

AUTOMATED ASSESSMENT OF A STUDENTS CIRCULATORY SYSTEM FUNCTIONAL STATE USING MARTINE'S TEST

B.A. Voinyk¹, G.V. Borisova¹, V.S. Umanets^{1*}, G.L. Boiko¹, A.V. Pavlov², Ie.A. Nastenko¹

¹Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, Kyiv, Ukraine

²International Research and Training Center for Information Technologies and Systems, NAS and MES of Ukraine, Kyiv, Ukraine

*Corresponding author: 2_bytes@ukr.net

Received 16 July 2018; Accepted 8 August 2018

Background. The systematic self-control of students' health state allows optimizing the educational process organization of physical education and contribute improving the functioning of body systems. One of the common methods of such observation is the functional Martine's test, which provides an opportunity to investigate the dynamics of changes in blood pressure and heart rate between the resting state and every minute for five minutes after the load. In most cases, this load characteristic sufficiently fully reflects the student's cardiovascular system state. The determination of the characteristic patterns of such states will allow offering a mechanism for assessing the functional state of the circulatory system. The regular Martine's testing will allow observing the dynamics and evaluating changes in the body during the observation period.

Objective. Creation of an automated system for assessing of a student's circulatory system functional state changes.

Methods. The students database of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute" created during the research by the Department of Physical Education, was used for the study. To determine the functional patterns, separately for boys and girls, cluster analysis was used by the "k-means" method in the parameter space of the blood pressure and heart rate measured during the functional Martine's test. As a result, 7 clusters of states for young men and 8 clusters for girls were obtained. Clusters differ significantly in the nature of the response of blood pressure and heart rate to the load test. The centroids of the resulting clusters were further considered as functional patterns (the most typical representatives) of the body's response to the test physical load. The assessment of the circulatory system functional state is calculated by comparing the student test data with the previously defined functional patterns by the minimum Euclidean distance criterion. Conclusions about the functional state of the system are formed.

Results. The clusters of the circulatory system functional states in the extended space of blood pressure and heart rate parameters of functional Martine's test are obtained. The clusters correspond to the normal states and different stages of the regulatory reserves reduction of the body. The algorithm allowing to consider features of an organism functional state at essential deviation of Martine's test indicators from a certain functional pattern is developed. This admits controlling the individual level of physical activity, adapting the training program and identifying conditions requiring additional medical control.

Conclusions. As a study result, the automated system for assessing the functional state of technical university students circulatory system using Martine's test was developed. The system relates observation to one of the study sample clusters that were obtained using the "k-means" method. For additional information on the state of the circulatory system, the average radius of the cluster is used, since objects that are far removed from the center may have properties similar to those of a neighboring cluster. The developed system provides an opportunity for screening control the students cardiovascular system state during the educational process.

Keywords: clustering; "k-means" method; functional circulation pattern; minimal Euclidean distance; cluster average radius; functional Martine's test.

Introduction

Systematic self-monitoring of your health is a necessary step for improving the functioning of body's systems and supporting it in a tone. Performing physical exercises positively affects the student's body and allows performing an analysis of physical abilities. With the help of Martine's functional test, it is possible to investigate the dynamics of changes in blood pressure and pulse between the

resting state and every minute for five minutes after exercise.

Since the state of physical health can vary regardless of physical activity, the regular conduct of Martine's test [1, 2] will allow observing the dynamics of changes in the body for a certain period [3–5].

The objective of the work is to create a system for assessing changes in the functional state of the circulatory system by comparing the test parameters with predefined functional blood circulation patterns based on the criterion of the minimum

Euclidean distance and forming of basic and additional conclusions about the state of the organism.

Materials and methods

The students database of the National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", created in the course of research conducted by the Department of Physical Education, was used for the study.

All students had a medical certificate about the ability of taking physical education courses, as well as gave written consent to the passing of the test. Testing consisted of going through Martine's test that is, performing 20 sit-ups in 30 seconds.

Immediately before the start of the test and every minute for 5 minutes afterwards, the systolic and diastolic blood pressure and heart rate (HR) values were measured.

To determine the functional patterns (centroids of clusters), a database of 1419 students single multidimensional observations was used. The gender composition of the base is 800 men and 619 women. The dimension of clustering space of the circulatory system functional state was determined $\text{dim} = 18$: systolic, diastolic blood pressure and heart rate for 6 points of time Martine's test.

To formulate a formal description of the characteristics of each cluster, 353 quantitative indicators were analyzed that reflect the functional state of the circulatory system and the psychophysical state of patients.

