тіла			0,61					
Площа тіла			0,56					
Маса тіла, % належної			0,54					
Креатинфосфокіназа плазми			0,53					

Третя ГК пояснює 9,4% дисперсії і корелює із 13 параметрами, з них із 9 - суттєво. Вона характеризує фізичну працездатність і пов'язану з нею активність креатинфосфокінази. Показано, що запропоновані нами індекси тахікардійно-гіпертензивної реакції на навантаження за інформативністю принаймі не поступаються перед загальноприйнятими, а найвищий коефіцієнт кореляції виявився для ІТКГТР на перше навантаження. Це дає підстави в майбутніх дослідженнях ширше впровадити велоергометрію із малим навантаженням (0,5 Вт/кг) з огляду на побоювання курортологів стосовно кардіологічних хворих. Цілком логічним є поява в складі даної ГК маси і площі тіла, адже параметри працездатності розраховують на 1 кг. До слова, ріст виявився у складі другої ГК.

Четверта ГК пояснює 7,0% варіабельності, суттєво корелює із 3 параметрами, а всього - із 12. При цьому 8 параметрів стосуються ліпідів, решта - уратів, магнію і хлориду плазми, тому дана ГК характеризує атерогенність плазми, з огляду на роль в його патогенезі, окрім ліпідів, уратів і електролітів. Звертає на себе увагу відсутність відмінностей в плані інформативності між актуальними і нормованими за статтю та віком показниками, а також максимальна інформативність саме ХС ЛП ДНЩ і триацилгліцеридів.

П'ята ГК пояснює 6,3% дисперсії і характеризує ЧСС та діастолічний тиск, з котрими пов'язані вік і натрійемія.

Шоста ГК вбирає в себе 5,5% варіабельності і характеризує параметри тахікардійної реакції на друге (1,5 Вт/кг) навантаження, з якими пов'язані кальційемія і калійгістія еритроцитів.

Сьома ГК (5,3% в долі варіабельності) пов'язана із загальним холестерином плазми і вмістом його в складі неатерогенних ліпопротеїдів низької щільності. Виявлення тут фосфатемії, мабуть, має стосунок до фосфоліпідів.

Нарешті восьма ГК (5,1%) стосується маси міокарду і товщини його стінок, а також напруження, яке він розвиває, при цьому циркулярне напруження виявилось значно інформативнішим від меридіонального (0,84>0,40). Логічно, що з даною ГК пов'язані параметри трансмембранного транспорту Na^+ , K^+ і Ca^{2+} в еритроцитах, з огляду на положення теорії функціональних блоків, зокрема АТФаза, спільних для еритроцитів, міокардіоцитів, еритроцитів, епітелію ниркових каналців тощо.

В табл. 2 відображені підсумки факторного аналізу параметрів другої групи пацієнтів - з урологічною патологією.

Виявилось, що майже аналогічна доля дисперсії параметрів даної групи (64,3% проти 66,8%) може бути пояснена п'ятьма ГК. При цьому перша ГК поглинає 19,7% варіабельності, створеної параметрами, що стосуються артеріального тиску, створюваного роботою серця, з якими пов'язані кальційемія і інсулінемія.

Друга ГК (17,2% дисперсії) характеризує інтракардіальну гемодинаміку та фактори її регуляції: глюкогон, холінергічні і адренергічні впливи, Са-АТФаза, магнійемія. Знову хочеться відзначити цілковиту інформативну рівноцінність індексів Sagawa і Ружило-Поповича та їх перевагу над іншими (EF, MVCF, ΔS , Δp , Hm).

Третя ГК (15,1% варіабельності) характеризує центральну гемодинаміку, пов'язану із масою міокарда, а також вазопресинемією.

Четверта ГК пояснює 6,2% дисперсії і характеризує трансмембранний транспорт електролітів.

