

► Нейромережевий аналіз показників стабілометрії в діагностиці функціональних станів людини

Ю.Є. Лях, Ю.Г. Вихованець

Донецький національний медичний університет ім. М. Горького, Донецьк, Україна

РЕЗЮМЕ, ABSTRACT

В статті представлена методика аналізу і класифікації показників стабілометрії на основі вживання методу нейромережевого моделювання. Встановлено, що прогноз функціональних станів рухової системи людини і організму в цілому може здійснюватися на основі аналізу 5 чинників (Укр.ж.телемед.мед.телемат.-2011.-Т.9,№2.-С.155-160).

Ключові слова: функціональні стани, стабілометрія, нейромережева модель

Ю.Е. Лях, Ю.Г. Вихованець

НЕЙРОСЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СТАБИЛОМЕТРИЙ В ДИАГНОСТИКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ЧЕЛОВЕКА

Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького, Донецк, Украина

В статье представлена методика анализа и классификации показателей стабиллометрии на основе применения метода нейросетевого моделирования. Установлено, что прогноз функциональных состояний двигательной системы человека и организма в целом может осуществляться на основе анализа 5 факторов (Укр.ж.телемед.мед.телемат.- 2011.-Т.9,№2.- С.155-160).

Ключевые слова: функциональные состояния, стабиллометрия, нейросетевая модель

Yu.E.Lyakh, Yu.G.Vykhovanets

NEURAL NETWORK ANALYSES OF STABYLOMETRY RESULTS IN DIAGNOSTIC OF THE HUMAN FUNCTIONAL STATUS

Donetsk National Medical University named after M.Gorky, Donetsk, Ukraine

Article has describe method of analyses of stabylometry results based on neural network models. It is shown that prognosis of human functional status could be performed with 5 factors (Ukr.z.telemed.med.telemat.-2011.-Vol.9,№2.-P.155-160).

Key words: functional status, stabylometry, neural network model

Дослідження механізмів регуляції пози людини залишається однією з найактуальніших задач у фізіології впродовж останніх 40 років. Причина цього укладена як у високій практичній значущості результатів дослідження для розробки методів діагностики і лікування різних порушень функцій центральної нервової системи і рухового апарату, так і у цінних теоретичних результатах, що стосуються загальних принципів організації управління рухами людини [1,2,8]. Ця проблема є актуальною і в діагностиці функціональних станів (ФС) людини. Утримання вертикального положення (ВП)

людиною розглядається як динамічний феномен, що вимагає безперервного руху тіла і є результатом взаємодії вищих відділів центральної нервової системи, вестибулярного і зорового аналізаторів, суглобово-м'язової пропріорецепції та ін. [3,8,10]. Різні органічні пошкодження, функціональні порушення можуть приводити до дестабілізації координованих рухів людини. При будь-яких впливах, що дестабілізують баланс, нейром'язова система безперервно корегує рухову стратегію забезпечення ВП. Як джерела інформації щодо положення тіла виступають зоровий, вестибулярний і

соматосенсорний аналізатори. Зазвичай ці аналізатори в рівній мірі активні, але в деяких випадках їх внесок у регуляцію пози може вибірково знижуватися або зростати [2-4]. При зниженні ролі соматосенсорного аналізатору (наприклад, при пошкодженні пропріорецепторів капсульно-зв'язкового апарату колінного суглобу) компенсація забезпечується більшою активністю двох інших систем [3,9]. З'ясувавши механізми утримання ВП при різних порушеннях та розробивши критерії оцінки можливо вирішити питання діагностики ФС на основі показників стабілометрії. При проведенні

математичного аналізу отриманих показників стабілометрії виникає питання класифікації значень, та обґрунтування критерієв, за якими буде проводитися діагностика ФС. Ця проблема пов'язана з нелінійністю, та великою кількістю показників, які треба проаналізувати при проведенні такої оцінки [5,7]. Стандартні методи математичної статистики не дозволяють у достатньому обсязі вирішити це питання. Перспективним методом рішення цієї задачі є використання методу нейромережевого моделювання [5,7].

