

publisher.agency
Norway

July, 2026

No 14



Oslo, Norway

16-17.07.2026

International
Scientific
Conference

Theoretical Hypotheses and Empirical Results

UDC 001.1

P 97

Publisher.agency: Proceedings of the 14th International Scientific Conference «Theoretical Hypotheses and Empirical results» (July 16-17, 2026). Oslo, Norway, 2026. 124p



ISBN 978-6-2274-1139-3

DOI 10.5281/zenodo.21445260

Editor: Mary Olafsen, Professor, Nord University

International Editorial Board:

Anja Kazemi

Professor, University of South-Eastern Norway

Ståle Shokri

Professor, Universitetslektor - Universitetet i Sørøst-Norge

Karen Foray

Professor, University of Oslo

Hosein Nilsen

Professor, USN School of Business

Aida Drake

Professor, Buskerud University College

Gjerdalen Rolfson

Professor, University College Southeast Norway

Etty Allern

Professor, Norwegian Business School

Dr. Irmelin Kujanpää

Professor, University of South-Eastern Norway

Terje Øivind Madsen

Professor, Bergen National Academy of the Arts

Sigurd Sunagic

Professor, Inland Norway University of Applied Sciences

Miika Vesin

Professor, Norwegian Naval Academy

Dag Anderson-Glenna

Professor, Norwegian School of Economics

Mirha Seierstad

Professor, Norwegian University of Life Sciences

Boban Tavassoli

Professor, Norwegian University of Science and Technology

Cathrine Vikhagen

Professor, OsloMet - Oslo Metropolitan University

Sara Stendal

Professor, University of Agder

editor@publisher.agency

<https://publisher.agency/>

Table of Contents

Medical Sciences

EVALUATION OF COORDINATION EFFECTIVENESS BETWEEN PRIMARY HEALTH CARE AND PUBLIC HEALTH SERVICES.....	4
<i>AKYLBЕК БАҚЫТЖАН</i>	
ОТКАЗ ОТ ВАКЦИНАЦИИ: КАК ВРАЧУ-ПЕДИАТРУ ВЫСТРОИТЬ ДИАЛОГ С 'АНТИВАКЦИНАТОРАМИ'	12
<i>ЖАНӘДІЛ ҰЛСАНА ЖАНӘДІЛҚЫЗЫ</i>	
СПИНАЛЬНАЯ МЫШЕЧНАЯ АТРОФИЯ (СМА) У ДЕТЕЙ: ОТ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ (СИНДРОМ 'ВЯЛОГО РЕБЕНКА') К ПАТОГЕНЕТИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ	21
<i>ЖАНӘДІЛ ҰЛСАНА ЖАНӘДІЛҚЫЗЫ</i>	

Physical and Mathematical Sciences

АЛГЕБРА ЖӘНЕ АНАЛИЗ БАСТАМАЛАРЫ ПӘНІН ОҚЫТУДАҒЫ САБАҚТАСТЫҚ НЕГІЗДЕРІ	47
<i>А.Е.ӘБІЛҚАСЫМОВА</i>	
<i>А.Н.УМИРАЛХАНОВ</i>	

Philological Sciences

ASPEKT UND AKTIONART IM DEUTSCH-GEORGISCHEN VERGLEICH.....	50
<i>ELISO KORIDZE</i>	
XARICI DILLƏRİN ÖYRƏNİLMƏSİNİN LİNGVODİDAKTİK ƏSASLARI	55
<i>RƏFİYEVA XURAMAN ƏLİ QIZI</i>	
JEWISH ANTHROPONYMS COMMON IN GEORGIA	59
<i>MANANA MIKADZE</i>	

Economic Sciences

БРЕНД-МЕНЕДЖМЕНТ КАК УПРАВЛЕНЧЕСКАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ: КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КОМПАНИЙ КАЗАХСТАНА	63
<i>АППАЗОВА ОЛЕСЯ ВЛАДИМИРОВНА</i>	
СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ, АРХИТЕКТУРА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ РИСКА МОШЕННИЧЕСТВА В БАНКЕ	69
<i>ПИЛИПЕНКО АННА</i>	
FORECASTING BILATERAL TRADE GROWTH SCENARIOS UNDER DIFFERENT TRANSPORT INFRASTRUCTURE INVESTMENT MODELS. THE CASE OF THE CHINA – KAZAKHSTAN – CENTRAL ASIA TRADE AND TRANSPORT CORRIDOR.....	76
<i>LYU JUNFENG</i>	
<i>MYNJAHOVA GULZHAKAN TLESOVNA</i>	
<i>TUKEMBAYEVA KYIAL CHABULBEKOVNA</i>	
ECONOMIC IMPACTS OF AZERBAIJAN'S ENERGY DIPLOMACY	86
<i>SARVAN SAFAROV</i>	
<i>SARRAF SAFAROV</i>	
<i>LACHIN JAVADOV</i>	

Legal Sciences

К ВОПРОСУ ОБ УГОЛОВНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ДРОППЕРСТВО	97
<i>УСЕИНОВА КАРЛЫГАШ РАХИМЖАНОВНА</i>	
<i>КЕГЕМБАЕВА ЖАНАР АМАНЖАНОВНА</i>	

Psychological Sciences

THE ROLE OF PARENTING STYLES IN BULLYING CASES.....	106
<i>NIGAR ILHAM KHAZIMLI</i>	

Biological Sciences

MODERN REJUVENATION AND ANTI-AGING THERAPIES: MOLECULAR MECHANISMS, RISK FACTORS, CURRENT INTERVENTIONS, AND FUTURE TECHNOLOGICAL DIRECTIONS	108
<i>DAVID APKHAZAVA</i>	
<i>MAIA NOZADZE</i>	
<i>IURI MIGRULI</i>	
<i>KETEVAN CHAKHNASHVILI</i>	
<i>MZIA TSIKLAURI</i>	
<i>MANANA MAKHARADZE</i>	
<i>MAIA BERODZE</i>	
<i>NODAR SULASHVILI</i>	
<i>GIORGI MARGVELANI</i>	
<i>TAMUNA SAMADASHVILI</i>	
<i>MAHAM IJAZ</i>	
<i>NINO MAZIASHVILI</i>	
<i>LOLITA SHENGELIA</i>	
<i>GEORGE MAGLAKELIDZE</i>	
<i>ILIA ATANELISHVILI</i>	

Medical Sciences

EVALUATION OF COORDINATION EFFECTIVENESS BETWEEN PRIMARY HEALTH CARE AND PUBLIC HEALTH SERVICES

Akylbek Bakytzhan

Almaty Multidisciplinary Clinical Hospital. Ophthalmologist. (Almaty, Kazakhstan)

Abstract. This study examines the effectiveness of coordination mechanisms between primary health care (PHC) levels and sanitary-epidemiological (public health) services. A central imperative in contemporary healthcare systems is enhancing population health outcomes by strengthening the nexus between curative-preventive measures and sanitary-prophylactic operations. A comprehensive analysis of interagency interaction within healthcare organizations in the Republic of Kazakhstan was conducted. The study utilized mixed methods—including quantitative surveys, expert interviews, and statistical modeling—to evaluate the informational, organizational, and functional linkages between PHC professionals and public health representatives. The findings indicate that a high level of coordination between these two structures plays a critical role in preventing non-communicable chronic diseases and ensuring the timely containment of epidemiological outbreaks. However, systemic barriers within the current framework were identified, including the fragmentation of unified digital platforms, personnel shortages, and the duplication of functions. To address these deficiencies, a new model of integrated evaluation indicators is proposed. The conclusions of this research offer practical recommendations for healthcare managers, public policy makers, and medical organization executives seeking to optimize curative and preventive processes. Implementing systematic coordination facilitates enhanced healthcare accessibility and the efficient allocation of state resources.

Keywords: primary health care, public health service, coordination effectiveness, interagency integration, preventive medicine, healthcare management, evaluation indicators.

Introduction

In the current era of health system transformation, enhancing the quality and accessibility of medical care delivered to the population constitutes a primary strategic goal. As underscored in the World Health Organization (WHO) Declaration of Astana (2018), primary health care (PHC) serves as the cornerstone of any sustainable healthcare system. However, a PHC level oriented exclusively toward curative care cannot fully shield public health from modern bio-social threats. Consequently, the coordination of interaction between PHC and sanitary-epidemiological surveillance (public health care) services emerges as a critical priority. Public health care focuses on ensuring the sanitary-epidemiological well-being of the population, preventing diseases, and monitoring hazardous environmental factors. The effectiveness of coordination between these two structures determines the overall performance of the healthcare system.

In recent years, the Republic of Kazakhstan has undertaken extensive reforms to strengthen the PHC level. Nevertheless, at the practical level, a disconnection between outpatient networks and sanitary-epidemiological services regarding informational and functional communication remains frequently observable. For instance, the coordination of joint actions in investigating infectious disease outbreaks, planning vaccination processes, and mitigating risk factors for non-communicable diseases (NCDs) continues to exhibit low efficiency. This situation results in the inefficient expenditure of medical resources, duplication of services, and, crucially, prolonged response times during epidemiological crises. Therefore, evaluating the effectiveness of coordination between these two sectors using scientifically grounded methods has become an urgent scientific and practical imperative.

The process of evaluating coordination between PHC and public health care encompasses complex socio-economic and medical factors. It must capture not merely the speed of document circulation, but also the continuity of curative and preventive measures, the population's satisfaction with medical services, and the dynamics of public health indicators. The purpose of this study is to develop a comprehensive methodology for evaluating the interaction between PHC and public health care, and to empirically demonstrate its effectiveness using the example of medical organizations in Kazakhstan.

The objectives of the study include: first, determining the level of functional integration between PHC and public health services; second, identifying the primary barriers that restrict the speed of information exchange between the two structures; and third, constructing an evaluation model to assess the impact of the coordination level on public health indicators (e.g., vaccination coverage, disease prevention). Addressing these issues paves the way for new directions in healthcare management.

Literature Review

The integration of medical services and its impact on the efficiency of the healthcare system is a widely debated topic in global scientific literature. The theoretical foundations of integrating primary medical care and public health sectors have been thoroughly analyzed in the works of international researchers. Numerous scholars rate the effectiveness of a coordinated system in managing public health very highly.

Drawing on international experience, Starfield (1994) demonstrated in her seminal research that the effectiveness of a PHC system is directly dependent on its linkage with other public health institutions. The author posits that primary care yields systemic results only when it expands beyond curative measures to encompass sanitary-prophylactic directions. Advancing this line of inquiry, Saltman and Busse (2002) analyzed reforms in European healthcare systems and noted that the decentralization of PHC and sanitary surveillance can, in certain contexts, impair coordination. They argue that organizational fragmentation leads to a disruption in medical services.

In evaluating practical models of service integration, Valentine et al. (2008) proposed the concept of "responsiveness" based on the experience of developed countries. This concept allows for an assessment of how rapidly the joint actions of PHC and public health services can respond to epidemiological threats. From this perspective, Atun (2012) analyzed health systems through an innovative lens, determining that integration failures in health care are frequently caused by inadequate information technologies and conflicting stakeholder interests. Furthermore, Legido-Quigley et al. (2013), examining quality assessment indicators for medical care, substantiated the necessity of specific Key Performance Indicators (KPIs) to measure the effectiveness of sanitary measures at the PHC level. Among international studies, the work of Smith et al. (2019) holds a prominent position; they classified the integration levels between primary care and public health, distinguishing organizational, functional, and clinical integration.

Within the Kazakhstani scientific community, this issue has been actively researched over the past decade. Domestic scholars propose evaluation methods that account for local specificities, including the budgetary system and the infrastructural legacy inherited from the Soviet Semashko model. For instance, Kulzhanov (2015), analyzing the historical and contemporary aspects of PHC reforms in Kazakhstan, emphasized that the isolation of public health services from PHC reduces the efficacy of preventive measures. He advocates for the establishment of a unified vertical management structure.

Akanov et al. (2017) raised the issue of jointly training personnel in PHC and sanitary-epidemiological well-being to advance domestic medical education and science. Their research indicates that the absence of interdisciplinary connections hinders effective communication among future professionals in practice. In the context of digitalization in Kazakhstan, Turbekova (2020) investigated information flows between curative institutions and sanitary control bodies. The author demonstrated that medical information systems (such as Damumed) are not fully integrated with the databases of public health services, a factor that significantly slows coordination effectiveness. Additionally, Musaev (2022), analyzing health financing mechanisms, proposed economic incentive methods for coordination between PHC and public health care. In his view, integrating preventive indicators into the per capita norm increases the interest of both parties in collaborative work.

The literature review demonstrates that although the importance of PHC and public health services is recognized both internationally and in Kazakhstan, there is a lack of unified, mathematically and statistically grounded evaluation models to measure the effectiveness of their coordination. This study aims to bridge these existing theoretical gaps and provide a practical assessment tool.

Materials and Methods

Study Design and Cohort

The study was conducted between 2025 and 2026 across curative-preventive institutions in two major regions of the Republic of Kazakhstan (the cities of Astana and Almaty, as well as the Almaty Region). The research involved 12 urban clinics and 6 district central hospitals at the PHC level, along with the territorial departments of the Committee for Sanitary and Epidemiological Control serving these regions.

The study utilized a mixed-methods approach:

1. **Quantitative Method:** A specialized survey administered among PHC physicians (general practitioners, pediatricians, internists) and public health specialists (n=450).
2. **Qualitative Method:** In-depth, focused interviews conducted with healthcare organization managers and experts (n=30).

The survey comprised three main blocks: the speed of information exchange, organizational alignment, and the shared utilization of resources. Questions were evaluated on a 5-point Likert scale (1 – completely ineffective, 5 – highly effective).

Methodology for Calculating the Index of Coordination Effectiveness (ICE)

To mathematically evaluate coordination effectiveness, an Index of Coordination Effectiveness (ICE) was developed. The index is calculated using the following formula:

$$ICE = \alpha \cdot \text{linf} + \beta \cdot \text{lorg} + \gamma \cdot \text{lres}$$

Where:

- linf – Informational Compatibility Sub-index (speed and accuracy of data transmission).
- lorg – Organizational Compatibility Sub-index (joint orders, plans, and committees).
- lres – Resource Compatibility Sub-index (joint mobilization of personnel and material assets).

• α, β, γ – Weighting coefficients determined via expert evaluation ($\alpha=0.4$, $\beta=0.35$, $\gamma=0.25$; by definition, $\alpha+\beta+\gamma=1$).

Each sub-index assumes a value from 0 to 1. The overall ICE value is interpreted as follows: above 0.8 – high effectiveness; 0.5–0.8 – moderate effectiveness; below 0.5 – low (critical) coordination level.

Statistical Analysis

Data processing was performed utilizing SPSS Statistics v.26 software. The Student's t-test and Pearson correlation analysis were employed to evaluate differences between groups. Confidence levels were recognized as significant when the p -value was less than 0.05.

Experimental Evaluation of Immunization Coverage and Epidemiological Preparedness

To connect coordination effectiveness with concrete outcomes, medical organizations within the study were divided into two groups:

• **Group A (Integrated Model):** Utilized unified information chats, monthly joint monitoring meetings, and shared epidemiological teams.

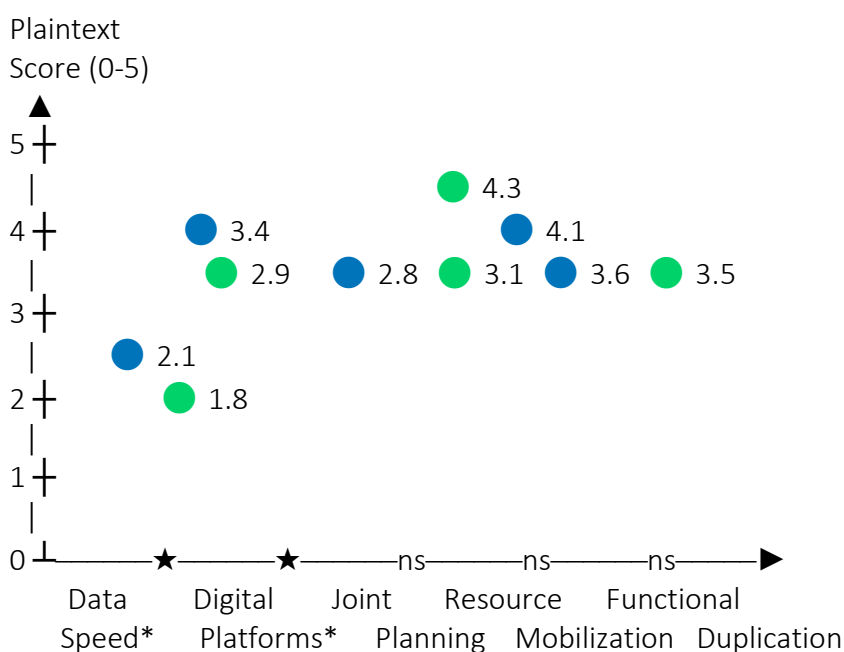
• **Group B (Traditional Model):** Interaction occurred exclusively through formal written requests and quarterly reports.

The indicators of the two groups were compared over a 6-month period.

Research Results and Comparative Visualizations

Figure 1 illustrates the average scores provided by the participating PHC and public health specialists on the 5-point Likert scale.

Figure 1. Comparative Evaluation of Interaction Components Between PHC and Public Health Services

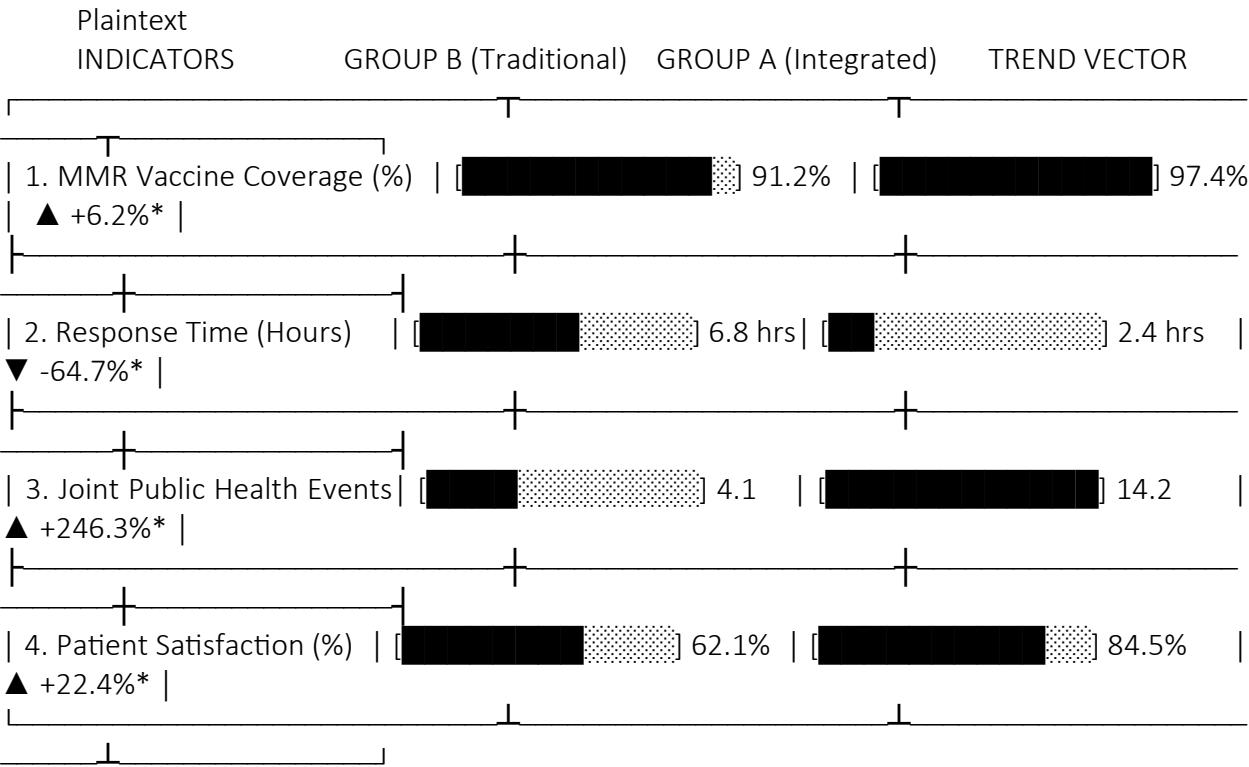


(Legend: ● = PHC Specialists [n=250], ● = Public Health Specialists [n=200]; ★ — $p < 0.05$, statistically significant difference; ns — not significant).

As shown in Figure 1, the lowest scores were assigned to the accessibility of integrated digital platforms (PHC: 2.1; Public Health: 1.8). This underscores the primary cause of the informational gap between the two systems. Furthermore, the level of functional duplication was rated exceptionally high (4.1 and 4.3), highlighting severe administrative barriers.

The results of the experiment verifying the effectiveness of introducing the integrated coordination model (Group A) compared to the traditional approach (Group B) are presented in Figure 2.

Figure 2. Performance Profiles of the Integrated (Group A) and Traditional (Group B) Models

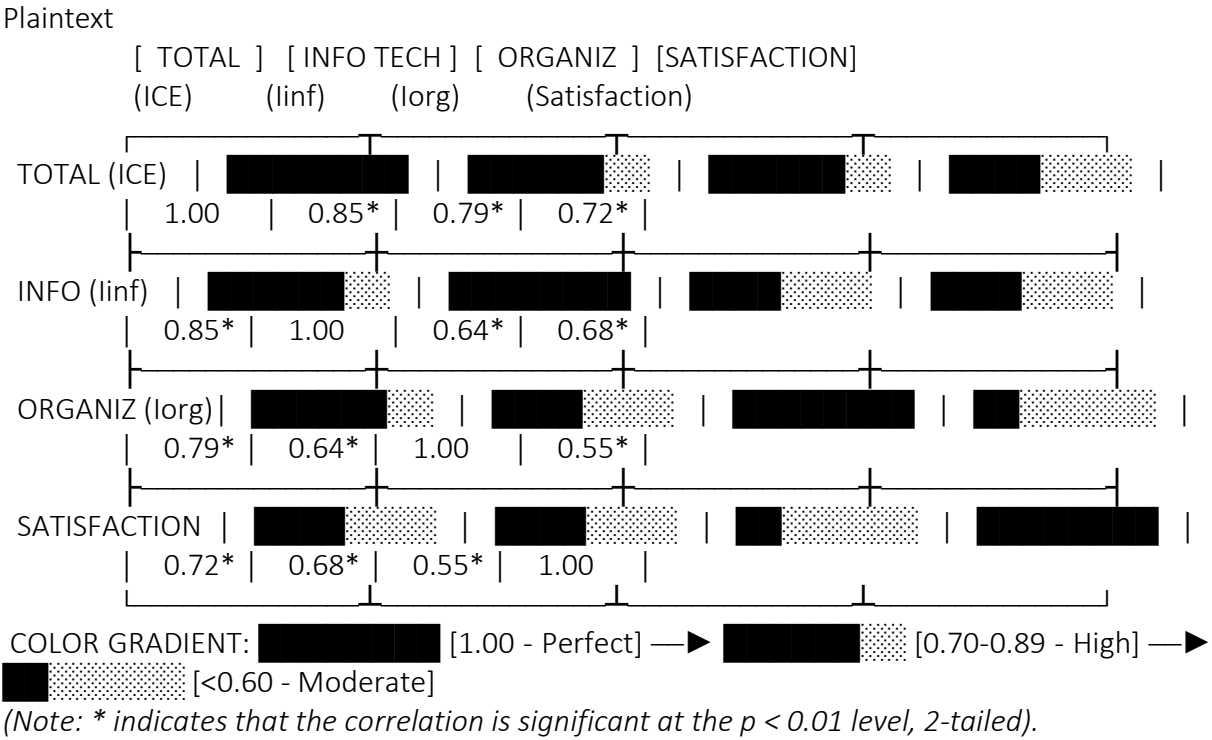


(* Denotes $p < 0.005$ for all indicators, reflecting highly statistically significant differences).

As illustrated in Figure 2, Group A—which employed active, integrated coordination tools—demonstrated a reduction in response time to infectious disease outbreaks from 6.8 hours to 2.4 hours, a decrease of 64.7% ($p=0.001$). This dynamic is critical for halting the transmission of epidemic threats. Vaccination coverage was also significantly higher in Group A (97.4%).

Correlation analysis was performed to determine the relationship between the calculated ICE values and the population's satisfaction with the quality of medical care. The results are provided in Figure 3.

Figure 3. Heatmap of Correlations Between Coordination Indices and Healthcare Performance Indicators



Statistical modeling demonstrates a high positive correlation between the Index of Coordination Effectiveness (ICE) and the population's satisfaction with medical services ($r=0.72$, $p<0.01$). Additionally, the Informational Sub-index (linf) exerted a strong effect ($r=0.85$), verifying the priority of rapid data exchange in healthcare management.

Discussion

The fragmentation of information platforms identified during the research demands close attention within the framework of recent Ministry of Healthcare reforms in Kazakhstan. The lack of automatic synchronization between the clinical software utilized at the PHC level and sanitary-epidemiological monitoring systems (due to the proliferation of disparate "off-the-shelf" software vendors) complicates the workflow of epidemiologists. The experimental results indicate that while these barriers can be mitigated temporarily via administrative means (as seen in the working groups of Group A), ensuring long-term systemic stability requires complete digital interoperability. The proposed ICE model can serve as a universal tool for internal audits of interagency efficiency within any medical organization.

Conclusion

This comprehensive study demonstrates that the level of coordination between primary health care (PHC) and sanitary-epidemiological services is a primary mechanism for driving health system efficiency. The analysis of the current state of interaction between these two structures revealed positive trends alongside several systemic vulnerabilities that negatively impact the quality of medical care delivered to the population.

A principal finding of this research is the empirical validation of the informational gap between PHC and public health services. The lack of integration between medical information systems delays the identification of infectious disease outbreaks and increases emergency response times. The experimental model (Group A) proved that enhancing organizational and functional coordination—specifically through the implementation of rapid information-exchange

teams and joint monitoring—shortened response times to epidemiological threats by 64.7% and elevated target cohort vaccination coverage to 97.4%. These metrics substantiate that coordination effectiveness carries direct clinical-epidemiological significance rather than purely administrative value.

Furthermore, the mathematically formulated Index of Coordination Effectiveness (ICE) offers a robust tool for healthcare management to audit the quality of interagency interaction. Increases in the index value align with substantial growth in public satisfaction regarding the preventive dimensions of healthcare services ($r=0.72$). This requires that health system financing and management prioritize interagency integration indicators alongside traditional curative metrics.

Based on the research findings, the following strategic recommendations are formulated for the healthcare system of Kazakhstan:

1. **Digital Integration:** Establish a unified integration gateway or blockchain network between PHC clinical systems and sanitary-epidemiological surveillance programs to automate the transmission of urgent notifications.

2. **Regulatory Framework Optimization:** Revise joint ministerial decrees to eliminate functional duplication, sharply defining the domains of responsibility and tasks for both services.

3. **Economic Incentives:** Introduce material incentive mechanisms linked to interagency Key Performance Indicators (KPIs) for medical organization executives and coordination specialists.

In conclusion, the effective coordination of PHC and public health care is a strategic imperative that enhances the resilience of modern healthcare systems during crises and secures the long-term health of the nation.

References

Akanov, A. A., Meimanaliev, T. S., & Akhmetov, V. I. (2017). Otandyk densaulyk saktau zhuyesindegi algashky medika-sanitaryk komek pen kogamdyk densaulyk saktau mamandaryn dayarlaudyn ozekti maseleleri [Current issues of training primary health care and public health specialists in the domestic health care system]. *Journal of Health Development*, 4(83), 15–22.

Atun, R. (2012). Health systems, innovations and integration. *Health Policy and Planning*, 27(4), 4–11. <https://doi.org/10.1093/heapol/czs053>

Kulzhanov, M. K. (2015). Kazakstan Respublikasynda algashky mezhitsinalyk-sanitaryk komekti reformalaudyn negizgi bagyttary zhane damu perspektivalary [Main directions and development perspectives of primary health care reform in the Republic of Kazakhstan]. *Medicine and Ecology*, 2(75), 5–11.

Legido-Quigley, H., Nolte, E., Green, J., de McKee, L., & McKee, M. (2013). Clinical governance as a tool for quality improvement in primary care: lessons for Europe. *The European Journal of Public Health*, 23(4), 534–539. <https://doi.org/10.1093/eurpub/cks071>

Musaev, B. N. (2022). Algashky mezhitsinalyk-sanitaryk komekti karzhylandyru tetikterin zhetildiru zhane onyn aldyn alu sharalarynyn tiimdiligine aseri [Improving the mechanisms of financing primary health care and its impact on the effectiveness of preventive measures]. *Economy: Strategy and Management*, 1(60), 112–119.

Saltman, R. B., & Busse, R. (2002). *Balancing regulation and entrepreneurship in European health structures*. Open University Press.

Smith, J. A., Wright, A., & Taylor, P. (2019). Models of integration between primary care and public health: A systematic review. *Journal of Health Services Research & Policy*, 24(3), 189–198. <https://doi.org/10.1177/1355819619837201>

Starfield, B. (1994). Is primary care essential? *The Lancet*, 344(8930), 1129–1133. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(94\)90634-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(94)90634-3)

Turbekova, A. S. (2020). Densaulyk saktau salasyn tsifrlandyru zhagdaissa AMSK mekemelevi men sanitarlyk-epidemiologialyk bakylau kyzmetterinin akparattyk ozara is-kiymyly [Information interaction of PHC institutions and sanitary-epidemiological control services in the context of digitalization of health care]. *Science and Life of Kazakhstan*, 3(2), 45–51.

Valentine, N. B., de Silva, A., Kawabata, K., Darby, C., Murray, C. J., & Evans, D. B. (2008). *Health system responsiveness: concepts, domains and operationalization*. World Health Organization.

ОТКАЗ ОТ ВАКЦИНАЦИИ: КАК ВРАЧУ-ПЕДИАТРУ ВЫСТРОИТЬ ДИАЛОГ С «АНТИВАКЦИНАТОРАМИ»

Жанәділ Ұлсана Жанәділқызы

Интерн по специальности Педиатрия, НАО «Казахский национальный медицинский университет имени С.Д. Асфендиярова» г.Алматы, Республика Казахстан

Аннотация. В последние годы проблема вакцинного скептицизма стала одним из наиболее серьезных вызовов для системы общественного здравоохранения. Несмотря на убедительные доказательства эффективности и безопасности иммунизации, число родителей, сомневающих в необходимости вакцинации или полностью отказывающихся от профилактических прививок, продолжает увеличиваться. Одной из ключевых причин отказа являются недостаточная информированность, распространение недостоверной информации в сети Интернет и социальных сетях, когнитивные ошибки восприятия риска, а также снижение доверия к медицинским работникам и государственным институтам здравоохранения.

Ключевые слова: вакцинация, иммунизация, отказ от вакцинации, вакцинный скептицизм, вакциноскептики, педиатрия, коммуникация, риск-коммуникация, доверие, общественное здравоохранение, доказательная медицина.

Abstract. Vaccine hesitancy has become one of the major public health challenges worldwide. Despite overwhelming evidence supporting the safety and effectiveness of immunization, the number of parents delaying or refusing childhood vaccination continues to increase. Contributing factors include misinformation spread through social media, inadequate health literacy, cognitive biases in risk perception, and declining trust in healthcare professionals and public health institutions.

This review discusses evidence-based communication strategies for pediatricians working with vaccine-hesitant parents. The article analyzes psychological determinants of parental decision-making, common reasons for vaccine refusal, typical communication mistakes made by physicians, and principles of effective risk communication. Particular attention is paid to recommendations from the World Health Organization (WHO), the Centers for Disease Control and Prevention (CDC), and the American Academy of Pediatrics (AAP), emphasizing respectful dialogue, shared decision-making, and trust-building.

Practical recommendations, consultation algorithms, communication techniques, and approaches to addressing parental concerns are presented. Effective physician-parent communication is highlighted as a key strategy for improving vaccination acceptance and strengthening public confidence in immunization programs.

Keywords: vaccination, immunization, vaccine hesitancy, vaccine refusal, pediatrics, communication, risk communication, trust, public health, evidence-based medicine.

Список сокращений

ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения

WHO – World Health Organization

CDC – Centers for Disease Control and Prevention

AAP – American Academy of Pediatrics

ECDC – European Centre for Disease Prevention and Control

UNICEF – United Nations Children’s Fund

SAGE – Strategic Advisory Group of Experts on Immunization

Введение. Вакцинопрофилактика признана одним из наиболее значимых достижений общественного здравоохранения, позволившим существенно снизить показатели детской смертности и распространенность многих инфекционных заболеваний. По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), ежегодная иммунизация предотвращает миллионы случаев смерти от кори, дифтерии, коклюша, полиомиелита, столбняка и других инфекций. Несмотря на высокую эффективность и безопасность современных вакцин, во многих странах наблюдается увеличение числа родителей, сомневающих в необходимости проведения профилактических прививок или полностью отказывающихся от вакцинации детей.

Причины данного явления имеют многофакторный характер и включают влияние цифровых медиа, распространение недостоверной информации, снижение доверия к официальным источникам, когнитивные искажения при оценке риска, а также особенности культурной и религиозной среды. В результате врач-педиатр сталкивается не только с медицинской, но и с выраженной коммуникативной задачей, требующей владения современными подходами к консультированию пациентов.

В условиях роста «вакциноскептицизма» профессиональная компетентность врача определяется не только уровнем клинических знаний, но и способностью вести конструктивный диалог, предупреждать развитие конфликтных ситуаций и сохранять доверительные отношения с семьей. Современная концепция риск-менеджмента рассматривает эффективную коммуникацию как один из инструментов профилактики медицинских, юридических и социальных рисков, возникающих при отказе от вакцинации.

Причины отказа родителей от вакцинации. Отказ родителей от проведения профилактических прививок представляет собой сложное социально-психологическое явление, формирующееся под воздействием комплекса объективных и субъективных факторов. Согласно концепции «vaccine hesitancy» (нерешительность в отношении вакцинации), предложенной экспертами ВОЗ, большинство родителей нельзя разделить исключительно на сторонников или противников вакцинации. Значительная часть находится между этими позициями, испытывая сомнения относительно безопасности, эффективности или необходимости иммунизации.

Одним из ведущих факторов является недостаточная медицинская грамотность населения. Родители нередко получают сведения о вакцинации из социальных сетей, интернет-форумов, видеохостингов и мессенджеров, где информация редко проходит научную экспертизу. Эмоционально окрашенные истории о предполагаемых осложнениях после прививок воспринимаются значительно сильнее статистических данных, что объясняется особенностями когнитивного восприятия риска.

Важную роль играет снижение институционального доверия к системе здравоохранения. Отрицательный опыт общения с медицинскими работниками, недостаток времени на консультациях, использование сложной медицинской терминологии без соответствующих пояснений способствуют формированию настороженного отношения к рекомендациям врача.

Следует учитывать и психологические особенности родителей. Для многих отказ от вакцинации становится проявлением стремления максимально защитить ребенка. В этом случае решение основывается не на отрицании науки, а на высокой тревожности и желании избежать потенциального вреда. Поэтому агрессивное переубеждение нередко усиливает сопротивление и снижает вероятность дальнейшего сотрудничества.

Кроме того, на принятие решений оказывают влияние социокультурные традиции семьи, религиозные убеждения, мнение родственников и лидеров общественного мнения. В последние годы значительное распространение получили различные конспирологические теории, ставящие под сомнение деятельность фармацевтических компаний и государственных программ иммунизации.

Таким образом, причины отказа от вакцинации являются многокомпонентными и требуют комплексного анализа при выборе стратегии общения с каждой конкретной семьей.

Основные принципы эффективной коммуникации. Современная пациент-ориентированная модель здравоохранения предполагает переход от директивного стиля общения к партнерскому взаимодействию между врачом и пациентом. В основе данного подхода лежат уважение автономии пациента, открытый обмен информацией и совместное принятие решений.

Первым этапом успешной коммуникации является установление доверительного контакта. Исследования показывают, что уровень доверия к врачу является одним из наиболее значимых факторов, влияющих на согласие родителей проводить вакцинацию. При этом доверие формируется не только благодаря профессиональной компетентности специалиста, но и через проявление эмпатии, уважения и заинтересованности в благополучии ребенка.

Активное слушание представляет собой важный коммуникативный инструмент, позволяющий врачу выявить истинные причины сомнений родителей. Использование открытых вопросов, уточнений и перефразирования демонстрирует внимание к мнению семьи и способствует снижению эмоционального напряжения. Родители значительно легче воспринимают научную информацию после того, как почувствуют, что их опасения были услышаны.

Особое значение приобретает применение методов мотивационного консультирования. Данный подход основан на отказе от конфронтации и предполагает совместный поиск решения. Врач помогает родителям самостоятельно сопоставить возможные преимущества вакцинации с потенциальными рисками отказа от нее. При этом акцент делается на внутренней мотивации семьи, а не на административном давлении.

Не менее важным является принцип риск-коммуникации. Передача информации должна осуществляться простым, понятным языком без чрезмерного использования медицинской терминологии. Эффективными считаются сравнения абсолютного риска развития осложнений после вакцинации и риска тяжелого течения инфекционного заболевания. При этом врачу необходимо избегать преувеличения как пользы, так и возможных негативных последствий.

Риск-менеджмент в практике врача-педиатра. В современных условиях отказ родителей от вакцинации рассматривается не только как клиническая проблема, но и как объект системы управления профессиональными рисками.

С позиции медицинского риск-менеджмента отсутствие профилактической иммунизации приводит к увеличению восприимчивости детского населения к управляемым инфекциям, формированию локальных вспышек заболеваний и снижению уровня коллективного иммунитета. Особенно высокую опасность это представляет для детей с иммунодефицитными состояниями, онкологическими заболеваниями и другими медицинскими противопоказаниями к вакцинации.

Существенное значение имеют юридические аспекты деятельности врача. Медицинский работник обязан предоставить родителям полную, достоверную и научно обоснованную информацию о преимуществах вакцинации, возможных поствакцинальных реакциях и последствиях отказа от иммунизации. В случае отказа необходимо оформить информированное добровольное согласие или отказ в соответствии с действующим

законодательством и сделать соответствующую запись в медицинской документации. Такой подход позволяет минимизировать правовые риски и подтвердить выполнение врачом своих профессиональных обязанностей.

Отдельную группу составляют репутационные риски. Конфликтное общение, использование категоричных высказываний или демонстрация эмоциональной реакции способны привести к снижению доверия не только к конкретному врачу, но и к медицинской организации в целом. В условиях широкого распространения социальных сетей негативный опыт взаимодействия быстро становится достоянием общественности и оказывает влияние на отношение других родителей к вакцинации.

Эффективная система риск-менеджмента предполагает регулярное обучение медицинских работников навыкам коммуникации, внедрение единых алгоритмов консультирования и использование современных рекомендаций профессиональных медицинских сообществ.

Типичные ошибки врача при общении с родителями, отказывающимися от вакцинации. Эффективность консультирования родителей во многом определяется не только объемом профессиональных знаний врача, но и его коммуникативной компетентностью. Согласно современным исследованиям в области медицинской коммуникации, причиной неудачного диалога нередко становятся не медицинские разногласия, а ошибки в построении общения. Некорректная тактика консультирования способна усилить недоверие, сформировать негативное отношение к системе здравоохранения и привести к окончательному отказу семьи от дальнейшего взаимодействия с медицинскими работниками.

Одной из наиболее распространенных ошибок является использование авторитарного стиля общения. Врач, основываясь исключительно на собственном профессиональном авторитете, требует безусловного выполнения рекомендаций, не учитывая эмоциональное состояние и опасения родителей. Высказывания, содержащие категоричные требования или угрозы возможными последствиями отказа от вакцинации, воспринимаются как давление и вызывают психологическое сопротивление. В результате родители начинают искать альтернативные источники информации, которые зачастую оказываются недостоверными.

Другой распространенной ошибкой является игнорирование вопросов и сомнений родителей. В условиях ограниченного времени приема врач может стремиться как можно быстрее завершить консультацию, ограничиваясь краткими ответами или использованием медицинской терминологии без необходимых пояснений. Недостаток информации способствует сохранению тревожности и снижению доверия к специалисту.

Отрицательное влияние оказывает эмоциональная реакция врача на отказ родителей. Демонстрация раздражения, критика убеждений семьи, обвинения в безответственности или саркастические замечания нарушают принципы медицинской этики и препятствуют конструктивному взаимодействию. Исследования показывают, что негативный опыт общения с медицинским персоналом является одной из причин формирования устойчивой вакциноскептической позиции.

