Дата публикации: 01.06.2022
DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_24
УДК 615.327-001.6

Publication date: 01.06.2022
DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_24
UDC 615.327-001.6

СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ СКРЫТЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

В.Ф. Репс[1], Н.В. Ефименко[1,2], А.Н. Можельский[1]

[1]Пятигорский научно-исследовательский институт курортологии, филиал ФГБУ учреждения «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Пятигорск, Россия

[2]ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства», г. Ессентуки, Россия

Аннотация. Проведен аналитический литературный обзор различных методов визуализации результатов биологических и лабораторных исследований. Проанализированы возможности использования методов и приемов визуализации для выявления закономерностей модификации обменных процессов при изучении механизмов действия слабых природных лечебных факторов региона Кавказские Минеральные Воды.

Ключевые слова: эксперимент, базы данных, визуализация, метаболизм, минеральные воды.

MODERN POSSIBILITIES OF EXPERIMENTAL DATA VISUALIZATION TO IDENTIFY HIDDEN PATTERNS

V.F. Reps[1], N.V. Efimenko[1,2], A.N. Mozhelskij[1]

[1]Pyatigorsk Research Institute of Balneology, the branch of the FSBI "North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency" in Pyatigorsk, Russia

[2]FSBI "North-Caucasian Federal Research-Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency", Essentuki, Russia

Annotation. In this study, we have carried out an analytical literature review of various methods of visualization of the results obtained from biological and laboratory studies. The possibilities of using visualization methods and techniques to identify patterns of metabolic processes modification in the study of the mechanisms of action of weak natural healing factors of the Caucasian Mineral Waters region were analyzed.

Keywords: experiment, databases, visualization, metabolism, mineral waters.

Введение. В современных биологических и медико-биологических исследованиях используется широкий инструментарий визуализации как на этапе разработки дизайна эксперимента [1], так и на стадии обработки и анализа полученных экспериментальных морфометрических и лабораторных данных. Лабораторные данные, представленные с помощью одной конкретной визуализации линейного графика – «спарклайнов» – оценивались быстрее, чем при представлении их в обычной таблице [2-3]. Различные методы визуализации используют при демонстрации результатов метаанализа большой базы клинических и экспериментальных данных по определенному направлению исследований [4].

Используются также различные платформы для сравнительной, эволюционной и функциональной геномики. Эти платформы представляют исследователям широкий набор геномов, типов данных и инструментов анализа через удобные вебсайты и массовые загрузки [5].

Особым образом визуализируются результаты генетических исследований. При идентификации большого количества доменов отдельных генов результаты могут быть сгруппированы в большую ветвь на

дендрограмме. Анализ тканевой экспрессии трехкомпонентных мотивных белков (TRIM), количество прочтений и уровень микроРНК обрабатываются с помощью TBtools для создания так называемой «тепловой карты» (heatmap), где размеры красных или синих точек на тепловой карте отражают уровни экспрессии генов, а цветовые оттенки представляют кластерные корреляции генов с точки зрения уровней их экспрессии [6].

Природные лечебные факторы оказывают поливалентные воздействия на функциональные блоки организма, при этом степень этого воздействия незначительна и зависит от исходного уровня метаболизма. В связи с этим возникает необходимость при анализе механизмов действия природных факторов применять различные виды визуализации полученных экспериментальных данных для выявления скрытых закономерностей, особенно при моделировании этих процессов на здоровых животных.

Цель исследования: проанализировать возможности использования различных методов и приемов визуализации для выявления закономерности модификации обменных процессов при изучении механизмов действия слабых природных лечебных факторов.

Методы и организация исследования. Проведен аналитический обзор научных публикаций в электронных базах данных PubMed, Web of Science, eLibrary по критериям: визуализация экспериментальных и лабораторных исследований, программное обеспечение визуализации баз данных. Визуализация была выполнена на языке R version 4.1.1 (2021-08-10) [7] с помощью пакетов ggplot2 [8], aplpack [9] и GGally [10].

Результаты исследования и их обсуждение. Область вычислительной биологии стала в значительной степени зависеть от инструментов визуализации для анализа растущего количества данных, собираемых за счет использования новых и развивающихся технологий. Помимо объема, который часто приводит к выявлению большого числа незначительных изменений и сложных взаимосвязей без четкой структуры, визуализация биологических данных затруднена их неоднородностью, так как данные получены различными методами и содержат самые разнообразные атрибуты, в том числе пространственные и временные информационные блоки. В связи с этим требуются такие подходы к визуализации, которые способны не только одновременно представлять различные структуры данных, но и предоставлять исследовательские методы, которые позволяют идентифицировать значимые отношения, которые невозможно обнаружить с помощью других алгоритмов анализа данных [11]. Выбор того или иного средства визуализации конечно зависит от поставленной задачи (например, нужно определить структуру данных или же динамику процесса) и от характера набора данных.