Separately for males and females, to determine the functional patterns, that is, the ratios of the above indicators, a cluster analysis using the "k-means" [6] method was performed. At the preliminary stage of the research, 7 clusters were obtained for males and 8 clusters in females data, which differed significantly from each other by the nature of the responses of blood pressure (BP) and heart rate metrics to Martine's test. The centroids of the resulting clusters were further considered as functional patterns (the most typical representatives) of the body's response to the test of physical activity.

To study changes in the state of the circulatory system, the database contained data from repeated tests of students, which were performed from 2 to 6 times at different intervals. This database contained 590 observations, consisting of 268 female and 322 male students and additional 133 indicators of the psychophysical status of students.

Euclidean distance was used as a criterion for the proximity of the individual student, named below as x_j to the center c_i of a particular cluster i :

$$d_{i,j}^2 = \sqrt{\sum_{k=1}^{18} (c_i^{(k)} - x_j^{(k)})^2} \quad (1)$$

where $c_i^{(k)}$ is a coordinate value k of cluster centroid i , and $x_j^{(k)}$ is a coordinate value k of the object x_j which is the member of cluster i . In addition, for each cluster, a parameter is calculated, which we will call as it's average radius:

$$R_i = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} \sqrt{\sum_{k=1}^{18} (c_i^{(k)} - x_j^{(k)})^2}}{n_i}$$

where $x_j^{(k)}$ is a coordinate value k of object x_j , which is a member of cluster i ; n_i is an object quantity of cluster with number i .

Results

The study used a database containing blood pressure and cardiovascular measurements of students who had taken Martine's test more than once.

The reciprocal arrangement of clusters' centroids, which were used as functional patterns of response to an exercise test, are presented in Figs. 1–4 where SP and DP are systolic and diastolic blood pressure respectively. Here, each cluster centroid is represented by 6 centers corresponding to 6 time points of Martine's test.

To assess the circulatory system functional state the following algorithm was developed and applied.

1. Using proximity measure (1), we define the cluster with minimal distance to the analyzed object.
2. Using proximity measure (1), we define the cluster with subminimal distance to the analyzed object.
3. Determine whether the parameters of this test were located within the average radius of the cluster ("yes" or "no").
4. If test parameters were located within the cluster average radius, then only the information about functional and psychophysical features of the closest, cluster is displayed as result.
5. If "no", the information about functional and psychophysical features of the cluster with a subminimum distance is displayed in addition.

The flowchart of the above algorithm is shown in Fig. 5.

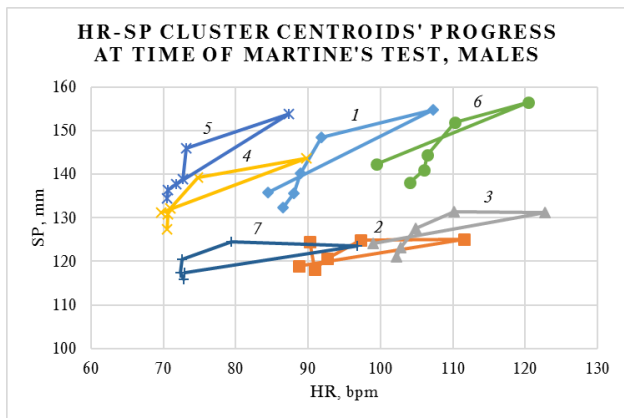


Figure 1: Changes in systolic blood pressure indicators before and within 5 min after Martine's test. Males (1-7 – clusters 1-7 respectively)

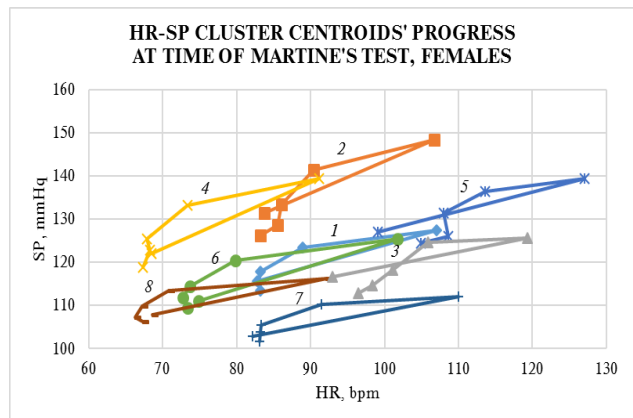


Figure 3: Changes in systolic blood pressure indicators before and within 5 min after Martine's test. Females (1-8 – clusters 1-8 respectively)