Серьезной ошибкой является перегрузка родителей статистическими данными без объяснения их практического значения. Несмотря на высокую научную ценность количественных показателей, большинство пациентов воспринимают информацию преимущественно через эмоциональное восприятие риска. Поэтому врачу необходимо переводить статистические сведения в понятные клинические примеры и использовать сравнение рисков вакцинации с рисками самого инфекционного заболевания.

Не менее важной проблемой является попытка изменить позицию родителей за одну консультацию. Формирование доверия представляет собой длительный процесс, поэтому

давление с целью получения немедленного согласия часто оказывается неэффективным. Современные модели консультирования рассматривают даже сохранение контакта с семьей как положительный результат, поскольку повторные встречи значительно повышают вероятность принятия решения в пользу вакцинации.

Кроме того, недостаточное документирование проведенной консультации может привести к возникновению юридических рисков. Отсутствие записи о предоставленной информации, обсуждении возможных последствий отказа и оформлении информированного добровольного отказа затрудняет защиту прав медицинского работника при возникновении спорных ситуаций.

Таким образом, предупреждение коммуникативных ошибок является важным элементом профессиональной подготовки врача-педиатра и способствует повышению эффективности программ иммунопрофилактики.

Практические рекомендации врачу-педиатру по ведению диалога с родителями. Современные подходы к организации консультирования родителей предполагают использование пациент-ориентированной модели общения, основанной на принципах партнерства, уважения автономии пациента и совместного принятия решений. Практическая деятельность врача должна быть направлена не только на информирование родителей, но и на формирование долгосрочного доверительного взаимодействия.

На первом этапе консультации врачу рекомендуется определить уровень осведомленности родителей о вакцинации и выявить основные причины сомнений. Для этого целесообразно использовать открытые вопросы, позволяющие подробно обсудить существующие опасения. Подобная стратегия способствует снижению эмоционального напряжения и демонстрирует уважительное отношение к мнению семьи.

После выявления основных причин отказа врачу следует предоставить научно обоснованную информацию, соответствующую современным клиническим рекомендациям. Информация должна быть изложена доступным языком с учетом уровня медицинской грамотности родителей. Особое внимание рекомендуется уделять объяснению соотношения пользы и риска вакцинации, подчеркивая значительно более высокую вероятность тяжелых осложнений при естественном течении инфекционных заболеваний по сравнению с крайне редкими серьезными поствакцинальными осложнениями.

Эффективным инструментом является применение методов мотивационного консультирования. Вместо прямого убеждения врач помогает родителям самостоятельно оценить возможные последствия принятого решения. Использование вопросов, направленных на осмысление собственных ценностей и ответственности за здоровье ребенка, способствует развитию внутренней мотивации к вакцинации.

При обсуждении возможных поствакцинальных реакций врачу следует придерживаться принципа открытости. Замалчивание вероятности кратковременного повышения температуры или местных реакций может привести к потере доверия при их возникновении. Напротив, предварительное информирование родителей способствует формированию реалистичных ожиданий и снижению тревожности.

Важное значение имеет предоставление родителям возможности ознакомиться с надежными источниками информации, включая материалы Всемирной организации здравоохранения, национальных программ иммунопрофилактики и профессиональных медицинских ассоциаций. Такой подход снижает влияние недостоверной информации, распространяемой через социальные сети и непроверенные интернет-ресурсы.

В случае отказа от вакцинации врачу рекомендуется сохранять профессиональное взаимодействие с семьей. Недопустимо прекращать наблюдение ребенка или демонстрировать негативное отношение к родителям. Повторные консультации позволяют

постепенно изменить отношение семьи к вакцинации по мере появления новых вопросов или изменения жизненных обстоятельств.

Особое внимание необходимо уделять правильному оформлению медицинской документации. Консультация должна содержать сведения о предоставленной информации, обсуждении преимуществ и возможных рисков вакцинации, ответах на вопросы родителей, а также оформленный информированный добровольный отказ при отсутствии согласия на проведение прививки.

Таким образом, практическая реализация современных принципов медицинской коммуникации способствует повышению эффективности профилактической работы, снижению конфликтности и укреплению доверия населения к системе здравоохранения.

Международный опыт коммуникации с вакциноскептически настроенными родителями. В последние годы проблема вакциноскептицизма приобрела глобальный характер, что обусловило разработку международных рекомендаций по эффективной коммуникации между медицинскими работниками и родителями. Наиболее авторитетные подходы представлены Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ), Центрами по контролю и профилактике заболеваний США (CDC) и Американской академией педиатрии (AAP).

Подход Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ)

ВОЗ рассматривает нерешительность в отношении вакцинации (vaccine hesitancy) как одно из наиболее значимых препятствий для достижения необходимого уровня коллективного иммунитета. В стратегических документах организации подчеркивается, что причиной отказа чаще всего являются не отсутствие информации, а недостаток доверия к медицинским работникам и системе здравоохранения.

ВОЗ рекомендует применять принципы риск-коммуникации, предусматривающие своевременное, открытое и прозрачное обсуждение преимуществ и возможных рисков вакцинации. Особое внимание уделяется развитию коммуникативных навыков медицинских работников, поскольку именно врач остается наиболее авторитетным источником информации для большинства родителей.

Организация также рекомендует активно использовать цифровые информационные ресурсы, противодействовать распространению медицинской дезинформации и регулярно обучать специалистов современным методам консультирования населения.

Подход Центров по контролю и профилактике заболеваний США (CDC)

Рекомендации CDC основаны на концепции презумптивного подхода (presumptive approach), согласно которой врач начинает консультацию с предположения, что вакцинация является стандартной частью медицинской помощи. Например, вместо вопроса «Хотите ли вы сделать сегодня прививку?» рекомендуется использовать формулировку «Сегодня вашему ребенку необходимо провести плановую вакцинацию».

Исследования CDC показывают, что подобная стратегия способствует увеличению охвата вакцинацией без нарушения доверительных отношений между врачом и семьей.

При возникновении сомнений специалисты CDC рекомендуют внимательно выслушать родителей, предоставить научно обоснованные ответы и при необходимости продолжить обсуждение на последующих приемах. Особое внимание уделяется спокойному, уважительному стилю общения и отказу от конфронтации.

Подход Американской академии педиатрии (AAP)

Американская академия педиатрии рассматривает доверительные отношения между врачом и семьей как основной фактор успешной иммунопрофилактики. Согласно рекомендациям AAP, врачу следует проявлять эмпатию, признавать право родителей задавать вопросы и принимать решения, одновременно предоставляя максимально полную и достоверную информацию.

AAP рекомендует использовать методы мотивационного консультирования, позволяющие повысить внутреннюю готовность родителей к вакцинации. При этом организация подчеркивает, что отказ семьи от вакцинации не должен становиться основанием для прекращения медицинского наблюдения ребенка. Напротив, сохранение контакта позволяет постепенно формировать доверие и способствует последующему принятию решения в пользу иммунизации.

Кроме того, AAP уделяет большое внимание вопросам профессионального образования медицинских работников, рекомендуя включать обучение навыкам коммуникации и медицинской психологии в программы подготовки врачей-педиатров.

Сравнительный анализ международных подходов. Несмотря на отдельные различия в методологии консультирования, рекомендации ВОЗ, CDC и AAP имеют общие принципы. Все организации признают, что эффективная коммуникация должна строиться на уважении к личности родителей, использовании доказательной медицинской информации, развитии доверительных отношений и отказе от конфронтационной модели общения. Международный опыт показывает, что именно сочетание клинической компетентности врача с высоким уровнем коммуникативных навыков позволяет добиться наибольшей эффективности программ иммунопрофилактики и повысить приверженность населения вакцинации.

Заключение. Отказ родителей от вакцинации представляет собой одну из наиболее актуальных проблем современной педиатрии и общественного здравоохранения. В условиях широкого распространения цифровых технологий, социальных сетей и большого объема недостоверной медицинской информации вопросы иммунопрофилактики выходят за рамки исключительно клинической практики, затрагивая психологические, социальные, правовые и этические аспекты оказания медицинской помощи. В связи с этим деятельность врача-педиатра требует не только глубоких профессиональных знаний в области вакцинопрофилактики, но и высокого уровня коммуникативной компетентности, позволяющей эффективно взаимодействовать с родителями, испытывающими сомнения в отношении вакцинации.

Проведенный анализ показывает, что большинство родителей, отказывающихся от вакцинации, не являются категорическими противниками иммунизации. Во многих случаях их решение обусловлено недостатком достоверной информации, высоким уровнем тревожности, негативным опытом взаимодействия с медицинскими работниками, влиянием ближайшего окружения или распространением медицинской дезинформации в интернете. Следовательно, основной задачей врача становится не конфронтация с семьей, а создание условий для открытого, уважительного и аргументированного диалога, основанного на принципах доказательной медицины.

Современные модели коммуникации, включая методы мотивационного консультирования, активного слушания и риск-коммуникации, демонстрируют значительно более высокую эффективность по сравнению с традиционным директивным стилем общения. Использование данных подходов способствует снижению эмоционального напряжения, укреплению доверия между врачом и семьей, повышению медицинской грамотности родителей и формированию осознанной приверженности вакцинации. При этом сохранение долгосрочных доверительных отношений даже в случае первоначального отказа родителей рассматривается как важный фактор, повышающий вероятность принятия положительного решения в дальнейшем.

Особое значение приобретает внедрение принципов риск-менеджмента в практическую деятельность врача-педиатра. Своевременное выявление факторов, способствующих отказу от вакцинации, грамотное информирование родителей о преимуществах и возможных рисках иммунизации, соблюдение требований медицинской

этики, а также правильное документальное оформление процесса консультирования позволяют минимизировать медицинские, юридические и репутационные риски. Такой комплексный подход способствует повышению качества оказания медицинской помощи и обеспечивает правовую защищенность как пациента, так и медицинского работника.

Анализ международного опыта, представленного рекомендациями Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), Центров по контролю и профилактике заболеваний США (CDC) и Американской академии педиатрии (AAP), свидетельствует о единстве основных принципов эффективной коммуникации с вакциноскептически настроенными родителями. Независимо от особенностей национальных систем здравоохранения, ведущие международные организации рекомендуют строить взаимодействие на основе уважения, эмпатии, открытости, прозрачности предоставляемой информации и партнерской модели принятия решений. Эти подходы доказали свою эффективность в повышении охвата населения вакцинацией и снижении уровня вакциноскептицизма.

Таким образом, коммуникативная компетентность врача-педиатра становится неотъемлемой составляющей его профессиональной деятельности и одним из ключевых факторов успешной реализации программ иммунопрофилактики. Совершенствование навыков общения с родителями должно рассматриваться как важное направление непрерывного медицинского образования наряду с повышением клинической квалификации. Включение современных методов медицинской коммуникации, психологии общения и риск-менеджмента в программы подготовки и последипломного обучения медицинских работников позволит повысить качество консультирования семей, укрепить доверие населения к системе здравоохранения и обеспечить устойчивое функционирование национальных программ иммунопрофилактики.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются разработка и внедрение стандартизированных алгоритмов консультирования родителей, оценка эффективности различных моделей коммуникации в зависимости от уровня «вакциноскептицизма», изучение влияния цифровых технологий и социальных сетей на формирование отношения населения к вакцинации, а также разработка образовательных программ, направленных на повышение коммуникативной компетентности медицинских работников. Комплексная реализация указанных мероприятий будет способствовать повышению приверженности населения вакцинации, сохранению высокого уровня коллективного иммунитета и снижению заболеваемости инфекциями, управляемыми средствами специфической профилактики.

Список литературы:

1. World Health Organization. Behavioural and Social Drivers of Vaccination: Tools and Practical Guidance for Achieving High Uptake. Geneva: WHO; 2022.
2. World Health Organization. Global Vaccine Action Plan 2011–2020. Geneva: WHO; 2020.
3. World Health Organization. Immunization Agenda 2030: A Global Strategy to Leave No One Behind. Geneva: WHO; 2021.
4. MacDonald NE. Vaccine hesitancy: Definition, scope and determinants. *Vaccine*. 2015;33(34):4161–4164.
5. Larson HJ, Jarrett C, Eckersberger E, Smith DMD, Paterson P. Understanding vaccine hesitancy around vaccines and vaccination. *Vaccine*. 2014;32(19):2150–2159.
6. Dubé E, Vivion M, MacDonald NE. Vaccine hesitancy, vaccine refusal and the anti-vaccine movement: Influence, impact and implications. *Expert Rev Vaccines*. 2015;14(1):99–117.
7. Brewer NT, Chapman GB, Rothman AJ, Leask J, Kempe A. Increasing vaccination: Putting psychological science into action. *Psychol Sci Public Interest*. 2017;18(3):149–207.
8. Opel DJ, Mangione-Smith R, Robinson JD, et al. The architecture of provider-parent vaccine discussions. *Pediatrics*. 2013;132(6):1037–1046.
9. Edwards KM, Hackell JM; American Academy of Pediatrics. Countering vaccine hesitancy. *Pediatrics*. 2016;138(3):e20162146.
10. American Academy of Pediatrics. Red Book: Report of the Committee on Infectious Diseases. 33rd ed. Itasca, IL: AAP; 2024.
11. Centers for Disease Control and Prevention. Talking with Parents about Vaccines for Infants. Atlanta: CDC; 2024.
12. Centers for Disease Control and Prevention. Pink Book: Epidemiology and Prevention of Vaccine-Preventable Diseases. 15th ed. Atlanta: CDC; 2024.
13. Leask J, Kinnersley P, Jackson C, et al. Communicating with parents about vaccination. *BMC Pediatr*. 2012;12:154.
14. European Centre for Disease Prevention and Control. Catalogue of Interventions Addressing Vaccine Hesitancy. Stockholm: ECDC; 2021.
15. European Centre for Disease Prevention and Control. Communication on Immunisation: Building Trust. Stockholm: ECDC; 2022.
16. UNICEF. The State of the World's Children 2023: For Every Child, Vaccination. New York: UNICEF; 2023.
17. Betsch C, Böhm R, Chapman GB. Using behavioral insights to increase vaccination policy effectiveness. *Policy Insights Behav Brain Sci*. 2015;2(1):61–73.
18. Salmon DA, Dudley MZ, Brewer J, et al. COVID-19 vaccination attitudes, values and intentions among United States adults. *Vaccine*. 2021;39(19):2698–2711.
19. Omer SB, Benjamin RM, Brewer NT, et al. Promoting COVID-19 vaccine acceptance. *Ann Intern Med*. 2021;174(7):976–980.
20. Jarrett C, Wilson R, O'Leary M, Eckersberger E, Larson HJ. Strategies for addressing vaccine hesitancy: A systematic review. *Vaccine*. 2015;33(34):4180–4190.

СПИНАЛЬНАЯ МЫШЕЧНАЯ АТРОФИЯ (СМА) У ДЕТЕЙ: ОТ РАННЕЙ ДИАГНОСТИКИ (СИНДРОМ «ВЯЛОГО РЕБЕНКА») К ПАТОГЕНЕТИЧЕСКОЙ ТЕРАПИИ

Жанәділ Ұлсана Жанәділқызы

Интерн по специальности Педиатрия, НАО «Казахский национальный медицинский университет имени, С.Д. Асфендиярова» г.Алматы, Республика Казахстан

Аннотация. Спинальная мышечная атрофия (СМА) является одним из наиболее распространенных аутосомно-рецессивных наследственных нервно-мышечных заболеваний детского возраста, обусловленных мутациями гена SMN1, приводящими к дефициту белка Survival Motor Neuron (SMN) и прогрессирующей дегенерации α -мотонейронов передних рогов спинного мозга. Заболевание характеризуется широким спектром клинических проявлений — от тяжелых пренатальных форм до относительно благоприятных вариантов с дебютом во взрослом возрасте. Ключевыми клиническими признаками являются прогрессирующая мышечная слабость, генерализованная гипотония, снижение или отсутствие сухожильных рефлексов, нарушение двигательного развития при сохранности интеллектуальных функций.

В статье представлены современные данные об эпидемиологии, молекулярно-генетических механизмах развития заболевания, классификации, патогенезе и клинических проявлениях различных типов СМА. Особое внимание уделено синдрому «вялого ребенка» как одному из наиболее ранних клинических проявлений заболевания, алгоритму действий врача-педиатра при подозрении на СМА и возможностям дифференциальной диагностики.

Сделан вывод о том, что своевременная молекулярно-генетическая диагностика, внедрение неонатального скрининга и максимально раннее начало патогенетической терапии позволяют существенно изменить естественное течение заболевания, улучшить функциональный прогноз и качество жизни пациентов.

Ключевые слова: спинальная мышечная атрофия, СМА, дети, SMN1, SMN2, синдром вялого ребенка, молекулярно-генетическая диагностика, неонатальный скрининг, нусинерсен, рисдиплам, онасемноген абепарвовек, патогенетическая терапия, реабилитация, педиатрия.

Abstract. Spinal muscular atrophy (SMA) is one of the most common autosomal recessive neuromuscular disorders of childhood caused by pathogenic variants in the MN1 gene, resulting in deficiency of the survival motor neuron (SMN) protein and progressive degeneration of anterior horn motor neurons. The disease demonstrates a wide clinical spectrum ranging from severe prenatal forms to mild adult-onset variants. Progressive muscle weakness, generalized hypotonia, loss of tendon reflexes and delayed motor development with preserved cognitive function represent the major clinical manifestations.

This review summarizes current evidence regarding the epidemiology, molecular genetics, pathogenesis, classification and clinical presentation of SMA. Particular attention is given to floppy

infant syndrome as the earliest clinical manifestation, diagnostic algorithms for pediatricians and differential diagnosis.

Early molecular diagnosis, newborn screening and prompt initiation of disease-modifying therapy are essential for improving survival, motor outcomes and quality of life in children with SMA.

Keywords: spinal muscular atrophy, SMA, children, SMN1, SMN2, floppy infant syndrome, molecular diagnosis, newborn screening, nusinersen, risdiplam, onasemnogene abeparvovec, disease-modifying therapy, rehabilitation, pediatrics.

Список сокращений

CMA — Спинальная мышечная атрофия

SMN — Survival Motor Neuron

SMN1 — Survival Motor Neuron 1

SMN2 — Survival Motor Neuron 2

MLPA — Multiplex Ligation-dependent Probe Amplification

Введение. Спинальная мышечная атрофия (СМА) представляет собой тяжелое наследственное нервно-мышечное заболевание, характеризующееся прогрессирующей дегенерацией α -мотонейронов передних рогов спинного мозга, что приводит к развитию симметричной мышечной слабости, гипотонии, атрофии скелетной мускулатуры и нарушению жизненно важных функций организма. Заболевание относится к группе орфанных (редких) наследственных болезней и является одной из наиболее частых генетических причин младенческой смертности. В подавляющем большинстве случаев СМА наследуется по аутосомно-рецессивному типу и обусловлена мутациями или гомозиготной делецией гена Survival Motor Neuron 1 (SMN1), расположенного в локусе 5q13 хромосомы. Нарушение функции данного гена приводит к снижению продукции белка SMN (Survival Motor Neuron), необходимого для нормального функционирования и выживания мотонейронов.

По данным эпидемиологических исследований, частота рождения детей со СМА составляет в среднем один случай на 6–10 тысяч новорожденных, а носительство патологического варианта гена SMN1 встречается приблизительно у одного человека из 35–50 в общей популяции. Несмотря на относительно низкую распространенность, заболевание имеет высокую медико-социальную значимость вследствие тяжелого прогрессирующего течения, ранней инвалидизации пациентов, высокой смертности при отсутствии своевременного лечения и значительной экономической нагрузки на систему здравоохранения.

На протяжении многих лет терапия СМА носила исключительно симптоматический и паллиативный характер. Основные лечебные мероприятия были направлены на профилактику дыхательной недостаточности, коррекцию нарушений питания, ортопедических осложнений и улучшение качества жизни пациентов. Однако развитие молекулярной генетики, геной инженерии и биотехнологий стало основой принципиально нового этапа в лечении данного заболевания. В последние годы в клиническую практику внедрены патогенетические препараты — нусинерсен, рисдиплам и онасемноген абепарвовек, воздействующие непосредственно на молекулярные механизмы заболевания и способные существенно изменить его естественное течение. Благодаря появлению этих методов лечения СМА стала одним из первых наследственных заболеваний нервной системы, для которого разработана эффективная патогенетическая терапия.

Несмотря на значительные достижения современной медицины, эффективность лечения напрямую зависит от сроков постановки диагноза. Дегенерация мотонейронов

начинается еще на доклиническом этапе заболевания, и после их гибели восстановление утраченной функции становится невозможным. Именно поэтому ранняя диагностика приобретает ключевое значение. Наиболее часто первые проявления заболевания у детей раннего возраста объединяются понятием «синдром вялого ребенка» (floppy infant syndrome), который характеризуется выраженной мышечной гипотонией, снижением двигательной активности, задержкой моторного развития и ослаблением сухожильных рефлексов. Данный синдром не является специфичным исключительно для СМА и встречается при различных генетических, неврологических, метаболических и мышечных заболеваниях, что значительно усложняет диагностический поиск. Тем не менее своевременное распознавание клинических признаков и проведение молекулярно-генетического исследования позволяют установить диагноз на ранних стадиях заболевания и начать лечение до развития необратимых изменений в нервной системе.

Важным этапом совершенствования диагностики стало внедрение программ неонатального скрининга на СМА, которые уже реализуются во многих странах мира. Результаты международных исследований убедительно демонстрируют, что проведение патогенетической терапии в доклинической стадии заболевания позволяет большинству детей достичь возрастных двигательных навыков, значительно улучшить выживаемость и снизить риск тяжелой инвалидизации. В связи с этим раннее выявление пациентов рассматривается как один из основных факторов успешного лечения и является приоритетным направлением современной педиатрии, медицинской генетики и детской неврологии.

Современный врач-педиатр играет ключевую роль в системе раннего выявления СМА, поскольку именно педиатр чаще всего первым сталкивается с детьми, имеющими признаки мышечной гипотонии и задержки моторного развития. Знание клинических особенностей синдрома «вялого ребенка», алгоритмов дифференциальной диагностики и современных возможностей молекулярно-генетического обследования позволяет своевременно направить пациента к профильным специалистам и существенно сократить время до начала патогенетической терапии. В условиях стремительного развития персонализированной медицины и внедрения инновационных методов лечения повышение настороженности врачей первичного звена в отношении СМА приобретает особую актуальность.

Цель статьи — обобщить современные данные о молекулярно-генетических механизмах развития спинальной мышечной атрофии у детей, проанализировать особенности клинической картины и ранней диагностики синдрома «вялого ребенка», а также представить современные возможности патогенетической терапии и мультидисциплинарного ведения пациентов в соответствии с актуальными международными рекомендациями.

Эпидемиология спинальной мышечной атрофии. Спинальная мышечная атрофия (СМА) относится к числу наиболее распространенных наследственных нервно-мышечных заболеваний детского возраста и является одной из ведущих генетических причин младенческой смертности. Несмотря на то что заболевание классифицируется как орфанная патология, его клиническая и социальная значимость чрезвычайно высока вследствие тяжелого прогрессирующего течения, раннего развития инвалидизации, необходимости дорогостоящего лечения и длительного мультидисциплинарного наблюдения пациентов.

По данным международных популяционных исследований, распространенность СМА составляет в среднем 1 случай на 6 000–10 000 живорождений, однако показатели могут варьировать в зависимости от этнического состава населения, частоты носительства мутаций гена SMN1, особенностей регистрации орфанных заболеваний и внедрения программ генетического скрининга. В странах Европы и Северной Америки частота заболевания

составляет приблизительно 1:8 000 новорожденных, тогда как в отдельных популяциях с высоким уровнем родственных браков этот показатель может быть значительно выше.

Согласно результатам крупных молекулярно-генетических исследований, носителями патологического варианта гена SMN1 являются примерно 1 из 35–50 человек. Это означает, что значительная часть населения является бессимптомными носителями мутации, не подозревая о наличии генетического риска. При рождении ребенка от двух носителей вероятность развития СМА составляет 25 %, вероятность рождения здорового носителя — 50 %, а вероятность рождения генетически здорового ребенка — 25 %. Эти данные подчеркивают важность медико-генетического консультирования семей, особенно при наличии случаев заболевания среди родственников.

Следует отметить, что распространенность различных клинических типов СМА неодинакова. Наиболее часто встречается СМА I типа (болезнь Верднига–Гоффмана), которая составляет около 50–60 % всех случаев заболевания. Именно эта форма характеризуется наиболее ранним дебютом и тяжелым течением. На долю СМА II типа приходится около 25–30 % случаев, тогда как СМА III и IV типов диагностируются значительно реже и отличаются более благоприятным прогнозом вследствие сохранения большей части функции мотонейронов.

За последние два десятилетия эпидемиология СМА существенно изменилась благодаря внедрению современных методов молекулярной диагностики и патогенетического лечения. Если ранее большинство пациентов со СМА I типа погибали в первые два года жизни вследствие прогрессирующей дыхательной недостаточности, то в настоящее время благодаря использованию нусинерсена, риздиплама и генной терапии значительно увеличилась продолжительность жизни пациентов и улучшилось их функциональное состояние. Таким образом, современная эпидемиология заболевания характеризуется не только увеличением выявляемости новых случаев, но и ростом числа пациентов, достигающих подросткового и взрослого возраста.

Важным фактором повышения выявляемости заболевания стало широкое внедрение молекулярно-генетических методов исследования. Метод мультиплексной лигазозависимой амплификации (MLPA), количественной полимеразной цепной реакции (qPCR) и современных технологий секвенирования позволяют подтвердить диагноз с высокой точностью уже на ранних этапах обследования. Благодаря доступности генетического тестирования значительно сократилось количество ошибочных диагнозов, а сроки постановки окончательного диагноза существенно уменьшились по сравнению с предыдущими десятилетиями.

Особое место в современной эпидемиологии СМА занимает неонатальный скрининг. В последние годы программы массового обследования новорожденных на наличие делеции гена SMN1 внедрены во многих странах Европы, США, Канаде, Австралии, Японии и ряде других государств. Результаты международных исследований свидетельствуют о высокой эффективности подобных программ. Выявление заболевания до появления первых клинических симптомов позволяет начать патогенетическое лечение в период максимальной сохранности мотонейронов, что значительно улучшает долгосрочный прогноз заболевания. По данным международных регистров, дети, получившие терапию в пресимптоматической стадии, существенно чаще достигают возрастных двигательных навыков, самостоятельно сидят, стоят и ходят, что ранее считалось практически невозможным для пациентов со СМА I типа.

Эпидемиологические данные также свидетельствуют о существенном снижении младенческой смертности, связанной со СМА, в странах, где реализованы программы раннего выявления и обеспечен доступ к патогенетической терапии. Вместе с тем сохраняется проблема неравномерной доступности современных методов диагностики и

лечения. В странах с ограниченными ресурсами диагноз нередко устанавливается уже после появления выраженных неврологических нарушений, когда значительная часть мотонейронов утрачена, а эффективность терапии существенно снижается.

В Республике Казахстан, как и во многих странах Центральной Азии, накопление эпидемиологических данных продолжается. Создание национальных регистров пациентов с орфанными заболеваниями, расширение возможностей молекулярно-генетической диагностики и внедрение программ раннего выявления являются важными направлениями совершенствования специализированной медицинской помощи детям со СМА. Повышение осведомленности врачей первичного звена о клинических проявлениях заболевания способствует сокращению диагностического периода и своевременному направлению пациентов в специализированные центры.

Таким образом, современная эпидемиология спинальной мышечной атрофии характеризуется высокой частотой носительства мутаций гена SMN1, относительно стабильной частотой рождения больных детей и существенными изменениями прогноза заболевания благодаря внедрению молекулярно-генетической диагностики, программ неонатального скрининга и современных методов патогенетической терапии. Раннее выявление пациентов остается одним из ключевых факторов успешного лечения и определяет дальнейшее качество жизни детей со СМА.

Этиология и молекулярно-генетические основы заболевания. Спинальная мышечная атрофия (СМА) представляет собой наследственное нервно-мышечное заболевание с аутосомно-рецессивным типом наследования, возникающее вследствие недостаточной продукции белка Survival Motor Neuron (SMN), необходимого для нормального функционирования и выживания мотонейронов передних рогов спинного мозга. В настоящее время СМА рассматривается как одно из наиболее изученных моногенных заболеваний, для которого разработаны эффективные методы молекулярной диагностики и патогенетического лечения.

Генетические причины заболевания. Основной причиной развития СМА является гомозиготная делеция или патогенные варианты гена SMN1 (Survival Motor Neuron 1), локализованного на длинном плече 5-й хромосомы (локус 5q13). По данным молекулярно-генетических исследований, приблизительно 95–98 % пациентов имеют гомозиготную делецию седьмого экзона гена SMN1, тогда как у оставшихся 2–5 % выявляются точечные мутации, небольшие делеции или дупликации данного гена.

Ген SMN1 кодирует синтез белка SMN, который экспрессируется практически во всех тканях организма. Наибольшее значение данный белок имеет для двигательных нейронов спинного мозга, поскольку участвует в процессах сборки малых ядерных рибонуклеопротеинов (snRNP), обеспечивающих правильный сплайсинг информационной РНК. Кроме того, белок SMN играет важную роль в транспорте мРНК внутри аксона, формировании нервно-мышечных синапсов, поддержании структуры цитоскелета и сохранении жизнеспособности нейронов.

При отсутствии достаточного количества функционального белка постепенно нарушается работа двигательных нейронов, развивается их дегенерация и последующая гибель, что приводит к прогрессирующей мышечной слабости и атрофии.

Роль гена SMN2. Особенностью генетики СМА является наличие второго практически идентичного гена — SMN2, который также расположен в области 5q13. Несмотря на высокую степень гомологии с SMN1 (около 99 %), между ними существует одна критически важная нуклеотидная замена в седьмом экзоне.

Эта, казалось бы, незначительная замена не изменяет аминокислотную последовательность белка, однако существенно влияет на процесс сплайсинга пре-мРНК. В результате около 90 % транскриптов гена SMN2 теряют седьмой экзон и синтезируют

укороченный нестабильный белок, который быстро разрушается и практически не обладает биологической активностью.

Лишь приблизительно 10 % молекул мРНК SMN2 включают седьмой экзон полностью, благодаря чему образуется полноценный белок SMN.

Именно поэтому ген SMN2 называют геном-модификатором тяжести заболевания.

Число копий SMN2 как фактор прогноза. В отличие от гена SMN1, количество копий SMN2 у разных людей значительно варьирует. Большинство здоровых людей имеют одну или две копии данного гена, однако у пациентов со СМА их число может достигать пяти и более.

Установлено, что количество копий SMN2 непосредственно связано с тяжестью заболевания.

При наличии:

- 2 копий SMN2 обычно развивается наиболее тяжелая форма — СМА I типа;
- 3 копий чаще наблюдается СМА II типа;
- 3–4 копий характерны для СМА III типа;
- 4–6 копий заболевание может протекать значительно легче или проявляться уже во взрослом возрасте (СМА IV типа).

Следует отметить, что данная зависимость не является абсолютной. Даже при одинаковом количестве копий SMN2 клиническое течение заболевания может существенно различаться, что объясняется существованием дополнительных генетических и эпигенетических факторов.

Тем не менее определение количества копий SMN2 в настоящее время является обязательным этапом молекулярно-генетического обследования, поскольку позволяет прогнозировать тяжесть заболевания и выбирать оптимальную лечебную тактику.

Тип наследования. СМА наследуется по аутосомно-рецессивному типу.

Это означает, что заболевание развивается только в том случае, если ребенок получает дефектный ген SMN1 одновременно от обоих родителей.

Если оба родителя являются бессимптомными носителями патологического варианта, вероятность рождения детей распределяется следующим образом:

- 25 % — ребенок болен СМА;
- 50 % — здоровый носитель мутации;
- 25 % — полностью здоровый ребенок, не являющийся носителем.

Большинство родителей детей со СМА клинически здоровы и узнают о своем носительстве только после рождения больного ребенка или проведения генетического обследования семьи.

Именно поэтому медико-генетическое консультирование приобретает важнейшее значение при планировании последующих беременностей.

Современные методы молекулярной диагностики. Развитие технологий молекулярной генетики позволило значительно повысить точность диагностики СМА.

Наиболее распространенными методами являются:

MLPA (Multiplex Ligation-dependent Probe Amplification) — современный метод количественной оценки числа копий генов SMN1 и SMN2. Он считается «золотым стандартом» диагностики, поскольку позволяет одновременно определить наличие делеции и количество копий обоих генов.

Количественная полимеразная цепная реакция (qPCR) применяется для массового неонатального скрининга и быстрого выявления наиболее распространенных делеций SMN1.

Секвенирование нового поколения (NGS) используется в случаях, когда делеция SMN1 не выявляется, но клиническая картина соответствует СМА. Метод позволяет

обнаружить точечные мутации, небольшие инсерции и делеции, которые невозможно определить стандартными методами.

При необходимости дополнительно проводят исследование других генов, ассоциированных с наследственными нервно-мышечными заболеваниями, что особенно важно при проведении дифференциальной диагностики синдрома «вялого ребенка».

Значение молекулярной диагностики в современной педиатрии. Появление патогенетической терапии принципиально изменило значение генетического исследования при СМА. Если ранее молекулярное подтверждение диагноза было необходимо преимущественно для уточнения причины заболевания и медико-генетического консультирования семьи, то сегодня результаты генетического анализа непосредственно определяют тактику лечения.

Особое значение имеет максимально раннее подтверждение диагноза. Многочисленные клинические исследования показали, что эффективность терапии нусинерсеном, риздипламом и особенно генной терапией значительно выше у детей, лечение которых начато до появления выраженной мышечной слабости и необратимой гибели мотонейронов. Именно поэтому современные международные рекомендации подчеркивают необходимость проведения молекулярно-генетического исследования при первом подозрении на СМА, а также поддерживают внедрение программ неонатального скрининга.

Таким образом, достижения молекулярной генетики не только позволили установить истинные механизмы развития спинальной мышечной атрофии, но и стали основой для создания принципиально новых методов лечения, изменивших естественное течение заболевания. Сегодня генетическая диагностика является обязательным этапом ведения пациентов со СМА и одним из ключевых факторов, определяющих прогноз и эффективность патогенетической терапии.

Патогенез спинальной мышечной атрофии. Патогенез спинальной мышечной атрофии (СМА) представляет собой сложный каскад молекулярных и клеточных нарушений, возникающих вследствие недостаточной экспрессии белка Survival Motor Neuron (SMN). Дефицит данного белка приводит к прогрессирующей дегенерации α -мотонейронов передних рогов спинного мозга, нарушению нервно-мышечной передачи, развитию симметричной мышечной слабости, атрофии скелетной мускулатуры и прогрессирующей дыхательной недостаточности. Современные исследования показали, что патологический процесс при СМА затрагивает не только мотонейроны, но и другие ткани организма, что позволяет рассматривать заболевание как мультисистемную патологию.

Биологическая роль белка SMN. Белок SMN является универсальным внутриклеточным белком, экспрессируемым практически во всех тканях организма. Его основная функция заключается в обеспечении сборки малых ядерных рибонуклеопротеинов (small nuclear ribonucleoproteins, snRNP), участвующих в процессе сплайсинга пре-матричной РНК. Благодаря этому механизму происходит правильное созревание информационной РНК, необходимой для синтеза функционально активных белков.

Кроме участия в процессах сплайсинга, белок SMN обеспечивает транспорт матричной РНК вдоль аксона мотонейрона, регулирует формирование нервно-мышечных синапсов, участвует в поддержании структуры цитоскелета, способствует росту аксонов и сохранению функциональной активности двигательных нейронов.

Высокая метаболическая активность мотонейронов делает их особенно чувствительными к дефициту белка SMN. Именно поэтому при недостаточной продукции данного белка в первую очередь поражаются клетки передних рогов спинного мозга.

Дегенерация мотонейронов. Основным звеном патогенеза СМА является постепенная гибель α -мотонейронов передних рогов спинного мозга. Недостаток белка SMN

нарушает процессы внутриклеточного транспорта РНК и белков, снижает устойчивость нейронов к метаболическому стрессу и активирует механизмы программируемой клеточной гибели (апоптоза).

На ранних этапах заболевания происходит нарушение функции мотонейронов без выраженной гибели клеток. В этот период патологические изменения еще могут быть частично обратимыми при своевременном назначении патогенетической терапии. Однако по мере прогрессирования заболевания развивается необратимая дегенерация двигательных нейронов, сопровождающаяся утратой способности к проведению нервного импульса.

Исследования показали, что значительная часть мотонейронов погибает еще до появления первых клинических симптомов заболевания. Именно этим объясняется высокая эффективность лечения, начатого в доклинической стадии, когда большая часть нейронов остается функционально сохранной.

Нарушение нервно-мышечной передачи. Одним из ранних проявлений патогенеза является поражение нервно-мышечных синапсов. Дефицит белка SMN приводит к нарушению формирования пресинаптических окончаний двигательных нервов, снижению эффективности передачи нервного импульса и постепенной денервации мышечных волокон.

В ответ на потерю иннервации мышечные клетки утрачивают способность к полноценному сокращению. Сначала развивается мышечная слабость, а затем вследствие отсутствия адекватной нервной стимуляции формируется выраженная атрофия скелетной мускулатуры.

Наиболее выраженные изменения наблюдаются в проксимальных группах мышц, иннервируемых наиболее крупными мотонейронами. Именно поэтому клинически заболевание начинается с ослабления мышц шеи, плечевого и тазового пояса, тогда как чувствительность остается полностью сохранной.

Развитие мышечной атрофии. Длительная денервация приводит к выраженным морфологическим изменениям скелетной мускулатуры. В мышечных волокнах уменьшается содержание сократительных белков, снижается их диаметр, развивается замещение мышечной ткани соединительной и жировой тканью.

Мышечная атрофия сопровождается прогрессирующим снижением силы, ограничением двигательной активности и формированием ортопедических осложнений. У пациентов постепенно развиваются контрактуры суставов, деформации позвоночника, сколиоз, кифоз и деформации грудной клетки.

Выраженность мышечной атрофии зависит от клинического типа заболевания и времени начала патогенетической терапии. При своевременном лечении возможно сохранение значительной части мышечной массы и предотвращение тяжелых ортопедических осложнений.

Поражение дыхательной системы. Одной из основных причин инвалидизации и смертности пациентов со СМА является прогрессирующее поражение дыхательной мускулатуры. В патологический процесс вовлекаются межреберные мышцы, мышцы живота и вспомогательная дыхательная мускулатура, тогда как функция диафрагмы на ранних стадиях заболевания относительно сохранена.

Ослабление дыхательных мышц приводит к снижению жизненной емкости легких, нарушению кашлевого рефлекса, накоплению бронхиального секрета и развитию рецидивирующих инфекций нижних дыхательных путей. Постепенно формируется хроническая дыхательная недостаточность, являющаяся основной причиной летальности у пациентов со СМА I типа при отсутствии своевременного лечения.

Внедрение современных методов респираторной поддержки существенно улучшило прогноз заболевания, однако максимальный эффект достигается только при сочетании симптоматической помощи с патогенетической терапией.

Влияние дефицита белка SMN на другие органы и системы. Современные исследования свидетельствуют о том, что СМА не ограничивается поражением исключительно двигательной системы. Белок SMN экспрессируется во многих тканях организма, поэтому его дефицит может сопровождаться нарушениями функции различных органов.

У части пациентов описаны изменения сердечно-сосудистой системы, нарушения моторики желудочно-кишечного тракта, снижение минеральной плотности костной ткани, нарушения обмена веществ, эндокринные расстройства и особенности развития периферической нервной системы. Хотя данные изменения обычно менее выражены по сравнению с поражением мотонейронов, они подтверждают мультисистемный характер заболевания и необходимость комплексного наблюдения пациентов.

Патогенетическая терапия как воздействие на молекулярные механизмы заболевания. Современные методы лечения СМА основаны на воздействии непосредственно на молекулярные механизмы патогенеза. Нусинерсен и риздиплам изменяют процесс сплайсинга гена SMN2, увеличивая синтез полноценного белка SMN. Генная терапия онасемногеном абепаровеком направлена на доставку функциональной копии гена SMN1 в клетки организма с использованием аденоассоциированного вирусного вектора.

Все существующие патогенетические препараты объединяет общая цель — восстановление достаточного уровня белка SMN до развития необратимой гибели мотонейронов. Именно этим объясняется принцип «time is motor neuron» («время — это мотонейроны»), который сегодня лежит в основе международных рекомендаций по ведению пациентов со СМА.

Таким образом, патогенез спинальной мышечной атрофии представляет собой последовательный каскад молекулярных, клеточных и тканевых нарушений, начинающийся с дефицита белка SMN и завершающийся прогрессирующей дегенерацией мотонейронов, нарушением нервно-мышечной передачи и развитием тяжелой мышечной слабости. Современное понимание этих механизмов стало фундаментом для создания патогенетической терапии, существенно изменившей прогноз заболевания. Следующим логическим этапом является рассмотрение клинических форм СМА, особенностей их течения и возрастных различий, что имеет ключевое значение для своевременной диагностики и выбора лечебной тактики.