Мета дослідження

Мета – розробка нейромережевої моделі класифікації функціональних станів

на основі показників стабілометрії.

Матеріал і методи

Дослідження проводилися на базах психофізіологічної лабораторії кафедри медичної, біологічної фізики, медичної інформатики і біостатистики Донецького національного медичного університету ім. М. Горького та ДЗ «Науково-практичний медичний реабілітаційно-діагностичний центр» МОЗ України. При поточному обстеженні осіб, які приймали участь у дослідженні, на підставі галузевих стандартів якості діагностики та лікування, затверджених наказами МОЗ України, було відібрано 269 осіб віком від 17 до 70 років, серед яких виявилось 116 обстежуваних жіночої статі і 153 – чоловічої. З них було сформовано дві групи: контрольну та дослідну. У контрольну групу увійшли практично здорові особи, які не мали на момент досліджень гострих та загострень хронічних захворювань. Вона складалася зі 114 студентів (60 чоловіків та 54 жінки) – перша група; 28 співробітників вузу (15 чоловіків та 13 жінок) – друга група; 22 осіб, у яких не виявлено порушень у стані здоров'я при проведенні профілактичного медичного обстеження (6 чоловіків та 16 жінок) – третя група. У дослідну групу увійшло 105 осіб (чоловіків – 72, жінок – 33) з різними пограничними станами у структурі яких головне місце займали захворювання нервової системи та системи кровообігу в стадії клінічної ремісії, за даними комплексного багатопрофільного обстеження фахівцями

вищої категорії зі стажем роботи за спеціальністю 17-30 років. Реєстрація електрофізіологічних показників (стабілограм, електрокардіограм) здійснювалася з використанням комп'ютерного комплексу «Поліграф» [6].

Реєстрація стабілограм проводилася в довільному акті ортоградної пози з можливістю візуального контролю положення центру мас (ЦМ) на екрані монітору (тобто із штучним зворотним зв'язком – ШЗЗ), з відкритими очима, без зворотного зв'язку (ВО) і в умовах часткової сенсорної депривації (із заплющеними очима – ЗО). Тривалість запису – 3 хвилини. Після проведення реєстрації розраховувалися: довжина траєкторії переміщення центру маси (L) у двовимірній площині коливань, площа стабілограми (S), що розраховується як площа фігури, яка описується радіус-вектором, проведеним з початкового положення центру маси до його поточного положення, відношення довжини стабілограми до її площі (LFS), середнє квадратичне відхилення проекції положення центру маси в антеріопостеріорній (а/п) і медіолатеральній (м/л) площинах (Qx і Qy). Окрім цього, визначалися складові спектральної щільності розкладання початкового сигналу в ряд Фур'є для антеріопостеріорної і медіолатеральної складових. Для розкладання початкового

сигналу в ряд Фур'є використовувалося стандартне швидке перетворення Фур'є (ШПФ). У стандартному запису оброблялися сигнали тривалістю 30 секунд, отримані з дискретністю в $\Delta\tau = \frac{1}{25}$ секунди.

Потужність спектру (ПС) сигналу розраховувалася в діапазонах частот: 0–10

Гц в а/п і м/л площинах – всього 20 показників. Таким чином, кожен запис стабілограми описувався за допомогою 25 показників. Результати наведені у відносних одиницях відповідно до розмірності аналого-цифрового перетворювача.

Результати та обговорення

На основі аналізу отриманих показників стабілометрії було встановлено, що регуляція вертикальної пози при використанні ШЗЗ та у дослідженнях з ВО і ЗО супроводжується як зменшенням, так і збільшенням деяких значень стабілограми (довжини, площі стабілограми, середнього квадратичного відхилення проекції положення ЦМ, ПС коливань в а/п і м/л площинах у чоловіків і жінок контрольної та дослідної груп ($p < 0,05$) [2,3,5].