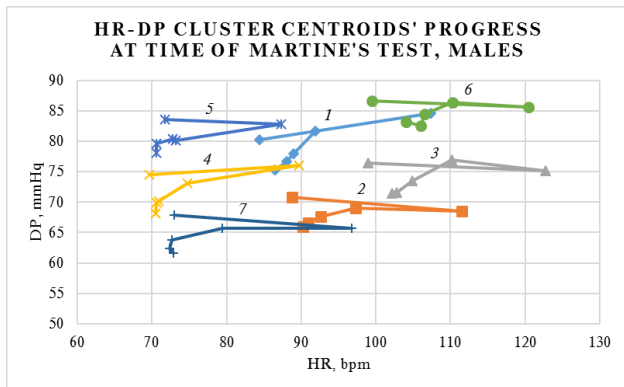


Figure 2: Changes in diastolic blood pressure measurements before and within 5 min after Martine's test. Males (1-7 – clusters 1-7 respectively)

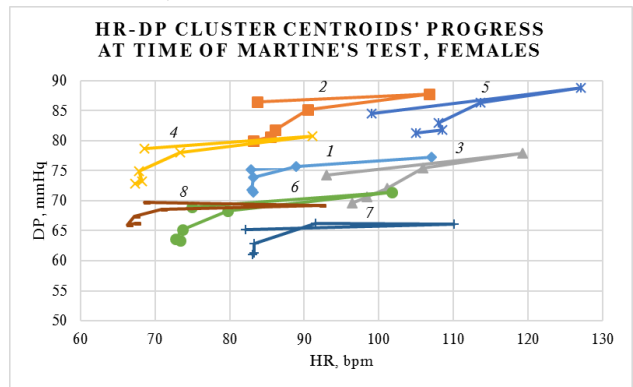


Figure 4: Changes in diastolic blood pressure indicators before and within 5 min after Martine's test. Females (1-8 – clusters 1-8 respectively)

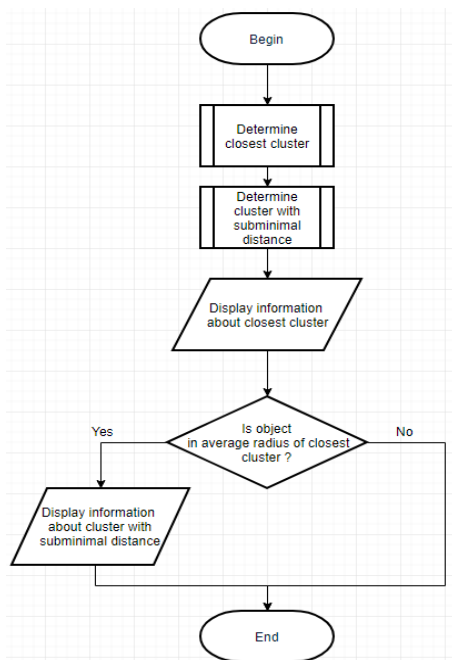


Figure 5: Flowchart of an algorithm for generating conclusions about student's current functional state

Discussion

Using the developed system, the results of the monitoring application of Martine's test were analyzed from 1 to 6 times in 590 observation students, which consisted of 268 female and 322 male students. Each observation corresponds to a certain code of the functional state (cluster number).

Causes of existing functional states of blood circulation were analyzed using 133 indicators of the psychophysical state of students. The values of these indicators in clusters were analyzed using a dispersion analysis [7].

Analysis of changes in these indicators is not the purpose of this work and deserves a separate consideration.

Distribution of students in clusters, presented in Tables 1, 2 allows estimating the prevalence of a certain regulatory type in student groups.

Thus, the developed algorithm allows taking into account additional possible features of the

functional state of the organism with significant deviation of the parameters of Martine's test from a certain functional pattern, that is, the cluster average radius.

Table 1. Number of students in clusters. Males

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Cluster 7
40	67	45	50	6	11	103

Table 2. Number of students in clusters. Females

Cluster 1	Cluster 2	Cluster 3	Cluster 4	Cluster 5	Cluster 6	Cluster 7	Cluster 8
58	16	35	13	8	41	51	46

The algorithm allows determining blood circulation conditions, which correspond to reduction of regulatory reserves and significant increase in blood pressure. This allows controlling the individual level of physical activity, modifying the training program and identifying conditions that require additional medical control.

In addition, the use of a system for screening control of large groups of students is possible for the identification of persons at high risk of sudden circulatory disorders.