Классификация спинальной мышечной атрофии. Спинальная мышечная атрофия (СМА) представляет собой клинически и генетически гетерогенную группу наследственных заболеваний, объединенных общим патогенетическим механизмом — недостаточностью белка Survival Motor Neuron (SMN). Наиболее распространенной является 5q-ассоциированная СМА, обусловленная мутациями или делецией гена SMN1. Именно эта форма составляет более 95 % всех случаев заболевания и является объектом современной патогенетической терапии.

Классификация СМА основана преимущественно на возрасте дебюта заболевания, максимальном уровне достигнутых двигательных навыков и тяжести клинического течения. Несмотря на условность такого разделения, оно сохраняет практическую значимость, поскольку позволяет прогнозировать течение заболевания, оценивать функциональный статус пациента и выбирать оптимальную лечебную тактику.

СМА 0 типа (пренатальная форма). СМА 0 типа является наиболее тяжелой и редкой формой заболевания. Патологический процесс начинается еще во внутриутробном периоде, что обусловлено практически полным отсутствием функционального белка SMN.

Во время беременности матери часто отмечают значительное снижение двигательной активности плода. После рождения у новорожденного выявляются выраженная генерализованная мышечная гипотония, арефлексия, тяжелая дыхательная недостаточность и отсутствие самостоятельных активных движений. У большинства детей наблюдаются множественные контрактуры суставов, деформации грудной клетки и выраженная слабость дыхательной мускулатуры.

Новорожденные нуждаются в проведении искусственной вентиляции легких уже в первые часы или дни жизни. Без современных методов интенсивной терапии заболевание имеет крайне неблагоприятный прогноз. Даже при использовании патогенетического лечения эффективность значительно ниже по сравнению с детьми, терапия которым начата до развития выраженных клинических проявлений.

СМА I типа (болезнь Верднига–Гоффмана). СМА I типа является наиболее распространенной формой заболевания и составляет около 50–60 % всех случаев. Первые симптомы появляются в возрасте до шести месяцев, чаще всего в первые три месяца жизни.

Клиническая картина характеризуется выраженной мышечной гипотонией, прогрессирующей слабостью проксимальных мышц, снижением или отсутствием сухожильных рефлексов, нарушением сосания и глотания. Характерным признаком является невозможность самостоятельного удержания головы и достижения навыка самостоятельного сидения.

По мере прогрессирования заболевания развивается слабость межреберных мышц, что приводит к формированию парадоксального дыхания, нарушению вентиляции легких и повторным респираторным инфекциям. При отсутствии патогенетического лечения большинство детей погибали или нуждались в постоянной респираторной поддержке в первые два года жизни.

В настоящее время внедрение нусинерсена, рисдиплама и генной терапии существенно изменило прогноз заболевания. При начале лечения в пресимптоматической стадии многие дети способны самостоятельно сидеть, стоять и даже ходить, что ранее считалось невозможным.

СМА II типа. СМА II типа обычно дебютирует в возрасте от 6 до 18 месяцев. Дети успевают приобрести навык самостоятельного сидения, однако способность самостоятельно ходить у большинства пациентов не развивается.

Основными клиническими проявлениями являются прогрессирующая мышечная слабость, преимущественно проксимальных отделов конечностей, тремор пальцев кистей, снижение сухожильных рефлексов и постепенное ограничение двигательной активности. Интеллектуальное развитие детей остается полностью сохранным.

В связи с длительным течением заболевания постепенно формируются вторичные ортопедические осложнения, включая сколиоз, контрактуры суставов, деформации грудной клетки и вывихи тазобедренных суставов. Значительная часть пациентов нуждается в использовании инвалидной коляски.

Продолжительность жизни значительно выше по сравнению со СМА I типа, особенно при своевременном проведении респираторной поддержки, нутритивной коррекции и современной патогенетической терапии.

СМА III типа (болезнь Кугельберга—Веландер). СМА III типа отличается относительно благоприятным течением. Заболевание проявляется после 18 месяцев жизни, иногда в дошкольном или школьном возрасте.

Все дети первоначально начинают самостоятельно ходить, однако впоследствии отмечается постепенное снижение мышечной силы, быстрая утомляемость, трудности при подъеме по лестнице, вставании с пола и беге.

Характерным симптомом является положительный симптом Говерса, при котором ребенок использует руки для подъема из положения сидя или лежа вследствие слабости мышц тазового пояса.

По мере прогрессирования заболевания развивается атрофия проксимальных мышц нижних конечностей, появляются нарушения походки, формируются контрактуры и сколиоз. Несмотря на постепенное ухудшение двигательных функций, продолжительность жизни большинства пациентов остается близкой к общей популяционной.

Назначение патогенетической терапии позволяет значительно замедлить прогрессирование заболевания и сохранить способность к самостоятельному передвижению на протяжении многих лет.

СМА IV типа. СМА IV типа является наиболее редкой и наиболее легкой формой заболевания. Первые симптомы появляются после 20–30 лет, иногда значительно позже.

Пациенты отмечают постепенно нарастающую слабость мышц тазового и плечевого пояса, умеренную атрофию мышц и снижение физической выносливости. Заболевание прогрессирует медленно, редко приводит к выраженной инвалидизации и практически не влияет на продолжительность жизни.

Поскольку данная форма встречается преимущественно во взрослом возрасте, в педиатрической практике она имеет ограниченное значение.

Современные представления о классификации

В последние годы традиционная классификация постепенно дополняется оценкой функционального статуса пациента. Это связано с тем, что внедрение патогенетической терапии существенно изменило естественное течение заболевания.

В современной клинической практике пациентов нередко подразделяют на три функциональные группы:

- не сидящие пациенты (non-sitters);
- сидящие пациенты (sitters);
- ходящие пациенты (walkers).

Подобная классификация широко используется в международных клинических исследованиях и позволяет более объективно оценивать эффективность лечения независимо от возраста дебюта заболевания.

Кроме того, при прогнозировании течения заболевания обязательное значение имеет определение количества копий гена SMN2, поскольку данный показатель тесно связан с тяжестью клинических проявлений и вероятностью достижения определенных двигательных навыков.

Клиническое значение классификации. Классификация СМА имеет важное практическое значение. Она позволяет врачу определить предполагаемый прогноз заболевания, оценить риск развития дыхательной недостаточности и ортопедических осложнений, выбрать оптимальную стратегию патогенетической терапии и разработать индивидуальную программу реабилитации.

Вместе с тем современные международные рекомендации подчеркивают, что с появлением эффективных методов лечения границы между отдельными типами СМА становятся менее выраженными. Все чаще прогноз определяется не только клиническим типом заболевания, но и возрастом начала терапии. Пациенты, получившие лечение в пресимптоматической стадии, могут развиваться значительно лучше, чем предполагалось согласно традиционной классификации.

Таким образом, современная классификация спинальной мышечной атрофии сочетает классическое разделение по возрасту дебюта и достигнутым двигательным навыкам с оценкой функционального состояния пациента и генетических особенностей заболевания. Такой подход обеспечивает более точную оценку прогноза и способствует персонализированному выбору лечебной тактики.

Клиническая картина спинальной мышечной атрофии у детей. Клинические проявления спинальной мышечной атрофии (СМА) характеризуются значительным полиморфизмом и зависят от возраста дебюта заболевания, степени дефицита белка SMN, количества копий гена SMN2 и своевременности начала патогенетической терапии. Несмотря на различия между отдельными клиническими типами, для всех форм заболевания характерно прогрессирующее поражение α -мотонейронов передних рогов спинного мозга, сопровождающееся развитием симметричной мышечной слабости, гипотонии, атрофии скелетной мускулатуры и снижением сухожильных рефлексов при сохранности чувствительности и когнитивных функций.

Клиническая картина СМА формируется постепенно и может существенно варьировать — от тяжелых проявлений уже во внутриутробном периоде до относительно медленно прогрессирующей мышечной слабости у детей старшего возраста. В связи с этим врачу-педиатру важно знать не только классические симптомы заболевания, но и ранние неспецифические признаки, позволяющие своевременно заподозрить диагноз.

Общие клинические проявления. Наиболее характерным проявлением СМА является прогрессирующая симметричная мышечная слабость, преимущественно затрагивающая проксимальные отделы конечностей. В первую очередь поражаются мышцы плечевого и тазового пояса, тогда как мышцы кистей, стоп и лица вовлекаются значительно позже или остаются относительно сохранными.

Одновременно развивается выраженная мышечная гипотония, обусловленная денервацией скелетной мускулатуры. У детей снижается сопротивление при пассивных движениях, конечности становятся «мягкими», уменьшается объем активных движений. Именно поэтому заболевание нередко впервые проявляется синдромом «вялого ребенка» (floppy infant syndrome).

Важной особенностью СМА является постепенное исчезновение сухожильных рефлексов. Ослабление или отсутствие коленных, ахилловых и других рефлексов связано с гибелью мотонейронов и нарушением проведения импульса по рефлекторной дуге.

При этом чувствительность, функции тазовых органов, интеллект, слух и зрение остаются сохранными. Дети хорошо понимают обращенную речь, эмоционально реагируют на окружающих и демонстрируют нормальное психическое развитие, что является важным диагностическим признаком при дифференциальной диагностике.

Особенности мышечной слабости. Мышечная слабость при СМА имеет ряд характерных особенностей. Она развивается постепенно, носит симметричный характер и преимущественно поражает проксимальные мышцы конечностей.

На ранних этапах родители могут отмечать снижение двигательной активности ребенка, редкие движения ногами, трудности при удержании головы, невозможность переворачиваться или самостоятельно садиться. У детей старшего возраста появляются затруднения при беге, подъеме по лестнице, вставании с пола и длительной ходьбе.

Поскольку поражение начинается с наиболее крупных двигательных единиц, мышцы тазового пояса страдают раньше мышц кистей и стоп. Это объясняет характерную «утиную» походку, положительный симптом Говерса и постепенную утрату способности самостоятельно передвигаться.

Следует подчеркнуть, что выраженность мышечной слабости значительно отличается при различных типах СМА. У детей с I типом заболевание быстро прогрессирует и приводит

к тяжелой двигательной недостаточности уже в первые месяцы жизни, тогда как при III типе симптомы могут нарастать в течение многих лет.

Бульбарные нарушения. По мере прогрессирования заболевания у части пациентов развивается поражение бульбарной группы мышц.

Наиболее характерными проявлениями являются:

- нарушение сосания у грудных детей;
- затруднение глотания;
- поперхивание при кормлении;
- повышенное слюноотделение;
- слабость жевательной мускулатуры;
- изменение тембра голоса.

Нарушение функции мышц глотки значительно увеличивает риск аспирации пищи и развития аспирационной пневмонии, что требует своевременной оценки нутритивного статуса и консультации специалистов по нарушению глотания.

Дыхательные нарушения. Поражение дыхательной мускулатуры является одной из наиболее серьезных клинических особенностей СМА.

Вследствие слабости межреберных мышц уменьшается экскурсия грудной клетки, снижается жизненная емкость легких и нарушается эффективный кашель.

Для детей раннего возраста характерно так называемое парадоксальное дыхание, при котором во время вдоха грудная клетка практически не расширяется, тогда как живот значительно выпячивается за счет относительной сохранности функции диафрагмы.

Недостаточное очищение дыхательных путей способствует накоплению бронхиального секрета, развитию ателектазов и повторных инфекций нижних дыхательных путей.

При отсутствии специализированной респираторной поддержки постепенно формируется хроническая дыхательная недостаточность.

Ортопедические осложнения. Хроническая мышечная слабость приводит к развитию многочисленных деформаций опорно-двигательного аппарата.

Наиболее часто наблюдаются:

- прогрессирующий сколиоз;
- кифосколиоз;
- контрактуры крупных суставов;
- вывихи тазобедренных суставов;
- деформация грудной клетки;
- ограничение объема движений.

Степень выраженности ортопедических осложнений напрямую зависит от двигательной активности пациента и своевременности проведения реабилитационных мероприятий.

Клинические особенности различных типов СМА. СМА I типа. У детей со СМА I типа симптомы появляются уже в первые месяцы жизни. Родители отмечают выраженную мышечную слабость, отсутствие попыток удерживать голову, слабый плач, снижение двигательной активности и трудности при кормлении.

Во время осмотра выявляются генерализованная гипотония, отсутствие сухожильных рефлексов, характерная поза «лягушки», фасцикуляции языка и выраженная слабость межреберных мышц.

Без лечения заболевание быстро прогрессирует, приводя к тяжелой дыхательной недостаточности.

СМА II типа. При СМА II типа дети способны самостоятельно сидеть, однако никогда не приобретают навык самостоятельной ходьбы.

Основными жалобами являются снижение мышечной силы, невозможность самостоятельно вставать, дрожание пальцев кистей, быстрая утомляемость и постепенное ограничение двигательной активности.

По мере роста ребенка формируются выраженный сколиоз, контрактуры суставов и деформация грудной клетки.

СМА III типа. Дети со СМА III типа начинают самостоятельно ходить в обычные возрастные сроки.

Первые симптомы проявляются снижением физической активности, частыми падениями, затруднениями при беге и подъеме по лестнице.

При объективном обследовании определяется слабость мышц тазового пояса, положительный симптом Говерса, умеренная атрофия мышц бедер и снижение сухожильных рефлексов.

Прогрессирование заболевания происходит значительно медленнее по сравнению с ранними формами.

Влияние современных методов лечения на клиническую картину. Следует отметить, что в эпоху патогенетической терапии классические клинические проявления СМА постепенно изменяются. Дети, получившие лечение в пресимптоматической стадии, могут достигать возрастных двигательных навыков, ранее недоступных пациентам с данным заболеванием. У таких пациентов клиническая картина становится значительно менее выраженной, а течение болезни приобретает более благоприятный характер.

В связи с этим врачу-педиатру необходимо учитывать, что отсутствие типичных симптомов не исключает диагноз СМА, особенно у детей, получающих современную патогенетическую терапию.

Таким образом, клиническая картина спинальной мышечной атрофии отличается широким спектром проявлений, однако ведущими симптомами остаются прогрессирующая мышечная слабость, гипотония, снижение сухожильных рефлексов и нарушение двигательного развития при сохранности когнитивных функций. Знание клинических особенностей различных форм заболевания позволяет своевременно заподозрить СМА и направить ребенка на молекулярно-генетическое обследование, что имеет решающее значение для раннего начала патогенетической терапии.

Синдром «вялого ребенка» как ключ к ранней диагностике спинальной мышечной атрофии. Синдром «вялого ребенка» (floppy infant syndrome) представляет собой клинический симптомокомплекс, характеризующийся выраженной мышечной гипотонией, снижением двигательной активности и нарушением формирования моторных навыков у детей первых месяцев жизни. Данный синдром не является самостоятельным заболеванием, а служит проявлением широкого спектра патологических состояний, включающих заболевания центральной и периферической нервной системы, наследственные нервно-мышечные болезни, врожденные миопатии, метаболические нарушения, хромосомные синдромы и некоторые эндокринные заболевания. Среди причин периферической мышечной гипотонии особое место занимает спинальная мышечная атрофия (СМА), при которой раннее выявление имеет решающее значение для сохранения функции мотонейронов и достижения максимальной эффективности патогенетической терапии.

Современные международные рекомендации подчеркивают, что своевременное распознавание синдрома «вялого ребенка» врачом-педиатром позволяет значительно сократить диагностический период и обеспечить раннее направление пациента к детскому неврологу и врачу-генетику. В эпоху патогенетической терапии концепция «time is motor neuron» («время — это мотонейроны») приобретает особую актуальность, поскольку каждая

неделя задержки диагностики сопровождается необратимой утратой двигательных нейронов.

Клинические признаки синдрома «вялого ребенка». Основным проявлением синдрома является генерализованная мышечная гипотония. Уже при первом осмотре обращают на себя внимание сниженный мышечный тонус, отсутствие физиологического сопротивления при пассивных движениях и повышенная подвижность суставов. Конечности ребенка свободно свисают, мышцы выглядят дряблыми, а активные движения становятся редкими и малоамплитудными.

У детей со СМА родители часто отмечают, что ребенок мало двигает руками и ногами, не удерживает голову в возрасте, когда это уже ожидается, редко переворачивается и быстро устает во время кормления. Нередко именно родители первыми обращают внимание на то, что ребенок кажется «слишком спокойным» или «не таким активным», как другие дети.

При объективном обследовании характерны следующие признаки:

- выраженная диффузная мышечная гипотония;
- снижение или отсутствие сухожильных рефлексов;
- симметричная слабость преимущественно проксимальных мышц;
- уменьшение объема активных движений;
- задержка формирования возрастных двигательных навыков;
- сохранность сознания, интеллекта и чувствительности.

Одним из характерных симптомов СМА являются фасцикуляции языка — мелкие произвольные подергивания мышечных волокон, хорошо заметные при осмотре. Хотя этот признак встречается не у всех пациентов, его наличие значительно повышает вероятность поражения периферического мотонейрона.

Особенности физикального обследования. При осмотре ребенка с мышечной гипотонией врач должен оценить мышечный тонус, силу, сухожильные рефлексы, объем активных движений и соответствие моторного развития возрастным нормам.

Для оценки гипотонии используются простые клинические тесты:

Проба на тракцию (traction response). При подтягивании ребенка за руки из положения лежа голова значительно запрокидывается назад вследствие слабости мышц шеи.

Проба на вертикальное подвешивание. Ребенок словно «проскальзывает» между руками врача из-за выраженной слабости плечевого пояса и туловища.

Проба на горизонтальное подвешивание. При удержании ребенка лицом вниз тело приобретает форму перевернутой буквы «U» вследствие недостаточного мышечного тонуса.

Эти клинические тесты не являются специфичными для СМА, однако позволяют быстро выявить выраженную мышечную гипотонию и определить необходимость дальнейшего обследования.

«Красные флаги», требующие исключения СМА. Современные клинические рекомендации выделяют ряд признаков, наличие которых требует обязательного проведения молекулярно-генетического исследования на СМА.

К таким признакам относятся:

- выраженная гипотония без признаков поражения центральной нервной системы;
- отсутствие или значительное снижение сухожильных рефлексов;
- симметричная проксимальная мышечная слабость;
- задержка моторного развития;
- невозможность удерживать голову после 4 месяцев;
- отсутствие самостоятельного сидения после 9 месяцев;
- утрата ранее приобретенных двигательных навыков;

- фасцикуляции языка;
- парадоксальное дыхание;
- семейный анамнез нервно-мышечных заболеваний или ранней детской смертности.

Даже при отсутствии всех перечисленных признаков врач должен сохранять настороженность, если наблюдается сочетание мышечной гипотонии и прогрессирующей двигательной недостаточности.

Дифференциальная диагностика синдрома «вялого ребенка». Синдром мышечной гипотонии встречается при большом числе заболеваний, поэтому дифференциальная диагностика представляет собой важнейший этап обследования.

Прежде всего необходимо определить уровень поражения нервной системы.

Центральная гипотония наблюдается при гипоксически-ишемическом поражении головного мозга, врожденных пороках развития центральной нервной системы, генетических синдромах (например, синдроме Дауна), церебральных мальформациях и некоторых формах эпилептических энцефалопатий. Для этих состояний характерно сохранение или повышение сухожильных рефлексов, наличие нарушений сознания, судорог или когнитивных расстройств.

Периферическая гипотония развивается при поражении мотонейронов, периферических нервов, нервно-мышечных синапсов или самой мышечной ткани. Именно к этой группе относится СМА.

При проведении дифференциальной диагностики необходимо исключить:

- врожденные миопатии;
- врожденные мышечные дистрофии;
- врожденную миотоническую дистрофию;
- врожденные миастенические синдромы;
- неонатальную миастению;
- наследственные моторно-сенсорные нейропатии;
- болезнь Помпе;
- митохондриальные заболевания;
- врожденный гипотиреоз;
- тяжелые нарушения обмена веществ.

Дифференциальная диагностика должна проводиться поэтапно с учетом данных клинического осмотра, лабораторных исследований, электронейромиографии и молекулярно-генетического анализа.

Алгоритм действий врача-педиатра при подозрении на СМА. При выявлении мышечной гипотонии врач первичного звена должен придерживаться четкого диагностического алгоритма.

Первоначально проводится подробный сбор анамнеза с уточнением особенностей течения беременности, двигательной активности плода, сроков формирования моторных навыков, семейного анамнеза и случаев ранней детской смертности.

На втором этапе выполняется комплексное неврологическое обследование с оценкой мышечного тонуса, силы, сухожильных рефлексов, характера дыхания и двигательного развития.

При наличии клинических признаков поражения периферического мотонейрона ребенка необходимо в кратчайшие сроки направить к детскому неврологу и врачу-генетику для проведения молекулярно-генетического исследования гена SMN1. Не рекомендуется откладывать генетическое тестирование до завершения полного объема инструментальной диагностики, поскольку задержка подтверждения диагноза может привести к утрате времени, критически важного для начала патогенетической терапии.

При подтверждении диагноза пациент должен быть направлен в специализированный центр для определения показаний к патогенетическому лечению, оценки дыхательной функции, нутритивного статуса и организации мультидисциплинарного наблюдения.

Значение ранней диагностики. За последние годы представления о диагностике СМА существенно изменились. Если ранее установление диагноза позволяло преимущественно прогнозировать течение заболевания и организовать симптоматическую помощь, то в настоящее время своевременное выявление заболевания непосредственно влияет на исход лечения.

Результаты международных клинических исследований убедительно демонстрируют, что дети, начавшие терапию до появления клинических симптомов или в первые недели после их возникновения, имеют значительно лучшие показатели двигательного развития, реже нуждаются в респираторной поддержке и достигают возрастных моторных навыков, ранее недоступных пациентам со СМА.

Таким образом, синдром «вялого ребенка» следует рассматривать как важнейший клинический сигнал, требующий активного диагностического поиска. Повышение настороженности врачей-педиатров в отношении спинальной мышечной атрофии, знание современных алгоритмов обследования и своевременное проведение молекулярно-генетической диагностики являются ключевыми условиями раннего начала патогенетической терапии и существенного улучшения прогноза заболевания.

Современные методы диагностики спинальной мышечной атрофии. Ранняя диагностика спинальной мышечной атрофии (СМА) является одним из определяющих факторов эффективности патогенетической терапии. В отличие от большинства наследственных нервно-мышечных заболеваний, при СМА существует возможность существенно изменить естественное течение болезни при условии своевременного начала лечения. В связи с этим современный диагностический алгоритм направлен на максимально быстрое подтверждение диагноза с использованием молекулярно-генетических методов исследования.

Диагностика СМА основывается на комплексной оценке клинической картины, неврологического статуса, результатов лабораторных и инструментальных исследований, а также обязательном молекулярно-генетическом подтверждении заболевания. Согласно современным международным рекомендациям, наличие характерной клинической симптоматики должно служить основанием для незамедлительного проведения генетического тестирования без необоснованной задержки.

Клиническое обследование. Первым этапом диагностики является тщательное клиническое обследование ребенка. Врач-педиатр или детский невролог оценивает особенности течения беременности и родов, сроки формирования моторных навыков, наличие семейного анамнеза наследственных заболеваний, случаи ранней детской смертности, а также жалобы родителей на снижение двигательной активности ребенка.

Особое внимание уделяется оценке мышечного тонуса, силы, сухожильных рефлексов, характера дыхания, функции глотания и соответствия моторного развития возрастным нормам.

Наиболее характерными клиническими признаками СМА являются:

- генерализованная мышечная гипотония;
- симметричная проксимальная мышечная слабость;
- снижение или отсутствие сухожильных рефлексов;
- фасцикуляции языка;
- парадоксальное дыхание;
- отсутствие признаков поражения чувствительной нервной системы;

- сохранность интеллектуального развития.

Следует подчеркнуть, что клинические проявления заболевания могут быть выражены в различной степени в зависимости от возраста ребенка, количества копий гена SMN2 и начала патогенетической терапии.

Лабораторная диагностика. Лабораторные исследования не позволяют подтвердить диагноз СМА, однако имеют важное значение при проведении дифференциальной диагностики.

Наиболее часто определяют:

- уровень креатинкиназы (КК);
- общий анализ крови;
- биохимический анализ крови;
- показатели функции печени и почек;
- уровень тиреотропного гормона и тироксина;
- показатели кислотно-основного состояния при дыхательной недостаточности.

У большинства пациентов уровень креатинкиназы остается нормальным или лишь незначительно повышен. Это отличает СМА от мышечных дистрофий, при которых концентрация данного фермента увеличивается в десятки раз.

При необходимости выполняются исследования для исключения врожденных нарушений обмена веществ, митохондриальных заболеваний и болезни Помпе.

Электронейромиография. Электронейромиография (ЭНМГ) длительное время считалась одним из основных методов диагностики заболеваний периферической нервной системы. В настоящее время ее роль при СМА несколько изменилась вследствие широкого внедрения молекулярно-генетического тестирования.

При игольчатой электромиографии выявляются признаки хронической денервации:

- увеличение амплитуды потенциалов двигательных единиц;
- увеличение их продолжительности;
- снижение количества функционирующих двигательных единиц;
- спонтанная активность мышечных волокон (фибрилляции и положительные острые волны).

Исследование скорости проведения возбуждения по двигательным нервам обычно остается в пределах возрастной нормы, что позволяет отличить СМА от наследственных полинейропатий.

Несмотря на высокую информативность, проведение ЭНМГ не должно откладывать выполнение молекулярно-генетического исследования, особенно у детей первых месяцев жизни.

Молекулярно-генетическая диагностика. Молекулярно-генетическое исследование является «золотым стандартом» диагностики спинальной мышечной атрофии.

Основной задачей исследования является выявление гомозиготной делеции или других патогенных вариантов гена SMN1.

Наиболее широко применяются следующие методы.

MLPA (Multiplex Ligation-dependent Probe Amplification)

Метод MLPA является наиболее информативным способом диагностики СМА.

Он позволяет одновременно:

- определить наличие делеции гена SMN1;
- подсчитать количество копий гена SMN2;
- выявить носительство мутации.

Определение количества копий SMN2 имеет большое прогностическое значение, поскольку данный показатель тесно связан с тяжестью клинического течения заболевания и позволяет прогнозировать возможный функциональный исход.

Количественная полимеразная цепная реакция (qPCR). Метод qPCR широко используется в программах массового неонатального скрининга.

Основными преимуществами являются:

- высокая чувствительность;
- быстрое получение результата;
- возможность обследования большого количества новорожденных;
- относительно низкая стоимость исследования.

При положительном результате обязательно проводится подтверждающее молекулярно-генетическое исследование методом MLPA.

Секвенирование нового поколения (NGS). У небольшой части пациентов делеция SMN1 отсутствует, однако заболевание обусловлено точечными мутациями.

В подобных случаях применяется технология секвенирования нового поколения (NGS), позволяющая выявить:

- точечные мутации;
- небольшие делеции;
- инсерции;
- другие редкие генетические изменения.

Использование NGS особенно важно при наличии типичной клинической картины и отрицательных результатах стандартного генетического исследования.

Неонатальный скрининг. Одним из наиболее значимых достижений современной педиатрии стало внедрение программ неонатального скрининга на СМА.

Исследование проводится в первые дни жизни одновременно с обследованием новорожденных на другие наследственные заболевания. Материалом служит сухое пятно крови, полученное из капиллярной крови новорожденного.

Основной целью скрининга является выявление детей до появления первых клинических симптомов заболевания.

Результаты крупных международных исследований показали, что назначение патогенетической терапии в пресимптоматической стадии позволяет большинству пациентов достичь возрастных двигательных навыков, самостоятельно сидеть, стоять и ходить.

Именно поэтому Всемирная организация здравоохранения, многие национальные программы здравоохранения и международные экспертные сообщества рассматривают внедрение неонатального скрининга как одно из наиболее перспективных направлений борьбы со СМА.

Пренатальная диагностика и медико-генетическое консультирование

В семьях, где уже имеется ребенок со СМА или выявлено носительство патогенных вариантов гена SMN1, большое значение приобретает пренатальная диагностика.

Современные методы позволяют определить генетический статус плода путем исследования материала, полученного при:

- биопсии хориона;
- амниоцентезе;
- кордоцентезе (по показаниям).

В ряде случаев возможно проведение преимплантационного генетического тестирования (PGT-M) при использовании вспомогательных репродуктивных технологий. Этот подход позволяет выбрать для переноса эмбрионы без патогенных вариантов SMN1, снижая риск рождения ребенка со СМА в семьях высокого риска.

Медико-генетическое консультирование включает оценку родословной, определение риска повторного рождения больного ребенка, обсуждение вариантов

репродуктивного планирования и информирование семьи о возможностях современной диагностики и лечения.

Дифференциальная диагностика. Дифференциальную диагностику СМА проводят с широким кругом заболеваний, сопровождающихся мышечной гипотонией и слабостью:

- врожденные миопатии;
- врожденные мышечные дистрофии;
- врожденная миотоническая дистрофия;
- болезнь Помпе;
- митохондриальные заболевания;
- врожденные миастенические синдромы;
- неонатальная миастения;
- наследственные моторно-сенсорные нейропатии;
- врожденный гипотиреоз;
- синдром Прадера—Вилли;
- синдром Дауна;
- гипоксически-ишемическое поражение центральной нервной системы.

При наличии характерной клинической картины и подтвержденной делеции SMN1 необходимость в проведении большинства инвазивных исследований, включая биопсию мышцы, в настоящее время отсутствует.

Современный диагностический алгоритм. Современный алгоритм диагностики СМА основан на принципе минимизации времени до начала лечения. При подозрении на заболевание врач-педиатр должен как можно быстрее направить ребенка на консультацию к детскому неврологу и молекулярно-генетическое исследование. После генетического подтверждения диагноза проводится оценка числа копий SMN2, дыхательной функции, нутритивного статуса и двигательных возможностей пациента. На основании полученных данных принимается решение о начале патогенетической терапии и формируется индивидуальный план мультидисциплинарного наблюдения.

Таким образом, современная диагностика спинальной мышечной атрофии представляет собой комплексный процесс, в котором ключевое место занимает молекулярно-генетическое подтверждение заболевания. В условиях появления эффективных методов лечения своевременная диагностика перестала быть исключительно инструментом установления диагноза и стала определяющим фактором прогноза, качества жизни и выживаемости пациентов. Ранняя идентификация заболевания открывает возможность начала терапии до развития необратимой утраты мотонейронов, что является главным условием достижения оптимальных клинических результатов.

Современная патогенетическая терапия спинальной мышечной атрофии. Появление патогенетической терапии стало переломным этапом в лечении спинальной мышечной атрофии (СМА). Если ранее медицинская помощь пациентам ограничивалась симптоматической терапией и поддерживающими мероприятиями, направленными на коррекцию дыхательных нарушений, нутритивного статуса и профилактику ортопедических осложнений, то сегодня существуют лекарственные препараты, способные воздействовать непосредственно на молекулярные механизмы заболевания. Современные методы лечения направлены на увеличение продукции функционального белка Survival Motor Neuron (SMN) или восстановление функции гена SMN1, что позволяет замедлить прогрессирование заболевания, сохранить двигательные нейроны и значительно улучшить функциональный прогноз.

В настоящее время в клинической практике используются три основных патогенетических подхода: терапия антисмысловыми олигонуклеотидами (нусинерсен), терапия малыми молекулами (рисдиплам) и генная терапия (онасемноген абепарвовек).

Выбор метода лечения определяется возрастом пациента, клинической формой заболевания, генетическими особенностями, наличием противопоказаний, доступностью терапии и национальными клиническими рекомендациями.

Рекомендации Американской академии педиатрии (AAP). Американская академия педиатрии рассматривает врача первичного звена как ключевое звено раннего выявления СМА. Согласно рекомендациям AAP, именно педиатр должен оценивать моторное развитие ребенка при каждом профилактическом осмотре и своевременно выявлять отклонения.

Особое внимание уделяется следующим аспектам:

- оценке формирования двигательных навыков;
- выявлению синдрома «вялого ребенка»;
- анализу семейного анамнеза;
- оценке мышечного тонуса и сухожильных рефлексов;
- раннему направлению к детскому неврологу и врачу-генетику.

AAP подчеркивает, что при подозрении на СМА не следует откладывать проведение молекулярно-генетического исследования в ожидании результатов других диагностических процедур. Генетическое тестирование должно проводиться в максимально короткие сроки.

Кроме того, академия рекомендует активно информировать родителей о целях обследования, возможностях современной терапии и важности соблюдения сроков лечения.

Рекомендации Американской академии неврологии (AAN). Рекомендации AAN посвящены вопросам диагностики, подтверждения диагноза и ведения пациентов с нервно-мышечными заболеваниями.

В отношении СМА подчеркиваются следующие положения:

- молекулярно-генетическое исследование должно рассматриваться как метод первого выбора;
- проведение биопсии мышцы требуется крайне редко;
- электронейромиография используется преимущественно при неясной клинической картине;
- определение количества копий гена SMN2 обязательно для оценки прогноза;
- лечение должно начинаться сразу после лабораторного подтверждения диагноза.

AAN также рекомендует регулярно использовать стандартизированные шкалы оценки двигательных функций для объективного мониторинга эффективности терапии.

Рекомендации Treat-NMD

Treat-NMD представляет собой крупнейшую международную экспертную сеть, объединяющую специалистов по нервно-мышечным заболеваниям. Ее консенсусные документы считаются одним из наиболее авторитетных источников рекомендаций по ведению пациентов со СМА.

Эксперты Treat-NMD рассматривают заболевание как хроническое состояние, требующее непрерывного мультидисциплинарного сопровождения на протяжении всей жизни пациента.

Особое внимание уделяется:

- раннему началу патогенетической терапии;
- комплексной респираторной поддержке;
- профилактике ортопедических осложнений;
- нутритивной коррекции;
- регулярной реабилитации;
- оценке качества жизни.

В рекомендациях подробно описаны подходы к наблюдению пациентов различных возрастных групп, включая новорожденных, детей, подростков и взрослых.

Рекомендации Cure SMA. Американская организация Cure SMA активно участвует в разработке практических рекомендаций для врачей и семей пациентов.

Основной принцип, отраженный во всех документах организации, заключается в том, что лечение должно начинаться до появления необратимого поражения мотонейронов.

Именно Cure SMA одной из первых сформулировала практическую концепцию, согласно которой каждый день задержки диагностики снижает потенциальную эффективность терапии.

Организация также разработала образовательные программы для педиатров, родителей и специалистов по реабилитации, направленные на повышение осведомленности о ранних признаках заболевания.

Большое внимание уделяется вопросам психологической поддержки семьи, социальной адаптации ребенка и обеспечению преемственности медицинской помощи.

Рекомендации SMA Europe. Европейская организация SMA Europe объединяет пациентские сообщества и экспертные группы различных стран Европы.

В опубликованных документах особое внимание уделяется:

- обеспечению равного доступа к современной терапии;
- внедрению неонатального скрининга;
- развитию специализированных центров лечения;
- стандартизации медицинской помощи;
- мониторингу долгосрочных результатов лечения.

Эксперты подчеркивают необходимость формирования национальных регистров пациентов, позволяющих оценивать эффективность различных методов терапии и совершенствовать организацию медицинской помощи.

Общие положения международных рекомендаций. Несмотря на особенности национальных систем здравоохранения, анализ международных руководств позволяет выделить ряд единых принципов ведения пациентов со СМА.

Во-первых, все экспертные сообщества признают молекулярно-генетическую диагностику основным методом подтверждения заболевания.

Во-вторых, подчеркивается исключительная важность максимально раннего начала патогенетической терапии, желательно еще до появления клинических симптомов.

В-третьих, лечение должно осуществляться в специализированных центрах с участием мультидисциплинарной команды специалистов.

В-четвертых, обязательным компонентом ведения являются регулярная реабилитация, респираторная поддержка, нутритивная коррекция и длительное динамическое наблюдение.

Наконец, особое внимание уделяется необходимости развития программ неонатального скрининга, которые позволяют выявлять заболевание на доклинической стадии и существенно улучшать прогноз.

Актуальность для системы здравоохранения. Для многих стран, включая Казахстан, внедрение международных подходов к диагностике и лечению СМА имеет стратегическое значение. Развитие генетической службы, совершенствование маршрутизации пациентов, обучение врачей первичного звена и расширение доступа к инновационной терапии позволяют приблизить национальную систему оказания помощи к международным стандартам.

Кроме того, использование единых клинических рекомендаций способствует унификации диагностики, снижению числа диагностических ошибок и повышению эффективности лечения.

Вывод. Анализ международных рекомендаций свидетельствует о формировании единой мировой стратегии ведения пациентов со спинальной мышечной атрофией.

Современная модель оказания помощи основана на четырех взаимосвязанных принципах: ранняя диагностика, незамедлительное начало патогенетической терапии, мультидисциплинарное сопровождение и длительное динамическое наблюдение. Реализация этих принципов позволяет существенно изменить естественное течение заболевания, улучшить функциональные результаты и повысить качество жизни детей со СМА и их семей.

Закключение. Спинальная мышечная атрофия является одним из наиболее значимых наследственных нервно-мышечных заболеваний детского возраста, характеризующимся прогрессирующей дегенерацией α -мотонейронов передних рогов спинного мозга вследствие недостаточности белка Survival Motor Neuron (SMN). До появления современных методов патогенетической терапии заболевание ассоциировалось с высокой смертностью среди детей раннего возраста, выраженной инвалидизацией и крайне ограниченными возможностями медицинской помощи. Однако достижения молекулярной генетики, биотехнологии и клинической фармакологии за последнее десятилетие кардинально изменили представления о прогнозе заболевания и возможностях его лечения.

В настоящее время СМА рассматривается как одно из первых наследственных заболеваний, для которого разработаны эффективные патогенетические методы терапии, воздействующие непосредственно на молекулярные механизмы развития болезни. Внедрение антисмысловых олигонуклеотидов, препаратов, модифицирующих сплайсинг гена SMN2, и генной терапии позволило значительно увеличить продолжительность жизни пациентов, улучшить их двигательные функции, снизить частоту тяжелых респираторных осложнений и существенно повысить качество жизни. Особенно важным достижением современной медицины стало то, что при начале лечения на доклинической стадии многие дети способны развиваться практически в соответствии с возрастными нормами, достигая моторных навыков, ранее считавшихся недостижимыми для пациентов со СМА.

Несмотря на успехи терапии, решающее значение продолжает иметь своевременная диагностика заболевания. Необратимая гибель мотонейронов начинается еще до появления первых клинических симптомов, поэтому даже небольшая задержка в установлении диагноза может существенно снизить эффективность лечения. В этой связи возрастает роль врача-педиатра как специалиста первичного звена здравоохранения, который первым оценивает физическое и психомоторное развитие ребенка. Настороженность в отношении синдрома «вялого ребенка», задержки моторного развития, генерализованной мышечной гипотонии и отсутствия сухожильных рефлексов позволяет своевременно заподозрить СМА и направить пациента на молекулярно-генетическое обследование.

Современные международные рекомендации единодушно подчеркивают, что молекулярно-генетическая диагностика должна проводиться без необоснованной задержки при первом клиническом подозрении на заболевание. Внедрение методов MLPA, количественной полимеразной цепной реакции и секвенирования нового поколения значительно повысило точность диагностики и сократило время подтверждения диагноза. Особую значимость приобретает определение количества копий гена SMN2, которое позволяет прогнозировать тяжесть заболевания, оценивать потенциальный функциональный исход и выбирать оптимальную лечебную тактику.

Одним из наиболее перспективных направлений современной педиатрии является внедрение программ неонатального скрининга на СМА. Международный опыт убедительно демонстрирует, что выявление заболевания в первые дни жизни и назначение терапии до появления клинических симптомов позволяют предотвратить развитие тяжелых двигательных нарушений, существенно улучшить прогноз и снизить потребность в длительной респираторной поддержке. Расширение программ неонатального скрининга

следует рассматривать как важнейший элемент государственной политики в области охраны здоровья детей и профилактики инвалидности.

Вместе с тем успешное лечение пациентов со СМА невозможно ограничить только назначением патогенетических препаратов. Заболевание требует комплексного мультидисциплинарного подхода с участием педиатра, детского невролога, врача-генетика, пульмонолога, ортопеда, реабилитолога, специалиста по лечебной физкультуре, логопеда, диетолога, психолога и других специалистов. Регулярная оценка дыхательной функции, нутритивного статуса, двигательных возможностей и ортопедического состояния, проведение индивидуализированной реабилитации и психологическая поддержка семьи являются обязательными компонентами современной модели оказания медицинской помощи.