Гистограммы применяют для сравнения значений в течение некоторого периода или же соотношения величин. Приведем пример применения гистограмм для описания характера изменения веса животных в процессе эксперимента по применению курса питьевых природных и модифицированных минеральных вод (МВ) Пятигорского курорта (рис. 1).

Графики «скрипки» более информативные, чем аналогичные прямоугольные, так как показывают полное распределение данных, а не только медианные значения и межквартильный диапазон. Как известно, скрипичные диаграммы применяются для визуализации представления распределения переменных (или выборочного распределения) по различным категориям. В нашем случае, это динамика изменения массы тела животных в различных экспериментальных группах. Согласно представленным графикам (рис. 2), можно фиксировать изменение распределения данных в группах в течение месяца при применении различных питьевых курсов: КГ – питьевая вода, ОГ1 – питьевой курс природной МВ «Машук 19» и ОГ2 – курсовой прием МВ «Машук 19» с L-карнитином. Такой вариант представления числовых данных в динамике гораздо

более информативен, чем табличный вариант или линейные диаграммы [12], так как они представляют сочетание диаграмм размаха и графика плотности, развернутых по обе стороны для отображения формы распределения анализируемых экспериментальных данных.

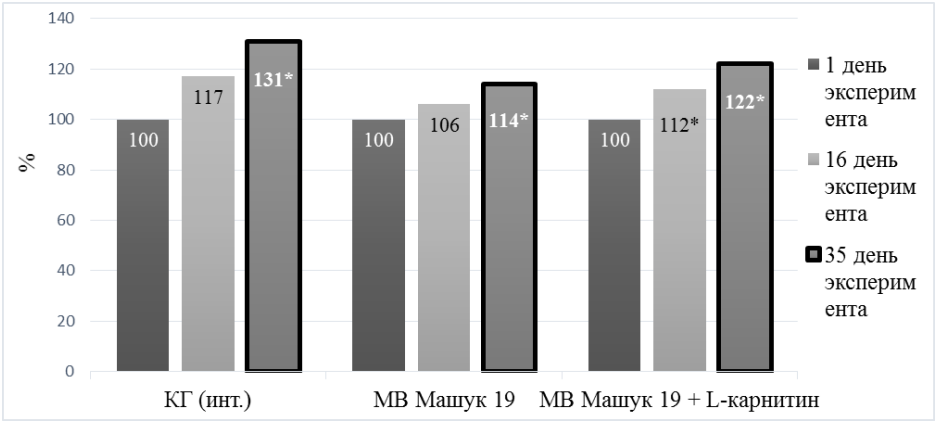


Рис. 1. Динамика набора массы тела крыс линии «Вистар» в эксперименте [12]