The results of the system were compared with expert assessments. A completely acceptable (87%) match of both types of estimates is established.

Conclusions

As a study result, a system for assessing the functional state of the students cardiovascular system with the use of Martine's test was developed. The system matches observation to one of the study sample clusters that were obtained using the "k-means" method. For additional information on the circulatory system state, the mean radius of the cluster is used, since objects that are far removed from the center may have properties similar to those of a neighboring cluster.

The developed system provides an opportunity to control the state of the cardiovascular system as a one-time, and to conduct screening control of a group of students.

The size of the input vector (input structure) and the number of functional patterns are not fixed and can be modified in the process of improving the system.

The future studies will focus on finding larger differences between clusters to refine their characteristics. Also, the studies will focus on finding patterns of changes in the functional status of the circulatory system of students who have passed Martine's test more than once in order to identify risk groups of sudden circulatory disorders and decrease functional reserves. Further research will be aimed at determining the optimal number of functional patterns and a more detailed assessment of changes in physiological parameters.

References

- [1] Chekalova N. Functional reserves of childrens' and adolescents' organisms. Methods of research and evaluation. Nizhny Novgorod: NizhGMA; 2010.
- [2] Chekalova N. Methods of research and evaluation of functional reserves of childrens and adolescents organisms: Guidelines. Nizhny Novgorod: NizhGMA; 2009.
- [3] Brehman I. Valeology – The science of health. Moscow: FiS; 1990.
- [4] Mikhailova S, Kuzmichev J, Zhulin N. Evaluation of the functional state of students on the results of step test and Martine-Kushelevsky test. *Vestnik Zdorov'e i Obrazovanie v XXI Veke*. 2016;18(12):36-9.
- [5] Boyko A, Nastenka I, Nosovets O, Voynik B, Fedchishin M. Evaluation of coronary blood supply conditions for Martine's modified test for junior students. *Visnyk Universytetu "Ukraina"*. 2017;1:51-62.
- [6] Xiao Y, Yu J. Partitive clustering (K-means family). *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery*. 2012;2(3):209-25. DOI: 10.1002/widm.1049
- [7] Voynik B. Constructing result tables for realization algorithm of finding minimum path to cluster on the basis of dispersion analysis. *The Scientific Heritage*. 2017;14(14):21-7.

Б.О. Войник, Г.В. Борисова, В.С. Уманець, Г.Л. Бойко, А.В. Павлов, Є.А. Настенко

АВТОМАТИЗОВАНА ОЦІНКА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО СТАНУ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ СТУДЕНТІВ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПРОБИ МАРТИНЕ

Проблематика. Систематичні самостійні спостереження студентів за станом свого здоров'я дають змогу оптимізувати організацію навчального процесу фізичного виховання і сприяють поліпшенню функціонального стану систем організму. Однією з поширених методик такого спостереження є функціональна проба Мартіне, яка надає можливість досліджувати динаміку зміни

артеріального тиску і пульсу в період між станом спокою і на кожній хвилині після навантаження протягом п'яти хвилин. Вказана навантажувальна характеристика в більшості випадків досить повно відображає стан серцево-судинної системи студента. Визначення характерних патернів таких станів дасть змогу пропонувати механізм оцінки функціонального стану системи кровообігу. Регулярне проведення проби Мартіне дасть можливість спостерігати динаміку й оцінювати зміни в організмі за період спостережень.

Мета. Створення системи автоматизованої оцінки змін функціонального стану системи кровообігу студентів.

Методика реалізації. Для дослідження використовувалася база даних студентів Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського", створена в процесі досліджень кафедри фізичного виховання. Для визначення функціональних патернів, окремо для юнаків і дівчат, застосовувався кластерний аналіз методом "к-середніх" у просторі параметрів артеріальний тиск-пульс, виміряних у процесі проведення проби Мартіне. В результаті було отримано 7 кластерів станів для юнаків і 8 кластерів для дівчат. Кластери істотно відрізняються за характером реакції показників артеріального тиску і пульсу на виконання тесту. Центроїди отриманих кластерів у подальшому розглядалися як функціональні патерни (типові представники) реакції організму на тестове фізичне навантаження. Оцінка функціонального стану системи кровообігу розраховується у порівнянні показників тесту студента з раніше визначеними функціональними патернами за критерієм мінімальної евклідової відстані. Формуються висновки про стан системи.