Таблиця 2

Факторні навантаження (Varimax normalized). Кластери навантажень, котрі детермінують косокутні фактори для ієрархічного аналізу (урологічні хворі)

Змінна	F ₁	F ₂	F ₃	F ₄	F ₅
Середньодинамічний тиск в спокої	0,96				
Середньодинамічний тиск в спокої, % належного	0,95				
Діастолічний тиск в спокої	0,94				
Систолічний тиск в спокої	0,91				
Індекс Кердо в спокої	0,80				
Ударна робота серця	0,77				
Хвилинна робота серця	0,73				
Потужність лівого шлуночка	0,73				
Індекс Оріє в спокої	0,69				
Площа тіла	0,65				
Меридіональне напруження міокарда	0,60				
Кальційемія	0,48				
Інсулінемія	0,31				
Глюкогонемія		0,88			
Індекс контрактильності Sagawa		0,87			

Індекс скоротливої активності Ружило-Поповича		0,87			
Вагальний тонус		0,86			
Кінцевосистолічний об'єм лівого шлуночка		0,86			
Фракція вигнання		0,82			
Швидкість циркуляторного вкорочення міокарда		0,81			
Ступінь укорочення передньо-заднього розміру		0,76			
Симпатичний тонус		0,75			
Циркулярне напруження міокарда		0,70			
Кінцеводіастолічний об'єм лівого шлуночка		0,67			
Ca-АТФаза еритроцитів		0,65			
Циркулярне напруження міокарду		0,63			
Час вигнання, % належного		0,51			
Час вигнання		0,48			
Магнійемія		0,28			
Серцевий індекс			0,91		
Загальний периферійний опір судин			0,88		
Серцева продуктивність			0,87		
Ударний індекс лівого шлуночка			0,84		
Ударний об'єм лівого шлуночка			0,82		
Питомий периферійний опір судин			0,79		
Об'ємна швидкість викиду крові лівим шлуночком			0,76		
Серцева продуктивність, % належної			0,68		
Індекс маси міокарда			0,64		
Загальний периферійний опір судин, % належного			0,64		
Маса міокарда			0,51		
Тривалість серцевого циклу			0,28		
Вазопресинемія			0,23		
Калійемія				0,88	
Калій еритроцитів				0,87	
Mg-АТФаза еритроцитів				0,81	
Na,K-АТФаза еритроцитів				0,54	
Натрійемія				0,49	
Натрій еритроцитів				0,39	
Хлоридемія				0,32	
Хлоридурія					0,81
Фосфатурія					0,78
Магнійурія					0,76
Кальційурія					0,52
Діурез					0,49
Фосфатемія					0,48
Гастринемія					0,38
Власне число	11,2	9,78	8,63	3,52	3,45
Доля відтворюваної дисперсії	19,7	17,2	15,1	6,2	6,1
Кумулятивна доля відтворюваної дисперсії	19,7	36,9	52,0	58,2	64,3
Канонікальна кореляція	0,96	0,95	0,95	0,88	0,88

Нарешті, п'ята ГК поглинає 6,1% дисперсії і характеризує салуретичну і діуретичну функцію, яка, своєю чергою, пов'язана із вмістом електролітів в плазмі та активністю ферментів-помп, передовсім Na,K-АТФази.

Отже застосування факторного аналізу дає змогу сконденсувати 2/3 інформації, яка міститься в констеляції визначуваних параметрів гемодинаміки і працездатності, а також їх вегетативно-гуморальної регуляції, у 8 чи 5 кластерів-факторів.

ЛІТЕРАТУРА

1. Ружило С.В., Церковнюк А.В., Попович І.Л. Актотропні ефекти бальнеотерапевтичного комплексу курорту Трускавець.- К.: Комп'ютерпрес, 2003.- 131 с.
2. Kim J.-O., Mueller Ch. W. Factor analysis: statistical methods and practical issues (elevent printing, 1986) // Факторный, дискриминантный и кластерный анализ: Пер. с англ./ Под ред. И.С.Енюкова.- М.: Финансы и статистика, 1989.- С.5-77.

I.L. POPOVYCH, S.V. RUZHYLO, B.Ya. HUCHKO **THE FACTOR ANALYSIS OF STATE OF HEMODYNAMIC AND ITS MAINTENANCE IN PATIENTES OF GASTROENTEROLOGICAL AND UROLOGICAL PROPHYLES**

It is adduced results of factor analysis (method of principal components) of state of hemodynamic and its maintenance in patientes of gastroenterological and urological prophyles. It is shown that 2/3 of variance is explained by 8 or 5 clusters-factors conformably.

Відділ експериментальної бальнеології Інституту фізіології ім. О.О. Богомольця НАН України, м. Трускавець

Дата поступлення: 21. 05. 2005 р.