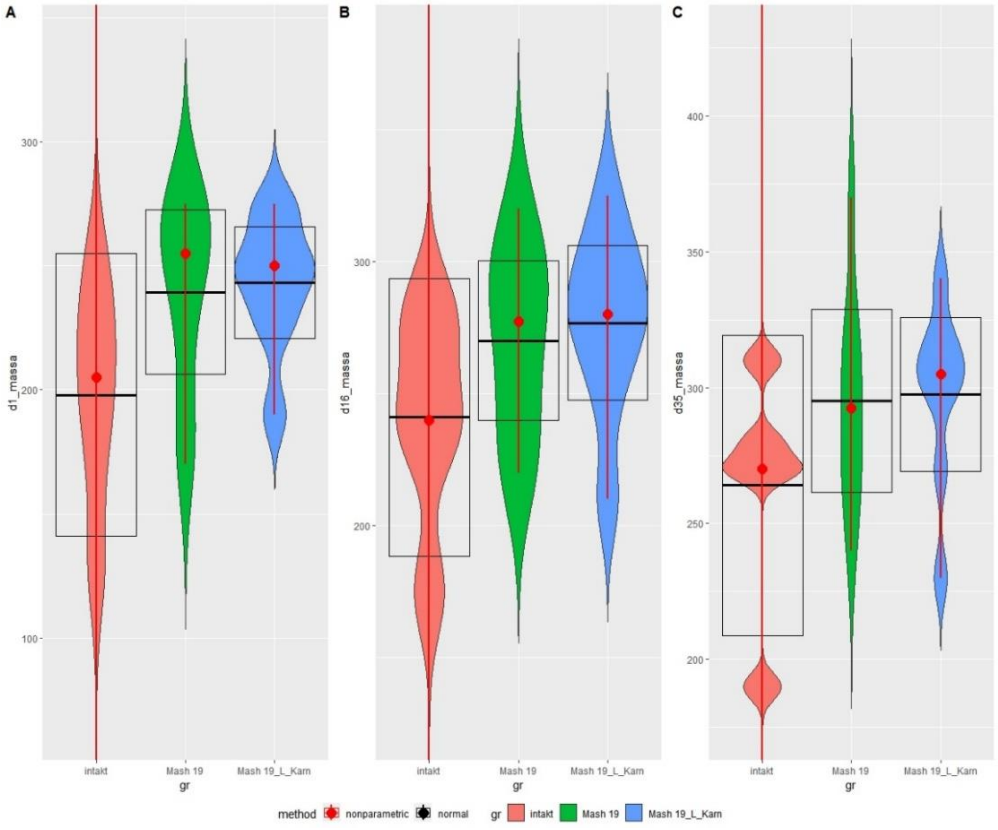


Рис. 2. Динамика изменения массы тела животных во время эксперимента – 1 (A), 16 (B) и 35 (C) дни (график скрипки- Violin plot))

Примечание: КГ(intact) – питьевая вода (красный цвет), ОГ1 (Mash 19) – питьевой курс природной МВ «Машук 19» (зеленый цвет) и ОГ2 (Mash_L-arn) – курсовой прием МВ «Машук 19» с L-карнитином (синий цвет)

Круговые диаграммы используют, если необходимо отобразить соотношение частей и целого, т.е. для анализа состава или структуры явлений. Составные части целого изображают секторами окружности. Секторы рекомендуется размещать по их величине: вверху самый крупный, остальные – по движению часовой стрелки в порядке уменьшения их величины. Круговые диаграммы также применяют для отображения результатов факторного анализа, если действие всех факторов являются однонаправленными. При этом каждый фактор отображается в виде одного из секторов круга.

Есть особенности анализа и визуализации данных «живой» (динамические процессы в организме экспериментальных животных) и «неживой» (статические системы – состав питьевой МВ) природы.

По химическому составу и физическим свойствам питьевые воды Пятигорска представляют собой сложные системы. Природная МВ «Машук-19» отличается по составу и минерализации от других вод города-курорта Пятигорск. Это наглядно видно с использованием различных приемов визуализации (рис. 3, 4).

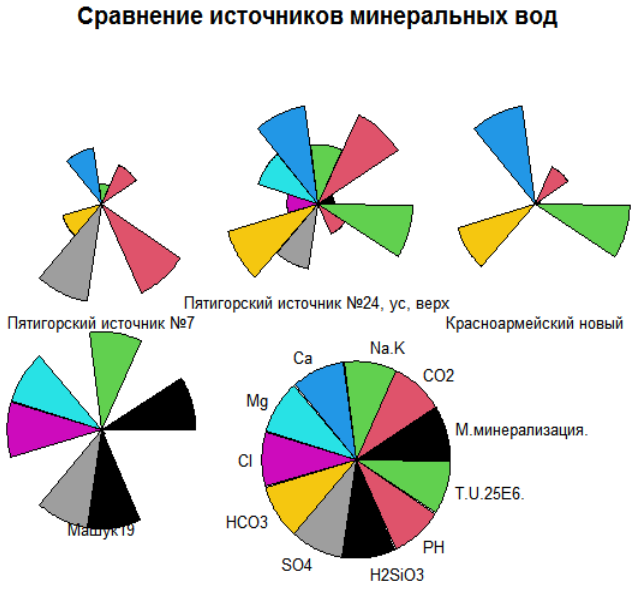


Рис. 3. Физико-химические свойства некоторых МВ Пятигорска – диаграммы «Звезды»