Виявлені відмінності між дослідними групами на основі показників стабілометрії, отриманих при тестуванні в різних умовах сенсорного контролю, можуть бути обумовлені існуванням декількох типів регуляції вертикальної пози залежно від наявних функціональних і органічних розладів. Порушення процесів передачі інформації від рецепторів до кори великих півкуль у осіб з різними органічними ушкодженнями може супроводжуватися дискоординацією рухів і неможливістю своєчасно здійснювати корекцію вертикальної пози відповідно до зміни проекції реперної точки на екрані монітора [3,10]. Будуть зменшуватись в дослідній групі, в порівнянні з контрольною, довжина, площа, відношення довжини до площі, а також ПС коливань ЦМ в а/п і м/л площинах. У разі функціональних порушень або порушень у стадії компенсації, при виконанні складних рухових задач включаються механізми, спрямовані на активацію процесів регуляції при підтримці вертикальної пози. При цьому показники стабілометрії можуть не тільки відповідати значенням, одержаним у контрольній групі, але і збільшуватися. Функціональні й органічні ушкодження приведуть до розладу діяльності функціональних систем, які формуються у процесі керування рухами, порушення формування програм

діяльності з підтримки вертикальної пози [4,5]. Це, зрештою, позначається на ефективності виконання рухових задач під час підтримки вертикальної пози.

З метою кількісної оцінки функціональних станів на основі показників стабілометрії була побудована нейромережева модель класифікації. Як вхідні ознаки аналізувалися показники стабілометрії, одержані при проведенні тестів у різних умовах сенсорного контролю (ШЗЗ, ВО і ЗО). Всього для аналізу було відібрано 75 показників стабілометрії. Як ознака, що прогнозувалася (вихідна ознака), аналізувався показник Y , який приймав значення $Y=0$ для контрольної групи і $Y=1$ – для дослідної групи, і, таким чином, дозволяв здійснити класифікацію функціональних станів. Необхідно підкреслити, що Y – кількісна характеристика функціонального стану, яка може змінюватися на інтервалі $[0;1]$. Моделі будувалися на підставі аналізу 852 записів стабілограм для 142 досліджуваних. Для вибору найбільш адекватної та зручної у практичному використанні моделі всі випадки (з використанням генератора випадкових чисел) були розділені на 3 множини: навчальна (використовувалася для побудови моделі і включала 752 записи результатів дослідження), контрольна (використовувалася для оптимізації порогу прийняття/відхилення і включала 40 записів) і тестова (використовувалася для перевірки прогностичної здатності моделі на нових даних і включала 60 записів). Модель вважалася адекватною, якщо її похибка на навчальній множині (похибка навчання) була не меншою ($p > 0,05$) за похибку навчання на тестовій множині (похибка узагальнення).

Були побудовані моделі класифікації ФС за 75, 19, 9 та 5 ознаками. Для вибору найбільш значущих для прогнозування факторних ознак був використаний генетичний алгоритм відбору. Порівняльна характеристика прогностичної якості (Se – чутливість, Sp – специфічність) отриманих моделей прогнозування ФС представлена у таблиці 1.

Результати аналізу прогностичної якості моделей свідчать про те, що модель, яка була побудована на 5 вхідних ознаках має достатню високу чутливість на тестовій множині, що є слідством її адекватності для вирішення поставленої задачі.

Таблиця 1. Порівняльна характеристика прогностичної якості моделей прогнозу ФС за показниками стабілометрії (%(95% ВІ))

	Множина					
	навчальна		контрольна		тестова	
	Se, %	Sp, %	Se, %	Sp, %	Se, %	Sp, %
75	85,7 (81,7-89,3)	58,8 (42,7-78,9)	76,9 (48,2-96,1)	81,5 (64,1-94,0)	60,0 (51,2-83,6)	82,9 (68,2-93,6)
19	74,8 (70,0-79,4)	75,3 (71,1-79,3)	61,5 (31,9-87,1)	59,3 (39,6-77,5)	76,0 (56,7-93,6)	82,9 (68,2-93,6)
9	71,7 (66,7-76,5)	73,0 (68,7-77,1)	92,3 (69,7-100)	70,4 (51,2-86,4)	84,0 (66,4-95,9)	88,6 (75,6-97)
5	72,4 (67,4-77,1)	73,7 (69,6-77,7)	92,3 (69,7-100)	66,7 (47,2-83,5)	84,0 (66,4-95,9)	82,9 (68,2-95,9)