Анализ международных рекомендаций Всемирной организации здравоохранения, Американской академии педиатрии, Американской академии неврологии, экспертной сети Treat-NMD, организации Cure SMA и европейских экспертных сообществ свидетельствует о формировании единых принципов ведения пациентов со СМА. Независимо от национальных особенностей систем здравоохранения, основными приоритетами остаются раннее выявление заболевания, молекулярно-генетическое подтверждение диагноза, максимально быстрое начало патогенетической терапии, непрерывное мультидисциплинарное сопровождение и долгосрочный мониторинг эффективности лечения. Применение единых международных стандартов позволяет повысить качество медицинской помощи и обеспечить пациентам доступ к наиболее эффективным методам диагностики и лечения.

Для системы здравоохранения Республики Казахстан дальнейшее совершенствование помощи детям со СМА должно включать развитие медико-генетической службы, расширение программ неонатального скрининга, повышение доступности молекулярно-генетических исследований, совершенствование маршрутизации пациентов, создание специализированных мультидисциплинарных центров и обеспечение равного доступа к современным патогенетическим препаратам. Не менее важными направлениями являются повышение информированности врачей первичного звена о ранних признаках заболевания, внедрение единых клинических протоколов и развитие национальных регистров пациентов, позволяющих оценивать эффективность лечения и планировать организацию специализированной помощи.

Перспективы дальнейшего развития терапии СМА связаны с совершенствованием технологий генной терапии, разработкой новых молекул, увеличивающих экспрессию белка SMN, созданием нейропротективных препаратов и комбинированных схем лечения. Значительный интерес представляют исследования в области редактирования генома, регенеративной медицины и персонализированной терапии, которые в будущем могут обеспечить еще более высокую эффективность лечения и расширить возможности восстановления утраченных функций нервной системы.

Таким образом, спинальная мышечная атрофия из заболевания с крайне неблагоприятным прогнозом постепенно превращается в контролируемую хроническую патологию, при которой своевременная диагностика и раннее начало патогенетической терапии позволяют существенно изменить естественное течение болезни. Современные достижения молекулярной генетики и клинической медицины открывают новые перспективы для сохранения двигательных функций, увеличения продолжительности жизни и социальной адаптации пациентов. В этих условиях особая ответственность возлагается на врача-педиатра, который играет ключевую роль в раннем выявлении заболевания, своевременном направлении ребенка на специализированное обследование и координации комплексной медицинской помощи. Дальнейшее внедрение современных

диагностических технологий, расширение программ неонатального скрининга и обеспечение доступности инновационных методов лечения будут способствовать дальнейшему улучшению прогноза и качества жизни детей со спинальной мышечной атрофией.

Список литературы:

1. Mercuri E, Finkel RS, Muntoni F, Wirth B, Montes J, Main M, et al. Diagnosis and management of spinal muscular atrophy: Part 1. Recommendations for diagnosis, rehabilitation, orthopedic and nutritional care. *Neuromuscul Disord*. 2018;28(2):103–115.
2. Finkel RS, Mercuri E, Meyer OH, Simonds AK, Schroth MK, Graham RJ, et al. Diagnosis and management of spinal muscular atrophy: Part 2. Pulmonary and acute care; medications, supplements and immunizations; other organ systems; ethics; palliative care; and future directions. *Neuromuscul Disord*. 2018;28(3):197–207.
3. Mercuri E, Deconinck N, Mazzone ES, Nascimento A, Oskoui M, Saito K, et al. 244th ENMC International Workshop: Revised Standards of Care for Spinal Muscular Atrophy. *Neuromuscul Disord*. 2020;30(6):527–537.
4. Verhaart IEC, Robertson A, Wilson IJ, Aartsma-Rus A, Cameron S, Jones CC, et al. Prevalence, incidence and carrier frequency of 5q-linked spinal muscular atrophy. *Orphanet J Rare Dis*. 2017;12:124.
5. Prior TW. Spinal muscular atrophy diagnostics. *J Child Neurol*. 2020;35(9):584–592.
6. Kolb SJ, Kissel JT. Spinal muscular atrophy. *Neurol Clin*. 2015;33(4):831–846.
7. Darras BT, Masson R, Mazurkiewicz-Beldzińska M, Rose K, Xiong H, Zanolini E, et al. Risdiplam-treated infants with type 1 spinal muscular atrophy versus historical controls. *N Engl J Med*. 2021;385:427–435.
8. Mercuri E, Baranello G, Boespflug-Tanguy O, De Waele L, Goemans N, Kirschner J, et al. SUNFISH Part 2: Safety and efficacy of risdiplam in type 2 and 3 SMA. *Lancet Neurol*. 2022;21(1):42–52.
9. Finkel RS, Mercuri E, Darras BT, Connolly AM, Kuntz NL, Kirschner J, et al. Nusinersen versus sham control in infantile-onset spinal muscular atrophy. *N Engl J Med*. 2017;377:1723–1732.
10. Mercuri E, Darras BT, Chiriboga CA, Day JW, Campbell C, Connolly AM, et al. Nusinersen versus sham control in later-onset spinal muscular atrophy. *N Engl J Med*. 2018;378:625–635.
11. Mendell JR, Al-Zaidy SA, Shell R, Arnold WD, Rodino-Klapac LR, Prior TW, et al. Single-dose gene replacement therapy for spinal muscular atrophy. *N Engl J Med*. 2017;377:1713–1722.
12. Day JW, Finkel RS, Chiriboga CA, Connolly AM, Crawford TO, Darras BT, et al. Onasemnogene APOB100 gene replacement therapy: Long-term follow-up. *Lancet Neurol*. 2021;20(4):284–293.
13. Waldrop MA, Kolb SJ. Current treatment options in spinal muscular atrophy. *Curr Treat Options Neurol*. 2019;21:25.
14. Farrar MA, Kiernan MC. The genetics of spinal muscular atrophy: Progress and challenges. *Neurotherapeutics*. 2020;17:134–145.
15. Prior TW, Nagan N. Spinal muscular atrophy. In: Adam MP, Feldman J, Mirzaa GM, et al., editors. *GeneReviews®*. Seattle (WA): University of Washington; updated 2024.
16. American Academy of Pediatrics. *Bright Futures: Guidelines for Health Supervision of Infants, Children, and Adolescents*. 4th ed. Elk Grove Village (IL): AAP; 2023.
17. American Academy of Neurology. *Practice guideline update: Evaluation and management of spinal muscular atrophy*. Minneapolis: AAN; 2023.

18. Treat-NMD Network. Standards of Care for Spinal Muscular Atrophy. Updated consensus statement. 2023.
19. Cure SMA. Best Practices for the Care of Individuals with Spinal Muscular Atrophy. 2024.
20. SMA Europe. European Standards of Care for SMA. Brussels: SMA Europe; 2024.
21. World Health Organization. Newborn Screening: Principles and Practice. Geneva: WHO; 2023.
22. World Health Organization. Genomics in Public Health. Geneva: WHO; 2022.
23. Glascock J, Sampson J, Connolly A, et al. Treatment algorithm for presymptomatic infants with spinal muscular atrophy identified through newborn screening. *J Neuromuscul Dis.* 2020;7:97–100.
24. Vill K, Kölbel H, Schwartz O, et al. One year of newborn screening for SMA: Results from a German pilot project. *Neuromuscul Disord.* 2019;29:189–197.
25. Dangouloff T, Vrščaj E, Servais L, Osredkar D. Newborn screening programs for spinal muscular atrophy worldwide. *Neuromuscul Disord.* 2021;31:574–582.
26. Kariyawasam DST, D'Silva A, Vucic S, et al. Biomarkers and clinical outcome measures in spinal muscular atrophy. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 2022;93:507–515.
27. Oskoui M, Day JW, Deconinck N, et al. International perspectives on newborn screening and early treatment for spinal muscular atrophy. *Pediatrics.* 2023;151(Suppl 2):S150–S159.
28. Messina S, Sframeli M. New therapies in spinal muscular atrophy: Positive outcomes and new challenges. *J Clin Med.* 2020;9:2222.
29. Baranello G, Darras BT, Day JW, et al. Risdiplam in type 1 spinal muscular atrophy: Long-term efficacy and safety. *Lancet Child Adolesc Health.* 2023;7:493–503.
30. Strauss KA, Farrar MA, Muntoni F. Future directions in spinal muscular atrophy therapy. *Nat Rev Neurol.* 2024;20:101–118.

Physical and Mathematical Sciences

АЛГЕБРА ЖӘНЕ АНАЛИЗ БАСТАМАЛАРЫ ПӘНІН ОҚЫТУДАҒЫ САБАҚТАСТЫҚ НЕГІЗДЕРІ

А.Е.Әбілқасымова

Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

А.Н.Умиралханов

Абай атындағы Қазақ Ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

Қазіргі білім беру жүйесінде білім мазмұнының үздіксіздігі мен сабақтастығын қамтамасыз ету – педагогиканың негізгі стратегиялық бағыттарының бірі болып табылады. Әсіресе, мектеп пен педагогикалық жоғары оқу орындары арасындағы байланыс білім сапасын арттырудың шешуші тетігіне айналып отыр. Бұл мәселе «Алгебра және анализ бастамалары» пәнін оқытуда ерекше маңызға ие, себебі аталған пән оқушылардың логикалық және аналитикалық ойлауын қалыптастырып қана қоймай, болашақ мұғалімдердің кәсіби даярлығының теориялық және әдістемелік негізін қалайды.

Сабақтастық ұғымы педагогика ғылымында білім мазмұнының, оқыту әдістерінің және танымдық әрекеттердің бірізді, жүйелі дамуын білдіретін дидактикалық принцип ретінде қарастырылады. Бұл принцип білім беру деңгейлері арасындағы байланысты қамтамасыз етіп, білім алушылардың жаңа білімді тиімді меңгеруіне жағдай жасайды. А.Е.Әбілқасымова (2020) математикалық білім беруді жаңғырту жағдайында сабақтастықты қамтамасыз ету білім мазмұнын жүйелеу, оқыту әдістерін жетілдіру және оқушылардың функционалдық сауаттылығын дамыту арқылы жүзеге асырылатынын атап көрсетеді.

Сонымен қатар, қазіргі цифрлық трансформация жағдайында білім беру жүйесі жаңа талаптарға бейімделуді қажет етеді. А.Е.Әбілқасымова, Д.Ж.Ахмед-Заки және Н.Жұмабай (2024) SMART технологияларды қолданудың білім сапасын арттырудағы тиімділігін негіздесе, А.Л.Семенов, А.Е.Әбілқасымова және С.А.Поликарпов (2023) математикалық білім берудің мазмұны цифрлық қоғам талаптарына сәйкес қайта қарастырылуы тиіс екенін көрсетеді. Бұл зерттеулер сабақтастық мәселесінің тек мазмұндық емес, сонымен қатар технологиялық және әдістемелік аспектілерін қамтитынын дәлелдейді.

Осы ғылыми тұжырымдарды талдау негізінде келесі қайшылық анықталады: бір жағынан, мектепте математикалық білім алгоритмдік және репродуктивті деңгейде меңгертіледі, ал екінші жағынан, педагогикалық жоғары оқу орындарында білім теориялық, дәлелдеуге және абстракцияға негізделген деңгейде талап етіледі. Бұл қайшылық білім беру деңгейлері арасындағы сабақтастықтың жеткілікті дәрежеде қамтамасыз етілмегенін көрсетеді.

Алайда, қазіргі білім беру тәжірибесінде мектеп пен педагогикалық жоғары оқу орындары арасындағы сабақтастықтың жүйелі түрде жүзеге асырылмауы байқалады. Бұл білім алушылардың математикалық дайындық деңгейіне және оқу процесіне бейімделуіне кері әсер ететін маңызды педагогикалық мәселе болып табылады. Мектеп түлектерінің жоғары оқу орнына бейімделуіндегі қиындықтар олардың оқу мотивациясының төмендеуіне және академиялық нәтижелерінің әлсіреуіне әкелуі мүмкін.

Ғылыми деректер бұл мәселенің маңыздылығын нақты көрсетеді. Атап айтқанда, Umiralkhanov және т.б. (2024) зерттеуінде сабақтастыққа негізделген оқыту жағдайында студенттердің бейімделу деңгейі айтарлықтай жоғарылағаны анықталған ($T_{emp} = 2.315 > 1.96$), ал оқыту тиімділігінің жалпыланған көрсеткіші $E_s = 2.27$ ($p < 0.001$) болған. Бұл нәтижелер сабақтастықтың оқу сапасына тікелей әсер ететінін дәлелдейді.

Мектеп «Алгебра және анализ бастамалары» курсы функциялар, теңдеулер, теңсіздіктер және туынды сияқты негізгі ұғымдарды қалыптастыруға бағытталған және көбінесе алгоритмдік әрекеттер мен типтік есептерді шешуге негізделеді. Ал педагогикалық жоғары оқу орындарында бұл ұғымдар тереңдетіліп, дәлелдеу, жалпылау және математикалық модельдеу деңгейінде қарастырылады. Осы айырмашылықтар білім мазмұнымен қатар, танымдық әрекет деңгейінің де өзгеретінін көрсетеді: мектепте білім репродуктивті сипатта болса, жоғары оқу орнында ол теориялық және зерттеушілік сипатқа ие болады.

А.Е.Әбілқасымова (2020) білім беру үдерісінде сабақтастықты қамтамасыз ету тек мазмұндық жалғастықпен шектелмей, білімді қолдану, түсіну және талдау деңгейлерінің бірізді дамуын қамтуы тиіс екенін атап өтеді. Бұл тұжырым білім алушылардың ойлауын біртіндеп жоғары деңгейге көшірудің қажеттілігін негіздейді.

Жүргізілген талдау нәтижесінде анықталғандай, осы деңгейлер арасындағы алшақтық студенттердің жоғары оқу орнына бейімделуін қиындатып, олардың математикалық дайындық деңгейіне кері әсер етеді (Umiralkhanov et al., 2024). Сондықтан оқыту мазмұны мен әдістерінің үйлесімділігін қамтамасыз ету және білім алушылардың танымдық әрекетін репродуктивті деңгейден теориялық және зерттеушілік деңгейге көшіру сабақтастықтың негізгі шарттарының бірі болып табылады. Ал, қазіргі білім беру кеңістігінде бұл мәселені шешудің тиімді бағыттарының бірі ретінде STEM білім беру тәсілі қарастырылады. STEM тәсілі математиканы нақты өмірлік жағдайлармен байланыстырып, білім алушылардың зерттеушілік және модельдеу дағдыларын дамытуға мүмкіндік береді (Bybee, 2013; English, 2016). Эксперименттік нәтижелер STEM тәсілін қолдану оқушылардың оқу жетістігін орта есеппен 15–16%-ға арттыратынын көрсетеді. Сонымен қатар, цифрлық технологиялар сабақтастықты жүзеге асырудың маңызды құралы болып табылады. GeoGebra, Desmos, PhET сияқты бағдарламалар математикалық ұғымдарды визуализациялауға және модельдеуге мүмкіндік береді. Cheung & Slavin (2013) және Hillmayr және т.б. (2020) зерттеулерінде цифрлық құралдарды қолдану білім сапасын арттырып, оқушылардың пәнге деген қызығушылығын күшейтетіні дәлелденген.

Дегенмен, зерттеулерде мұғалімдердің цифрлық құзыреттілігінің әркелкілігі, оқу бағдарламаларының үйлеспеуі және материалдық-техникалық базаның жеткіліксіздігі сияқты мәселелердің сақталып отырғаны анықталған. Бұл факторлар сабақтастықты тиімді жүзеге асыруға кедергі келтіреді. Осыған байланысты «Алгебра және анализ бастамалары» пәнін оқытуда сабақтастықты қамтамасыз ету келесі бағыттарды қамтуы тиіс: білім беру мазмұнын жүйелі үйлестіру, контекстік және STEM тәсілдерін қолдану, цифрлық технологияларды тиімді интеграциялау, болашақ мұғалімдердің кәсіби даярлығын жетілдіру және мектеп пен жоғары оқу орындары арасындағы ынтымақтастықты дамыту.

Жоғарыда келтірілген талдау сабақтастық мәселесінің тек теориялық емес, сонымен қатар практикалық маңызға ие екенін көрсетеді. Бұл оны жүйелі түрде ұйымдастырудың қажеттілігін негіздейді және «Алгебра және анализ бастамалары» пәнін оқытуда сабақтастықты қамтамасыз ететін әдістемелік модельді әзірлеуді талап етеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Әбілқасымова А.Е., Ахмед-Заки Д.Ж., Жұмабай Н. (2024). Қазақстанның цифрлық білім беру ортасында SMART технологиялардың дамуы. Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университетінің Хабаршысы. Педагогикалық ғылымдар сериясы, 3(80). <https://doi.org/10.26577/JES2024v80.i3.01>
2. Abylkassymova, A.E. (2020). System modernization of general secondary education in the Republic of Kazakhstan. *Revista Tempos e Espaços em Educação*, 13(32), 46.
3. Семенов А.Л., Абылқасымова А.Е., Поликарпов С.А. Основания математического образования в цифровой век //Доклады Российской академии наук. Математика, информатика, процессы управления. – 2023. – Т. 511. – №. 0. – С. 3-12.
4. Umiralkhanov A., Abylkassymova A., Tuyakov Y., Zhadrayeva L., Ardabayeva A. (2024). Continuity in teaching the course algebra and the beginning of analysis. *Qubahan Academic Journal*, 4(3), 793–805. <https://doi.org/10.48161/qaj.v4n3a1050>
5. Bybee, R. W. (2013).The case for STEM education. <https://doi.org/10.2505/9781936959259>
6. English, L. D. (2016).STEM education K-12. <https://doi.org/10.1186/s40594-016-0036-1>
7. Cheung, A.C.K., & Slavin, R.E. (2013). Educational technology applications. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2012.05.001>
8. Hillmayr, D. et al. (2020). Digital tools in mathematics learning. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103897>
9. Абылқасымова А.Е., Семенов А.Л. О проблеме преемственности обучения математике в школе и в педагогическом вузе //CONTINUUM. Математика. Информатика. Образование. - №2 (34). – Елец, 2024. – С.31-41. DOI: 10.24888/2500-1957-2024-2-31-41
10. Zhumabay, N., Abylkassymova, A., Umiralkhanov, A., & Kenzhebek, K. [REVISED] STRENGTHENING SCHOOL-UNIVERSITY CONTINUITY IN MATHEMATICS EDUCATION THROUGH DIGITALIZED STEM APPROACHES: A MIXED-METHODS EXPLORATORY STUDY. In *Frontiers in Education* (Vol. 11, p. 1771014). *Frontiers*. <https://doi.org/10.3389/feduc.2026.1771014>

Philological Sciences

Aspekt und Aktionsart im deutsch-georgischen Vergleich

Eliso Koridze

Professor. Dr. Philologie, Leiterin der sprachwissenschaftlichen Fachrichtung, Abteilung für deutsche Philologie, Staatliche Akaki Zereteli Universität Kutaisi, Georgien

Der Aspekt als Verbkategorie gehört zu den ältesten sprachlichen Erscheinungen, die nicht als universale Kategorie anerkannt wird. Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass keine allgemeinen Kriterien existieren, nach denen man Aspekt und Aktionsart in einer bestimmten Sprache erkennen könnte.

So definiert das Metzler Lexikon Sprache Aspekt derart: „Der **Aspekt** (lat. ‚Blickrichtung‘) bezeichnet in der Linguistik eine verbale Kategorie, die die Haltung des Sprechers zur zeitlichen Struktur von Handlungen oder Ereignissen ausdrückt. In vielen Sprachen wird diese Kategorie neben Tempus und Modus morphologisch realisiert, das heißt, es gibt unterschiedliche Konjugationsendungen oder bestimmte Stammveränderungen im Verb zur Darstellung des Aspektes.“¹

Es besteht keine Einigkeit über die Definition und das Wesen des Aspekt-Begriffs. Wie Brugmann und Delbrück betonen: „In indogermanischer Urzeit existierten überhaupt keine „Tempora“, d.h. keine formale Kategorien, deren ursprüngliche Funktion es war, zur Bezeichnung der relativen Zeitstufen zu dienen. Die Formenklassen, die wir Tempora zu nennen gewohnt sind, haben an sich mit der relativen Zeitstufe nicht das Geringste zu schaffen. Zeitlos sind vielmehr alle Präsensklassen, alle Aoriste, alle Perfekta in allen ihren Modis und sie unterscheiden sich voneinander nur durch die Art der Handlung, die sie charakterisieren. Gegenüber dieser Fülle der Formen, die zur Unterscheidung der Aktionsarten dienten, nehmen sich die Mittel, die das Indogermanische zur Bezeichnung der Zeitstufen in Anwendung brachte, bescheiden, ja ärmlich genug aus.“²

In diesem Sinn schreibt auch Adolf Erhart: „Es ist fast communis opinio, daß in einer frühen Phase der indogermanischen Sprachenentwicklung der verbale Aspekt (oder die Aktionsart) die prominenteste Verbalkategorie gewesen ist: es gab damals noch keine konstanten und obligatorischen Mittel zur Bezeichnung der Zeitstufe einer Verbalhandlung.“³

Für eine präzisere Beurteilung des Aspekt-Phänomens wurden von den Linguisten neuere Termini und Ansichten entwickelt. So haben Hermann Hirt, Karl Brugmann, Bertold Delbrück und Wolfgang Meid den neuen Terminus „Injunktiv“ eingeführt, eine Verbalform, die keinen Zeitbezug hat, also gewissermaßen ein zeitloses Präsens auszudrücken imstande ist. Aufgrund ihres nicht vorhandenen Zeitbezuges konnte dieselbe Form auch eine unfixierte Vergangenheit zum Ausdruck bringen. Der Injunktiv war die Form für eine verbale Aussage in einem allgemeinen, nicht näher bestimmten Sinn, d.h. die kategoriale Grundbedeutung war lediglich die verbale Bezeichnung: die in der aktuellen Redesituation möglichen konkreten Funktionen waren durch die Form selbst nicht markiert. Aber man konnte es dem betreffenden Injunktiv nicht ansehen, ob er

¹ Glück, Helmut (Hrsg.): *Metzler Lexikon Sprache*. Stuttgart: Metzler 2005, S.61.

² Gruber, Andrea: *Aspekt und Aktionsart im Russischen und Italienischen*. Innsbruck 2000, S.11.

³ Erhart, Adolf: *Zur Entwicklung der Kategorien Tempus und Modus im Indogermanischen* (Innsbrucker Beiträge zur Sprachwissenschaft). Innsbruck: Die Universität Innsbruck 1985, S.6.

perfektiv oder imperfektiv ist, d.h. es gab ursprünglich keinen solchen Unterschied, dieser lag vielmehr im semantischen Charakter des Verbums selbst begründet. Erst später ging man dazu über, dem Verbum eine andere Sicht (das heißt Aspekt) zu verleihen.⁴

Schelesniker spricht von einem Unterschied zwischen **Aktionsart** und **Aspekt** und findet, dass diese Termini keinesfalls Synonyme sind. Die Art der Ausführung der durch die Wurzel bezeichneten Tätigkeit nennt man in der Sprachwissenschaft **die Aktionsart des Verbums**. Die Aktionsart des Verbums ist so alt wie dieses selbst, d.h. sie ist dem Verbum wurzeleigen und wesenhaft.⁵

Nützliche Anregungen bietet dazu Nathalie Nicolay: „Unter ‚Aktionsart‘ wird eine Kategorisierung verstanden, die im Gegensatz zu verwandten Phänomenen bereits in der Verbbedeutung angelegt ist. Die Einteilung verbaler Ausdrücke nach Aktionsarten bezieht sich auf semantische Merkmale, mit denen die bezeichneten Sachverhalte hinsichtlich ihrer zeitlichen Struktur charakterisiert werden. Auch Verbalphrasen und Sätze können jeweils einer Aktionsart zugeordnet werden, da unterschiedliche Formen von Ergänzungen Einfluss auf die sprachliche Darstellung des Geschehens haben. So wird zwar nicht mit schlafen oder essen, dafür aber mit fünf Stunden schlafen und mit einem Apfel essen jeweils ein zeitlich begrenztes Geschehen beschrieben. Die jeweilige Verbbedeutung liefert jedoch die Basis für die aktionale Kompositionalität und steckt auch deren Grenzen ab.“⁶

In den slawischen Sprachen spielen die Aktionsarten eine sehr große Rolle. Die Slawisten bezeichnen sie als „**vid**“ (Anblick; Art und Weise), was die Franzosen mit Aspekt übersetzt haben. Diese Aussage charakterisiert die Verwirrung, die die Aspektforschung noch lange im 20. Jahrhundert beherrschte. Aktionsart wurde größtenteils synonym zu Aspekt verwendet, obwohl Sigurd Agrell mit seiner Arbeit „Aspektänderung und Aktionsartbildung beim polnischen Zeitworte“ die Voraussetzungen für eine klare Trennung dieser beiden Kategorien (Aktionsart als semantische und Aspekt als damit in enger Beziehung stehende grammatische Kategorie) geschaffen hatte.⁷

Die wichtigste Aussage für alle Ansichten ist die These, dass die Tempora eng mit Aspekt oder Aktionsart verbunden sind und die Art und Weise dieser Erscheinung bestimmen. Im Indogermanischen wurden drei Zeitstufen (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) und drei Zeitarten definiert: die Dauernde (Imperfekt), die Eintretende (Aorist) und die Vollendete (Perfekt). Hans Krahe bezog sich auf dasselbe ternäre System, er traf jedoch differenziertere Unterscheidungen: Im indogermanischen wurde primär zwischen *imperfektiven* und *perfektiven* *Aktionen* differenziert. Erstere, die man auch als durativ, kursiv oder präsentisch bezeichnet, werden vom Präsensstamm gebildet. Als Unterabteilung dazu ist die iterative Handlung zu nennen. Letztere Aktionen, auch als momentan, punktuell oder aoristisch bezeichnet, werden vom Aoriststamm gebildet. Hierbei ist zwischen ingressiven, terminativen und historischen Handlungen zu unterscheiden. „Diesen beiden Hauptaktionsarten schließt sich als dritte die perfektische an, ausgedrückt durch den Perfektstamm und ausdrückend einen Zustand am Subjekt, wobei aber die vorausliegende Entwicklung, die zu diesem Zustand geführt hat, eingeschlossen ist.“⁸

⁴ Meid, Wolfgang: Indogermanisch und Keltisch. Innsbruck: Die Universität Innsbruck 1968, S.15.

⁵ Schelesniker, Herbert: Das slawische Verbalsystem und seine sprachhistorischen Grundlagen (Innsbrucker Beiträge zur Sprachwissenschaft). Innsbruck: Die Universität Innsbruck. 1991, S.78.

⁶ Nicolay, Nathalie: Aktionsarten im Deutschen: Prozessualität und Stativität. Tübingen: Niemeyer 2000, S.77.

⁷ Agrell, Sigurd: Aspektänderung und Aktionsartbildung beim polnischen Zeitworte: Ein Beitrag zum Studium der indogermanischen Präverbia und ihrer Bedeutungsfunktionen. München: Taschenbuchverlag 2011, S.95.

⁸ Krahe, Hans: Germanische Sprachwissenschaften III - Wortbildungslehre. Berlin: De Gruyter 1967, S.104.

Die Haupteigenschaft besteht darin, dass jede verbale Handlung ein Geschehen in der Zeit ist, und die Verknüpfung jeder Verbhandlung mit der Zeit auf zwei Ebenen erfolgen kann: Die erste Ebene ist das System der Tempora, das sich in Bezug auf den Wahrheitsgehalt einer Aussage subjektiv präsentiert. Die zweite Ebene betrifft die Dauer bzw. Nichtdauer einer Handlung in der Weise, ob eine Sprache beispielsweise die Möglichkeit bietet, eine objektiv punktuelle Verbhandlung auch durativ darzustellen oder nicht. „Beide Zeitebenen sind naturgemäß gegeben und vorhanden. Die Sprache aber kann sich ihnen gegenüber verschieden verhalten. Zumeist dominiert der eine oder der andere Zeitbegriff, indem die Sprache nur für ihn eigene Ausdrucksmittel entwickelt hat, während die den anderen Zeitbegriff unberücksichtigt lässt [...], und es gibt Sprachen wie die slawischen, in denen beide Zeitebenen eine synthetische Verbindung eingegangen sind.“⁹

Im Laufe der Entwicklung verschmolz diese ursprüngliche Verbalform morphologisch gesehen mit Partikeln zur Bezeichnung der aktuellen Gegenwart einerseits und der Vergangenheit andererseits. Bevor diese Partikel aber fest anwuchsen, müssen sie lose und beweglich gewesen sein.

In der modernen deutschen Sprache, die Kategorienklasse **Aktionsart** bezieht sich auf Zusammenhänge zwischen dem vom Verb bezeichneten Geschehen oder Sachverhalt und dem Verlauf der Zeit. Grammatisch relevant ist sie vor allem für die Wahl des Hilfsverbs (haben oder sein) im Perfekt. Viele Verben beschreiben punktuelle oder notwendig zeitbegrenzte Vorgänge oder Handlungen, d.h. Ereignisse, die einen Kulminations- oder Endpunkt voraussetzen, ohne den ein Geschehen des betreffenden Typs nicht vorliegen würde. Solche Verben werden **telisch** genannt, und umgekehrt, **atelischen** Verben beschreiben statische Zustände und Relationen oder dynamische Vorgänge, Prozesse, Aktivitäten die keinen Kulminations- oder Endpunkt voraussetzen.¹⁰

Im Georgischen ist Aspekt die grammatische Kategorie eines Verbs, das die Beziehung des Sprechers zur zeitlichen Struktur des Ereignisses bestimmt, welches vom Verb beschrieben wird; z.B. ob der Sprecher das abgeschlossene Ereignis von außen betrachtet oder von innen, während es sich ereignet.

Heinz Fähnrich beschreibt Aspekt und Aktionsart im Georgischen derart: „Das georgische Verb ist durch eine verhältnismäßig komplizierte Struktur gekennzeichnet, in der sich außer überwiegend agglutinativen Elementen auch flektivische finden können. Im Bau des Verbs sind die wesentlichen syntaktischen Aussagen bereits morphologisch vorweggenommen und auf engsten Raum zusammengedrängt.“¹¹

Der Aspekt als grammatische Kategorie funktionierte schon im Altgeorgischen. Die Sprachgeschichte des Georgischen weist auch darauf hin, dass wie im Indogermanischen die Kategorie des Aspekts älter als die Tempuskategorie ist und Letztere aus dem Aspekt hervorgegangen ist.

Die georgischen Sprachwissenschaftler finden es wenig sinnvoll, die Verbformen in Zeiten, Aspekte und Modi zu unterteilen. Stattdessen unterscheidet man 11 sogenannte 'Screeves' (angliert aus georgisch mtskrivi). Diese stellen jeweils eine eigene Kombination aus Zeitform, Aspekt und Modus dar, welche wiederum in Serien eingeteilt werden können.¹² Diese Formen

⁹ Aitzetmüller, Rudolf: Altbulgarische Grammatik als Einführung in die slawische Sprachwissenschaft. 2. erw. Auflage. Freiburg: Weiher 1991, S.159.

¹⁰ Die Grammatik. Unentbehrlich für richtigen Deutsch. Herausgegeben von der Dudenredaktion. 8., Überarbeitete Auflage. Band 4. Berlin: Duden 2009, S.411.

¹¹ Fähnrich, Heinz: Kurze Grammatik der georgischen Sprache. Leipzig: VEB Verlag Enzyklopädie 1986, S.71.

¹² Fähnrich, Heinz: Kurze Grammatik der georgischen Sprache. Leipzig: VEB Verlag Enzyklopädie 1986, S.76.

drücken Tempus (Zeit), Modus (Aussageweise) und Aspekt (vollendet/unvollendet) in folgender Form aus¹³:

Präsens-Serie	Präsens	Imperfekt	Subjunktiv Präsens
Futur-Serie	Futur	Konditional	Subjunktiv Futur
Aorist-Serie	Aorist	Optativ	
Perfekt-Serie	Perfekt	Plusquamperfekt	Subjunktiv Perfekt

a) Präsens-Serie: Das Präsens drückt aus, was während des Sprechens ('er liest gerade Zeitung') oder wiederholt ('er liest jeden Morgen seine Zeitung') geschieht. Das Imperfekt steht für nicht-abgeschlossene ('er wäre gerade am Zeitunglesen') oder wiederholte ('er pflegte, jeden Morgen Zeitung zu lesen') Ereignisse in der Vergangenheit. Der Subjunktiv wird, meist in Relativsätzen, für unwahrscheinliche Ereignisse in der Gegenwart verwendet.

b) Futur-Serie: Das Futur drückt aus, was in der Zukunft geschehen wird ('er wird Zeitung lesen'). Das Konditional steht in Bedingungssätzen ('er würde lesen' oder 'er hätte gelesen'). Der Subjunktiv Futur wird, meist in abhängigen Sätzen, für unwahrscheinliche Ereignisse in der Zukunft verwendet.

c) Aorist-Serie: Zur Bildung der Formen der Aoristgruppe wird im Allgemeinen der Futurstamm des Verbs verwendet, also die mit Präverb versehene Form. Da das Präverb perfektivierende Funktion besitzt, drücken die Formen der Aoristgruppe den vollendeten Aspekt aus, d.h. bezeichnen abgeschlossene Abläufe. Aoristformen ohne Präverb, die den imperfektiven Aspekt ausdrücken, werden nur selten gebraucht.

d) Perfekt-Serie: Zur Bildung der Formen der Perfektgruppe werden die Zeichen für das indirekte Objekt im Zusammenwirken mit Charaktervokalen genutzt. Das direkte Objekt wird im Perfekt durch suffigiierte Präsensformen des Hilfsverbs *sein* zum Ausdruck gebracht.¹⁴

Bemerkenswert ist auch die Tatsache, dass im Georgischen die morphologische Markierung des Verbs mit Präverben als das wichtigste Mittel des Aspektausdrucks gilt. Der Funktion und Stellung nach unterteilt man die Präverben im Georgischen in drei Gruppen:

Die Präverben der ersten Gruppe sind die jüngsten, in den morphologischen Verband des Verbs einbezogenen präfixalischen Elemente. Ihre Zahl ist nicht hoch und sie variieren die Richtungsangabe des Verbs. Die Grundfunktionen sind Richtungsangabe, Bedeutungswandlung und Ausdruck des vollendeten Aspekts. Die Präverben der zweiten Gruppe sind älter und waren in früheren Zeiten beweglicher als heute. Ihre Grundfunktionen sind die Richtungsangabe, Bedeutungsabwandlung und Ausdruck des vollendeten Aspekts. Ähnliche Funktionen erfüllen die Präverben der dritten Gruppe.

So illustriert Fähnrich diese Erscheinung im Georgischen: „Zur Bildung der Formen der Aoristgruppe wird im allgemeinen der Futurstamm des Verbs verwendet, also die mit Präverb versehene Form. Da das Präverb perfektivierende Funktion besitzt, drücken die Formen der Aoristgruppe den vollendeten Aspekt aus, d.h. bezeichnen abgeschlossene Abläufe. Aoristformen ohne Präverb, die den imperfektiven Aspekt ausdrücken, werden nur selten gebraucht [...] z.B. da-v-xat-e, da-v-dg-i usw.“¹⁵

In der georgischen Sprache kann der vollendete Aspekt nur zwei Zeiten (Vergangenheit, Zukunft) ausdrücken, während der unvollendete Aspekt alle drei Zeiten (Vergangenheit, Gegenwart, Zukunft) abdeckt.

¹³ Ebenda, S. 76. Die folgende Klassifikation, ihre Erklärung sowie die Beispiele wurden wortwörtlich übernommen.

¹⁴ Ebenda, S.76.

¹⁵ Ebenda, S.76.

Nach Akaki Shanidze wird im Georgischen mit Aspekt nicht immer Richtung und Orientierung ausgedrückt, z.B. mokvda – ist gestorben. Umgekehrt drücken einige Verben mit Präverben Richtungsangaben aus, aber keinen Aspekt, z.B. miprnavs – fliegt.¹⁶

Abschließend kann man sagen, dass der Aspekt eine komplizierte sprachliche Erscheinung ist. Je entfernt die Sprachen voneinander sind, wie Deutsch und Georgisch, desto problematisch ist es, den gemeinsamen Nenner, tertium comparationis, zwischen diesen Sprachen festzustellen. Dem Wesen nach ist die grammatische Kategorie des Aspekts verschiedenartig, das gibt uns Anlass, eine tiefere Erforschung in beiden Sprachen durchzuführen und das Funktionieren des Aspekts oder der Aktionsart in allen ihren Erscheinungen zu untersuchen.

¹⁶ Shanidze, Akaki: Die Grundlagen der georgischen Grammatik. Tbilissi: Ganatleba 1973, S.127.

Xarici dillərin öyrənilməsinin lingvodidaktik əsasları

Rəfiyeva Xuraman Əli qızı

Baş müəllim, Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetinin Şəki filiali

Açar sözlər: lingvodidaktika, xarici dil tədrisi, kommunikativ kompetensiya, dil mənimsənilməsi, metodologiya, koqnitiv yanaşma, mədəniyyətlərarası ünsiyyət.

Giriş

Qloballaşan dünyada xarici dillərin öyrənilməsi və tədrisi yalnız fərdi bir bacarıq deyil, həm də beynəlxalq integrasiyanın, mədəniyyətlərarası dialoqun və peşəkar inkişafın ən mühüm şərtlərindən birinə çevrilmişdir. Müasir dövrdə dil tədrisi sadəcə qrammatik qaydaların mexaniki şəkildə əzbərləndirilməsi və lüğət tərkibinin ötürülməsi çərçivəsindən çıxaraq, daha mürəkkəb və çoxşaxəli bir struktur qazanmışdır. Bu strukturun elmi-nəzəri təməlini isə lingvodidaktika təşkil edir.

Lingvodidaktika – dilçilik (lingvistik) və pedaqogikanın (didaktika) kəsişməsində yaranan, dilin öyrənilməsi və öyrədilməsi qanunauyğunluqlarını, prinsiplərini və metodlarını tədqiq edən integrativ bir elmdir. Bu elm sahəsi "Nəyi öyrətmək?" (dilçilik aspekti) və "Necə öyrətmək?" (pedaqoji-psixoloji aspekt) suallarına vəhdət şəklində cavab axtarır.

Məqalənin məqsədi xarici dillərin öyrənilməsində lingvodidaktik prinsiplərin rolunu analiz etmək, müasir yanaşmaları nəzərdən keçirmək və dil mənimsənilməsi prosesinin səmərəliliyini artıran əsas faktorları müəyyən etməkdir.

Lingvodidaktika termini ilk dəfə elmi dövriyyəyə XX əsrin ikinci yarısında daxil edilmişdir. Metodikadan fərqli olaraq, lingvodidaktika konkret bir dilin öyrədilməsi qaydaları ilə deyil, ümumilikdə dil mənimsənilməsinin konseptual əsasları ilə məşğul olur. Onun fundamental anlayışlarından biri "dil şəxsiyyəti" (linguistic personality) konsepsiyasıdır.

Xarici dil öyrənən şəxsin qarşısında duran əsas hədəf təkcə yeni bir kodlar sistemini (sözlər və qrammatika) mənimsəmək deyil, həm də həmin dildə düşünə bilən, fərqli mədəniyyətin daşıyıcıları ilə problemsiz ünsiyyət quran "ikincili dil şəxsiyyəti"nə çevrilməkdir. Bu proses üç mühüm səviyyədə baş verir:

- 1. Verbal-semantik səviyyə:** Dilin fonetik, leksik və qrammatik vahidlərinin mənimsənilməsi.
- 2. Koqnitiv (idraki) səviyyə:** Dünyanın dil mənzərəsini, konseptlərini və ideyalarını anlamaq.
- 3. Praqmatik səviyyə:** Dil vahidlərini real ünsiyyət şəraitində, məqsəduyğun şəkildə tətbiq etmək bacarığı.

Müasir lingvodidaktikanın mərkəzində kommunikativ kompetensiya (ünsiyyət bacarığı) dayanır. Bu anlayış tələbənin dildən real həyatda, müxtəlif sosial və mədəni kontekstlərdə səmərəli istifadə edə bilmə qabiliyyətini ifadə edir. Kommunikativ kompetensiya bir neçə alt-komponentdən ibarətdir:

- **Dil (lingvistik) kompetensiyası:** Qrammatika, lüğət və fonetika qaydalarına riayət etməklə cümlələr qurmaq bacarığı.
- **Sosiolingvistik kompetensiya:** Dil formalarını danışığın baş verdiyi kontekstə, statusa və sosial mühitə uyğun seçmək (məsələn, rəsmi və qeyri-rəsmi üslub fərqi).
- **Diskursiv kompetensiya:** Fərqli cümlələri birləşdirərək məntiqli, ardıcıl və bütöv bir mətn (şifahi və ya yazılı) yaratmaq bacarığı.