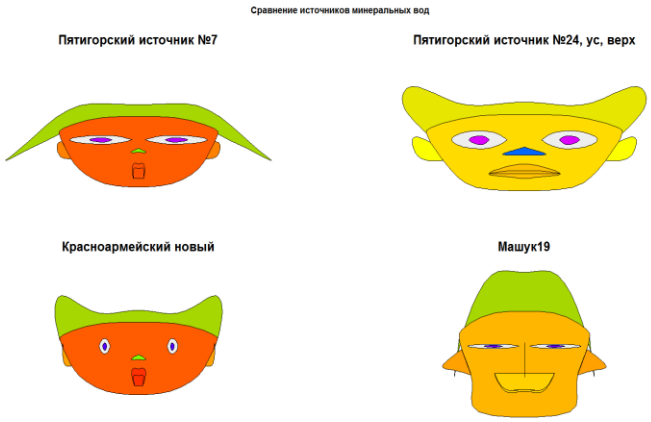


Рис. 4. Физико-химические свойства некоторых МВ Пятигорска – лица Чернова

Для визуализации данных по физико-химическому составу питьевых МВ с нашей точки зрения наиболее приемлемы радиальные диаграммы (например «Звезды», рис. 3). Использование многомерных пиктографиков – не очень простой, но мощный исследовательский инструмент разведочного анализа данных. С помощью пиктографиков можно представить элементарные наблюдения как отдельные графические объекты, где значения переменных соответствуют определенным чертам или размерам объекта (рис. 4).

Лица Чернова – это один из наиболее интересных типов пиктографиков. Лица Чернова (Chernoff Faces) – схема визуального представления многофакторных данных в виде человеческого лица. Для каждого наблюдения рисуется отдельное «лицо», где относительные значения выбранных переменных представлены как формы и размеры отдельных черт лица – 18 параметров (например, длина носа, угол между бровями, ширина лица). Эти пиктографики больше подходят для анализа многомерных медицинских данных, характеризующих изменения состояния человека в различные стадии патогенеза определенного заболевания или в период реабилитационных мероприятий [13]. В 1981 году Бернард Флури и Ганс Ридвил (Bernhard Flury, Hans Riedwyl) улучшили концепцию и добавили лицам Чернова асимметрию, что позволило увеличить количество переменных вдвое (до 36).

Тепловая карта (heatmap) — это метод визуализации данных, который показывает величину явления в виде цвета в двух измерениях. Изменение цвета может быть связано с оттенком или интенсивностью, что дает читателю очевидные визуальные подсказки о том, как явление сгруппировано или изменяется в пространстве. Визуализация функции плотности представляет собой тепловую карту для представления плотности точек на карте. Это позволяет воспринимать плотность точек независимо от коэффициента масштабирования. Перро и др. (2015) предложили способ использования функции плотности для визуализации огромного количества точек с использованием инфраструктуры больших данных с помощью Spark и Hadoop [14].

Отдельные элементы тепловой карты (heatmap) используются для визуализации результатов оценки корреляционных взаимосвязей между парами показателей (рис. 5, 6 и 7). При оценке возможных метаболических путей реализации эффекта таких природных лечебных факторов как питьевые МВ представление полученных результатов в виде таблиц не всегда информативно, особенно в физиологических экспериментах на здоровых животных, так как изменения абсолютных значений показателей обменных процессов зачастую незначительные [12]. В этой точки зрения, гораздо информативнее анализ корреляционных взаимосвязей между отдельными показателями различных обменов, при этом важное значение имеют как абсолютные значения коэффициентов корреляции, так и их направленность (прямая – положительная или обратная – отрицательная корреляции). Так, например в контрольной группе (рис. 5) отмечается высокая степень корреляции между содержанием в крови гормонов Т4 и инсулина, причем между показателями уровень глюкозы и Т4 r=-0,8.

После курса питьевой МВ «Машук-19» эти взаимосвязи ослабевают и, что более значимо, меняются на противоположный знак – фиксируется обратная корреляция между этими показателями. Этот факт свидетельствует о перестройке гормональных регуляторных блоков обменных процессов. Какой при этом метаболический эффект? Для этого необходимо проводить дополнительные исследования субстратного звена метаболических путей (рис. 6).

При модификации природной МВ метаболически активным субстратом L-карнитином (рис. 7) регистрируются обратные корреляционные взаимосвязи, но уже в гормональном звене обменных процессов (Т4/ кортизол r=-0,8; Т3/инсулин r=-0,7).