Примітка. N – кількість вхідних ознак моделі

Значущі факторні ознаки при прогнозуванні функціональних станів на підставі 5 факторних ознак наведені в таблиці 2. У модель увійшли наступні ознаки: ПС коливань на частоті 1,5 Гц у а/п

площині з відкритими очима, довжина стабілограми L з відкритими очима, ПС коливань на частотах 0,5; 1,5 та 3,5 Гц у а/п площині.

Таблиця 2. Значущі факторні ознаки при прогнозуванні функціонального стану на підставі 5 ознак

Типи тестування	
ВО (1 ознака)	ЗО (4 ознаки)
ПС _{1,5 Гц} а/п	L
-	ПС _{0,5 Гц} а/п
-	ПС _{1,5 Гц} а/п
-	ПС _{3,5 Гц} а/п

На рисунку представлена ROC-крива для моделі прогнозу функціональних

станів на 5 ознаках.

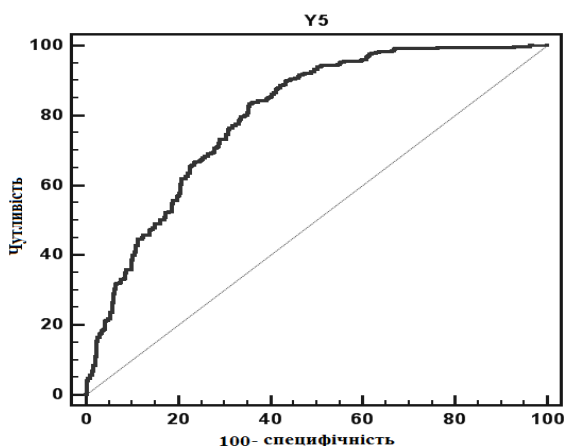


Рисунок. Крива операційних характеристик нелінійної моделі прогнозу функціональних станів на 5 вхідних ознаках

Площа під ROC-кривою $AUC=0,798\pm 0,016$ (статистично значуще відмінна від 0,5 на рівні значущості $p<0,001$). При оптимізації порогу прийняття/відхилення моделі на навчальній і контрольній множині було отримане значення $Y_{кр.}=0,520$. У випадку, коли в результаті розрахунків значення $Y<Y_{кр.}$, прогноз функціональних станів слід вважати позитивним, в іншому разі – негативним.

Чутливість цієї моделі на навчальній множині склала 72,4% (95% ВІ 67,4% – 77,1%), специфічність – 73,7% (95% ВІ 69,4% – 77,7%). На контрольній множині

чутливість моделі була 92,3 (95% ВІ 69,7-100), специфічність – 66,7 (95% ВІ 47,2-83,5). Чутливість побудованої моделі на тестовій множині склала 84,0% (95% ВІ 66,4%–95,9%), специфічність – 82,9% (95% ВІ 68,2% – 95,9%). Виходячи з результатів аналізу і вимог щодо мінімізації набору факторних ознак для оцінки стану досліджуваних, остаточно може бути запропонована нелінійна нейромережева модель прогнозу, побудована на 5 ознаках. Ця модель прогнозу функціональних станів представляє собою двошаровий перцептрон з одним прихованим шаром, 5 вхідними ознаками і однією вихідною.