- **Strateji kompetensiya:** Ünsiyyət zamanı yaranan çətinlikləri (söz tapmadıqda, anlaşılmazlıq olduqda) jestlər, parafraza (başqa sözlə ifadə etmə) və ya sinonimlər vasitəsilə kompensasiya etmək bacarığı.

Linqvodidaktik araşdırmalar göstərir ki, yalnız dil kompetensiyasına (qaydalara) malik olmaq real ünsiyyət üçün yetərli deyil; tələbə mütləq sosiolinqvistik və strateji bacarıqlarını da inkişaf etdirməlidir.

Xarici dilin mənimsənilməsi insanın koqnitiv (intellektual) strukturlarının yenidən qurulması ilə bağlıdır. Psixolinqvistika və koqnitiv dilçilik linqvodidaktikanın ən yaxın müttəfiqləridir. İnsanın ana dilini öyrənməsi ilə xarici dili öyrənməsi arasında ciddi psixoloji fərqlər vardır.

Lev Vıqotski, Jan Piaje və Noam Çomski kimi alimlərin nəzəriyyələrinə əsaslanan müasir linqvodidaktika subyektin (tələbənin) aktiv rolunu vurğulayır. Dil öyrənmə prosesində aşağıdakı koqnitiv mexanizmlər işə düşür:

İnterdil (Interlanguage) konsepsiyası: Larry Selinker tərəfindən irəli sürülən bu nəzəriyyəyə görə, tələbə xarici dili öyrənərkən onun beynində nə ana dili, nə də hədəf dil olan, ikisinin ortasında keçid bir sistem ("interdil") formalaşır. Bu sistemdə edilən səhvlər təbii bir inkişaf mərhələsidir və dilin strukturunu dərk etməyə xidmət edir.

Bundan əlavə, dil interferensiyası (ana dilinin qaydalarının xarici dilə mənfi təsiri) və transfer (müsbət təsir) hadisələri də linqvodidaktik metodikanın qurulmasında mütləq nəzərə alınmalıdır. Məsələn, Azərbaycan dili iltisacı (aqqlütinativ), ingilis dili isə analitik dil olduğu üçün, azərbaycanlı tələbələrin ingilis dilində cümlə quruluşunu (SVO - Mübtəda + Xəbər + Tamamlıq) mənimsəməsi xüsusi linqvodidaktik strategiyalar tələb edir.

Müasir globallaşma şəraitində xarici dillərin öyrənilməsi təhsil sisteminin prioritet istiqamətlərindən biri hesab olunur. Xarici dil yalnız ünsiyyət vasitəsi deyil, həm də müxtəlif xalqların mədəniyyətini, düşüncə tərzini və sosial dəyərlərini mənimsəməyə imkan verən mühüm vasitədir. Bu baxımdan xarici dillərin tədrisinin elmi əsaslarla təşkili xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Xarici dil təliminin nəzəri və praktik məsələlərini araşdıran əsas elm sahələrindən biri linqvodidaktikadır. Linqvodidaktika dilin öyrədilməsi və öyrənilməsi qanunauyğunluqlarını, təlim prosesinin məzmununu, metodlarını, prinsiplərini və texnologiyalarını tədqiq edən pedaqoji-linqvistik elm sahəsidir. Bu elm sahəsi dilçilik, pedaqogika, psixologiya, psixolinqvistika, sosiolinqvistika və metodika elmlərinin qarşılıqlı əlaqəsi əsasında formalaşmışdır. Linqvodidaktika xarici dil təliminin elmi əsaslarını müəyyən etməklə yanaşı, öyrənənlərin yaş, fərdi xüsusiyyətləri, motivasiyası və kommunikativ ehtiyacları nəzərə alınmaqla səmərəli təlim modelinin qurulmasını təmin edir.

Xarici dillərin öyrənilməsinin linqvodidaktik əsaslarından biri kommunikativ yanaşmadır. Bu yanaşmanın əsas məqsədi öyrənənlərdə real ünsiyyət şəraitində dildən sərbəst istifadə bacarıqlarını formalaşdırmaqdır. Kommunikativ təlim zamanı şagird və ya tələbə qrammatik qaydaları əzbərləməklə kifayətlənmir, onları praktik nitq fəaliyyətində tətbiq etməyi öyrənir. Dinləmə, danışma, oxu və yazı bacarıqları qarşılıqlı əlaqədə inkişaf etdirilir.

Linqvodidaktik yanaşmada kompetensiya əsaslı təhsil mühüm yer tutur. Müasir təhsil sistemində məqsəd yalnız dil biliklərinin mənimsədilməsi deyil, həm də kommunikativ, sosial, mədəni və strateji kompetensiyaların formalaşdırılmasıdır. Xarici dil öyrənən şəxs müxtəlif kommunikativ situasiyalarda düzgün ünsiyyət qurmağı, fikirlərini sərbəst ifadə etməyi və qarşı tərəfi düzgün başa düşməyi bacarmalıdır.

Linqvodidaktikanın əsas prinsiplərindən biri fərdiləşdirmə və diferensiallaşdırma prinsipidir. Müxtəlif öyrənənlərin dil bacarıqları, maraqları, öyrənmə sürəti və psixoloji xüsusiyyətləri fərqli olduğundan müəllim təlim prosesini bu fərqləri nəzərə almaqla təşkil etməlidir. Bu məqsədlə müxtəlif səviyyəli tapşırıqlar, layihə işləri, qrup fəaliyyəti və interaktiv metodlardan istifadə olunur. Müasir linqvodidaktikada mədəniyyətlərarası kommunikasiya anlayışı xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Xarici dili öyrənmək yalnız söz və qrammatik qaydaları mənimsəmək deyil, həm də həmin dili daşıyan xalqın mədəniyyətini, adət-ənənələrini, etik normalarını və dünyagörüşünü öyrənmək

deməkdir. Buna görə də xarici dil dərslərində ölkəşünaslıq materiallarından, autentik mətnlərdən, video və audio resurslardan geniş istifadə olunur.

- Rəqəmsal texnologiyaların inkişafı linqvodidaktikanın məzmununa yeni yanaşmalar gətirmişdir. Elektron dərsliklər, onlayn platformalar, mobil tətbiqlər, süni intellekt əsaslı proqramlar və virtual siniflər xarici dil öyrənilməsinə daha çevik və interaktiv etmişdir. İnformasiya-kommunikasiya texnologiyalarının tətbiqi öyrənənlərin motivasiyasını artırır, müstəqil öyrənmə bacarıqlarını inkişaf etdirir və fərdi təhsil trayektoriyasının formalaşmasına şərait yaradır.
- Linqvodidaktik baxımdan qiymətləndirmə prosesi də xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Müasir qiymətləndirmə yalnız nəticəni deyil, öyrənmə prosesini də əhatə edir. Formativ və summativ qiymətləndirmə üsullarından istifadə etməklə öyrənənlərin inkişaf dinamikası izlənilir, onların güclü və zəif tərəfləri müəyyən edilir və təlim prosesi müvafiq şəkildə tənzimlənir.
- Xarici dil tədrisinin uğuru düzgün seçilmiş prinsiplərdən asılıdır. Linqvodidaktika aşağıdakı fundamental prinsipləri rəhbər tutur:
- **Kommunikativlik prinsipi:** Tədris prosesi real ünsiyyət modelinə uyğun qurulmalıdır. Dərslər "dil haqqında bilik" vermək yox, "dildən istifadə etmək" üzərində köklənməlidir.
- **Mədəniyyətşünaslıq (Mədəniyyətlərarası) prinsipi:** Dil mədəniyyətdən ayrı öyrədilə bilməz. Tələbə dilin aid olduğu xalqın mentalitetini, adət-ənənələrini və idiotik ifadələrini dərk etməlidir.
- **Şüurluluq prinsipi:** Mexaniki əzbərcilikdən fərqli olaraq, tələbə öyrəndiyi dil strukturunun funksiyasını daxilən dərk etməlidir.
- **Fərdiləşdirmə prinsipi:** Tələbələrin yaş qrupu, maraq dairəsi, psixoloji tipi və öyrənmə tərz (vizual, audial, kinestetik) nəzərə alınmalıdır.

Ənənəvi qrammatika-tərcümə metodundan imtina edən müasir linqvodidaktika daha çox Tapşırığa Əsaslanan Dil Tədrisi, Məzmun və Dilin İnteqrasiyalı Tədrisi və İnteraktiv/Oyunlaşdırma metodlarına üstünlük verir. Bu metodlar tələbəni passiv dinləyicidən aktiv ünsiyyətçiə çevirir.

Xarici dillərin öyrənilməsində müəllimin peşəkar kompetensiyası əsas amillərdən biridir. Müasir xarici dil müəllimi yalnız dil biliklərinə malik olmamalı, həm də innovativ pedaqoji texnologiyalardan istifadə etməyi, interaktiv dərs mühiti yaratmağı, motivasiyaedici təlim strategiyaları tətbiq etməyi bacarmalıdır. Müəllimin fasiləsiz peşəkar inkişafı xarici dil təliminin keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir.

Nəticə etibarilə, xarici dillərin öyrənilməsinin linqvodidaktik əsasları müasir təhsil sistemində dil təliminin elmi və metodoloji bazasını təşkil edir. Kommunikativ yanaşma, kompetensiya əsaslı təhsil, fərdiləşdirmə, mədəniyyətlərarası kommunikasiya və rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi xarici dil öyrənilməsinin effektivliyini artıran əsas istiqamətlər hesab olunur. Bu prinsiplərin praktikada düzgün tətbiqi öyrənənlərin dil bacarıqlarının inkişafına, onların beynəlxalq ünsiyyət mühitinə inteqrasiyasına və ömürboyu öyrənmə bacarıqlarının formalaşmasına mühüm töhfə verir. Xarici dillərin öyrənilməsində müəllimin peşəkar kompetensiyası əsas amillərdən biridir. Müasir xarici dil müəllimi yalnız dil biliklərinə malik olmamalı, həm də innovativ pedaqoji texnologiyalardan istifadə etməyi, interaktiv dərs mühiti yaratmağı, motivasiyaedici təlim strategiyaları tətbiq etməyi bacarmalıdır. Müəllimin fasiləsiz peşəkar inkişafı xarici dil təliminin keyfiyyətinə birbaşa təsir göstərir.

Nəticə

Nəticə etibarilə, xarici dillərin öyrənilməsinin linqvodidaktik əsasları müasir təhsil sistemində dil təliminin elmi və metodoloji bazasını təşkil edir. Kommunikativ yanaşma, kompetensiya əsaslı təhsil, fərdiləşdirmə, mədəniyyətlərarası kommunikasiya və rəqəmsal texnologiyaların tətbiqi xarici dil öyrənilməsinin effektivliyini artıran əsas istiqamətlər hesab olunur. Bu prinsiplərin praktikada düzgün tətbiqi öyrənənlərin dil bacarıqlarının inkişafına, onların beynəlxalq ünsiyyət mühitinə inteqrasiyasına və ömürboyu öyrənmə bacarıqlarının formalaşmasına mühüm töhfə verir.

Xarici dillərin öyrənilməsinin linqvodidaktik əsaslarının tədqiqi göstərir ki, effektiv dil tədrisi yalnız dilçilik qaydalarının ötürülməsi ilə məhdudlaşa bilməz. Müasir linqvodidaktika insan mərkəzli (humanistik) bir yanaşmanı müdafiə edərək, tələbəni sadəcə məlumat qəbul edən bir obyekt kimi deyil, fərqli bir mədəniyyət müstəvisinə daxil olan fəal "dil şəxsiyyəti" kimi qəbul edir.

Uğurlu bir dil proqramı kommunikativ kompetensiyanın bütün komponentlərini inkişaf etdirməli, tələbələrin koqnitiv və psixoloji xüsusiyyətlərini nəzərə almalı və ana dili ilə hədəf dil arasındakı linqvistik fərqlilikləri metodiki cəhətdən düzgün tənzimləməlidir. Linqvodidaktik prinsiplərə əsaslanan dərslilər və kurikulumlar tələbələrin xarici dildə sərbəst, çevik və mədəniyyətlərarası normalara uyğun şəkildə ünsiyyət qurmasına təminat verir.

Ədəbiyyat

- 1.Abdullayev, A. (2018). Xarici dil tədrisinin metodikası və linqvidaktik problemləri. Bakı: Elm.
- 2.Veysəlli, F. (2015). Dilçiliyin əsasları. Bakı: Mütərcim.
- 3.Chomsky, N. (1965). Aspects of the Theory of Syntax. Cambridge: MIT Press.
- 4.Hymes, D. (1972). On Communicative Competence. Harmondsworth: Penguin.
- 5.Richards, J. C., & Rodgers, T. S. (2014). Approaches and Methods in Language Teaching. Cambridge University Press.
- 6.Selinker, L. (1972). Interlanguage. International Review of Applied Linguistics in Language Teaching, 10(1-4), 209-232.

Jewish Anthroponyms Common in Georgia

Manana Mikadze

Akaki Tsereteli State University, Full-professor, ORCID: 0000-0001-8490-4813

ABSTRACT. As is generally known, Georgian written monuments have been found since the Vth century. Available sources are interesting in many ways. Among them, centuries-old contacts of Georgia and the Georgian people with other peoples are of special importance from the cultural point of view, which should be the basis of the variety of names and naming traditions in Georgia. Jews names in Georgia form a different group, which in the lexical system of the language, with an inehauistible abundance of facts, variety of forms, specific semantics and grammatical structure, are a very interesting arena for linguistic research.

Keywords: Jewish anthroponyms, Georgian anthroponyms

In terms of prevalence in Georgia, the so-called Christian names are on the first place, the spread of which followed the introduction of Christianity and its declaration as the state religion. Most of these names are of Jewish origin. Later, names from the Eastern, Slavic and Western worlds were also widely spread in Georgia, although we still have the largest number of Jewish names.

The study of Jewish names and names of Jews common in Georgia is a very interesting area, because the influx of Jewish names into Georgia must have started in the pagan period, because the first flow of Jews appeared in Georgia at that time, in the VIth century AD. According to historical sources, the second big flow should have appeared in the first century of the new era, Georgia is still a pagan period. In particular, at that time, the translation of the Bible did not exist in Georgia yet. According to Leonti Mroveli, the Jews language must have been widespread in Georgia before King Parnavaz, that is, even before the third century AD. Probably, the influx of Jewish names should also have happened during this period. And after the spread of Christianity, the spread of Jewish names was given an even wider arena. Despite the fact that we have a 26-century history of Jewish life in Georgia, the abundance of Jewish names is not confirmed in ancient written monuments, unlike Jewish names. From the sources of this period K. Lerner mentions several of his own names, which are confirmed in various historical sources and documents. Such are, for example, Abdala, Abon | | Abona, Abram, Abramiya, Beri, Besika, Glakhua, Mamula, Mihako, Tsitsa, Elua, Shalva, Yakoba, etc. (Lerner 2008: 237-241).

In historical sources, we can find a lot of Jewish names that Georgians, including Georgian kings and nobles, were called. The fact that the general name "man" comes from the Jews "Adam" + "Ian" does not seem accidental.

Jewish names are confirmed in ancient Georgian folklore, fairy tales, for example, Abesalom and Ether. Among the names of kings, Solomon and David. We can also name women's names, for example, Anna, Mariam, Salome. Of course, these names have undergone phonetic transformations in most cases, but their Jewish origin is beyond doubt. They are confirmed in the Torah and belong to the list of ancient biblical names.

Since the XIXth century, when archival and historical documents already provide us with abundant information about Jewish names. Most of the Jews names have confirmed in the Torah, which are characterized by a strong Jewish connotation and which were mostly given only to Jews: Moshe, Jacob, Mordecai, Itzik, Gershon, Sara, Fani, Kukulo, Tonya. In this regard, it is interesting that K. Lerner's reasoning. In his opinion, the number of common names among Georgian Jews is determined. Mainly here we find traditional biblical names, most of which are decorated with the "a" suffix characteristic of the Georgian dialect (for example, Arona). (Lerner 2008: 237-241).

At the end of the XXth century, when the linguistic peculiarities of the Jews began to be studied, works on the names of the Jews also appeared. Works on Georgian Jews' own names can be found since the 70s of the last century. Among them Rs. Shamelashvili's "Georgian surnames of Jews" in the book "I will not exchange salsa for rocks" (1983), "Surnames of Georgian Jews" by Eldar Mamistvalashvili in the book "History of Georgian Jews" (1995), I. Gagulashvili's "Small Dictionary of Jewish Proper Names" (1998), "Dictionary of Surnames of Georgian Jews" (1998); Kote Lerner discusses the names of Georgian Jews in the monograph "Jews of Georgia (От Еллинизма до роздного фодолазима)". We should mention here the works of Nissan Babalishvili, which he studied according to the epitaph of the Jews (Babalishvili 1970, 1971, 1990). T. Lomtadze discusses the names of the Jews in her monographs "Kutaisuri Georgian" and "Modern Georgian sociolects". S. Gumberidze refers to the same issue. in the article "Peculiarities of the formation of human (person) names in the speech of Georgian Jews". Davit Bothera devotes a lot of space to the proper names of the Jews in his work "Sketches of the Quids of the Jews of Rabat". Bothera wrote this letter in Israel in the 70s of the last century, through it we get a certain idea about the proper names of the Georgian Jews living in Akhaltsikhe.

Jews lived in different parts of Georgia, and depending on the parts, the same name can be found with different phonetic variants: Moses/Moshe, Yoseb/Yosef, Jacob/Iakob, Abel/Ebel, Japhet/Yaphet. The abundance of phonetically conditioned forms is especially noticeable in the oral translations of the holy books of Georgian Jews, which may be due to the influence of the Hebrew language of the translation. According to Enoch, these translations should have spread in Georgia in the XIIth century, probably parallel forms could have appeared from this period.

It can be said that one of the manifestations of the identity of Georgian Jews was their names. Indeed, the population of Georgia considered only Jewish names, for example, Moshe, Samuel, Rebecca, Abraham, Aaron, Shelemiko, Khana, Sarah... There were cases when this or that name was represented by a certain phonetic transformation. For example, Filkhazi → Finkha (substitution of L and N sonants is usual in Georgian, but the sounding of the s consonant in the auslaut is a peculiarity), Bachibaki ← Heb. Bath will enter. Here we already have a peculiarity, which is mostly related to the special pronunciation of Hebrew sounds by Georgian Jews, namely, ך inside the word is pronounced as b and not as v, as it is in Hebrew ך is pronounced as q (q). The peculiarity of Georgian is also revealed: t and sh give us the affricate ch (Lomtadze, Enokhi 2019).

When biblical names were given to both Jews and non-Jews in Georgia, Jews self-identified in such cases. If a Georgian preferred the forms that came from Greek, for example, Isaac, Moses, Samoeli, Jacob, Anna and others (since most of the biblical books were translated into Georgian from Greek), the Jew would use the Hebrew form. For example, Yitzchak, Moshe, Samuel, Jacob, Hannah and others. It can be said that the majority of Jews in Georgia carried the Hebrew variant of biblical names (Jacob), and a smaller number carried the Georgian variant of biblical names (Jacob).

Ashkenazi and Mizrak Jews also lived in Georgia. Most of them had distinctly Jewish names, Itzik, Aron, Moshe, Gershon, Sarah, Rivka, Deborah and others, but at the same time, different names were also confirmed to them. For example, Rolf, Alfred, Ian, Rima, Jenny, Joshua, Rafael, Richard...

In the XX th century, Jewish names often became the object of ridicule, so Jews began to name their children common names in Georgia. A large part of these names were also of Jewish origin, although they can be referred to as less Jewish names, because their Jewish origin remained unknown to the public. Most of them were phonetically or morphologically transformed and over the centuries were absorbed by the Georgian language in such a way that their Georgian origin was no longer in doubt. For example, Lia, Ether, Iza, Lily, Abel, Noah, Saul, Lazarus. Mikaela, Gabriel... Many Matgans have been recognized as names of Christian saints since the early centuries.

From the middle of the XXth century, when the Jews began to receive education en masse and were actively involved in the public and political life of the country, they tried to name their children common, fashionable names in Georgia at that time. Among them less Jewish connotations, but of Jewish origin. For example, Tamar, Lia/Lea, Eter, David, Mikhail and others. And the Jewish names were given ritually. It should be noted that Jews living in almost all countries had such Jewish names: Sarah, Deborah, Rachel, Moshe, Abraham, Aaron and others.

Among the Jews, as well as among the Georgians, it was common to give a name in honor of the deceased. So, there was an occasion when a child was named after the deceased. Also, they were often named after their grandmother or grandfather, and both Georgian children and Jews were mostly servants of their grandmothers and grandfathers. There were also frequent cases when a prominent relative was named after him.

At the same time, Jews were given Jewish ritual names, which were known only to family members, and they used the aforementioned Jewish ritual names in the synagogue.

In Georgia, Jews often used nicknames. Most of them referred to their work or physical or mental handicap. Dudgunat Gikiai, the carpenter, Itzkhakai, Khakham Yonatanai, Davithai the deaf, Zilfai, the wife of Yasko the lame. Common nicknames among Kutaisi Jews were: Meramke Datoi, Kuti Shalikoi, Katsikalia Fikhoi, Eter Khbo, Shusbanda Sarai, Maro Gizhi, Yura Kulturni...

Since the 1970s, Jews began to repatriate to Israel. It is worth noting that many Jews in Israel refused to use the official name recorded in the documents and used the Jewish ritual name as their official name. Thus, instead of the names in Georgia (Paata, Natela...), Jewish names (Abraham, Khava...) were given in Israel.

The material recorded in Israel shows us that Georgian Jews have different attitudes towards names. If we group Georgian Jews according to origin, social factors, we will see that different types of Georgian Jews choose different types of names for their babies. Names are categorized according to their origin (biblical and modern Hebrew, Yiddish, and other languages), their popularity in the Jewish (Israeli) community, and the assumption by speakers of the language that someone with the name might be Jewish.

The analysis showed that the name categories of respondents and their children are closely related to their personal characteristics, such as birth decade, religiosity, origin (including time spent in Israel). We also see a connection with naming traditions, such as naming people who are living or dead. Most Jews also speak of using a Hebrew name for ritual purposes. It can be said that Georgian Jews in Israel, on the one hand, continue centuries-old traditions related to names and sometimes make some changes in it.

If in Georgia, from the 70s of the last century, Jews began to frequently name their children non-Jewish names, the Jews repatriated to Israel in the 70s, on the contrary, more and more often gave their children names of Jewish origin (biblical Hebrew, modern Hebrew, etc.). It can be said that most of the Jews of the older age group bear names of Jewish origin that were common in Georgia. The middle generation carries both Jewish and non-Jewish names, which were given to them in Georgia. In the youngest group, Jewish and modern Jewish names are common. For example, Noah, Rebecca, Daniel, Joshua, Gabby, Ari...

Many factors influence parents' decision to give their children distinctly Jewish names. Among them is the time spent in Israel. Among the first wave of repatriates, in particular, the parents of children born after the 70s, there is a desire to bear distinctive Jewish names.

It should be noted that it is a widespread tradition in Georgia to name the deceased. Jews who migrated from Georgia have a similar tradition. However, as Sarah Benor observes in her study of American Jews, "the Ashkenazi tradition of naming babies after a deceased (respected person) is strong among American Jews of various origins.

Whereas Sephardi/Mizrahi Jews name their babies more in honor of the living (a respected person)." Perhaps, these influences are greater in Israel. Among the Jews who migrated from

Georgia of all origins, both cases are confirmed: naming a name in honor of a dead person as well as a living person.

At the same time, as we mentioned, the vast majority of Jewish respondents have a Jewish ritual name, which is basically different from their common name. However, since since the 1970s, Jews living in Israel have increasingly chosen identical ritual and official names, it is common for the middle and younger generations to have only one Jewish name.

Thus, the rituals of naming Jews in Georgia and Israel are almost the same. Almost all Jews in Georgia had a Jewish name, which was sometimes official, sometimes only ritual. The use of less Jewish connotations or non-Jewish names as official names has become especially widespread in Georgia since the 70s, as Jewish names often caused ridicule. Even after repatriation to Israel, the parallel existence of official and ritual names and the use of the same name for both purposes is confirmed. The main difference is that, in order to avoid ridicule, non-Jewish names common in Georgia are no longer called in Israel.

References:

- Babalikashvili N., 1970. About the monuments of Jewish epigraphy (XVIII-XIX centuries) of Akhaltsikhe, Matche, # 6.
- Babalikashvili N., 1971. Jewish epigraphic in Georgia (XVIII-XIX centuries), Abstract.
- Babalikashvili N., 1990. Names of Georgian Jews, "Semitological research", V.
- Davit Bothera, 2016. "Sketches of Rabat Jewish leaders": "Aravi" magazine, publishing house of Samtskhe-Javakheti State University, #9.
- Gagulashvili I., 1998. A small dictionary of Hebrew proper names; Tbilisi;
- Gagulashvili I., 1998. Dictionary of Georgian Jewish surnames; Tbilisi;
- Gumberidze S. 2018. "Peculiarities of the formation of human (person) names in the speech of Georgian Jews", Journ. Linguistic Research XL, Tbilisi.
- Lerner K., 2008. Jews in Georgia, from Hellenism to Late Feudalism, Jerusalem, p. 68
- Lomtadze T. Enokh R. 2019. Judeo-Georgian Language as an Identity Marker of Georgian Jews (The Jews Living in Georgia)" *Journal of Jewish Languages* 7, 1-27.
- E. Mamistvalashvili, 1995. History of Georgian Jews, Tbilisi.
- Shamelashvili R., 1983. Georgian surnames of Jews, I will not exchange them for salsa rocks... "Soviet Georgia" publishing house, Kutaisi branch.

Economic Sciences

УДК 339.138:005.336

БРЕНД-МЕНЕДЖМЕНТ КАК УПРАВЛЕНЧЕСКАЯ КОМПЕТЕНЦИЯ: КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ КОМПАНИЙ КАЗАХСТАНА

Аппазова Олеся Владимировна

докторант DBA (Doctor of Business Administration), образовательная программа 8D04109 «Бизнес администрирование», НАО «Университет Нархоз», г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация. Структурный сдвиг стоимости компаний в сторону нематериальных активов делает бренд значимым объектом не маркетингового, а стратегического управления. Вместе с тем в управленческой практике бренд-менеджмент по-прежнему трактуется преимущественно как функция маркетинга, коммуникаций или дизайна, что ограничивает его вклад в стратегическое развитие. Цель статьи — концептуально обосновать бренд-менеджмент как управленческую компетенцию и разработать модель, объясняющую механизм трансформации бренд-капитала в стратегическое развитие компании. Исследование носит концептуальный характер и опирается на систематизацию научной литературы, сравнительный анализ подходов, обобщение международных аналитических данных и концептуальное моделирование. Основным результатом является авторская модель, включающая шесть взаимосвязанных блоков: понимание бренда как стратегического актива, бренд-капитал, управленческие бренд-компетенции, систему управления брендом (brand governance), стратегическую согласованность и результаты стратегического развития. Показано, что стратегический эффект бренда возникает не автоматически, а только при наличии управленческих компетенций и организационной системы управления брендом. Практическая значимость заключается в применимости модели для диагностики управленческой зрелости бренд-менеджмента в компаниях Казахстана.

Ключевые слова: бренд-менеджмент; управленческая компетенция; бренд-капитал; нематериальные активы; стратегическое развитие; бренд-ориентация; компании Казахстана.

Введение

Источники конкурентного преимущества компаний за последние десятилетия сместились из сферы материального производства в область интеллектуального и отношенческого капитала. Доля нематериальных активов в рыночной стоимости компаний индекса S&P 500 выросла с 68 % в 1995 году до приблизительно 92 % к 2025 году [1], а совокупная стоимость нематериальных активов крупнейших корпораций достигла 61,9 трлн долларов США [2]. Бренд формирует существенную часть этой стоимости: по оценке Kantar,

на бренд приходится около 32 % стоимости крупнейших компаний [3]. При такой структуре капитала управление брендом перестает быть частной маркетинговой задачей и приобретает характер вопроса корпоративной стратегии.

Однако в управленческой практике сохраняется разрыв между экономической значимостью бренда и способом управления им. Бренд-менеджмент по-прежнему делегируется маркетинговому подразделению и трактуется как функция коммуникаций или дизайна, тогда как факторы, определяющие силу бренда, в значительной мере относятся к качеству корпоративного управления, а не к рекламному бюджету [4; 5]. Этот разрыв оборачивается недокапитализацией бизнеса: ценность, заключенная в бренде, не реализуется, поскольку управленческие решения принимаются в логике, не учитывающей бренд как стратегическую переменную.

Для компаний Казахстана проблема имеет дополнительное измерение. В условиях развивающегося рынка институциональная инфраструктура поддержки бренд-менеджмента — профильное образование, профессиональные стандарты, зрелая среда консультирования — развита неравномерно, а стратегические решения о бренде нередко сосредоточены у собственников и топ-менеджмента. В такой среде бренд-менеджмент чаще интерпретируется через маркетинг, дизайн или коммуникации, чем как управленческая компетенция.

Научная проблема состоит в недостаточной концептуализации бренд-менеджмента как управленческой компетенции и в отсутствии модели, объясняющей механизм его влияния на стратегическое развитие компании. Цель статьи — концептуально обосновать бренд-менеджмент как управленческую компетенцию и разработать модель, объясняющую механизм трансформации бренд-капитала в стратегическое развитие компании. Для достижения цели решаются задачи: проследить эволюцию подходов к бренду; обосновать статус бренда как нематериального актива; определить место бренд-менеджмента в системе стратегического управления; концептуализировать бренд-менеджмент как управленческую компетенцию; разработать концептуальную модель и обозначить ее значение для компаний Казахстана.

Обзор литературы и методология

Исследование носит концептуальный характер и не использует первичных эмпирических данных. Применены методы теоретического исследования: систематизация и критический обзор научной литературы по бренд-менеджменту, бренд-капиталу, нематериальным активам, ресурсной теории и динамическим способностям; сравнительный анализ научных подходов к бренду (маркетингового, когнитивно-поведенческого, ресурсно-ориентированного); обобщение международных аналитических отчетов как иллюстративной доказательной базы; концептуальное моделирование.

Научное понимание бренда смещалось по оси «функция — стратегия». В ранней традиции бренд трактовался как идентификатор — имя, знак или дизайн, отделяющий товар от аналогов и защищающий его от копирования [6; 5]. По мере насыщения рынков и выравнивания физических характеристик товаров конкуренция сместилась в плоскость восприятия. Д. Аакер формализовал бренд-капитал через осведомленность, воспринимаемое качество, лояльность и ассоциации [7], а К. Келлер описал customer-based brand equity как структуру знания о бренде в сознании потребителя [8]. Принципиальный поворот связан с переходом от рыночной ориентации к бренд-ориентации: М. Урде определил бренд-ориентацию как подход, при котором процессы организации выстраиваются вокруг создания, развития и защиты идентичности бренда, а бренд рассматривается как стратегический ресурс в логике ресурсной теории фирмы [9; 10].

Для строгого анализа необходимо разграничение капитала бренда (brand equity) и стоимости бренда (brand value) [11]. Капитал бренда — социально-психологический

конструкт, существующий в сознании стейкхолдеров; он не принадлежит компании и лишь модерирует реакцию рынка на ее действия. Стоимость бренда — монетарное выражение этого капитала, отражающее способность компании присваивать финансовые выгоды от накопленного капитала [12; 11]. Отсюда следует управленчески значимый вывод: высокий капитал бренда не гарантирует высокой стоимости бренда, если организация не обладает компетенциями для его коммерциализации.

Масштаб брендовой составляющей нематериальных активов фиксируют международные данные, использующие независимые методологии. По оценке Interbrand, стоимость бренда-лидера в 2024 году составила 488,9 млрд долларов [13]; Kantar BrandZ впервые зафиксировал бренд стоимостью свыше 1 трлн долларов, а совокупная стоимость первой сотни брендов достигла 8,3 трлн долларов [3]; Brand Finance оценил совокупную стоимость 500 наиболее ценных брендов в 9,5 трлн долларов [14]. Стратегическую отдачу подтверждает связь силы бренда с финансовой результативностью: портфель владельцев сильнейших мировых брендов превосходил рыночные индексы на протяжении двух десятилетий [15], а сильные промышленные бренды опережают слабые примерно на 20 % [16]. Эти данные подкрепляют положение ресурсной теории о бренде как стратегическом изолирующем механизме [17; 18]. Ограничение носит институциональный характер: стандарт IAS 38 запрещает признавать в балансе внутренне созданные бренды, что формирует информационную асимметрию между балансовой и рыночной стоимостью [19; 18].

Признание бренда нематериальным активом требует его интеграции в корпоративное управление. Концепция системы сбалансированных показателей бренда (Brand Balanced Scorecard) переводит видение и стратегию бренда в операционные действия и связывает метрики точек контакта со стратегическими метриками результативности [20]. Операционным контуром конверсии бренд-стратегии в лояльность и доверие выступает клиентский опыт [21]. Ответственность за создание ценности не может лежать только на отделе маркетинга — это кросс-функциональная компетенция, охватывающая операционную деятельность, логистику, HR и финансы [4]. Теоретическим основанием трактовки бренд-менеджмента как управленческой компетенции служит соединение ресурсной теории фирмы и концепции динамических способностей: устойчивое преимущество опирается на способность интегрировать, выстраивать и переконфигурировать компетенции в ответ на изменения среды [22], а бренд реализует потенциал только при наличии организационной способности — бренд-ориентации [10].

Результаты исследования

Основным результатом является концептуальная модель «Бренд-менеджмент как управленческая компетенция стратегического развития компании». Модель организована по логике «основание — способность — результат» и включает шесть взаимосвязанных блоков (рисунок 1).

1) Понимание бренда как стратегического актива — когнитивное основание: степень, в которой собственники и руководство трактуют бренд как стратегический нематериальный актив, а не как коммуникационный или дизайн-инструмент [7; 10].

2) Бренд-капитал — ресурсное основание: накопленный в сознании стейкхолдеров капитал доверия, лояльности и ассоциаций, выступающий «сырьем» для конверсии в стоимость [8; 11].

3) Управленческие бренд-компетенции — активирующая способность: знания, суждения и решения собственников, CEO, СМО, бренд-директоров и кросс-функциональных команд, позволяющие управлять брендом как стратегическим активом; динамическая способность фирмы [22].

4) Система управления брендом (brand governance) — процедурное основание: правила, зоны ответственности, права принятия решений и процессы, обеспечивающие согласованность бренда между функциями и во времени [4; 20].

5) Стратегическая согласованность — внутренний механизм: согласование бренда с бизнес-моделью, корпоративной стратегией и организационной культурой; внешним проявлением выступает целостный клиентский опыт [21].

6) Результаты стратегического развития — зависимый результат: устойчивое конкурентное преимущество, устойчивость, рост, ценовая премия, лояльность, капитализация и масштабируемость [17; 18; 15].

Центральное положение модели: бренд-капитал является необходимым, но недостаточным условием стратегического развития. Капитал бренда конвертируется в стоимость, а стоимость — в стратегические результаты только при наличии управленческих бренд-компетенций и системы управления брендом. Тем самым управленческая компетенция выступает опосредующим звеном, а стратегический эффект бренда возникает не автоматически.

Основание	Способность и механизм	Результат
Понимание бренда как стратегического актива; бренд-капитал; система управления брендом (brand governance)	Управленческие бренд-компетенции → стратегическая согласованность / клиентский опыт	Результаты стратегического развития: конкурентное преимущество, устойчивость, рост, ценовая премия, капитализация

Рисунок 1 — Концептуальная модель «Бренд-менеджмент как управленческая компетенция стратегического развития компании» (составлено автором)

Обсуждение и практическая значимость

Теоретический вклад статьи состоит в соединении литературы о бренд-капитале, объясняющей формирование перцептивного актива, с литературой стратегического управления, объясняющей, как фирменные способности порождают преимущество. Тем самым специфицируется управленческий механизм, который аналитика стоимости бренда фиксирует как эффект, но не теоретизирует как причину. В отличие от традиционного маркетингового понимания, предложенный подход рассматривает бренд как управляемый стратегический ресурс, а бренд-менеджмент — как управленческую мета-компетенцию, реализуемую на уровне собственников и топ-менеджмента.

Для компаний Казахстана значение модели усиливается институциональным контекстом. Там, где внешняя инфраструктура поддержки бренда развита неравномерно, бремя конверсии бренд-капитала в стоимость ложится преимущественно на внутреннюю управленческую способность. Развитие бренд-менеджмента как управленческой компетенции становится не уточнением маркетинговой практики, а условием перехода от операционного маркетинга к стратегическому управлению нематериальными активами. Управленческими барьерами выступают: восприятие бренда как центра издержек; разрыв между бренд-стратегией и бизнес-процессами; отсутствие закрепленных прав принятия решений; сокращение вложений в бренд в периоды нестабильности; дефицит профильного бизнес-образования.

Практическая значимость модели заключается в ее диагностической логике. Декомпозиция способности на шесть блоков позволяет руководителю определить, где организация сильна, а где ограничена: высокое понимание бренда при слабом brand governance ведет к непоследовательным действиям, разрушающимся при смене ключевых

лиц; сильное управление при низкой компетенции — к механическому применению правил; внутренняя согласованность при слабом клиентском опыте — к замыслу, который клиент не встречает на точках контакта. Для компаний Казахстана, находящихся на этапе роста и масштабирования, такая диагностика помогает направлять усилия на «узкое место», а не на наиболее заметный блок — идентичность и коммуникации.

Заключение

Бренд-менеджмент следует рассматривать за пределами маркетинговых коммуникаций — как управленческую компетенцию собственников, руководителей и кросс-функциональных команд. Бренд-капитал приобретает стратегическое значение лишь тогда, когда управленческая компетенция и система управления брендом конвертируют его в стоимость и, далее, в стратегическое развитие. Научная новизна состоит в концептуальном обосновании бренд-менеджмента как управленческой компетенции и в разработке механизма конверсии бренд-капитала в стратегическое развитие через управленческие бренд-компетенции, brand governance и стратегическую согласованность. Ограничение работы определяется ее концептуальным характером: предложенная модель требует эмпирической проверки. Следующим этапом исследования может стать качественное исследование на основе экспертных интервью с собственниками и топ-менеджерами компаний Казахстана с последующей разработкой инструмента диагностики управленческой зрелости бренд-менеджмента.

Список источников

1. Ocean Tomo. Intangible Asset Market Value Study. — Ocean Tomo, a part of J.S. Held, 2025.
2. Brand Finance. Global Intangible Finance Tracker (GIFT) 2024. — London: Brand Finance, 2024.
3. Kantar. Kantar BrandZ Most Valuable Global Brands 2024. — London: Kantar, 2024.
4. de Chernatony L., McDonald M., Wallace E. Creating powerful brands. — 4th ed. — Oxford: Routledge, 2011.
5. Taranko T., Chmielewski K. J. Brand as a source of value for its buyer and owner // Management and Business Administration. Central Europe. — 2014. — Vol. 22, No. 4. — P. 133–143.
6. Никитина В. С. Сущность бренда: элементы и добавленная ценность // E-Management. — 2021. — Т. 4, № 1. — С. 58–67.
7. Aaker D. A. Managing brand equity: Capitalizing on the value of a brand name. — New York: The Free Press, 1991.
8. Keller K. L. Conceptualizing, measuring, and managing customer-based brand equity // Journal of Marketing. — 1993. — Vol. 57, No. 1. — P. 1–22.
9. Urde M. Brand orientation: A mindset for building brands into strategic resources // Journal of Marketing Management. — 1999. — Vol. 15, No. 1–3. — P. 117–133.
10. Barney J. Firm resources and sustained competitive advantage // Journal of Management. — 1991. — Vol. 17, No. 1. — P. 99–120.
11. Raggio R. D., Leone R. P. The theoretical separation of brand equity and brand value: Managerial implications for strategic planning // Journal of Brand Management. — 2007. — Vol. 14, No. 5. — P. 380–395.
12. Gluhović N. Brand equity management: Interbrand method // Novi Ekonomist. — 2019. — Vol. 13, No. 1. — P. 75–83.
13. Interbrand. Best Global Brands 2024. — New York: Interbrand, 2024.
14. Brand Finance. Brand Finance Global 500 2025. — London: Brand Finance, 2025.
15. McKinsey & Company. The future of brand strategy: It's time to 'go electric'. — McKinsey & Company, 2020.
16. McKinsey & Company. B2B business branding. — McKinsey & Company, 2013.