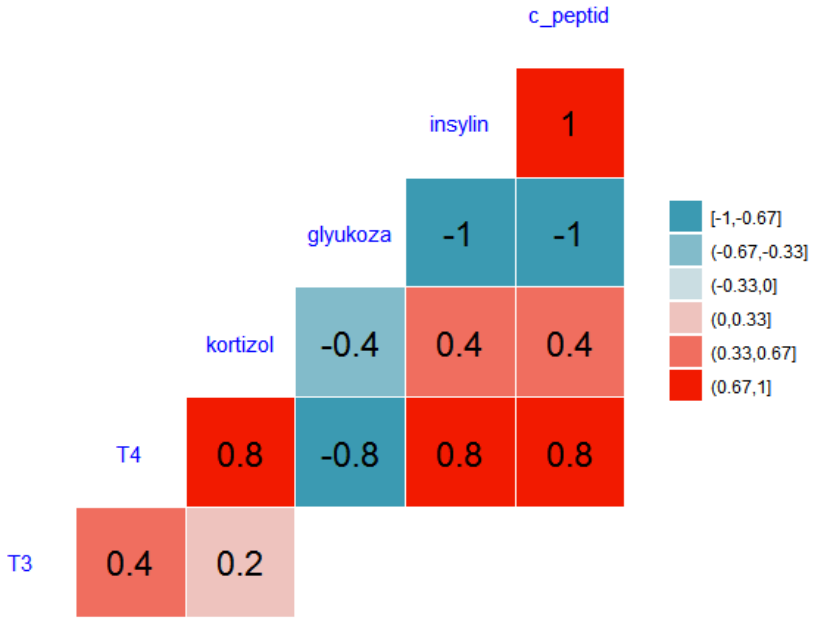


Рис. 5. Корреляционные взаимосвязи между субстратными (глюкоза) и гормональными блоками обмена (интактные животные)

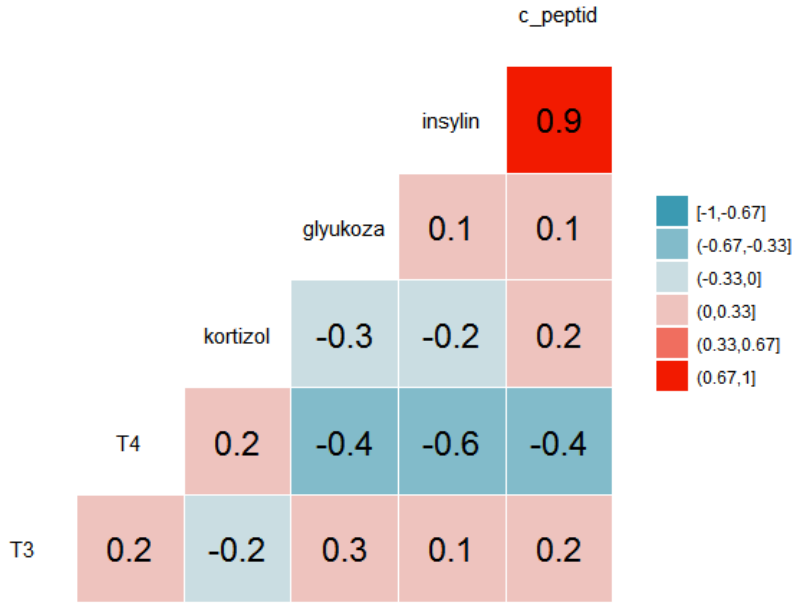


Рис. 6. Корреляционные взаимосвязи между субстратными (глюкоза) и гормональными уровнями обмена (здоровые животные после курса природной МВ «Машук-19»)

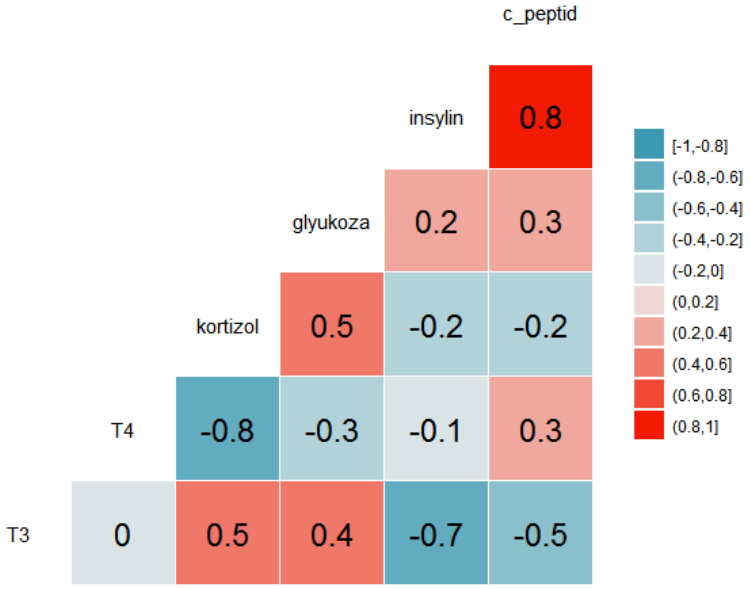


Рис. 7. Корреляционные взаимосвязи между субстратными (глюкоза) и гормональными уровнями обмена (здоровые животные после питьевого курса МВ «Машук-19» с L-карнитином