Результати. Отримано кластери функціональних станів системи кровообігу в розширеному просторі параметрів артеріальний тиск-пульс проби Мартіне. Кластери відповідають станам норми і різним стадіям зниження регуляторних резервів організму. Розроблено алгоритм, що дає змогу враховувати особливості функціонального стану організму при суттєвому відхиленні показників проби Мартіне від певного функціонального патерну. Це дає можливість контролювати індивідуальний рівень фізичних навантажень, адаптувати програму тренувань і виявляти стани, що вимагають додаткового медичного контролю.

Висновки. Розроблено систему автоматизованої оцінки функціонального стану кровообігу студентів технічного університету із застосуванням проби Мартіне. Система відносить спостереження в один із кластерів навчальної вибірки, отриманих із використанням методу "к-середніх". Для додаткової інформації про стан системи кровообігу використовується середній радіус кластера, оскільки об'єкти, сильно віддалені від центра, можуть мати властивості, близькі до властивостей сусіднього кластера. Розроблена система дає змогу як здійснювати контроль за станом системи кровообігу одноразово, так і проводити скринінговий контроль групи студентів.

Ключові слова: кластеризація; метод "к-середніх"; функціональний патерн кровообігу; мінімальна евклідова відстань; середній радіус кластера; функціональна проба Мартіне.

Б.А. Войник, Г.В. Борисова, В.С. Уманец, Г.Л. Бойко, А.В. Павлов, Е.А. Настенко

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМЫ КРОВООБРАЩЕНИЯ СТУДЕНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОБЫ МАРТИНЕ

Проблематика. Систематические самостоятельные наблюдения студентов за состоянием своего здоровья позволяют оптимизировать организацию учебного процесса физического воспитания и способствуют улучшению функционального состояния систем организма. Одной из распространенных методик такого наблюдения является функциональная проба Мартине, которая предоставляет возможность исследовать динамику изменения артериального давления и пульса в период между состоянием покоя и на каждой минуте после нагрузки в течение пяти минут. Указанная нагрузочная характеристика в большинстве случаев достаточно полно отражает состояние сердечно-сосудистой системы студента. Определение характерных паттернов таких состояний позволит предлагать механизм оценки функционального состояния системы кровообращения. Регулярное проведение пробы Мартине позволит наблюдать динамику и оценивать изменения в организме за период наблюдений.

Цель. Создание системы автоматизированной оценки изменений функционального состояния системы кровообращения студентов.

Методика реализации. Для исследования использовалась база данных студентов Национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского", созданная в процессе исследований кафедры физического воспитания. Для определения функциональных паттернов, отдельно для юношей и девушек, применялся кластерный анализ методом "к-средних" в пространстве параметров артериальное давление-пульс, измеренных в процессе проведения пробы Мартине. В результате были получены 7 кластеров состояний для юношей и 8 кластеров для девушек. Кластеры существенно отличаются по характеру реакции показателей артериального давления и пульса на выполнение теста. Центроиды полученных кластеров в дальнейшем рассматривались как функциональные паттерны (типичные представители) реакции организма на тестовую физическую нагрузку. Оценка функционального состояния системы кровообращения рассчитывается посредством сравнения показателей теста студента с ранее определенными функциональными паттернами по критерию минимального евклидова расстояния. Формируются заключения о состоянии системы.

Результаты. Получены кластеры функциональных состояний системы кровообращения в расширенном пространстве параметров артериальное давление-пульс пробы Мартине. Кластеры соответствуют состояниям нормы и различным стадиям снижения регуляторных резервов организма. Разработан алгоритм, позволяющий учитывать особенности функционального состояния организма при существенном отклонении показателей пробы Мартине от определенного функционального паттерна. Это дает возможность контролировать индивидуальный уровень физических нагрузок, адаптировать программу тренировок и выявлять состояния, требующие дополнительного медицинского контроля.

Выводы. В результате проведенного исследования была разработана система автоматизированной оценки функционального состояния кровообращения студентов технического университета с применением пробы Мартине. Система относит наблюдения в один из кластеров обучающей выборки, полученных с использованием метода "к-средних". Для дополнительной информации о состоянии системы кровообращения используется средний радиус кластера, поскольку объекты, сильно удаленные от центра, могут иметь свойства, близкие к свойствам соседнего кластера. Разработанная система позволяет как осуществлять контроль за состоянием системы кровообращения одновременно, так и проводить скрининговый контроль группы студентов.

Ключевые слова: кластеризация; метод "к-средних"; функциональный паттерн кровообращения; минимальное евклидово расстояние; средний радиус кластера; функциональная проба Мартине.