17. Belesis N., Kampouris C., Andreas F., Malliari N. The impact of marketing brand value on a company's financial performance // *International Review of Management and Marketing*. — 2026. — Vol. 16, No. 2. — P. 263–272.
18. Jovanović M., Krstić B., Milanović S. The impact of brand value on market performance indicators of high-technology enterprises // *Facta Universitatis: Economics and Organization*. — 2020. — Vol. 17, No. 4. — P. 317–328.
19. Chepelenko A., Tserkovnyy S., Danchenko L. Assessment of brand value // *Scientia Fructuosa*. — 2024. — No. 5. — P. 89–104.
20. Janjić L., Arsić L., Anđelković Ž. Effects of marketing indicators application on brand evaluation // *BizInfo (Blace)*. — 2022. — Vol. 12, No. 1.
21. KPMG. Global Customer Experience Excellence Report 2024. — KPMG International, 2024.
22. Teece D. J., Pisano G., Shuen A. Dynamic capabilities and strategic management // *Strategic Management Journal*. — 1997. — Vol. 18, No. 7. — P. 509–533.

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ, АРХИТЕКТУРА И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ МИНИМИЗАЦИИ РИСКА МОШЕННИЧЕСТВА В БАНКЕ

Пилипенко Анна

Докторант программы DBA, Университет Нархоз, г. Алматы, Казахстан

Аннотация. Стремительное развитие цифровых финансовых сервисов, мобильного банкинга и онлайн-платежей сопровождается существенным ростом масштабов финансового мошенничества. Традиционные антифрод-системы, основанные на фиксированных правилах, постепенно теряют эффективность в условиях высокой динамики мошеннических сценариев, роста объемов транзакций и усложнения киберугроз. В статье представлен аналитический обзор современных подходов к построению систем транзакционного и поведенческого антифрода в банковском секторе. Рассматриваются методы машинного обучения, поведенческого профилирования, графового анализа, интерпретируемого искусственного интеллекта, федеративного обучения и потоковой обработки данных в режиме реального времени. Особое внимание уделяется проблемам дисбаланса классов, дрейфа концепции, интерпретируемости моделей и обеспечению конфиденциальности данных. Предлагается концепция интегрированной адаптивной антифрод-платформы, объединяющей транзакционный мониторинг, поведенческую аналитику, графовый анализ и интерпретируемый AI в единую систему интеллектуального обнаружения мошенничества.

Ключевые слова: антифрод, банковское мошенничество, машинное обучение, поведенческий анализ, транзакционный мониторинг, обнаружение аномалий, интерпретируемый искусственный интеллект, федеративное обучение, графовый анализ.

Введение

Цифровые технологии за последние годы полностью изменили банковскую сферу. Большинство клиентов сегодня взаимодействуют с банком через мобильные приложения, интернет-банкинг и онлайн-платежи. Вместе с ростом удобства для пользователей увеличилось и количество мошеннических операций. Банки сталкиваются не только с привычными схемами финансового мошенничества, но и с более сложными атаками, связанными с автоматизацией, социальной инженерией и использованием сетей взаимосвязанных аккаунтов.

Традиционные антифрод-системы, основанные на фиксированных правилах, постепенно перестают справляться с быстро меняющимися сценариями атак. Такие решения хорошо работают против уже известных схем, однако практически не адаптируются к новым моделям поведения злоумышленников (Lucas & Jurgovsky, 2020). Дополнительной проблемой становится высокий уровень ложных блокировок, который ухудшает пользовательский опыт и снижает доверие клиентов к банку.

По этой причине банки всё активнее внедряют интеллектуальные антифрод-платформы, использующие методы машинного обучения, поведенческой аналитики и обработки больших данных (Hashemi et al., 2023). Современные системы анализируют не

только параметры отдельной транзакции, но и более широкий контекст: историю операций клиента, характеристики устройства, географию активности, временные паттерны и взаимосвязи между участниками финансовых операций.

Отдельную сложность создаёт дрейф концепции, то есть изменение мошеннических сценариев во времени. Даже модели с высокой точностью постепенно теряют эффективность, поскольку злоумышленники быстро адаптируются к существующим механизмам защиты (Yadav et al., 2025). В результате антифрод-системы должны не просто обнаруживать аномалии, но и постоянно обновляться, сохраняя устойчивость к новым типам атак.

Сегодня антифрод всё чаще рассматривается не как набор отдельных инструментов, а как единая система, в которой одновременно используются транзакционный мониторинг, поведенческий анализ, графовые методы и инструменты интерпретации моделей. Такой подход позволяет банкам быстрее выявлять мошеннические операции и при этом снижать количество ошибочных блокировок (George et al., 2023).

Цель данной статьи — проанализировать современные подходы к построению транзакционного и поведенческого антифрода в банковском секторе, а также определить наиболее перспективные направления развития интеллектуальных систем обнаружения мошенничества.

Научная новизна работы заключается в формировании концепции интегрированной антифрод-модели, объединяющей транзакционный мониторинг, поведенческое профилирование, графовый анализ, интерпретируемый AI и адаптивное обучение в единую многоуровневую систему управления риском мошенничества.

Теоретические основы антифрода

Современные системы обнаружения мошенничества основаны на двух ключевых парадигмах: обнаружение известных мошеннических сценариев и обнаружение аномалий. Первый подход ориентирован на выявление заранее известных мошеннических сценариев с использованием правил, сигнатур и шаблонов атак. Его преимуществом является высокая точность при обнаружении уже известных схем мошенничества. Однако эффективность подобных систем существенно снижается при появлении новых типов атак.

Второй подход основан на моделировании нормального поведения клиента и выявлении отклонений от привычной активности. Подобные системы способны обнаруживать ранее неизвестные сценарии мошенничества, поскольку ориентируются не на заранее заданные правила, а на изменение поведенческого профиля пользователя. Однако обнаружение аномалий часто сопровождается повышенным количеством ложных срабатываний (Husnaningtyas & Dewayanto, 2023).

На практике большинство современных банковских антифрод-систем используют гибридную архитектуру, объединяющую основанные на правилах механизмы и методы машинного обучения. Подобный подход позволяет одновременно обеспечивать высокую точность выявления известных мошеннических сценариев и адаптироваться к новым угрозам (George et al., 2023).

Одной из фундаментальных проблем банковского антифрода является высокая неоднородность клиентского поведения. Для решения данной проблемы применяются обобщенные линейные смешанные модели (GLMM - generalized linear mixed models), позволяющие учитывать индивидуальные поведенческие характеристики пользователей (Gómez-Restrepo & Cogollo-Flórez, 2012).

Современные исследования также подчеркивают важность так называемых вероятностно-правовых особенностей (Likely-Legal Features) — признаков, описывающих действия, редко совершаемые мошенниками: стабильное использование устройства,

регулярная оплата коммунальных услуг, повторяющиеся географические маршруты и длительная финансовая история. Использование подобных характеристик позволяет значительно снизить количество ложных срабатываний (Hsin et al., 2021).

Транзакционный антифрод

Транзакционный антифрод ориентирован на анализ финансовой операции непосредственно в момент её выполнения. Основная задача подобных систем заключается в оперативной оценке уровня риска и принятии решения о подтверждении, отклонении либо дополнительной проверке транзакции.

Современные антифрод-модели анализируют широкий набор параметров операции, включая сумму платежа, время проведения транзакции, MCC-код, IP-адрес, геолокацию пользователя, характеристики устройства, скорость изменения активности клиента и количество последовательных операций. Чем больше контекстной информации доступно системе, тем выше вероятность обнаружения подозрительных действий (Almazroi & Ayub, 2023).

Несмотря на развитие интеллектуальных алгоритмов, системы, основанные на правилах, продолжают активно использоваться в банковской практике благодаря их прозрачности и соответствию регуляторным требованиям. Однако их ключевым недостатком остаётся низкая адаптивность к новым мошенническим схемам и высокий уровень ложных срабатываний.

По этой причине современные банки активно внедряют скоринг-модели на основе машинного обучения. Наибольшее распространение получили алгоритмы XGBoost, LightGBM, CatBoost и Random Forest, позволяющие выявлять сложные нелинейные зависимости между признаками и формировать оценку вероятности мошенничества для каждой транзакции (Zhang et al., 2023).

Таблица 1. Сравнительная характеристика методов транзакционного антифрода

Метод	Преимущества	Ограничения
Основанный на правилах	Интерпретируемость, прозрачность	Низкая адаптивность
Логистическая регрессия	Простота объяснения	Ограниченная нелинейность
Случайный лес	Устойчивость к шуму	Высокая сложность ансамблей
XGBoost / LightGBM	Высокая точность	Чувствительность к дрейфу
Глубокое обучение	Анализ сложных зависимостей	Высокая вычислительная стоимость
Графовые нейронные сети	Анализ мошеннических сетей	Сложность внедрения
Примечание: составлено автором		

Поведенческий антифрод

В отличие от транзакционного мониторинга, поведенческий антифрод ориентирован не только на анализ отдельной операции, но и на изучение цифрового профиля пользователя. Основная идея данного подхода заключается в том, что поведение клиента со

временем формирует устойчивые закономерности, отклонение от которых может свидетельствовать о мошенничестве.

Современные поведенческие модели анализируют структуру расходов клиента, географию операций, предпочтительные каналы взаимодействия, характеристики устройств и особенности пользовательской активности. Подобный подход позволяет выявлять подозрительные действия даже в тех случаях, когда операция формально соответствует стандартным правилам.

Особое значение в последние годы приобрела поведенческая биометрия. Современные антифрод-системы способны анализировать скорость набора текста, динамику движения мыши, сенсорную активность, интервалы между действиями пользователя и особенности навигации. Даже если мошенник получил логин и пароль клиента, его поведение обычно отличается от действий реального пользователя.

Одновременно использование поведенческой аналитики создаёт ряд этических и регуляторных вопросов, связанных с обработкой персональных данных и потенциальной дискриминацией пользователей. По этой причине развитие поведенческой аналитики требует соблюдения принципов интерпретируемости и конфиденциальных вычислений.

Методы машинного обучения в антифроде

Машинное обучение стало одним из ключевых инструментов современного банковского антифрода. Наиболее распространённым подходом является обучение с учителем, при котором модель обучается на размеченных исторических данных, содержащих примеры легитимных и мошеннических операций. На практике широко используются алгоритмы XGBoost, LightGBM, логистическая регрессия и случайный лес.

Однако модели с учителем имеют существенное ограничение: они сильно зависят от качества исторической выборки и хуже справляются с обнаружением новых мошеннических схем. Для выявления ранее неизвестных типов мошенничества применяются подходы без учителя, такие как Isolation Forest, Autoencoders, DBSCAN и K-Means.

В последние годы банки всё активнее используют методы глубокого обучения, включая рекуррентные нейронные сети и графовые модели. Рекуррентные нейронные сети позволяют учитывать временные зависимости между транзакциями, а графовые нейронные сети — анализировать сложные связи между участниками финансовых операций.

Несмотря на высокий потенциал глубокого обучения, использование подобных моделей сопровождается рядом проблем: высокой вычислительной стоимостью и сложностью внедрения в системы, работающие в режиме реального времени, необходимостью больших объемов данных, проблемами интерпретируемости и риском переобучения. Поэтому на практике банки чаще используют гибридные архитектуры, в которых интерпретируемые модели сочетаются с более сложными нейронными сетями.

Интерпретируемый искусственный интеллект и графовый анализ

Одной из ключевых проблем современных антифрод-систем остаётся недостаточная прозрачность сложных моделей машинного обучения. В банковской сфере особенно важно объяснять причины блокировки операций как клиентам, так и регуляторам. По этой причине значительное внимание уделяется развитию интерпретируемого искусственного интеллекта (Интерпретируемый AI, XAI).

Для повышения интерпретируемости моделей используются методы SHAP, LIME, графики частичной зависимости и анализ важности признаков. Интерпретируемый искусственный интеллект позволяет определить, какие факторы повлияли на решение модели, выявить ошибки алгоритма и повысить доверие к системе со стороны клиентов и регуляторов.

Параллельно активно развивается графовый анализ, ориентированный на исследование сетевых взаимосвязей между счетами и транзакциями. Современные мошеннические схемы всё чаще представляют собой организованные сети взаимосвязанных аккаунтов, поэтому анализ отдельных операций уже недостаточен. Графовые методы позволяют выявлять подозрительные кластеры, цепочки переводов и скрытые взаимосвязи между участниками финансовых операций.

Отдельный интерес вызывают графовые нейронные сети, позволяющие анализировать связи между счетами и выявлять организованные мошеннические группы. Однако широкое внедрение подобных технологий пока ограничивается высокой вычислительной сложностью и недостаточной интерпретируемостью моделей.

Архитектура антифрод-систем реального времени

Современные антифрод-платформы представляют собой высоконагруженные распределённые системы, способные принимать решения за миллисекунды. Предлагаемая концепция интегрированной антифрод-системы включает следующие уровни:

- сбор транзакционных и поведенческих данных через API и стриминг - платформы;
- обработка и агрегация информации в режиме реального времени;
- проектирование признаков и генерация поведенческих признаков;
- скоринг в режиме реального времени с использованием ML-моделей;
- графовый анализ взаимосвязей между счетами;
- методы интерпретируемого искусственного интеллекта для объяснения решений модели;
- адаптивное управление уведомлениями и автоматическое принятие решений.

Для потоковой обработки данных широко используются Apache Kafka, Apache Flink и Spark Streaming, позволяющие анализировать транзакции практически в режиме реального времени. В зависимости от уровня риска операция может быть подтверждена, отклонена либо направлена на ручную проверку.

Метрики эффективности антифрод-систем

Для оценки качества антифрод-моделей используются Precision, Recall, F1-score, ROC-AUC и False Positive Rate. В банковской сфере особенно важным остаётся баланс между Recall и False Positive Rate. Повышение чувствительности системы позволяет снизить финансовые потери от мошенничества, однако одновременно увеличивает количество ложных блокировок и ухудшает пользовательский опыт.

Именно поиск баланса между безопасностью и удобством клиента остаётся одной из ключевых задач современного банковского антифрода.

Основные проблемы и перспективы развития

Несмотря на существенный прогресс в области антифрод-технологий, современные системы сталкиваются с рядом серьёзных проблем. Одной из наиболее сложных задач остаётся дисбаланс классов, поскольку доля мошеннических операций в банковских данных крайне мала. Для решения данной проблемы применяются методы избыточной выборки, уменьшенной выборки, метод синтетической выборки и взвешенной функции потерь.

Дополнительную сложность представляет дрейф концепции — постоянное изменение мошеннических стратегий. Это приводит к быстрому устареванию моделей и необходимости регулярного переобучения, что обуславливает растущий интерес к адаптивному и он-лайн обучению.

Серьёзным ограничением также выступают требования к защите персональных данных. Регуляторные ограничения существенно осложняют межбанковский обмен

информацией. Одним из наиболее перспективных решений считается федеративное обучение (federated learning), позволяющее обучать модели без передачи конфиденциальных данных между организациями. Дополнительно используются дифференциальная конфиденциальность, защищённая агрегация данных, многосторонние защищённые вычисления.

Перспективы развития банковского антифрода связаны с интеграцией интерпретируемых графовых нейронных сетей, методов самообучения, мультимодального поведенческого профилирования, адаптивной потоковой аналитики и конфиденциальных подходов к использованию искусственного интеллекта.

Заключение

Современный банковский антифрод постепенно переходит от статических экспертных систем к интеллектуальным адаптивным платформам, основанным на машинном обучении, поведенческой аналитике и анализе больших данных. Наиболее эффективные системы способны одновременно учитывать параметры транзакций, особенности поведения клиента и сетевые взаимосвязи между участниками финансовых операций.

В работе предложена концепция интегрированной антифрод-платформы, объединяющей транзакционный мониторинг, поведенческое профилирование, графовый анализ и интерпретируемый AI в единую адаптивную систему управления риском мошенничества. Использование гибридных архитектур позволяет значительно повысить качество обнаружения мошенничества при одновременном снижении количества ложных блокировок.

В ближайшие годы ключевыми направлениями развития антифрод-технологий станут интерпретируемый искусственный интеллект, федеративное обучение, графовые нейронные сети и конфиденциальные подходы, обеспечивающие баланс между эффективностью выявления мошенничества и защитой персональных данных.

Список литературы

- Abbassi H., Gahi Y., El Mendili S. Analysis of banking fraud detection methods through machine learning strategies in the era of digital transactions // 2023 7th IEEE Congress on Information Science and Technology (CiSt). 2023.
- Almazroi A. A. A., Ayub N. Online payment fraud detection model using machine learning techniques // IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 137188–137203.
- Arora S., Beams A., Chatzigiannis P. et al. Privacy-preserving financial anomaly detection via federated learning & multi-party computation // 2024 IEEE Conference Proceedings. 2024.
- Ashrafuzzaman M., Parveen R., Sumiya M. A., Rahman A. AI-powered personalization in digital banking: A review of customer behavior analytics and engagement // American Journal of Interdisciplinary Studies. 2025. Vol. 6. No. 1. P. 40–71.
- George M. Z. H., Alam M. K., Hasan M. T. Machine learning for fraud detection in digital banking: A systematic literature review // ASRC Procedia: Global Perspectives in Science and Scholarship. 2023. Vol. 3. No. 1. P. 37–61.
- Gómez-Restrepo J., Cogollo-Flórez M. R. Detection of fraudulent transactions through generalized mixed linear models // Ingeniería y Ciencia. 2012. Vol. 8. No. 16. P. 221–237.
- Hashemi S. K., Mirtaheri S. L., Greco S. Fraud detection in banking data by machine learning techniques // IEEE Access. 2023. Vol. 11. P. 3034–3043.
- Hsin Y. Y., Dai T. S., Ti Y. W., Huang M. C. Interpretable electronic transfer fraud detection with expert feature constructions // CEUR Workshop Proceedings. 2021. Vol. 3052.
- Husnaningtyas N., Dewayanto T. Financial fraud detection and machine learning algorithm (unsupervised learning): Systematic literature review // Jurnal Riset Akuntansi dan Bisnis Airlangga. 2023. Vol. 8. No. 2.
- Jurgovsky J., Granitzer M., Ziegler K. et al. Sequence classification for credit-card fraud detection // Expert Systems with Applications. 2018. Vol. 100. P. 234–245.
- Kargari M., Eshghi A. A model based on clustering and association rules for detection of fraud in banking transactions // Proceedings of the 4th World Congress on Electrical Engineering and Computer Systems and Sciences (EECSS'18). 2018.
- Lucas Y., Jurgovsky J. Credit card fraud detection using machine learning: A survey // arXiv. 2020.
- Vilella S., Capozzi A., Fornasiero M. et al. Weirnodes: Centrality-based anomaly detection on temporal networks for the anti-financial crime domain // Applied Network Science. 2025. Vol. 10.
- Yadav V., Zalawadia M., Gurav P. Comprehensive real-time fraud detection pipeline for banking using behavioral analytics and adaptive learning. MRI INDIA, 2025.
- Zhang Z., Wang J., Wang X. Safeguarding FinTech innovations with machine learning: Comparative assessment of various approaches // Research in International Business and Finance. 2023. Vol. 66.
- Zheng L., Liu G., Yan C., Jiang C. Transaction fraud detection based on total order relation and behavior diversity // IEEE Transactions on Computational Social Systems. 2018. Vol. 5. No. 4. P. 996–1006.

FORECASTING BILATERAL TRADE GROWTH SCENARIOS UNDER DIFFERENT TRANSPORT INFRASTRUCTURE INVESTMENT MODELS. THE CASE OF THE CHINA – KAZAKHSTAN – CENTRAL ASIA TRADE AND TRANSPORT CORRIDOR

Lyu Junfeng

Doctoral Student, DBA Program, Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Scientific Advisor:

Mynjanova Gulzhakan Tlesovna

PhD, Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Scientific Advisor:

Tukembayeva Kyyal Chabulbekovna

Professor of Practice, Al-Farabi Kazakh National University, Republic of Kazakhstan, Almaty

Abstract. This article develops a forecast of bilateral trade growth scenarios between China and the countries of Central Asia, with particular attention to Kazakhstan, conditional on the investment model applied to three parallel transport corridors — the Northern Corridor (via Russia), the Middle Corridor (the Trans-Caspian International Transport Route, TITR), and the emerging China–Kyrgyzstan–Uzbekistan (CKU) railway. Drawing on empirical data from Chinese customs statistics, Kazakhstan's Association of Financiers (AFK), the World Bank, KTZ (Kazakhstan Railways), and industry materials from logistics operators — including corporate materials of Shandong Gaosu Qilu-hao Investment Development Co., Ltd. on the operation of Eurasian container trains — the article constructs a scenario-forecasting methodology built on five key variables: global commodity price dynamics, the completion timeline of the CKU railway, the geopolitical resilience of the Northern Corridor, the institutional capacity of transit states to capture transit rents, and the pace of renminbi internationalization. Three trade-growth scenarios to 2030 are developed — a baseline scenario, an accelerated Middle Corridor scenario, and a geopolitical-escalation scenario — with quantitative estimates of trade volume and cargo-flow structure under each. The analysis shows that the transition from a "corridor economy" to a "connected economy" is determined less by the sheer volume of transport investment than by the institutional capacity of transit states to convert transit flows into captured value added.

Keywords: bilateral trade; transport infrastructure; transport corridors; China; Kazakhstan; Central Asia; Trans-Caspian International Transport Route; scenario forecasting; New Silk Road; Belt and Road Initiative; China–Kyrgyzstan–Uzbekistan railway corridor.

1. Introduction

The period 2021–2025 marked a structural inflection point in the trade and economic relations between China and the states of Central Asia. China's aggregate trade turnover with the five Central Asian states rose from USD 49.6 billion in 2021 to USD 70.2 billion in 2022, USD 89.4 billion in 2023, USD 94.8 billion in 2024, and reached a historic high of USD 106.3 billion in 2025 — more than doubling over four years. In 2025, China became, for the first time, the largest trading partner of all five regional states simultaneously, overtaking Russia in this respect in Kazakhstan — the country that accounts for approximately 46% of China's aggregate trade turnover with Central Asia.

This quantitative growth has been accompanied by an equally significant qualitative transformation of the transport-logistics architecture underpinning these trade flows. The once near-exclusive reliance on the Northern Corridor, running through Russian and Belarusian territory, is giving way to a "three parallel corridors" model: the Northern Corridor, the Middle Corridor (the Trans-Caspian International Transport Route, TITR), and the emerging China–Kyrgyzstan–Uzbekistan (CKU) railway, construction of which began in 2025. Each corridor entails a distinct capital-investment profile, a distinct payback horizon, and a distinct degree of geopolitical exposure — which makes the relationship between the chosen infrastructure-investment model and the resulting trajectory of bilateral trade growth both academically significant and practically urgent for shaping the transit strategies of Kazakhstan and neighboring states.

The relevance of this study stems from the fact that existing forecasts of trade growth are typically built by extrapolating aggregate historical growth rates without explicitly disaggregating by infrastructure-development scenario. Yet the September 2025 incident on the Poland–Belarus border, triggered by Russian drone incursions into Polish airspace during the Zapad-2025 exercises and resulting in the stranding of more than 130 freight trains in Belarus, vividly demonstrated that the resilience of the Northern Corridor cannot be treated as a fixed constant, but must instead be modeled as a scenario variable.

The purpose of this article is to develop and justify scenarios forecasting the growth of bilateral trade between China and the Central Asian states (with an emphasis on Kazakhstan) as a function of three alternative transport-infrastructure investment models, and to assess the institutional conditions under which transport investment translates into sustained trade growth rather than remaining a purely infrastructural indicator.

To achieve this purpose, the article addresses the following tasks: (1) to systematize empirical data on the current structure and dynamics of trade and cargo flows across the three corridors; (2) to identify the key variables shaping the trajectory of trade growth under different investment models; (3) to construct quantitative trade-growth scenarios through 2030; and (4) to formulate policy recommendations aimed at maximizing the share of value added captured by the region's transit economies.

2. Literature Review and Theoretical Framework

The theoretical basis of the study rests on three complementary strands of literature. The first is corridor economics, within which the World Bank's report *Belt and Road Economics* (2019) demonstrated that connectivity investments can generate aggregate income gains of 2–3% for recipient economies, while simultaneously creating path dependencies that constrain the future policy autonomy of those economies. This finding bears directly on the present study, since it indicates that the choice of a transport-infrastructure investment model is not neutral with respect to the subsequent trade-political trajectories of regional states.

The second strand is the concept of China's "inadvertent empire" in Central Asia, developed by R. Pantucci and A. Petersen in *Sinostan* (Oxford University Press), which describes China's economic penetration of the region as the cumulative outcome of dispersed commercial

decisions rather than a unified imperial design, yet one that nonetheless produces deep structural asymmetry. A complementary perspective is offered by N. Kassenova's work at Harvard's Davis Center, which shows that small and medium-sized states in the region, Kazakhstan in particular, are able to extract "increased benefits, assistance, and better contractual terms" from great-power competition — as illustrated by the practice of distributing major infrastructure and energy projects among Russian, Chinese, and European contractors. A comparable interpretation is offered by an International Affairs (Oxford) analysis, which likens Kazakhstan's multi-vector diplomacy to the "omni-enmeshment" strategies employed by small Southeast Asian states.

The third strand consists of R. Hamilton's work (Foreign Policy Research Institute, 2024), which characterizes the China–Russia power transition in Central Asia as potentially "more acute" than the US–China dynamic, precisely because it directly implicates territorial proximity and economic dominance. This framework is used here to interpret why Russia, even as it loses its monopoly over transit architecture, avoids openly contesting alternative routes — reproducing what several scholars describe as route diversification without open confrontation.

Methodologically, the study draws on scenario-planning methodology, combining quantitative extrapolation of historical trade-growth rates with a qualitative assessment of the likelihood that key assumptions will materialize under each of the three alternative infrastructure-investment models. This approach is consistent with the Utilization-Focused Evaluation (UFE) logic (Patton) and with JCSEE standards commonly applied in program and policy evaluation, which orient the researcher not merely toward describing trends but toward formulating scenarios that are actionable for decision-makers.

3. Research Methodology

The empirical base of the study comprises: (a) data from the General Administration of Customs of China (GACC) and the Ministry of Commerce of China (MOFCOM) on China's trade turnover with the Central Asian states for 2021–2025; (b) data from Kazakhstan's Association of Financiers (AFK) on bilateral trade between Kazakhstan and China, used for cross-verification of Chinese customs statistics; (c) reports and press releases from Kazakhstan Railways (KTZ), the International Finance Corporation (IFC), and the Asian Infrastructure Investment Bank (AIIB) concerning financing and throughput capacity at the Khorgos and Altyntol/Dostyk border crossings; (d) World Bank materials on projected Middle Corridor throughput capacity; (e) corporate materials of the Shandong provincial Eurasian container-train operator (Shandong Gaosu Qilu-hao Investment Development Co., Ltd.) for 2019–2025, including data on the volume and structure of shipments along the China–Kazakhstan–Central Asia route and on the operation of the overseas consolidation center in Almaty; and (f) specialized analytical outlets (Eurasianet, The Astana Times, The Times of Central Asia, the Carnegie Endowment for International Peace, and the Jamestown Foundation).

Scenarios were constructed using a growth-decomposition model built around five variables identified through source analysis: (1) global commodity price dynamics (oil, copper, uranium), which shape Kazakhstan's export revenues; (2) the commissioning timeline of the CKU railway; (3) the geopolitical resilience of the Northern Corridor; (4) the institutional capacity of transit states to capture transit rents through the localization of processing, warehousing, and financial intermediation; and (5) the pace of renminbi-denominated settlement internationalization. Each variable was assigned three qualitative states (unfavorable, baseline, favorable), the combinations of which define the three integrated scenarios examined in Section 5.

The quantitative component of the forecast is based on compound annual growth rates (CAGR) calculated from actual 2021–2025 data (the CAGR of aggregate China–Central Asia trade turnover over this period is approximately 21% per year), adjusted through expert judgment based on each scenario's assumptions regarding the relative contribution of price and volume effects to

growth. The resulting estimates should be read not as an econometric forecast in the strict sense, but as illustrative scenario trajectories designed to compare the relative sensitivity of trade turnover to the chosen infrastructure-investment model.

4. Current State of Trade and Transport Infrastructure

4.1. Dynamics and Structure of Bilateral Trade

China's aggregate trade turnover with the Central Asian states has shown sustained growth for five consecutive years (Table 1), although its composition reveals considerable country-level asymmetry. In the first half of 2025, Kazakhstan recorded comparatively modest trade growth with China — only 0.8% according to Chinese customs data (5.9% according to AFK data) — whereas Uzbekistan posted 18% growth. This divergence is explained by structural rather than institutional factors: Kazakhstan's exports to China are concentrated in oil, metals, and mineral raw materials, and the decline in global copper and oil prices in the first half of 2025 reduced the country's export revenue by nearly 10%. By the end of 2025, Kazakhstan's trade with China had recovered to +11% for the full year, confirming that the H1 slowdown was price-driven rather than structural.

Uzbekistan's growth, by contrast, is predominantly import-driven: Chinese exports to the country are expanding on the back of large-scale Chinese direct investment (approximately USD 10 billion of the USD 25 billion in total foreign investment received by Uzbekistan in 2025), while Uzbekistan's own exports to China have shown little growth. The number of registered Chinese enterprises in Uzbekistan reached 4,873 (an increase of 1,500 within a single year), and in Kazakhstan 9,252 (up 50% year-on-year) — figures reflecting the physical footprint of supply-chain relocation into the region.

Table 1 — China's Trade Turnover with the Central Asian States, 2021–2025

Year	Trade turnover, USD bn	Annual growth, %	Key event
2021	49.6	—	Post-pandemic recovery
2022	70.2	41.5	Launch of the China–Central Asia community-of-shared-future initiative
2023	89.4	27.3	First China–Central Asia Summit (Xi'an)
2024	94.8	6.0	Slowdown amid falling commodity prices
2025	106.3	12.1	China becomes the top trading partner of all five regional states

Source: compiled by the author from data of the General Administration of Customs of China and the Ministry of Commerce of China (announcement of 18 January 2026).

4.2. Structure of the Three Transport Corridors

The Northern Corridor (via Russia and Belarus) remains dominant in absolute volume, though its share fell from 93.4% to approximately 85% following the September 2025 Poland–Belarus border incident. The corridor's resilience is further constrained by Western sanctions and by Russia's October 2024 ban on the transit of dual-use goods.

The Middle Corridor (the Trans-Caspian International Transport Route, TITR) shows the most dynamic growth: cargo volumes increased from 800,000 tonnes to a level five times higher over seven years, with container transport reaching 77,000 TEU in 2025 against a target of 300,000 TEU by 2029. The route nonetheless faces three structural bottlenecks: (1) the Caspian Sea ferry crossing, subject to storm conditions roughly 250 days a year; (2) a double gauge change (from 1,435 mm to 1,520 mm at Khorgos/Dostyk, and back at the Georgia–Turkey border); and (3) the

limited throughput capacity of the Baku–Tbilisi–Kars railway connecting the Caucasus to Turkey. The World Bank projects that, with full implementation of its modernization program, Middle Corridor traffic could reach the stated target level, but would fall roughly 35% short without it.

The China–Kyrgyzstan–Uzbekistan (CKU) railway represents the longest-term bet of the three: tunnel construction began in May 2025, a financing agreement was signed in December 2025, and China holds 51% equity in the project. The engineering complexity — 50 bridges and 29 tunnels across 523 km of mountainous terrain — makes commissioning before 2030–2031 unlikely. Once operational, the line's expected annual freight volume is approximately 13 million tonnes, of which 80% is expected to be transit traffic and 20% Kyrgyzstan's own trade.

Table 2 — Comparative Characteristics of the Three Transport Corridors

Parameter	Northern Corridor	Middle Corridor (TITR)	CKU Corridor
Share of cargo flow, 2025	≈ 85%	≈ 12–13%	not yet operational
Transit time	≈ 19 days	20–22 days	projected to be ~900 km shorter
Shipping cost (indicative)	lower	higher	to be assessed
Key bottleneck	geopolitical risk, sanctions	ferry crossing, gauge change	construction timeline through 2030–2031
Expected date of full design capacity	—	2029–2030	2030–2031 or later

Source: compiled by the author from World Bank, KTZ, IFC/AIIB data and analytical materials from Eurasianet, The Times of Central Asia, and the Jamestown Foundation.

4.3. The Role of Kazakhstan's Border Infrastructure: Khorgos and Dostyk

The difference between the 1,435 mm (Chinese) and 1,520 mm (post-Soviet) rail gauges makes Kazakhstan an indispensable transshipment link for all overland routes between China and Europe. The Khorgos dry port handled more than 372,000 TEU in 2025 (+2% year-on-year), with average container transshipment time falling from 5 hours to 1 hour following the introduction of automated transfer systems — a tenfold increase in the port's throughput since 2016 (from 80,000 to 372,000 TEU over nine years). The Altyntol–Dostyk crossing remains the largest by absolute cargo volume, and continues to be 50% Russian-controlled.

The Government of Kazakhstan is implementing a large-scale railway modernization program worth approximately USD 15 billion through 2030. Its key elements include: completion of the second track on the Dostyk–Moiynty section (raising throughput from 12 to 60 train pairs per day); construction of the Almaty bypass railway, 130 km long (a USD 300 million financing package from KTZ, approved by AIIB and IFC on 13 January 2026); and the planned Moiyny–Kyzylzhar line. Prime Minister R. Bektenov has announced plans to build two new railway lines totaling 475 km in 2026 and to modernize 2,900 km of existing track, which is expected to reduce transit time from the Kazakhstan–China border to the Caspian coast from 84 to 55 hours.

At the same time, mainland Chinese provincial container-train operators serving the Kazakhstan corridor continue to expand. According to data from the Shandong provincial operator, by May 2025 the cumulative number of "Qilu-hao" trains dispatched exceeded 12,700, of which 44.1% (5,635 trains) were bound for Central Asia, with Kazakhstan-bound trains accounting for 58.2% of the Central Asian total. The cumulative value of foreign-trade and transit

cargo carried through this channel reached RMB 447.11 billion and RMB 226.35 billion, respectively. The operation of the overseas consolidation center in Almaty, inaugurated in September 2023 with an area of 650,000 m² and a monthly handling capacity of 100 trains, illustrates the shift from a purely transport-based model toward an integrated logistics-hub model encompassing customs clearance, warehousing, and distribution.

5. Trade Growth Scenarios through 2030

Building on the five variables identified in Section 3, three integrated scenarios were constructed for the growth of China's trade turnover with the Central Asian states (with a focus on Kazakhstan) for the period 2026–2030. Each scenario reflects a distinct combination of transport-infrastructure investment model and external conditions.

5.1. Scenario A — Baseline (Continuation of the Current Model)

The baseline scenario assumes continuation of the current investment structure: ongoing modernization of the Dostyk–Moiynty section and the Almaty bypass, moderate CKU construction progress without critical schedule slippage, and partial preservation of Northern Corridor functionality amid a gradual decline in its share. Commodity price conditions are assumed to be neutral. Under these conditions, the compound annual growth rate of aggregate trade turnover is estimated at 9–11% per year, bringing the total to USD 160–170 billion by 2030. The Middle Corridor's share of overland cargo flows gradually rises to 20–22%, while the CKU railway enters limited operation no earlier than 2031 and has little material effect within the forecast horizon.

5.2. Scenario B — Accelerated Development of the Middle Corridor

This scenario assumes full implementation of the World Bank's Trans-Caspian modernization program (expansion of Aktau port, increased ferry capacity, elimination of gauge-related bottlenecks), accompanied by deeper Chinese institutional engagement — including China Railway Container Transport Co.'s entry into the Middle Corridor joint venture (August 2025) and construction of a Kazakh–Azerbaijani–Chinese intermodal terminal at Baku's Alat port. Under this scenario, aggregate trade turnover grows at an accelerated rate of 13–15% per year, reaching USD 195–210 billion by 2030, with the Middle Corridor's share of overland transport rising to 30–35% — partially closing, though not fully reaching, the aspirational 40% target cited in some sources, which this study regards as unlikely to be achieved by 2030 given the persistent cost differential relative to the Northern Corridor (Middle Corridor shipping costs remain higher despite comparable transit times of 20–22 days versus 19 days).

5.3. Scenario C — Geopolitical Escalation and Fragmentation of the Northern Corridor

The pessimistic scenario assumes further deterioration of transit conditions through Russia and Belarus (new sanctions, recurrence of incidents similar to the September 2025 episode, a hardening of Poland's security posture toward transit), combined with delays in CKU construction (commissioning pushed beyond 2031) and limited progress in modernizing Aktau port infrastructure. Under these conditions, the compound annual growth rate of trade turnover slows to 5–7% per year as logistics costs rise and delivery times lengthen, bringing aggregate trade turnover to USD 140–150 billion by 2030. The structure of cargo flows becomes more fragmented under this scenario: the Northern Corridor's share declines faster than alternative-route capacity can expand, temporarily creating a logistics bottleneck and increasing the volatility of transport costs.

Table 3 — Comparative Parameters of China–Central Asia Trade Growth Scenarios, 2026–2030

Parameter	Scenario A (baseline)	Scenario B (accelerated Middle Corridor)	Scenario C (escalation)
CAGR of trade turnover	9–11%	13–15%	5–7%
Trade turnover by 2030, USD bn	160–170	195–210	140–150
Middle Corridor share by 2030	20–22%	30–35%	15–18%
CKU commissioning date	≈ 2031	≈ 2030–2031	after 2032
Key risk	commodity price volatility	failure to reach Aktau port's target throughput	CKU delays combined with Northern Corridor degradation

Source: author's calculations based on data from the General Administration of Customs of China, AFK, the World Bank, and KTZ.

5.4. Limitations of the Scenario Forecast

Several limitations of the scenarios presented here warrant explicit acknowledgment. First, there is a persistent and statistically significant discrepancy between Chinese and Kazakhstani bilateral trade statistics: in 2025, Chinese customs recorded bilateral trade with Kazakhstan at USD 48.7 billion, while AFK recorded USD 34.1 billion — a gap of roughly 37%, attributable to differing valuation methodologies (CIF versus FOB), the attribution of transit trade, and informal flows. An even more extreme case is Kyrgyzstan, whose reported bilateral trade with China (USD 27.2 billion) exceeds the country's entire GDP (approximately USD 22 billion), almost certainly reflecting large-scale sanctions-circumvention transit flows destined for Russia. Second, some claims contained in the underlying compilation materials could not be independently verified — in particular, reports of a CNHƧ stablecoin pilot in Uzbekistan's cotton market (Tether in fact discontinued support for this instrument in early 2026 due to low demand) and reports of a 54% increase in copper concentrate shipments (available Shanghai Metals Market data instead indicate a decline in 2025 shipments following a safety incident at a KAZ Minerals mine). These discrepancies do not negate the overall direction of the trends identified, but they do warrant caution in interpreting specific point estimates.

6. Institutional Conditions for Converting Infrastructure Investment into Trade Growth

A central claim of this study is that the volume of infrastructure investment is not, by itself, a sufficient condition for sustained trade growth: the decisive factor is the institutional capacity of transit states — Kazakhstan foremost among them — to move from a "corridor economy" model to a "connected economy" model, in which transit flows generate local economic linkages (processing, warehousing and logistics services, financial intermediation) rather than remaining confined to throughput fees.

Empirical evidence points to uneven progress in this direction. On the positive side, the diversification of Kazakhstan's agricultural exports offers an encouraging precedent: agricultural exports grew 37% year-on-year, and the share of processed products exceeded 50% for the first time (USD 3.6 billion of a total USD 7.0 billion in agricultural exports in 2025) — up from total agricultural exports of USD 3.1 billion in 2018. A deliberate shift in cropping structure (reducing wheat acreage by nearly 900,000 hectares in favor of oilseeds — an increase of over 1 million hectares — and pulses — an increase of 275,000 hectares) has propelled Kazakhstan to eighth place globally in sunflower-oil exports and sixth in lentil exports. A government program for 2026–

2028 envisages USD 3.8 billion in investment in deep grain processing (amino acids, syrups, vitamins), expected to create more than 3,300 jobs.

On the other hand, by the industry's own account, containerization of Kazakhstan's domestic freight traffic stands at only about 7%, against a global average exceeding 16% — indicating a persistent gap between announced infrastructure investment and its operational realization. The "corridor economy" model, in which transit revenue remains largely confined to throughput fees rather than generating captured value added, continues to dominate the rail and container segment, even as it visibly loses ground in the agricultural sector.

A comparable dynamic applies to the financial infrastructure underpinning these trade flows. Renminbi-denominated settlement shows quantitative growth: the Cross-Border Interbank Payment System (CIPS) processed transactions worth approximately RMB 90.2 trillion in the first half of 2025 (up 42.6% year-on-year relative to full-year 2024), with connectivity now spanning 121 countries. Kazakhstan and China maintain an active currency-swap agreement (RMB 7 billion / KZT 350 billion), WeChat Pay has been integrated with Kazakhstan's National Bank (April 2025), and Kazakhstan participates as an observer in the mBridge multi-CBDC project. Nonetheless, the share of renminbi-denominated settlement specific to Central Asian trade is not publicly disaggregated, which leaves open the risk that the region's dollar dependency could be replaced by a new form of currency dependency on the renminbi, given the persistent asymmetry between the economic weight of the parties involved.