Ранее в Пятигорском НИИ курортологии проводились экспериментальные исследования по анализу функциональных уровней регуляции обменных процессов в структуре биологических эффектов питьевых МВ различного состава и минерализации региона Кавказские Минеральные Воды. Курсовое применение МВ курорта-Пятигорска анализировалось как с позиции гормональной, так и субстратной регуляции модификации обмена веществ. Изучение метаболических реакций после курса МВ «Машук-19» проводилось в 80-е годы XX столетия в основном с точки зрения местных реакций желудочно-кишечного тракта экспериментальных животных [15, 16].

Гормональные регуляторные блоки при применении курса МВ «Машук-19» анализировались недостаточно (рис. 6). Известно, что тиреоидные гормоны в физиологических концентрациях ускоряют белковый синтез, стимулируют процессы роста и дифференцировки клеток. Метаболические эффекты этих гормонов, в основном, относят к энергетическому метаболизму. Возможно, с этим связана активация этого метаболического регуляторного пути с добавлением в МВ L-карнитина, обеспечивающего транспорт длинноцепочечных жирных кислот в митохондрию для β-окисления и, как следствие, усиление их метаболизма и рост уровня АТФ (рис. 7).

Заключение. Таким образом, с помощью использования различных методов и приемов визуализации можно выявить скрытые на первый взгляд закономерности модификации обменных процессов при изучении механизмов действия слабых природных лечебных факторов, например, питьевых МВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. An interactive visualization tool and data model for experimental design in systems biology / S. Kapoor, C. Quo, A. Merrill, M. Wang // Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2008. – Vol. 2008. – pp. 2423-2426. DOI: 10.1109/IEMBS.2008.4649688.
2. Torsvik, T. Presentation of clinical laboratory results: an experimental comparison of four

visualization techniques / T. Torsvik, B. Lillebo, G. Mikkelsen // J Am Med Inform Assoc. – 2013 Mar-Apr. – Vol. 20(2). – pp. 325-331. DOI: 10.1136/amiajnl-2012-001147.

3. Krauze, A.V. Molecular Biology in Treatment Decision Processes-Neuro-Oncology Edition / A. V. Krauze, K. Camphausen // Int J Mol Sci. – Dec 10, 2021. – Vol. 22(24). – pp. 13278. DOI: 10.3390/ijms222413278.

4. A Case Study Using Visualization Interaction Logs and Insight Metrics to Understand How Analysts Arrive at Insights / H. Guo, S. Gomez, C. Ziemkiewicz, D. Laidlaw // IEEE Trans Vis Comput Graph. – Jan, 2016. – Vol. 22(1). – pp. 51-60. DOI: 10.1109/TVCG.2015.2467613.

5. PLAZA 5.0: extending the scope and power of comparative and functional genomics in plants / Van Bel M., Silvestri F., Weitz E.M. [et al] // Nucleic Acids Res. – Jan 7, 2022. – Vol. 50(D1). – pp. 1468-1474. DOI: 10.1093/nar/gkab1024.

6. Genome-Wide Identification and Expression Analysis of Potential Antiviral Tripartite Motif Proteins (TRIMs) in Grass Carp (*Ctenopharyngodon idella*) / Qin B., Xiao T., Ding C. [et al] // Biology (Basel). – Dec 1, 2021. – Vol. 10(12). – pp. 1252. DOI: 10.3390/biology10121252.

7. R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: https://www.R-roject.org/ (дата обращения 14.03.2022).

8. Wickham, H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis / H. Wickham. Springer-Verlag New York, 2016.

9. Wolf H (2019). _aplpack: Another Plot Package (version 190512). URL: https://cran.r-project.org/package=aplpack (дата обращения 14.03.2022).