Висновки

Прогноз ФС людини за показниками стабілометрії може успішно здійснюватися на основі оцінки довжини стабілограми, зареєстрованої при ЗО, ПС коливань на частотах 0,5; 1,5 і 3,5 Гц у а/п площині при тестуванні із ЗО і ПС коливань з частотою 1,5 Гц у а/п площині при ВО. Виходячи з аналізу п'ятифакторної нейромережевої моделі, збільшення довжини стабілограми при тестуванні із ЗО може розцінюватися як факт погіршення функціонального стану досліджуваних. Збільшення довжини стабілограми обумовлене переважанням в структурі рухів, необхідних для підтримки ВП, великої кількості дрібних високочастотних коливань. Такі коливання можуть виникати при порушенні процесів передачі інформації в різних відділах ЦНС, що в результаті функціональних і органічних порушень приводить до

дискординації рухів. Збільшення ПС коливань у низькочастотній області (0-1Гц) свідчить про посилення процесів зворотної аферентації при підтримці ВП і поліпшенні ФС досліджуваних. Підтримка ВП у цьому випадку здійснюється за рахунок злагодженої взаємодії різних рівнів ЦНС. Збільшення ПС коливань в області високих частот (1,5-3,5 Гц) може виникати при появі різних порушень у моторній сфері. Зокрема, підвищена активність базальних ядер кінцевого мозку при їх розгальмовуванні може приводити до збільшення частоти коливань кінцівок. Це позначатиметься на амплітудно-частотних характеристиках коливань ЦМ. Регуляція пози при проведенні тестів із заплющеними очима, в основному, здійснюється за рахунок коливань вперед і назад.

Література та вебліографія

1. Анализ стабิโลграмм у лиц с нарушениями координации движений / Ю.Е. Лях, Ю.Г. Выхованец, О.Г. Горшков [и др.] // Университетская клиника. – 2009. – Т. 5, № 1-2. – С. 99-102.
2. Бернштейн Н. А. Физиология движений и активность / Н.А.Бернштейн. – Москва: Наука, 1990. – 495 с.
3. Биокбернетические механизмы саморегуляции устойчивости и поддержания вертикальной позы (нейросетевой анализ) / Ю.Е. Лях, О.Г. Горшков, В.Г. Гурьянов, Ю.Г. Выхованец // Нейронауки: Теоретичні та клінічні аспекти. – 2010. – Т.6, №2. – С. 28-32.
4. Биокбернетический анализ стабิโลграмм у лиц с нарушениями координации движений / Ю.Е. Лях, Ю.Г. Выхованец, О.А. Панченко, С. Я. Семисалов, // Український журнал телемедицини та медичної телематики. – 2009. – Т7, №1. – С. 31-34.

5. Классификация объектов в биомедицинском исследовании: нейросетевая парадигма / Ю.Е. Лях, Ю.Г. Выхованец, В.Г. Гурьянов, А.Н. Черняк // Нейронауки: Теоретичні та клінічні аспекти. – 2006. – Т.2, №1-2. – С. 103-109.
6. Лях Ю.Є. Програмно - апаратний комплекс для біомедичних досліджень / Ю.Є.Лях, Ю.Г. Выхованец, В.Г. Гур'янов [та ін.] // Медична інформатика та інженерія. – 2008. – № 1. – С. 9-13.
7. Нейросетевая классификация параметров стабิโลграммы / Ю.Е. Лях, Ю.Г.Выхованец, В.И. Прокопец, А.Н. Черняк // Збірник наукових статей випуск XIX: Актуальні питання фармацевтичної та медичної науки та практики. – Запоріжжя, 2008. – С.85-88.
8. Скворцов Д. В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ

походки, стабилومتрия / Д. В. Скворцов, Т. М. Андреева. – Москва, 2007. – 640 с.

9. *Paquette C.* Old age affects gaze and postural coordination / C. Paquette, J.Fung // *Gait Posture.* – 2011. – Vol. 33, №2. – P.227-232.

10. *Rougier P.* Effects of visual feedback of center-of-pressure displacements on undisturbed upright postural control of hemiparetic stroke patients / P. Rougier, S.Boudrahem // *Restor Neurol. Neurosci.* – 2011. – Vol. 28, №6. – P.749-759.

Надійшла до редакції: 25.10.2011.

© Ю.Е. Лях, Ю.Г. Вихованец

*Кореспонденція: Лях Ю.Е. ,
Пр-т Ілліча, 16, 83003, Донецьк, Україна
E-mail: rodger1964@dsmu.edu.ua*