Taken together, the durability of each of the three scenarios presented in Section 5 depends not only on the physical completion of the relevant infrastructure projects but also on parallel development of institutional mechanisms — customs digitalization, single-window clearance, mutual recognition of data — that reduce the institutional (as opposed to physical) costs of transit, which the sources reviewed here identify as the corridor's principal efficiency constraint at present.

7. Discussion and Policy Recommendations

These findings carry practical implications for the formulation of Kazakhstan's transit and trade policy. First, the scenario differentiation shows that Kazakhstan's exposure to commodity-price volatility (oil, copper, and uranium account for roughly half of the country's total exports) remains a more significant short-term driver of trade-turnover volatility than the choice of a specific transport-investment model; accordingly, accelerating agricultural and industrial export diversification is a tool for reducing the sensitivity of the trade balance to the scenario assumptions examined in Section 5.

Second, realizing Scenario B (accelerated development of the Middle Corridor) requires not so much an increase in announced investment as the removal of specific physical bottlenecks — expansion of Caspian ferry capacity, bringing Aktau port infrastructure into line with stated throughput targets, and deeper institutional cooperation with Azerbaijan and Georgia on the throughput capacity of the Baku–Tbilisi–Kars railway.

Third, minimizing the risks embedded in Scenario C calls for diversifying transit partners and building multimodal transport capabilities (rail–road and rail–sea combinations in parallel), thereby reducing dependence on any single bottleneck along either route.

Fourth, the institutional agenda — customs digitalization, regulatory harmonization, and reduction of duplicate documentation — represents the policy direction with the highest ratio of potential impact to required investment, since, unlike capital-intensive infrastructure projects, institutional reform requires comparatively modest capital outlay while directly determining whether the value added generated by transit is retained within the Kazakhstani economy.

8. Conclusion

This study shows that the growth of bilateral trade between China and the Central Asian states — which more than doubled over 2021–2025, from USD 49.6 billion to USD 106.3 billion — cannot be reliably extrapolated without accounting for differences among the three alternative transport-infrastructure investment models. The three scenarios developed here — baseline (9–11% CAGR, USD 160–170 billion by 2030), accelerated Middle Corridor development (13–15%, USD 195–210 billion), and geopolitical escalation (5–7%, USD 140–150 billion) — demonstrate that the range of possible trade-turnover trajectories by 2030 spans roughly USD 60–70 billion, a magnitude comparable to the region's entire trade volume in 2021.

The central conclusion of this study is that the decisive factor in realizing the optimistic scenario is not the volume of announced capital investment — which remains substantial across all three scenarios — but rather the institutional capacity of transit states, Kazakhstan foremost among them, to convert transit-hub status into a genuine source of captured value added through the development of processing, logistics services, and financial intermediation. The transformation of Kazakhstan's agricultural exports demonstrates that such conversion is technically achievable, while the persistently low level of domestic freight containerization indicates the limits of progress achieved thus far.

Future research should focus on econometric validation of the scenarios presented here as actual 2026–2027 data accumulate, as well as on a more granular analysis of the institutional barriers in border administration that determine the pace at which the region transitions from a "corridor economy" to a "connected economy."

References

1. Belt and Road Economics: Opportunities and Risks of Transport Corridors. Washington, DC: World Bank Group, 2019. 240 p.
2. Pantucci R., Petersen A. Sinostan: China's Inadvertent Empire. Oxford: Oxford University Press, 2022. 480 p.
3. Hamilton R. E. China–Russia Relations in Central Asia: A Great Power Transition. Philadelphia: Foreign Policy Research Institute, 2024.
4. Kassenova N. China's Silk Road and Kazakhstan's Economic Diplomacy // Davis Center for Russian and Eurasian Studies, Harvard University, 2023–2025.
5. Kazakhstan's Omni-Enmeshment: Multi-Vectorism as Strategic Hedging // International Affairs. Oxford Academic, 2024–2025.
6. General Administration of Customs of the People's Republic of China (GACC). Foreign trade statistics with Central Asian states, 2021–2025. [Online]. Available at: <http://www.customs.gov.cn>
7. Ministry of Commerce of the People's Republic of China (MOFCOM). Press briefing of 18 January 2026 on China's 2025 trade with the Central Asian states.
8. Association of Financiers of Kazakhstan (AFK). Analytical review of the Republic of Kazakhstan's foreign trade with the People's Republic of China, 2025.
9. Kazakhstan Railways (KTZ). Press releases on Khorgos dry port throughput and the Almaty bypass railway construction, 2025–2026.
10. International Finance Corporation (IFC), Asian Infrastructure Investment Bank (AIIB). Announcements on KTZ infrastructure project financing, January 2026.
11. Lyu Junfeng. Doctoral research on China–Kazakhstan logistics cooperation within the China–Europe corridor (Qilu-hao), Al-Farabi Kazakh National University, 2025–2026 (unpublished).
12. Shandong Gaosu Qilu-hao Investment Development Co., Ltd. Corporate profile. Qingdao, 2025.
13. Background materials on the operation of Shandong's China–Europe container trains in Central Asia, as of May 2025. Government of Shandong Province, 2025.

14. Report on the operation of Shandong's China–Europe container trains in Kazakhstan. Government of Shandong Province, 2025.
15. Report on the development of Chinese enterprises in Kazakhstan, 2023–2024. Embassy of the People's Republic of China in the Republic of Kazakhstan, 2024.
16. Eurasianet. Middle Corridor traffic and infrastructure bottlenecks, various issues, 2025.
17. The Astana Times. Kazakhstan–China trade statistics and infrastructure coverage, various issues, 2025–2026.
18. The Times of Central Asia. Trans-Caspian route and railway development coverage, various issues, 2025–2026.
19. Carnegie Endowment for International Peace. Central Asia and Chinese economic engagement, analytical series, 2025.
20. The Jamestown Foundation. Geopolitical risk assessments of Eurasian transport corridors, 2025.
21. Second Line of Defense. September 2025 Poland–Belarus border incident and Northern Corridor disruption analysis, 2025.
22. Shanghai Metals Market (SMM). Copper concentrate flow data, Kazakhstan–China trade, 2025.

Economic Impacts of Azerbaijan's Energy Diplomacy

Sarvan Safarov

M.Sc., Baku Higher Oil School (BHOS), Azerbaijan, ORCID – 0009 – 0007 – 8510 - 9388

Sarra Safarov

M.Sc., Azerbaijan Technical University, Azerbaijan, ORCID - 0009 – 0002 – 7343 - 9279

Lachin Javadov

M.Sc., Baku Engineering University, Azerbaijan, ORCID – 0009 – 0008 – 4124 – 3128

Keywords: *Energy diplomacy, macroeconomic indicators, Azerbaijani economy, energy security, oil and gas sector, Southern Gas Corridor, foreign investments, green energy, non-oil sector, sustainable economic development.*

ABSTRACT

The article provides a comprehensive analysis of the formation stages, economic essence, and impacts of Azerbaijan's energy diplomacy on the development of the national economy. Within the study, the role of energy diplomacy as a strategic tool of foreign policy in strengthening the country's international standing, ensuring energy security, and maintaining macroeconomic stability is investigated. The impact of Azerbaijan's rich oil and natural gas reserves, the "Contract of the Century", Baku-Tbilisi-Ceyhan, Baku-Tbilisi-Erzurum, TANAP, and TAP projects on the country's economic development, attraction of foreign investments, and integration into the international energy market is evaluated on scientific grounds. Based on the macroeconomic indicators of 2026, the article analyzes the impact of energy diplomacy on gross domestic product (GDP) growth, state budget revenues, strategic foreign exchange reserves, foreign trade turnover, investment flows, and employment. Concurrently, the contributions of energy projects to the development of the non-oil sector, industrial diversification, and the reinforcement of economic resilience are demonstrated. The study also evaluates the development prospects of green energy diplomacy, the economic significance of renewable energy potential, international green energy projects, and the opportunities and challenges facing Azerbaijan in the context of the global energy transition. Consequently, it is determined that energy diplomacy is one of the key factors of strategic importance in ensuring Azerbaijan's long-term economic development, international competitiveness, and national energy security.

Introduction

In the modern system of international relations and the global political-economic arena, the energy factor plays a decisive and strategic role in shaping the foreign policy course of states possessing hydrocarbon resources. Against the backdrop of global industrialization and population growth, the continuously rising demand for energy resources has created complex dependency relationships among actors involved in the production, transportation, and consumption chain of these resources. Delivering energy reserves to international markets through reliable, secure, and diversified routes not only generates large-scale financial inflows and economic profits for exporting countries but also expands their strategic maneuverability in the global geopolitical arena and strengthens the economic foundations of their sovereignty. In this regard, energy diplomacy, acting as a universal foreign policy tool in the realization and protection of national interests on the international stage, has become a fundamental mechanism regulating transnational partnerships at all stages—from the extraction of relevant resources to their delivery to the final consumer.

Following the restoration of its national independence, the Republic of Azerbaijan, under extremely complex geopolitical conditions and domestic economic decline, identified its rich oil and gas potential as the primary driving force for preserving state independence, restructuring the internal economic framework, raising social welfare, and attracting foreign investment. Azerbaijan's energy diplomacy, conceptually initiated with the signing of the "Contract of the Century" in 1994 and evolving in subsequent decades through infrastructure projects of regional and global significance, has transformed the country into the geopolitical center of the South Caucasus region and an alternative, reliable partner for Europe's energy security. The economic impacts of this purposeful policy pursued by the Republic are clearly manifested in ensuring domestic macroeconomic stability, financing the non-oil industry, executing large-scale infrastructure projects, and developing human capital.

The relevance of this research stems from the necessity to evaluate Azerbaijan's strategic position within the global energy security architecture, as well as the multiplier (chain-reaction) effects of its multi-vector foreign policy concept on the domestic economy and its future development prospects within the framework of modern scientific and theoretical aspects, supported by concrete statistical data.

Concept and Economic Significance of Energy Diplomacy

Energy diplomacy is the combination of political and economic methods applied by states in their foreign policy activities to guarantee national energy security on a global scale and to achieve strategic goals in the processes of exporting, importing, and transiting hydrocarbon resources and alternative energy sources. In the modern system of international relations, this concept is described as a unique system of relations connecting raw resource owners with international consumer markets and transit geographies, aimed at maximizing direct macroeconomic dividends and national security interests (1, p. 48).

According to scientific approaches, energy diplomacy is not limited merely to raw material trade; it ensures the establishment of consensus platforms where the economic interests of global powers, transnational corporations, and regional states intersect (2, p. 112).

The fundamental importance of energy diplomacy for domestic and foreign economies and its transmission mechanisms can be classified into several conceptual groups. First and foremost, successful energy diplomacy is a key factor that directly enhances foreign investment attractiveness. Resource-rich countries possessing international legal guarantees and a stable foreign policy course acquire the status of a reliable partner for global transnational oil and gas companies, which enables the direct transfer of large-scale financial investments and advanced technologies into the domestic market (2, p. 119).

Secondly, this diplomacy is one of the most critical mechanisms of economic diversification. Directing export pipelines and transport routes toward geographically diverse destinations liberates the exporting state from the dictation of a single buyer market or a single transit country, thereby building strong immunity in the domestic market against external economic shocks (1, p. 64).

Finally, the economic significance of energy diplomacy manifests itself in the formation of national income, state budget revenues, and strategic foreign exchange reserves. Foreign currency inflows from hydrocarbon exports preserve the exchange rate stability of the national currency, neutralize inflationary pressures, and provide the state with the initial fiscal capital necessary to finance non-energy industries (2, p. 135). Thus, as the art of managing foreign policy through economic instruments, energy diplomacy determines the position of states in the global division of labor.

Formation of Azerbaijan's Energy Diplomacy

The history of formation and evolution of the modern energy diplomacy of the Republic of Azerbaijan is closely linked with the implementation of the new oil strategy, which was formulated

by the National Leader Heydar Aliyev and became the long-term development doctrine of the state. Under the conditions of domestic political instability and severe socio-economic crisis prevailing in the country in the early 1990s, the creation of legal, political, and security guarantees to attract foreign capital to the development of the Caspian Sea's hydrocarbon resources constituted the initial and most risky stage of this strategy (4, p. 38).

The formation path of Azerbaijan's energy diplomacy can be categorized chronologically and functionally into three main stages:

The First Stage (Initial Institutional Building): This phase began on September 20, 1994, in Baku, with the signing of the agreement for the joint development and production sharing of the "Azeri-Chirag-Gunashli" (ACG) block of fields located in the Azerbaijani sector of the Caspian Sea with an international consortium—an agreement that went down in history as the "Contract of the Century". With this contract, transnational corporations of the world's leading states entered the Azerbaijani market, laying the foundation for the country's integration into the international financial and economic system (3, p. 124).

The Second Stage (Realization of Export Infrastructure): This stage encompasses the construction of the pipeline architecture with the aim of delivering extracted large volumes of oil and gas scenarios directly and independently to world markets. As a result of commissioning the Baku-Tbilisi-Ceyhan (BTC) main export oil pipeline in 2006 and the Baku-Tbilisi-Erzurum (BTE) gas pipeline in 2007, Azerbaijan liberated itself from regional dependencies and assumed the function of the central actor of the East-West energy corridor (4, p. 92).

The Third Stage (Global Gas Exporter Status): This phase is characterized by the development of the "Shah Deniz-2" project and the construction of the Southern Gas Corridor (the TANAP and TAP pipeline network). With the transportation of commercial gas to Europe via TAP starting from December 2020, Azerbaijan's energy diplomacy completely transcended regional boundaries, acquiring a global and intercontinental scale (1, p. 184).

These consecutive efforts have elevated the country from being a mere transit or participating state in international projects to the status of a direct initiator, investor, and key political-economic regulator of global projects.

Economic Potential of Azerbaijan's Energy Resources

The rich and diversified hydrocarbon reserves of the Republic of Azerbaijan in the Caspian basin constitute the domestic resource base of the country's macroeconomic stability, financial sovereignty, and long-term economic development prospects. Large-scale geological exploration, seismic analysis, and well-drilling operations conducted over the past decades have proven that the country's oil and natural gas reserves possess high competitiveness in global energy markets, both in terms of their geographic-geostrategic location and optimal extraction cost (5, p. 74). The economic potential of these resources is measured not only by the physical volume of raw materials present in the fields but also by the system of multiplier (chain-reaction) effects they exert on domestic industrialization, foreign trade balance, and the redistribution of national income.

The "Azeri-Chirag-Gunashli" (ACG) block of fields, which forms the core of the Republic's hydrocarbon potential and the primary driving force of its oil strategy, possesses a geological oil potential of approximately 1 billion tons of high-quality, deep-water oil reserves (3, p. 156). This massive resource base has played a fundamental role in maintaining domestic macroeconomic stability by ensuring the continuity of direct foreign currency inflows into the country. The management of oil produced within the framework of ACG in accordance with the "Profit Oil" model stipulated in international agreements laid the groundwork for the continuous growth of the assets of the State Oil Fund of the Republic of Azerbaijan (SOFAZ). These accumulated strategic foreign exchange reserves, while safeguarding the exchange rate of the national currency (the manat) against external shocks and global financial crises, have formed the revenue side of the

state budget, completely eliminated the capital shortage problem in the domestic financial system, and paved the way for direct government investment-oriented financing of transportation, social, and municipal infrastructures within the country.

The other crucial, strategic, and long-term pillar of the economic potential in the hydrocarbon era is the “Shah Deniz” condensate and gas-condensate field. With confirmed reserves of more than 1.2 trillion cubic meters of natural gas and hundreds of millions of tons of condensate, this field is recognized as one of the largest gas-condensate assets on a global scale (5, p. 88). The economic potential of the “Shah Deniz” field facilitated Azerbaijan’s rise to the status of a major regional and global gas supplier, freeing the country from unilateral oil dependence. Serving as the primary resource base feeding the transport artery of the Southern Gas Corridor (SGC), this field enabled the signing of long-term (20-25 years) “take-or-pay” purchase agreements with European Union countries and regional consumers. In a competitive market conjuncture, this guarantees the inflow of stable, price-fluctuation-hedged financial revenues into the national economy for decades to come.

In addition to the successful exploitation of existing large-scale projects, the discovery of promising structures such as “Absheron”, “Babek”, and “Umid”, as well as their phased development, is capable of increasing the country’s total gas potential by more than 500 billion cubic meters (5, p. 95). These additional reserves play an essential role in domestic economic scenarios; they fully satisfy the natural gas demand of rapidly increasing domestic urbanization, industrial zones, and local power plants, thereby ensuring the energy security of the domestic market. Simultaneously, these new fields shape the necessary resource assurance to realize the targets of doubling the throughput capacity of existing export pipelines (TANAP and TAP) in the future.

The real economic benefit of this vast resource base is not limited to exporting them unilaterally to foreign markets as raw materials or crude fuel and bringing petrodollars into the country. The reliable, investment-friendly environment shaped by Azerbaijan’s energy diplomacy on the global stage has opened wide opportunities for directing the extracted oil and natural gas toward deep and diversified processing industries within the country (3, p. 192).

The establishment of a modern petrochemical industry, nitrogen fertilizer production plants, methanol plants, as well as large-scale chemical complexes such as “SOCAR Polymer” based on high technologies directly relies on this domestic resource potential and its low-cost raw material base.

Processing low-value-added raw materials domestically through high-tech processes and delivering them both to domestic and international markets as finished products (various polymers, polypropylene, polyethylene, nitrogen-urea fertilizers, special lubricating oils) serves to generate high value added in Azerbaijan. This process significantly stimulates the share of the non-oil industry and export potential in the foreign trade balance, reduces dependency on imports, secures the raw material chain necessary for other branches of the national industry through domestic production, and most importantly, provides a powerful socio-economic boost to the formation of thousands of new, permanent, and highly qualified local jobs and a new generation of engineers (5, p. 114).

Main Body

Impact of Energy Diplomacy on Macroeconomic Indicators

Based on the information provided in the introduction, it is clear that energy diplomacy occupies a vital position in Azerbaijan. Naturally, discussing the macroeconomic indicators of this diplomacy is also of utmost importance. First, it is essential to explain the concepts of macroeconomics and macroeconomic indicators. Macroeconomics is the fundamental branch of economics that studies national and global economic systems as a whole, investigating theoretical and empirical interactions among aggregate economic indicators such as economic growth, inflation,

unemployment, national income, gross domestic product, monetary and fiscal policies, balance of payments, foreign trade, exchange rates, and economic stability. The main objective of macroeconomics is to identify the patterns of economic processes, analyze the causes and consequences of economic fluctuations, formulate economic policy mechanisms that ensure the efficient use of limited resources, and make scientifically grounded contributions to securing long-term sustainable economic development.

Energy diplomacy encompasses the political and economic cooperation activities carried out by states regarding the extraction, transportation, and delivery of energy resources to international markets. For Azerbaijan, energy diplomacy has become one of the main driving factors of economic development through the efficient management of oil and natural gas reserves, the establishment of strategic partnerships, and active participation in international energy projects. In particular, the Southern Gas Corridor, Baku-Tbilisi-Ceyhan, and other international energy projects have made significant contributions to increasing foreign exchange inflows, attracting investments, and strengthening financial stability. To evaluate these impacts more concretely, an analysis of the main macroeconomic indicators for January–June 2026 is appropriate.

During January–June 2026, a positive macroeconomic dynamic was observed in the economy of Azerbaijan. In this period, the volume of Gross Domestic Product (GDP) reached 65.2 billion manats, representing an increase of 0.8% compared to the corresponding period of the previous year. Although the GDP of the oil and gas sector decreased by 0.7% to 19.6 billion manats, the non-oil-and-gas GDP reached 45.6 billion manats, demonstrating an increase of 1.5%. These figures show that the revenues generated by energy diplomacy support the development of the non-oil sector. Positive results were also achieved in the real sector. Industrial production amounted to 33.1 billion manats; growth rates of 4.1% in non-oil industry, 2.2% in agriculture, 8.0% in transport and warehousing services, 7.5% in information and communication services, and 3.7% in retail trade turnover were recorded. Investments directed to fixed capital increased by 13.8% to reach 9.3 billion manats, indicating that financial resources obtained from energy projects are being channeled into other areas of economic development. Stability was also maintained in public finance and the banking sector. State budget revenues amounted to 19.2 billion manats, and expenditures were 16.8 billion manats, resulting in a budget surplus of 2.4 billion manats. As of July 1, 2026, the country's strategic foreign exchange reserves reached 85.8 billion USD, increasing by 10.4% compared to the same period of the previous year. The external public debt decreased by 7.9% to 4.6 billion USD. These indicators demonstrate that revenues from energy exports strengthen the country's financial resilience. In the social sphere, nominal incomes of the population increased by 10.3% to 47.3 billion manats, and the average monthly nominal wage grew by 7.3% to 1,175 manats. Inflation, measured by the consumer price index, was recorded at 5.7%. Foreign trade indicators reflect the macroeconomic outcomes of energy diplomacy even more clearly. In January–May 2026, foreign trade turnover amounted to 22.2 billion USD, an increase of 9.5%. Exports reached 15.3 billion USD, growing by 49.2%, while non-oil exports stood at 5.1 billion USD. Concurrently, imports decreased by 31.6% to 6.8 billion USD. These results show that the international energy projects implemented within the framework of Azerbaijan's energy diplomacy increase foreign exchange inflows, improve the balance of payments, and contribute significantly to the consolidation of macroeconomic stability (6).

Impact of Energy Projects on Investment and Employment in Azerbaijan

The energy projects implemented by Azerbaijan play an essential role in attracting foreign investments to the country and increasing employment. In particular, projects realized in the renewable energy field form favorable conditions for diversifying the energy sector, expanding private investments, and creating new jobs. In this direction, the Azerbaijan Renewable Energy Integration Project (AZURE), approved by the World Bank in March 2025, is of particular importance. Within the project framework, a loan of 173.5 million USD was allocated by the

International Bank for Reconstruction and Development (IBRD). These funds are directed toward modernizing the electricity transmission network, strengthening energy infrastructure, and utilizing Azerbaijan's renewable energy potential more efficiently. As a result of the project's implementation, it is expected that 384 million USD in private investment will be mobilized in the initial phase. Simultaneously, the connection of the 240 MW Absheron-Garadagh wind power plant to the national grid, the expansion of high-voltage transmission lines, and the integration of 1 GW of private renewable energy generation into the grid will be ensured. Furthermore, the resilience of the electricity grid will be enhanced to allow the secure integration of 1.8 GW of renewable energy generation into the system in the future. Strengthening the energy infrastructure serves not only to ensure energy security but also to accelerate economic development. The execution of new energy projects stimulates the opening of new jobs in the fields of construction, engineering, transport, services, and energy, increases private sector activity, and has a positive impact on expanding employment in the regions. Concurrently, investments directed to the energy sector support the development of related economic sectors, contributing to the reinforcement of the country's long-term economic resilience (7).

The trends mentioned above are further strengthened by the continuous expansion of international partnership relations in Azerbaijan's energy sector. New collaborations implemented within the framework of the country's energy diplomacy serve to attract foreign investments, apply advanced technologies, and increase employment in the energy industry. From this perspective, the international cooperation initiatives carried out by SOCAR in 2026 are of special significance. In this direction, the meeting held on July 9, 2026, between the President of SOCAR, Rovshan Najaf, and the Chief Executive Officer of Technip Energies Italy S.p.A., Carlo Cursi, is of great importance. During the meeting, the parties highly appreciated the successful cooperation relations formed over many years and discussed cooperation opportunities in the fields of applying innovative production solutions in the petrochemical industry, increasing productivity, and improving energy efficiency. Furthermore, the participation prospects of Technip Energies Italy S.p.A. in energy projects implemented by SOCAR in foreign countries, as well as joint activity opportunities in green energy and decarbonization projects, were reviewed. As a result of the meeting, a Memorandum of Understanding was signed between the parties. The memorandum envisages the identification of potential areas of cooperation within the "Petkim Master Plan" project. This collaboration demonstrates that Azerbaijan's energy diplomacy expands investment opportunities through international partnerships. Projects implemented jointly with foreign companies contribute significantly to the transfer of new technologies, modernization of industrial production, creation of new employment opportunities for highly qualified personnel, and enhancement of the competitiveness of the country's energy sector (8).

The economic significance of energy projects is not limited only to attracting investments; they also make important contributions to increasing employment and developing human capital. Projects implemented in Azerbaijan's renewable energy sector support the development of the labor market by stimulating the creation of new jobs. According to the Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2025 report by the International Renewable Energy Agency (IRENA), 1,547 people were employed in Azerbaijan's renewable energy sector in 2024. The largest share of employment fell to the hydropower sector with 617 people, and the municipal and industrial waste-to-energy sector with 615 people; 267 people worked in the wind energy field, 36 people in solar photovoltaics, and 12 people in the biogas sector. The report emphasizes that the implementation of large-scale renewable energy projects in the country will create conditions for further employment growth, the formation of new specialties, and the strengthening of high-qualification personnel potential in the energy sector in the coming years (9).

Impact of Energy Diplomacy on the Non-Oil Sector

The economic outcomes of energy diplomacy are not confined solely to the development of the oil and gas industry. The international energy collaborations implemented in recent years and the steps taken to diversify energy policy have also given a significant boost to the development of the non-oil sector. In particular, the legal and institutional framework established in the field of renewable energy has created conditions for new investment opportunities, the application of innovative technologies, and the enhancement of the competitiveness of the non-oil economy. One of the priority directions of Azerbaijan's energy diplomacy is the diversification of energy sources and the involvement of renewable energy potential in economic circulation. For this purpose, consistent reforms have been implemented in the country to expand the use of renewable energy sources in electricity generation, increase energy efficiency, and strengthen energy security. The Law "On the Use of Renewable Energy Sources in the Production of Electricity", adopted in 2021, created a legal basis for the realization of projects in this field, formed a more favorable business environment for investors, and expanded private sector access to the energy market. These reforms implemented within the framework of energy diplomacy have also had a positive impact on the development of production and service areas in the non-oil sector. New energy projects have led to increased economic activity in non-oil sectors such as construction, engineering, equipment manufacturing, transport-logistics, information technology, and professional services. Simultaneously, improving energy efficiency has enabled enterprises to reduce production costs, utilize resources more efficiently, and raise the competitiveness of non-oil products. Azerbaijan's high solar and wind potential also forms crucial advantages for the development of the non-oil economy. According to the assessments of the Ministry of Energy, the country's technical solar energy potential is approximately 23,000 MW, and its wind energy potential is 3,000 MW. In addition, bringing hydropower, geothermal, and biomass energy resources into economic circulation lays the groundwork for the emergence of new economic activities in industrial, agricultural, and service sectors. Furthermore, measures taken to increase energy efficiency within the framework of energy diplomacy contribute significantly to the sustainable development of the non-oil sector. Efficient use of energy resources creates conditions for optimizing the production costs of enterprises, increasing productivity, and expanding export potential. Concurrently, natural gas and oil reserves saved through reduced energy consumption are directed to foreign markets, serving to consolidate macroeconomic stability by increasing the country's export revenues (10).

Conclusion

Economic Risks and Challenges of Energy Diplomacy

Although energy diplomacy is one of the main pillars of Azerbaijan's economic development, structural changes occurring in the global energy market shape new economic risks and challenges in this area. Revenues from oil and natural gas exports have supported the country's economic growth, state budget revenues, and foreign trade balance for many years. However, the transformation taking place in international energy markets necessitates the implementation of energy diplomacy based on more flexible and resilient mechanisms. According to the assessment of the International Energy Agency (IEA), oil and gas currently generate approximately 90 percent of Azerbaijan's export revenues and 60 percent of state budget revenues. At the same time, these resources satisfy 98 percent of the country's primary energy demand and more than 90 percent of its electricity generation. While these figures confirm the strategic role of the energy sector in the national economy, they also demonstrate the high dependence of the economy on hydrocarbon resources. One of the main economic risks is price volatility in the world energy market. The sharp decline in oil prices observed in 2014-2015 and 2020 seriously affected the financial stability of energy-exporting countries, making it necessary for Azerbaijan to accelerate

reforms aimed at economic diversification. Another major challenge is related to the global energy transition. Major energy importers such as the European Union, Japan, and South Korea have adopted carbon neutrality targets by 2050, and China by 2060. In the long term, this process increases the likelihood of a decline in demand for traditional oil and gas resources, posing new strategic risks for energy-export-dependent economies (11).

Under these conditions, one of the main tasks facing energy diplomacy is the diversification of energy sources, the expansion of renewable energy projects, and the promotion of private investments. The IEA believes that strengthening the competitive environment in the energy market, establishing tariff policies on economic foundations, progressively optimizing energy subsidies, and increasing energy efficiency will play an important role in ensuring Azerbaijan's long-term energy security and economic resilience. These reforms will create conditions both for attracting new investments and for raising the competitiveness of the energy sector. Concurrently, the future development of energy diplomacy should not be limited merely to increasing energy exports. Directing energy revenues to the development of the non-oil sector, expanding the application of innovation and high technologies, as well as developing scientific research and human capital in the field of renewable energy, are of strategic importance from the standpoint of reducing economic risks. This approach will enable Azerbaijan to maintain its competitiveness in the era of global energy transition, ensure that energy diplomacy serves sustainable economic development goals, and strengthen the national economy's resilience against external shocks (11).

For energy diplomacy to yield sustainable economic benefits, alongside the efficient management of the country's energy resources, strengthening energy security and the institutional development of the energy market are of great importance. From this perspective, although Azerbaijan's rich hydrocarbon reserves grant the country an essential strategic advantage in the international energy market, converting this advantage into long-term economic outcomes directly depends on the development of modern energy infrastructure and the improvement of market mechanisms. While Azerbaijan is one of the largest oil and natural gas producers in the Caspian basin, it plays a vital role in international energy security through transnational energy transport routes such as Baku-Tbilisi-Ceyhan (BTC), Baku-Supsa, Baku-Novorossiysk, and the Southern Gas Corridor. Diversifying export routes expands the country's access to foreign markets and serves to share geopolitical and commercial risks, ensure the sustainability of exports, and strengthen the economic resilience of energy diplomacy. At the same time, the efficiency of energy diplomacy depends on the development level of the domestic energy infrastructure. In recent years, as a result of modernizing electricity transmission and distribution networks, the reliability of energy supply has increased significantly, technical losses have decreased, and the continuous supply of electricity has been strengthened. Investments made in this direction have increased the operational stability of industrial enterprises and positively influenced the formation of new production areas and the improvement of the investment climate. However, the dominant position of state enterprises in the energy market and the limitations of the competitive environment are evaluated as factors that restrict the economic efficiency of energy diplomacy. For this reason, the gradual liberalization of the energy market, expanding the access of independent producers to the market, establishing a wholesale electricity market, and promoting private investments are of great importance for increasing the financial sustainability of the energy sector. The development of market mechanisms based on competition can create conditions for more efficient resource utilization, the application of innovative technologies, and the improvement of service quality (12).

Another key challenge is preserving the balance between energy security and economic efficiency. Alongside reliably meeting domestic energy demand, maintaining and expanding export potential remains one of the main priorities of energy diplomacy. To this end, increasing production capacities, expanding transmission networks, improving the management of energy

reserves, and deepening regional energy cooperation serve to secure the country's long-term economic interests. The future success of Azerbaijan's energy diplomacy is determined not only by the volume of existing energy reserves but also by the modernization of energy infrastructure, the consistent execution of market reforms, the improvement of the investment climate, and the expansion of international energy cooperation. Steps taken in these directions will enhance the competitiveness of the country's energy sector and strengthen the resilience of the national economy against external risks (12).

Green Energy Diplomacy and Future Development Prospects

In the modern development stage of energy diplomacy, one of the main priority directions is ensuring the transition from the traditional energy model to the green energy model. From this perspective, in recent years, Azerbaijan has shaped its energy policy to focus not only on the export of hydrocarbon reserves but also on the development of renewable energy sources and the expansion of international green energy cooperation. Thus, the new phase of energy diplomacy serves the objectives of accelerating economic diversification, strengthening energy security, and ensuring sustainable economic growth. The regulatory-legal framework adopted in this direction has formed the institutional foundations of green energy policy. Energy reforms implemented under the leadership of President Ilham Aliyev, especially the 2019 Decree on accelerating reforms in the energy sector, the 2021 Law "On the Use of Renewable Energy Sources in the Production of Electricity", and the "Strategy for Socio-Economic Development of the Republic of Azerbaijan in 2022–2026", have turned the development of green energy diplomacy into one of the priority directions of state policy. Azerbaijan's renewable energy potential significantly expands the country's long-term economic development prospects. According to calculations, the country possesses a technical renewable energy potential of 135 GW on land and 157 GW in the Azerbaijani sector of the Caspian Sea. Evaluating the economically viable potential at 27 GW creates a favorable basis for Azerbaijan to become a regional green energy exporter in the future. Currently, the operation of renewable energy stations with a total capacity of 2,070 MW in the country and their share in total energy production capacity exceeding 20 percent demonstrate the progressive diversification of the energy balance. The economic efficiency of green energy diplomacy manifests itself primarily in attracting international investments. Projects implemented with international companies such as UAE's Masdar, Saudi Arabia's ACWA Power, bp, Universal International Holdings, Nobel Energy, TotalEnergies, and others have facilitated the inflow of hundreds of millions of USD in foreign investment into the country. The Garadagh Solar Power Plant, Khizi-Absheron Wind Power Plant, Shafag Solar Power Plant, and other large-scale projects do not just increase electricity production; they also enable the saving of hundreds of millions of cubic meters of natural gas annually, the significant reduction of carbon emissions, and the formation of additional export potential. Simultaneously, Azerbaijan's green energy policy plays a vital role in the economic reintegration of liberated territories. Declaring Karabakh and Eastern Zangezur a "Green Energy Zone" serves to establish modern energy infrastructure in those territories, implement renewable energy projects, form new production and service areas, improve the investment climate, and accelerate the socio-economic development of the region. In parallel, measures carried out toward creating a green energy zone in the Nakhchivan Autonomous Republic aim to develop the country's energy space under a unified system. One of the prominent directions in Azerbaijan's green energy diplomacy is the formation of international green energy corridors. The Caspian-Black Sea-Europe Green Energy Corridor, the Central Asia-Azerbaijan Green Energy Corridor, the Azerbaijan-Turkey-Europe, and the Azerbaijan-Georgia-Turkey-Bulgaria green energy cooperation projects further strengthen the country's position as a regional energy hub. These initiatives form critical economic prospects for Azerbaijan to become one of the main countries exporting not only natural gas but also green electricity in the future. Furthermore, studies conducted in the direction of low-carbon hydrogen production and the

National Hydrogen Strategy presented within the framework of COP29 are considered key elements of the new phase in Azerbaijan's energy diplomacy. Low-carbon hydrogen production and export investigations can allow for the diversification of the country's energy export structure, the development of new industrial sectors generating high value added, and the reinforcement of competitive advantages in the international energy market. Overall, green energy diplomacy shapes a qualitatively new development stage in Azerbaijan's energy policy. This model contributes significantly to strengthening the country's long-term macroeconomic stability and international competitiveness by accelerating the attraction of foreign investments, diversifying energy export routes, developing the non-oil economy, applying innovative technologies, and facilitating the transition to a low-carbon economic system (13).

The Role of Energy Diplomacy in Azerbaijan's Future Economic Development

In the modern era, where the global energy map is rapidly updated and the Fourth Industrial Revolution is reshaping the structure of the economy, Azerbaijan's energy diplomacy is entering a qualitatively new, conceptual stage. In the future economic development strategy, the role of this diplomacy is not limited merely to preserving the export volumes of traditional hydrocarbon resources; it is becoming the primary foreign policy tool regulating the integration of the country's economy into the "green transition" model, the strengthening of its status as a regional logistical hub, and decarbonization (reduction of carbon dioxide emissions) processes (1, p. 210). The strategic roles that energy diplomacy will play and the economic dividends it will generate in Azerbaijan's future development pace can be classified into three fundamental directions:

1. Capitalization of Renewable Energy Potential and "Green Corridors"

The most dynamic direction of Azerbaijan's future energy diplomacy is the inclusion of the country's vast renewable energy (solar, wind, and hydrogen) potential into the global financial circulation. The massive wind energy potential of 157 gigawatts possessed by the Azerbaijani sector of the Caspian Sea, as well as the green energy resources of the liberated Karabakh and Eastern Zangezur zones, are in the spotlight of international investors (5, p. 142).

Agreements signed with global giants such as Masdar, ACWA Power, and bp within the framework of energy diplomacy stimulate the inflow of foreign direct investment (FDI) into the domestic market. In this context, the most critical project for the future economy is the "Azerbaijan-Georgia-Romania-Hungary" green energy corridor, planned to be laid via an electricity cable along the bottom of the Black Sea. Once this project is realized, Azerbaijan will acquire the status of a universal partner exporting not only molecules (natural gas) but also electrons (green electricity) to Europe (1, p. 225). This guarantees long-term and sustainable foreign currency inflows to the country even in the post-hydrocarbon era.

2. "Take-or-Pay" Contracts and Regional Integration

In the field of traditional gas diplomacy, the expansion project of the Southern Gas Corridor (SGC) is the guarantor of economic stability in the coming decades. The target of reaching TAP's throughput capacity to 20 billion cubic meters within the strategic memorandum signed with the European Union increases Azerbaijan's share in the competitive market (4, p. 118). The economic advantage of these projects lies in the fact that the contracts signed with European partners are of a long-term nature (3, p. 204). This strategic guarantee allows the state to accurately forecast future budget revenues, minimize inflation risks, and direct the resulting fiscal surplus (budget surplus) directly toward the development of the non-oil sector, particularly the digital economy and agriculture.

3. Synergy of Energy and Transport Diplomacy: The "Middle Corridor"

In the future development model, energy diplomacy forms a synergy (mutual interaction) with the country's transport-logistics potential. The routes along which large-scale infrastructure projects such as Baku-Tbilisi-Ceyhan or the Southern Gas Corridor are laid also form the institutional foundation of the Trans-Caspian International Transport Route ("Middle Corridor")

(3, p. 215). The multi-lateral diplomacy pursued in the direction of ensuring the transit of oil and hydrocarbon resources of Central Asian states (Kazakhstan and Turkmenistan) through the territory of Azerbaijan turns the country into the main transit hub of the region. This process multiplies the service revenues obtained from the domestic logistics industry (Baku International Sea Trade Port, railway system) and economically capitalizes on the country's importance in the global supply chain (4, p. 135).

Consequently, in the future period, Azerbaijan's energy diplomacy will act as a fundamental catalyst ensuring the transition of the country's economy from unilateral resource dependence to a high-tech, environmentally friendly, and regionally integrated competitive model (5, p. 180).