10.GGally: Extension to 'ggplot2'. R package version 2.1.2 / Schloerke B., Cook D., Larmarange J. [et al]. – 2021. URL: https://CRAN.R-project.org/package=GGally (дата обращения 14.03.2022).

11.Cruz, A. Interactive and coordinated visualization approaches for biological data analysis / A. Cruz, J.P. Arrais, P. Machado // Brief Bioinform. – Jul 19, 2019. – Vol. 20(4). – pp. 1513-1523. DOI: 10.1093/bib/bby019.

12.Котова, М. Е. Влияние курсового приёма минеральной воды «Машук-19» и L-карнитина на метаболизм здоровых животных в эксперименте / М. Е. Котова, Л. А. Пигунова // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_4.

13.Кочетыгов, И. С. Визуализация многомерных медицинских данных с помощью пиктографиков «лица Чернова» / И. С. Кочетыгов, Р. О. Прокопьев // Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сборник научных трудов Международной конференции с международным участием, 29 апреля – 2 мая 2014 г., Томск: в 2 ч. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – Ч. 1. – С. 242-244.

14.Large interactive visualization of density functions on big data infrastructure / Perrot A., Bourqui R., Hanusse N. [et al] // IEEE 5th Symposium on Large Data Analysis and Visualization (LDAV), 2015. – pp. 99-106. DOI: 10.1109/LDAV.2015.7348077.

15. Горюнова, Т.И. Влияние минеральных вод на амилолитическую активность слизистой тонкого кишечника / Т. И. Горюнова, Р. Ф. Краснолуцкая // Сборник научных трудов Пятигорского НИИ курортологии и физиотерапии. – Минеральные Воды: типография Ставропольского крайкома КПСС– 1976. – С.15-16.

16.Дерябина, В.М. К вопросу о специфическом влиянии минеральных вод на функции некоторых органов пищеварительном системы / В. М. Дерябина // Сборник научных трудов Пятигорского НИИ курортологии и физиотерапии. – Минеральные Воды: типография Ставропольского крайкома КПСС. – 1976. – С. 4-7.

REFERENCES

1. Kapoor S., Quo C.F., Merrill A.H. Jr., Wang M.D. An interactive visualization tool and data model for experimental design in systems biology. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc.-2008, vol. 2008, pp. 2423-2426. DOI: 10.1109/IEMBS.2008.4649688.

2. Torsvik T., Lillebo B., Mikkelsen G. Presentation of clinical laboratory results: an experimental comparison of four visualization techniques. *J Am Med Inform Assoc*, Mar-Apr, 2013, vol. 20(2), pp. 325-331. DOI: 10.1136/amiajnl-2012-001147.

3. Krauze A.V., Camphausen K. Molecular Biology in Treatment Decision Processes-Neuro-Oncology Edition. *Int J Mol Sci*, Dec 10, 2021, vol. 22(24), pp.13278. DOI: 10.3390/ijms222413278.

4. Guo H., Gomez S.R., Ziemkiewicz C., Laidlaw D.H. A Case Study Using Visualization Interaction Logs and Insight Metrics to Understand How Analysts Arrive at Insights. *IEEE Trans Vis Comput Graph*, Jan, 2016, vol. 22(1), pp. 51-60. DOI: 10.1109/TVCG.2015.2467613.

5. Van Bel M., Silvestri F., Weitz E.M., Kreft L., Botzki A., Coppens F., Vandepoele K. PLAZA 5.0:

extending the scope and power of comparative and functional genomics in plants. *Nucleic Acids Res*, Jan 7, 2022, vol. 50(D1), pp. 1468-1474. DOI: 10.1093/nar/gkab1024.
6. Qin B, Xiao T, Ding C, Deng Y, Lv Z, Su J. Genome-Wide Identification and Expression Analysis of Potential Antiviral Tripartite Motif Proteins (TRIMs) in Grass Carp (Ctenopharyngodon idella). *Biology (Basel)*, Dec 1, 2021, vol. 10(12), pp.1252. DOI: 10.3390/biology10121252.
7. R Core Team (2021). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL: https://www.R-roject.org/ (accessed 14.03.2022).
8. Wickham H. ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. Springer-Verlag New York, 2016.
9. Wolf H (2019). _aplpack: Another Plot Package (version 190512). URL: https://cran.r-project.org/package=aplpack (accessed 14.03.2022).
10. Schloerke B., Cook D., Larmarange J., Briatte F., Marbach M., Thoen E., Elberg A., Crowley J. GGally: Extension to 'ggplot2'. R package version 2.1.2. 2021. URL: https://CRAN.R-project.org/package=GGally (accessed 14.03.2022).
11. Cruz A., Arrais J.P., Machado P. Interactive and coordinated visualization approaches for biological data analysis. *Brief Bioinform*, Jul 19, 2019, vol. 20(4), pp.1513-1523. DOI: 10.1093/bib/bby019.
12. Kotova M.E, Pigunova L.A. The effect of course intake of mineral water "Mashuk-19" and L-carnitine on the metabolism of healthy animals in an experiment, *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 1. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_4. (in Russ.)
13. Kochetygov I.S., Prokop'ev R.O. Visualization of multidimensional medical data using the "Chernoff faces" pictographs. Information Technologies in Science, Management, Social Sphere and Medicine: collection of scientific papers of the International Conference with international participation. Tomsk: Publishing house of the Tomsk Pedagogical University, 2014, part 1, pp. 242-244. (in Russ.)
14. Perrot A., Bourqui R., Hanusse N., Lalanne F., Auber D. Large interactive visualization of density functions on big data infrastructure . IEEE 5th Symposium on Large Data Analysis and Visualization (LDAV), 2015, pp. 99-106. DOI: 10.1109/LDAV.2015.7348077.
15. Goryunova T.I., Krasnolutskaya R.F. The influence of mineral waters on the amylolytic activity of the small intestine mucosa. Collection of scientific papers of the Pyatigorsk Research Institute of Balneology and Physiotherapy. Mineral Waters: Publishing house of the Stavropol Regional Committee of the CPSU, 1976. pp. 15-16. (in Russ.)
16. Deryabina V.M. On the question of the specific effect of mineral waters on the functions of some organs of the digestive system. Collection of scientific papers of the Pyatigorsk Research Institute of Balneology and Physiotherapy. Mineral Waters: Publishing house of the Stavropol Regional Committee of the CPSU, 1976. pp. 4-7. (in Russ.)

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Валентина Федоровна Репс – доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела изучения механизмов действия физических факторов Пятигорского научно-исследовательского института курортологии) филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства» (ПНИИК ФФГБУ СКФНЦ ФМБА России) в г. Пятигорске, e-mail: v.reps@mail.ru.
Наталья Викторовна Ефименко – доктор медицинских наук, профессор, заместитель генерального директора ФГБУ «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства» (ФГБУ СКФНКЦ ФМБА России) по научной работе, руководитель Пятигорского НИИ курортологии ФФГБУ СКФНКЦ ФМБА России, Пятигорск, e-mail: pniik.adm@skfmba.ru.
Андрей Николаевич Можельский – заведующий сектором математического моделирования и статистической обработки Пятигорского научно-исследовательского института курортологии) филиал федерального государственного бюджетного учреждения «Северо-Кавказский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства» (ПНИИК ФФГБУ СКФНЦ ФМБА России) в г. Пятигорске, e-mail: pniik.an.mojelsky@skfmba.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Valentina Fedorovna Reps – Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Leading Researcher of the Department for Studying the Mechanisms of the Action of Physical Factors, Pyatigorsk Research Institute of Balneology – the branch of the FSBI "North-Caucasian Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency" in Pyatigorsk, e-mail: v.reps@mail.ru.
Natal'ya Viktorovna Efimenko – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Pyatigorsk Research Institute of Balneology – the branch of the FSBI "North-Caucasian Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency; Deputy General Director for Scientific Work, FSBI "North-Caucasian Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency", Pyatigorsk; e-mail: pniik.adm@skfmba.ru.
Andrej Nikolaevich Mozhel'skij – Head of the Sector of Mathematical Modeling and Statistical Processing, Pyatigorsk Research Institute of Balneology – the branch of the FSBI "North-Caucasian Federal Research and Clinical Center of the Federal Medical and Biological Agency" in Pyatigorsk, e-mail: pniik.an.mojelsky@skfmba.ru.

Для цитирования: Репс, В. Ф. Современные возможности визуализации экспериментальных данных для выявления скрытых закономерностей / В. Ф. Репс, Н. В. Ефименко, А. Н. Можельский // Современные вопросы биомедицины. – 2022. – Т. 6. – № 2. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_24

For citation: Reps V.F., Efimenko N.V., Mozhelskij A.N. Modern possibilities of experimental data visualization to identify hidden patterns. *Modern Issues of Biomedicine*, 2022, vol. 6, no. 2. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_02_24