References

1. Aliyev, N. The Energy Factor and Energy Diplomacy in International Relations. Baku: Elm Publishing House, 2019.
2. Mammadov, R., Gasimov, E. Global Economy and Transnational Partnership Mechanisms. Baku: State University of Economics Publishing House, 2021.
3. Hasanov, K. Azerbaijan's New Oil Strategy and International Integration. Baku: Sharg-Garb, 2015.
4. Huseynov, T. Geopolitical Architecture of the South Caucasus and East-West Energy Corridors. Baku: Elm ve Tehsil, 2018.
5. Sultanov, C. Hydrocarbon Potential of the Caspian Basin and Regional Energy Security. Baku: Nafta-Press, 2020.
6. The State Statistical Committee of the Republic of Azerbaijan. (2026, 10 July). Macro-economic indicators and social development of the country (January–June 2026). <https://stat.gov.az/news/macroeconomy.php?lang=en&page=1>
7. The World Bank. (2025, March 27). Azerbaijan to Strengthen Energy Security and Diversify its Energy Mix. World Bank. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2025/03/27/azerbaijan-to-strengthen-energy-security-and-diversify-its-energy-mix>
8. State Oil Company of the Republic of Azerbaijan (SOCAR). (2026, 9 July). President of SOCAR met with the Chief Executive Officer of "Technip Energies Italy S.p.A." SOCAR. <https://www.socar.az/az/post/socar-in-prezidenti-technip-energies-italy-spanin-bas-icraci-direktoru-ile-gorusub016646>
9. International Renewable Energy Agency (IRENA). (2026, January 13). IRENA: 1,547 jobs recorded in Azerbaijan's renewable energy sector. <https://renewables.az/en/news/irena-1-547-jobs-recorded-in-azerbaijan-s-renewable-energy-sector>
10. International Energy Agency (IEA). (2026). Azerbaijan energy profile: Energy system transformation. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/azerbaijan-energy-profile/energy-system-transformation>
11. International Energy Agency (IEA). (2021). Azerbaijan 2021: Energy Policy Review. Paris: International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/azerbaijan-2021>
12. International Energy Agency (IEA). (2026). Azerbaijan Energy Profile: Energy Security. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/azerbaijan-energy-profile/energy-security>
13. Ministry of Energy of the Republic of Azerbaijan. (2026, March 31). The Use of Renewable Energy Sources in Azerbaijan. Ministry of Energy of the Republic of Azerbaijan. <https://minenergy.gov.az/en/alternativ-ve-berpa-olunan-enerji/azerbaycanda-berpa-olunan-enerji-menbelerinden-istifade>

Legal Sciences

К ВОПРОСУ ОБ УГОЛОВНОЙ ОТВЕТСТВЕННОСТИ ЗА ДРОППЕРСТВО

Усеинова Карлыгаш Рахимжановна

кандидат юридических наук, ассоциированный профессор (доцент), заведующая кафедрой теории и истории государства и права, конституционного и административного права Казахского Национального университета имени аль-Фараби

Кегембаева Жанар Аманжановна

доктор юридических наук, профессор, профессор-исследователь кафедры теории и истории государства и права, конституционного и административного права Казахского Национального университета имени аль-Фараби

Аннотация. В статье рассматриваются актуальные вопросы уголовной ответственности за дропперство как одну из форм вовлечения физических лиц в незаконный финансовый оборот. Авторами анализируется правовая природа действий лиц, предоставляющих банковские счета, платежные карты либо иные реквизиты для совершения финансовых операций, связанных с мошенничеством, легализацией преступных доходов и иными преступлениями в цифровой среде. Особое внимание уделяется проблемам уголовно-правовой оценки поведения дропперов, разграничения соучастия и самостоятельной преступной деятельности, а также установления субъективной стороны деяния. Обосновывается необходимость дальнейшего совершенствования уголовно-правовых и профилактических механизмов противодействия дропперству с учетом развития цифровых финансовых технологий.

Научная статья подготовлена в рамках грантового финансирования по научным и (или) научно-техническим программам на 2025-2027 годы (МНВО РК), направленная на реализацию проекта AP26101531 «Разработка эффективных механизмов пресечения деятельности дропперов в условиях цифровой экономики: устранение правовых пробелов и противодействие преступным сетям».

Ключевые слова: дропперство, уголовная ответственность, финансовое мошенничество, киберпреступность, профилактика преступности.

Развитие дистанционных банковских сервисов, электронных платежных инструментов и цифровых способов коммуникации сегодня привело к кардинальным изменениям самих механизмов совершения имущественных преступлений. В современных мошеннических схемах денежные средства нередко проходят через счета и платежные реквизиты лиц, формально не являющихся организаторами преступления, однако обеспечивающих дальнейшее перемещение, обналичивание либо сокрытие происхождения денежных средств. В юридической и правоприменительной практике такие лица получили наименование дропов или дропперов [1, с. 331]. В зарубежной литературе используется термин «money mule», которым обозначается лицо, перемещающее преступные доходы либо предоставляющее преступникам доступ к собственному банковскому счету, платежным реквизитам или цифровому кошельку. В исследованиях показывается роль денежных посредников в отмытии доходов, способы их вербовки и уровень осведомленности о

противоправном характере совершаемых действий. Авторы показывают, что вовлечение нередко осуществляется под видом легального заработка, дистанционной занятости или финансовых услуг [2].

В отечественной литературе дропперы рассматриваются как значимое звено киберпреступных схем, обеспечивающее дистанцирование организаторов от незаконного финансового оборота и осложняющее деятельность правоохранительных органов по выявлению конечных выгодоприобретателей [3, с. 111].

Расширение использования дропперских схем при совершении интернет-мошенничества, неправомерных финансовых операций и легализации преступных доходов предопределяет необходимость комплексного исследования вопросов привлечения дропперов к юридической ответственности. Использование банковских счетов третьих лиц затрудняет установление действительных участников преступной деятельности, определение движения денежных средств и доказывание роли каждого вовлеченного лица. В связи с этим особое значение приобретает точная уголовно-правовая оценка действий владельца счета, лица, передавшего доступ к платежному инструменту, а также лица, осуществляющего операции по указанию других участников схемы.

В Республике Казахстан законодательное закрепление ответственности за подобные деяния получило развитие с введением статьи 232-1 Уголовного кодекса Республики Казахстан, предусматривающей ответственность за незаконное предоставление, передачу и приобретение доступа к банковскому счету, платежному инструменту или идентификационному средству, а также за незаконное осуществление платежей и переводов денег [4]. Появление специальной уголовно-правовой нормы требует научного осмысления ее содержания, определения признаков состава уголовного правонарушения и выработки единых подходов к квалификации.

Соответственно, целью настоящего исследования является рассмотрение актуальных вопросов уголовной ответственности за дропперство и формирование предложений, направленных на совершенствование уголовно-правового противодействия данному явлению. Для достижения поставленной цели предполагается раскрыть содержание дропперства как уголовно-правового феномена, проанализировать признаки состава, предусмотренного статьей 232-1 Уголовного кодекса Республики Казахстан, а также определить проблемные аспекты его применения с учетом отечественного и зарубежного опыта.

Дропперство представляет собой явление, возникшее на стыке цифровизации финансовой сферы, дистанционного банковского обслуживания и трансформации способов совершения преступлений против собственности. Его распространение связано с тем, что организаторы интернет-мошенничества, используя чужие банковские счета, платежные карты, электронные кошельки и идентификационные данные, получают возможность дистанцироваться от непосредственного движения похищенных денежных средств. В результате лицо, на имя которого открыт счет либо оформлен платежный инструмент, оказывается внешне связанным с финансовой операцией, хотя фактическое руководство преступной схемой может осуществляться иными лицами.

В этом аспекте дропперство обладает двойственной правовой природой. С одной стороны, действия дроппера могут образовывать самостоятельное уголовное правонарушение, поскольку само предоставление доступа к финансовому инструменту за вознаграждение создает условия для совершения дальнейших противоправных операций. С другой стороны, при установлении осведомленности лица о конкретном преступном замысле и наличии общего умысла его действия могут приобретать характер соучастия в мошенничестве, легализации преступных доходов либо ином уголовном правонарушении.

Следует учитывать, что участники дропперских схем не являются однородной группой. В зависимости от фактической роли можно выделить несколько категорий лиц. Первая категория охватывает владельцев банковских счетов или платежных карт, предоставляющих доступ третьим лицам за вознаграждение. Вторая включает лиц, непосредственно осуществляющих переводы, снятие наличных денежных средств, конвертацию либо последующее распределение поступивших сумм. Третья группа представлена лицами, приобретающими доступ к чужим счетам, реквизитам и средствам идентификации для дальнейшего совершения незаконных платежей. В преступной практике могут участвовать также вербовщики, организаторы, технические посредники и лица, обеспечивающие последующее обналичивание денежных средств.

Особенность дропперства заключается в его относительной доступности для вовлечения новых участников. Вербовка нередко осуществляется через объявления о дистанционной работе, предложения быстрого заработка, выполнение функции «финансового помощника», «оператора переводов» или «менеджера по платежам». Уязвимость потенциальных дропперов может быть обусловлена материальными трудностями, недостаточной финансовой грамотностью, доверием к знакомым, стремлением получить доход без значительных усилий. Однако социальные мотивы вовлечения не исключают необходимости индивидуальной уголовно-правовой оценки, основанной на содержании умысла, характере действий и конкретных обстоятельствах дела.

Введение статьи 232-1 в Уголовный кодекс Республики Казахстан стало ответом на распространение схем, связанных с передачей банковских счетов, платежных инструментов и средств идентификации для совершения незаконных операций. Законодательная конструкция статьи охватывает несколько взаимосвязанных, но самостоятельных моделей противоправного поведения.

Первая группа деяний связана с незаконным предоставлением доступа к собственному банковскому счету, платежному инструменту или идентификационному средству третьему лицу, а также с их передачей в пользование. Обязательным элементом такой конструкции является материальное вознаграждение, имущественная выгода либо цель их получения. Следовательно, сама по себе передача платежной карты родственнику для бытовых нужд либо предоставление доступа к счету в рамках законных гражданско-правовых отношений не должна автоматически оцениваться как дропперство. Уголовно-правовое значение приобретают обстоятельства, свидетельствующие о незаконном характере передачи и направленности поведения на получение материальной выгоды.

Вторая группа деяний охватывает незаконное осуществление платежей и переводов денежных средств с использованием банковского счета, платежного инструмента или идентификационного средства в интересах либо в пользу третьего лица. Данная форма отражает более активное участие лица в движении денежных средств. Дроппер в такой ситуации не ограничивается передачей реквизитов, а совершает конкретные финансовые операции: получает поступившие средства, переводит их на другие счета, снимает наличные деньги, перечисляет суммы по указанию иных участников схемы.

Третья группа включает незаконное приобретение доступа к управлению банковским счетом, платежным инструментом или идентификационным средством с целью осуществления незаконных платежей и переводов денег. В рамках этой модели уголовно-правовой запрет адресован лицу, которое получает доступ к чужим финансовым инструментам и намерено использовать их в противоправных целях. Именно эта категория участников чаще всего выполняет функции организатора либо координатора цепочки переводов.

По своей конструкции базовые составы, предусмотренные статьей 232-1 УК Республики Казахстан, имеют формальный характер. Для признания деяния оконченным

необходимо установить совершение предусмотренного законом действия при наличии обязательных признаков субъективной стороны [4]. Фактическое причинение ущерба потерпевшему, последующее списание денежных средств или завершение мошеннической схемы могут иметь доказательственное значение, однако не всегда являются обязательным условием ответственности за первоначальное предоставление доступа к счету либо платежному инструменту. Вместе с тем квалифицированные составы связывают усиление ответственности с получением вознаграждения или имущественной выгоды в значительном либо крупном размере, что требует установления соответствующего последствия.

Такое законодательное решение позволяет реагировать на действия, создающие условия для незаконного финансового оборота еще до завершения основного преступления. Одновременно оно требует особенно точного разграничения между уголовно наказуемым поведением и действиями, не обладающими признаками общественной опасности. В противном случае существует риск расширительного толкования понятия «незаконное предоставление доступа» и привлечения к ответственности лиц, не осознававших характер дальнейшего использования их платежного инструмента.

Родовым объектом дропперства выступают общественные отношения, обеспечивающие законность и безопасность экономической деятельности. Непосредственный объект имеет более сложную структуру, поскольку действия дроппера затрагивают устойчивость банковской системы, безопасность платежной инфраструктуры, интересы собственников денежных средств, а также доверие граждан к цифровым финансовым сервисам.

Дополнительным объектом в ряде случаев являются имущественные интересы потерпевших. Использование банковских счетов третьих лиц нередко становится промежуточным этапом при совершении мошенничества, когда денежные средства потерпевшего переводятся на счет дроппера, а затем быстро распределяются между другими участниками схемы. Такая последовательность операций затрудняет своевременное блокирование средств, установление их конечного получателя и последующее возмещение причиненного вреда.

Предметом анализируемого уголовного правонарушения являются банковский счет, платежный инструмент и идентификационное средство. При толковании этих категорий следует учитывать нормы банковского и платежного законодательства, а также особенности современных способов идентификации клиента. Доступ к банковскому счету в условиях цифрового обслуживания может предоставляться путем передачи реквизитов, логина, пароля, одноразовых кодов подтверждения, данных для входа в мобильное банковское приложение, устройства с активированной учетной записью либо иных средств, позволяющих управлять денежными средствами.

Платежный инструмент не следует сводить исключительно к банковской карте. В современных условиях он может существовать в цифровой форме и использоваться через мобильное приложение, электронный кошелек, бесконтактную систему оплаты или иное техническое средство, обеспечивающее распоряжение денежными средствами. Идентификационное средство также должно пониматься с учетом функционального назначения: оно позволяет подтвердить личность пользователя, получить доступ к платежной системе и совершить операцию от имени владельца счета.

В этой связи представляется целесообразным выработать единообразный подход к толкованию указанных терминов в правоприменительной практике. На наш взгляд, для этого могут использоваться разъяснения уполномоченных государственных органов, методические рекомендации для банков второго уровня и соответствующие правовые позиции судебных органов. Четкое определение предмета преступления имеет значение

для разграничения передачи платежного инструмента, разглашения конфиденциальной информации, неправомерного доступа к информационной системе и иных смежных деяний.

Объективная сторона деяний, предусмотренных статьей 232-1 УК Республики Казахстан, выражается в активном поведении лица. Законодатель использует несколько альтернативных действий: предоставление доступа, передача в пользование, приобретение доступа, осуществление платежей и переводов. Каждое из них обладает самостоятельным юридическим содержанием.

Под предоставлением доступа следует понимать создание возможности для третьего лица управлять банковским счетом, платежным инструментом либо идентификационным средством. Такое действие может выражаться в передаче реквизитов, сообщений с кодами подтверждения, данных для входа в личный кабинет, предоставлении физического носителя платежной карты, установлении доступа к мобильному приложению на чужом устройстве. Важно, чтобы переданные сведения или предметы объективно позволяли третьему лицу распоряжаться денежными средствами либо инициировать платежные операции.

Передача в пользование предполагает фактическое предоставление другому лицу возможности использовать банковский счет, карту или средство идентификации в течение определенного времени. В отличие от однократного разглашения реквизитов, такая форма поведения может быть связана с устойчивым предоставлением инструмента для приема и дальнейшего перевода денежных средств. В практическом плане разграничение предоставления доступа и передачи в пользование не всегда будет очевидным, поскольку в цифровой среде единичная передача данных нередко открывает длительную возможность управления счетом.

Осуществление платежей и переводов в интересах третьего лица предполагает совершение активных операций с денежными средствами. Значение имеют не только факт перевода, но и его направленность, последовательность действий, связь с поступлениями на счет, сведения о получателях, характер переписки и другие обстоятельства. При этом единичная операция не может оцениваться изолированно от общего контекста. Необходимо установить, действовало ли лицо в рамках обычных гражданско-правовых отношений либо исполняло указания участников незаконной схемы.

Объективная сторона приобретения доступа выражается в получении возможности управлять чужим банковским счетом, платежным инструментом или идентификационным средством. При этом уголовно-правовое значение имеет цель дальнейшего осуществления незаконных платежей и переводов. Следовательно, приобретение доступа к чужому устройству либо получение реквизитов в иной жизненной ситуации не образует состава рассматриваемого уголовного правонарушения без установления целевой направленности действий.

Особую сложность представляет категория «незаконности», использованная законодателем при описании соответствующих действий. В научном плане данное понятие нуждается в конкретизации. Незаконность может быть связана с отсутствием согласия владельца счета, нарушением установленных банком правил использования платежного инструмента, передачей доступа вопреки требованиям законодательства, совершением операций в интересах лиц, вовлеченных в преступную схему, а также с использованием идентификационных данных без законного основания. Для единообразного применения нормы требуется установить, какие именно обстоятельства свидетельствуют о незаконном характере поведения и каким образом они должны подтверждаться в материалах уголовного дела.

Субъектом дропперства является физическое вменяемое лицо, достигшее возраста уголовной ответственности. Поскольку статья 232-1 УК Республики Казахстан не относится к перечню деяний, за которые ответственность наступает с четырнадцатилетнего возраста,

применяется общее правило о достижении лицом шестнадцати лет к моменту совершения уголовного правонарушения.

Вместе с тем в современных условиях в дропперские схемы могут вовлекаться несовершеннолетние, студенты, лица с низким уровнем финансовой грамотности, а также граждане, находящиеся в тяжелом материальном положении. Эти обстоятельства не отменяют необходимости правовой оценки, однако требуют особой тщательности при исследовании характера умысла, способов вовлечения и возможного психологического давления со стороны организаторов.

Субъективная сторона дропперства характеризуется умышленной формой вины. Лицо должно осознавать, что предоставляет, передает, приобретает доступ к финансовому инструменту либо совершает платежи в интересах третьего лица вопреки установленному порядку, и желать совершить соответствующее действие. В ряде составов обязательным признаком выступает корыстная направленность, выражающаяся в получении материального вознаграждения, имущественной выгоды либо наличии цели их получения.

Установление умысла является центральной проблемой при расследовании дел о дропперстве. Сам факт поступления денежных средств на банковский счет лица еще не свидетельствует о его виновности. Владелец счета может не знать о происхождении поступивших сумм, стать объектом обмана, передать доступ под влиянием доверительных отношений либо не осознавать, что выполняет действия в интересах преступной группы. Поэтому вывод о наличии умысла должен основываться на совокупности доказательств.

К обстоятельствам, имеющим значение для установления субъективной стороны, могут относиться характер переписки с предполагаемыми организаторами, содержание предложений о вознаграждении, количество и последовательность финансовых операций, осведомленность лица о целях перевода, его действия после поступления денежных средств, попытки скрыть сведения о получателях, использование нескольких счетов, повторность аналогичных действий. В то же время каждое из таких обстоятельств должно оцениваться в совокупности с другими доказательствами, поскольку отдельный признак не способен сам по себе достоверно подтвердить наличие преступного умысла.

Отдельного внимания заслуживают ситуации финансовой эксплуатации. Зарубежные органы правопорядка обращают внимание на то, что отдельные дропперы могут быть вовлечены в схемы путем обмана, давления, зависимости, злоупотребления доверием или использования уязвимого положения [5]. Для казахстанской практики это означает необходимость разграничивать сознательное корыстное участие в незаконном обороте денежных средств и случаи, когда лицо объективно не понимало преступного характера поручений либо действовало под принуждением.

Законодатель предусмотрел специальное основание освобождения от уголовной ответственности для лица, впервые совершившего деяние, предусмотренное статьей 232-1 УК Республики Казахстан, добровольно заявившего об этом и активно способствовавшего раскрытию или пресечению правонарушения, при отсутствии в его действиях состава иного уголовного правонарушения. Данное положение имеет важное профилактическое значение, поскольку создает правовой стимул для своевременного прекращения участия в противоправной схеме и содействия установлению ее организаторов [5].

Вопрос о соотношении статьи 232-1 УК Республики Казахстан и института соучастия имеет принципиальное значение для правильной квалификации. До введения специальной нормы действия владельцев банковских счетов, использованных в преступных схемах, нередко оценивались через положения о пособничестве либо через участие в мошенничестве при условии доказанности общего умысла с основными исполнителями.

Специальная норма о дропперстве позволяет дать самостоятельную уголовно-правовую оценку действиям лица, которое за вознаграждение предоставляет доступ к

своему счету или платежному инструменту, но при этом не располагает сведениями о конкретном потерпевшем, способе совершения основного хищения, размере предполагаемого ущерба и иных элементах преступного плана. В подобной ситуации установление соучастия в мошенничестве может оказаться затруднительным вследствие отсутствия доказательств согласованности действий с исполнителями основного преступления.

Однако наличие статьи 232-1 не исключает возможности квалификации действий лица как соучастия в мошенничестве. Такая оценка возможна при установлении, что дроппер осознавал конкретную преступную цель, понимал способ хищения денежных средств, содействовал его совершению и действовал в рамках общего умысла с организаторами либо исполнителями. Например, значение могут иметь данные о заранее согласованной роли лица, получении инструкций относительно потерпевших, участии в распределении похищенных средств, использовании нескольких счетов для одних и тех же преступных операций.

При этом квалификация не должна строиться на предположении о том, что любой владелец счета, через который прошли похищенные деньги, автоматически является соучастником мошенничества. Подобный подход противоречил бы принципу виновной ответственности и требованиям индивидуализации уголовно-правовой оценки. Необходимо установить реальный объем осведомленности лица и характер его отношения к действиям организаторов схемы.

Разграничение дропперства и пособничества в мошенничестве следует проводить по нескольким критериям: содержанию умысла, степени информированности о преступном плане, наличию согласованности действий, характеру содействия, продолжительности участия и связи с конкретным преступным результатом. При отсутствии доказательств общего умысла и осведомленности о конкретном хищении предпочтительной представляется квалификация по специальной норме статьи 232-1 УК Республики Казахстан при наличии всех ее признаков.

Дропперство может быть связано с легализацией денежных средств, полученных преступным путем. Денежные переводы через счета третьих лиц используются для разрыва связи между первоначальным хищением и конечным выгодоприобретателем. Последовательное перемещение средств между несколькими счетами, снятие наличных денежных средств, конвертация в иные активы и перевод на счета подставных лиц способны затруднить установление преступного происхождения имущества.

Вместе с тем не каждое действие дроппера автоматически образует состав легализации преступных доходов. Для квалификации по соответствующей статье требуется установить признаки, предусмотренные уголовным законом, включая осведомленность лица о преступном происхождении денежных средств и направленность действий на вовлечение имущества в законный оборот, сокрытие либо маскировку его происхождения, местонахождения, движения или принадлежности.

Если владелец счета за вознаграждение предоставляет доступ к нему, не располагая сведениями о происхождении денежных средств и не участвуя в действиях по их сокрытию, основания для квалификации по нормам о легализации могут отсутствовать. При этом наличие статьи 232-1 позволяет оценить противоправное предоставление доступа как самостоятельное деяние.

Иная ситуация возникает, когда лицо осознает преступное происхождение денежных средств и выполняет операции, направленные на сокрытие источника их получения либо маскировку связи между хищением и конечным получателем. В таких случаях требуется исследовать не только технический факт перевода, но и целевую направленность всей финансовой цепочки. Особое значение приобретают данные о распределении средств,

использовании нескольких банковских счетов, создании видимости законных сделок, переводе денег на аффилированных лиц и последующем распоряжении похищенными суммами.

Таким образом, статья 232-1 УК Республики Казахстан не отменяет необходимости применения норм о легализации преступных доходов в тех случаях, когда действия лица выходят за пределы простого предоставления доступа к финансовому инструменту и приобретают самостоятельную направленность на сокрытие преступного происхождения имущества.

Расследование уголовных правонарушений, связанных с дропперством, требует сочетания уголовно-правового, финансового и цифрового анализа. Ключевое доказательственное значение имеют сведения о движении денежных средств, времени и последовательности переводов, получателях платежей, способах входа в банковское приложение, используемых устройствах, номерах телефонов, IP-адресах, электронных переписках и иных цифровых следах.

При оценке банковских операций важно установить полную цепочку движения денежных средств: источник поступления на счет, время перевода, последующее распоряжение деньгами, связь между участниками операций и конечные направления перечислений. Изолированная банковская выписка не всегда позволяет определить роль лица. Она должна сопоставляться с объяснениями владельца счета, данными мобильных операторов, информацией о входах в банковское приложение, перепиской в мессенджерах, сведениями о получении вознаграждения и другими материалами.

Особое значение имеет доказывание факта предоставления доступа. Передача пластиковой карты может подтверждаться показаниями участников, видеозаписями, перепиской, данными о доставке, банковскими сведениями. В цифровой среде доступ может быть передан без физического контакта, путем пересылки кодов, логинов, паролей, скриншотов, ссылок или иных идентификационных данных. Поэтому при расследовании необходимо учитывать специфику электронных доказательств, соблюдать требования к их получению, фиксации и проверке.

При установлении субъективной стороны недопустимо подменять доказывание умысла предположениями о «подозрительности» финансовой операции. Значение имеет не только то, что лицо совершило перевод, но и то, что оно знало о незаконном характере действий и преследовало цель получения вознаграждения либо иной имущественной выгоды. Наличие подобных признаков может подтверждаться повторностью действий, согласованностью с организаторами, получением процентов от поступивших сумм, содержанием инструкций, попытками сокрытия следов и иными обстоятельствами.

Вместе с тем в ходе расследования должны соблюдаться гарантии прав личности, включая презумпцию невиновности, право на защиту и требование о доказывании вины в установленном законом порядке. Уголовно-правовая оценка не может основываться исключительно на факте использования банковского счета в преступной цепочке. Необходима всесторонняя проверка обстоятельств вовлечения лица, его реального отношения к операции и степени осведомленности о действиях иных участников.

Подводя итоги, можно отметить, что эффективное противодействие дропперству предполагает сочетание уголовно-правовых, организационных, информационных и профилактических мер. Применение статьи 232-1 УК Республики Казахстан имеет важное предупредительное значение, однако сама по себе уголовная ответственность не способна полностью устранить условия, способствующие вовлечению граждан в незаконные финансовые схемы.

Прежде всего, профилактика должна быть связана с повышением финансовой и цифровой грамотности населения. Особое внимание следует уделять молодежи, студентам,

лицам, ищущим дистанционную работу, а также гражданам, активно использующим социальные сети и мессенджеры. Информационные материалы должны разъяснять юридическое значение передачи банковской карты, реквизитов, кодов подтверждения и доступа к мобильному приложению.

Другое, важное направление состоит в совершенствовании банковского контроля. Банки и платежные организации могут выявлять операции, не соответствующие обычному финансовому профилю клиента: частые поступления от незнакомых лиц, быстрые последовательные переводы, резкое увеличение оборота по счету, использование одного устройства для управления несколькими учетными записями. Однако применение риск-ориентированного подхода должно сопровождаться соблюдением требований о защите персональных данных, банковской тайне и недопустимости необоснованного ограничения прав добросовестных клиентов.

Кроме того, нельзя не недооценивать важность выработки единых подходов к квалификации преступных деяний дропперов. Представляется оправданным разработать методические рекомендации, в которых были бы раскрыты признаки предоставления доступа, передачи в пользование, приобретения доступа и осуществления платежей в интересах третьего лица. Такие рекомендации могли бы содержать ориентиры по разграничению статьи 232-1 УК Республики Казахстан, соучастия в мошенничестве, легализации преступных доходов и неправомерного доступа к информационным системам. Полагая, такой подход позволит обеспечить справедливую дифференциацию ответственности и сосредоточить основные усилия правоохранительных органов на выявлении организаторов, вербовщиков и конечных выгодоприобретателей.

Список использованных источников

1 Григорян Р. М. Способы совершения хищений с использованием идентификационных данных чужих банковских платежных карт // Известия ТулГУ. Экономические и юридические науки. – 2009. – № 2-1. – С. 329–333.

2 Rani M.I.A., Nazri S.N.F.S.M., Zolkafil S. A Systematic Literature Review of Money Mule: Its Roles, Recruitment and Awareness // Journal of Financial Crime. – 2024. – Vol. 31. No. 2. – P. 347–361. <https://doi.org/10.1108/JFC-10-2022-0243>.

3 Усеинова К.Р., Токтыбаев А.А., Жапарбек А.М., Данияров С.Д. Дропперы как инструмент киберпреступности: история, функции, вызовы для правоохранительных органов // Вестник КазНУ. Серия юридическая. – 2025. – № 3(115). – С. 109–117.

4 Уголовный кодекс Республики Казахстан от 3 июля 2014 года № 226-V ЗРК [Электронный ресурс]. URL: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/K1400000226>.

5 Money Laundering Offences: Prosecution Guidance [Electronic resource] // Crown Prosecution Service. URL: <https://www.cps.gov.uk/prosecution-guidance/money-laundering-offences>

Psychological Sciences

The role of parenting styles in bullying cases

Nigar İlham Khazimli

Baku State University; Department of Psychology; PhD student

Keywords: family, parents, bullying, preventing intervention, parent-child relation

Studies on the prevalence of peer bullying generally indicate that bullying ranges between 5% and 15%. In a study conducted by the United Nations Children's Fund (UNICEF) with the participation of 100,000 young people in 18 different countries, it was determined that two-thirds of the participants were victims of bullying. Bullying is also a widespread problem in various of countries. In a study conducted on high school students, it was found that 44% of the students were subjected to verbal bullying, 30% to physical bullying, 18% to emotional bullying, and 9% to sexual bullying. In addition, the total rate of children involved in bullying in the roles of bully, victim, and bully/victim was determined to be 23%.

The factors influencing the application and exposure to bullying behaviors are variable. Many different factors such as family, school, friends, sociodemographic characteristics, and personality structure can cause bullying. The literature indicates that the family is a significant factor in either engaging in or experiencing bullying behaviors. Parents, considered the most important part of the socialization process, influence children's cognitive, emotional, and social development. In short, the relationship a child establishes with their parents in early childhood and the quality of that relationship determine their future behavior. The three most important components of the parent-child relationship are attachment, social support, and the family system. The way parents discipline their children and the family environment are also linked to the child's behavior. Attachment and the quality of the early parent-child relationship affect introverted and extroverted behavior patterns in later life. It is stated that adolescents who engage in bullying behaviors have authoritarian family structures, where parents resort to physical punishment to maintain discipline, and that they grew up in unsupportive family environments where arguments frequently occur. Furthermore, a study conducted with 104 children aged 4-6 revealed that children exhibiting bullying behaviors had insecure attachments to their parents. Similarly, in a longitudinal study on those who are victims of bullying, it was determined that children experience insecure attachment. Various studies have also found a relationship between being a victim of bullying and dependence on parents. In particular, the overprotectiveness of one or both parents increases the risk of a child becoming a victim of bullying. Various studies conducted in Turkey have also found that parental attitudes affect bullying. It is stated that the rate of aggression is high in children raised in families where authoritarian parenting attitudes are dominant. The same study mentions that democratic parenting attitudes are a protective factor against aggression. When students who both bully and are victims of bullying are compared with other groups, it is stated that they have conflictual relationships with their parents and have lower parental support. The excessive spoiling of children by some parents, never accepting that their children can make mistakes, can lead to bullying, and children who are excessively spoiled by their parents can become chronic bullies.

One of the important factors regarding the family is the size of the family. It is mentioned that a child who feels neglected, marginalized, treated with indifference, and not accepted in a

large family may attempt to use wrong methods to get noticed. A child who feels lonely within the family is likely to experience various problems in their peer group, or to experience or be subjected to peer abuse. It is stated that the socio-economic status of the family has a significant impact on the bully and bully/victim situation. Situations such as a single parent, one or both parents being unemployed, low education level, and having children at a young age increase the risk of the child in that family becoming a bully or a bully/victim.

The most important task of the family is to fulfill the care and education function of the child, which is part of the socialization process. In this process, the child forms an identity by learning various behavioral and belief norms. Family members, within this socialization process, engage in a kind of group interaction and transmit various values, norms, and beliefs to the new generation. Undoubtedly, for a positive transmission to occur, it is important for family members to be good role models, to be able to communicate healthily, and to be participatory and open to interaction. In a study investigating the relationships between parents and children exhibiting aggressive behavior, the reasons for aggressive behavior were listed as the inability to establish a warm-emotional relationship within the family, the rejection of the child, or overprotection.

As mentioned above, those who care for a child have important responsibilities in helping the child develop a healthy identity in adulthood. Various factors such as parents' individual characteristics, attitudes, the family's socioeconomic status, family relationships, and family structure are some of the elements that determine what kind of person the child will become in the future. Parents, in addition to being a determining factor in a child's aggressive behavior, should directly participate in efforts to reduce and prevent aggressive behavior. Otherwise, it is not possible to achieve success in reducing or preventing aggressive behavior.

References:

1. Dupper DR. Okul sosyal hizmeti. Özkan Y, Gökçearslan Çifci E, çev.editörleri.(trans. Eds.) 1. baskı. İstanbul: Kapital; 2013.p.34-35,40.
2. Pontzer DA. Theoretical test of bullying behavior: Parenting, personality, and the bully/victim relationship. *Journal of Family Violence* 2010;25(3):259-273.
3. Mishna F. Learning disabilities and bullying: double jeopardy. *Journal of Learning Disabilities* 2003; 36:1-15.
4. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. School violence and bullying global status report. 2017: 9.
5. Kepenekçi KY, Çinkır Ş. Öğrenciler arası zorbalık. *Eğitim Yönetimi* 2003;34:236-253.
6. Pekel UN, Uçanok Z. Akran zorbalığı gruplarında yalnızlık ve akademik başarı ile sosyometrik statüye göre zorba/kurban davranışı türleri. *Türk Psikoloji Dergisi* 2005;20(56):77-92.
7. Eşkisü M. The Relationship between bullying, family functions and perceived social support among high school students. *Social and Behavioral Sciences* 2014;159:492-496.

Biological Sciences

Modern Rejuvenation and Anti-Aging Therapies: Molecular Mechanisms, Risk Factors, Current Interventions, and Future Technological Directions

David Aphkhazava

PhD, Professor, University Unilevel, Tbilisi, Georgia. Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-6216-64>

Maia Nozadze

PhD, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Iuri Migriauli

PhD, David Tvildiani Medical University, Tbilisi, Georgia

Ketevan Chakhnashvili

Ketevan Chakhnashvili Clinical Director at Pineo Medical Ecosystem. Vice Dean of School of Medicine at Grigol Robakidze University. Tbilisi, Georgia

Mzia Tsiklauri

PhD, Affiliated Professor of the Medical Programs of Gr. Robakidze University, Microbiology, Immunology, Virology, Infection Control. Invited Professor of the Medical Programs of Alte University, Tbilisi, Georgia. Invited Professor of the Medical Programs of Caucasus International University, Laboratory Medicine, Tbilisi, Georgia. Member of the Georgian Immunologists Association, Member of the Accreditation Council of the Quality Development, Center of the Ministry of Education of Georgia

Manana Makharadze

Prof. David Agmashenebeli University of Georgia, Tbilisi, Georgia.

Maia Berodze

Assistant Professor at Caucasus International University, Tbilisi, Georgia

Nodar Sulashvili

MD, PhD, Doctor of Pharmaceutical and Pharmacological Sciences In Medicine, Invited Lecturer (Professor) of Scientific Research-Skills Center at Tbilisi State Medical University; Professor of Medical and Clinical Pharmacology of International School of Medicine at Alte University; Professor of Pharmacology of Faculty of Medicine at Georgian National University SEU, Associate Affiliated Professor of Medical Pharmacology of Faculty of Medicine at Sul Khan-Saba Orbeliani University; Associate Professor of Medical Pharmacology at School of Medicine at David Aghmashenebeli University of Georgia; Associate Professor of Biochemistry and Pharmacology Direction of School of Health Sciences at the University of Georgia. Associate Professor of Pharmacology of Faculty Dentistry and Pharmacy at Tbilisi Humanitarian Teaching University; Tbilisi, Georgia; Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-9005-8577>.

Giorgi Margvelani

Prof. European University, Tbilisi, Georgia.

Tamuna Samadashvili

University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Maham Ijaz

Alte University, Tbilisi, Georgia

Nino Maziashvili

Associate Professor, University of Georgia, Tamar Gagoshidze Neuropsychology Center, Tbilisi, Georgia

Lolita Shengelia

PhD, Invited lecturer of Georgian National University, Tbilisi, Georgia; Invited lecturer of Georgian American University, Tbilisi, Georgia

George Maglakelidze

PhD, Professor, University of Georgia, Tbilisi, Georgia

Ilia Atanelishvili

Medical University of South Carolina, Charleston, SC, USA

Corresponding Author: Prof. David Aphkhazava

Abstract

Aging is the dominant risk factor for most chronic diseases and functional decline, yet it is increasingly understood not as a passive process, but as a biologically regulated and partially plastic trajectory. Contemporary geroscience has reframed aging as a network phenomenon driven by interacting hallmarks that include genomic instability, telomere attrition, epigenetic drift, loss of proteostasis, impaired autophagy, mitochondrial dysfunction, deregulated nutrient sensing, cellular senescence, stem cell exhaustion, chronic low-grade inflammation, altered intercellular communication, and microbiome dysregulation (López-Otín et al., 2013; López-Otín et al., 2023). This framework has enabled the emergence of rejuvenation-oriented strategies that aim either to slow the rate of damage accumulation or to reverse selected biological features of aging. Modern interventions span lifestyle measures such as exercise and fasting-related regimens, pharmacological gerotherapeutics including metformin, rapalogs, senolytics, and NAD⁺-modulating compounds, as well as more experimental approaches such as partial epigenetic reprogramming, cell-free regenerative therapies, and plasma or proteome-based rejuvenation (Barzilai et al., 2016; Guarente et al., 2024; Kerepesi et al., 2024).

This review examines the molecular basis of aging and rejuvenation, the principal biological and environmental risk factors that accelerate aging, and the evidence supporting current anti-aging interventions. Particular attention is given to nutrient-sensing pathways, mitochondrial quality control, the senescence-associated secretory phenotype, immune aging, and stem cell niche failure. The review also addresses biological age assessment, including epigenetic clocks and broader biomarker frameworks, which are increasingly central for clinical translation and intervention testing (Bell et al., 2019; Horvath, 2013; Levine et al., 2018; Moqri et al., 2023). Although progress has been substantial, most rejuvenation technologies remain limited by incomplete long-term safety data, tissue specificity, uncertain durability, and regulatory complexity. The field is therefore at a transitional stage: no single therapy currently reverses systemic human aging, but convergent evidence suggests that combination approaches, biomarker-guided personalization, and safer genetic and epigenetic engineering may define the next era of longevity medicine. Future progress will likely depend on precision geroscience,

validated aging clocks, and interventions designed to restore resilience rather than merely suppress isolated disease endpoints (Kennedy et al., 2014; Seals et al., 2016).

Keywords

Aging; rejuvenation; geroscience; senolytics; cellular senescence; mTOR; metformin; NAD⁺; epigenetic reprogramming; biological age; longevity medicine

Introduction

The modern scientific study of aging has moved beyond descriptive gerontology toward an experimentally tractable biology of decline. Once regarded as an inevitable and largely untouchable process, aging is now understood as the cumulative outcome of interacting molecular lesions, compensatory stress responses, tissue remodeling, and progressive loss of systemic resilience. This conceptual shift has produced a major translational hypothesis: if core aging mechanisms can be slowed, repaired, or reset, then multiple age-related diseases may be delayed simultaneously rather than treated individually after they emerge (Kennedy et al., 2014; Sierra & Kohanski, 2017). In this sense, rejuvenation science is not merely an extension of preventive medicine; it is an attempt to modify the upstream biology that underlies multimorbidity.

Two broad strategic approaches have emerged. The first is geroprotection, which aims to slow the pace of biological aging by modulating conserved metabolic and stress-response pathways. Examples include exercise, caloric restriction, fasting-mimicking regimens, metformin, rapamycin analogs, and autophagy-enhancing compounds (Barzilai et al., 2016; de Cabo & Mattson, 2019; Longo & Mattson, 2014). The second is rejuvenation, which seeks to reverse established age-related damage or restore youthful cellular states. This category includes senescent-cell clearance, exposure to youthful systemic factors, stem-cell or extracellular-vesicle therapies, mitochondrial restoration, and partial epigenetic reprogramming (Baar et al., 2017; Hickson et al., 2019; Kerepesi et al., 2024; Mahmoudi et al., 2019; Villeda et al., 2014).

Despite intense public interest, the scientific and clinical realities remain nuanced. Some interventions have strong mechanistic rationale and promising animal data but limited human evidence. Others appear to improve disease-specific endpoints without yet proving durable effects on biological aging itself. Furthermore, aging is heterogeneous across tissues, individuals, and exposures, meaning that intervention response is unlikely to be uniform. The liver, immune system, vasculature, brain, and skeletal muscle do not age identically, and chronological age often diverges substantially from biological age. This heterogeneity has fueled rapid development of aging biomarkers, particularly DNA methylation clocks and multimodal biological age measures, which may serve both as risk stratifiers and surrogate endpoints in longevity trials (Bell et al., 2019; Ferrucci et al., 2018; Horvath, 2013; Levine et al., 2018; Moqri et al., 2024).

A rigorous review of rejuvenation science therefore requires more than a catalog of interventions. It must integrate molecular mechanisms, environmental accelerants, translational constraints, safety liabilities, and realistic forecasts. The present review synthesizes these dimensions with emphasis on modern therapies, the mechanistic architecture of aging, and future technologies likely to shape clinical longevity medicine over the next decade.

Molecular Mechanisms of Aging and Rejuvenation

The hallmarks framework remains the most useful organizing model for aging biology because it captures both proximal damage and downstream tissue dysfunction. The original hallmarks included genomic instability, telomere attrition, epigenetic alterations, loss of proteostasis, deregulated nutrient sensing, mitochondrial dysfunction, cellular senescence, stem cell exhaustion, and altered intercellular communication (López-Otín et al., 2013). This framework was later expanded to include disabled macroautophagy, chronic inflammation, and dysbiosis, reflecting recognition that aging is not merely cell autonomous but is orchestrated across tissues and interfaces with the immune system and microbiome (López-Otín et al., 2023).

Genomic instability accumulates through replication errors, oxidative injury, transposable element activity, and imperfect DNA repair. Although repair networks are robust in youth, age progressively reduces fidelity, leading to somatic mutation accumulation, altered chromatin architecture, and stress signaling. Persistent DNA damage activates p53, p21, and related checkpoints, often funneling cells toward senescence or apoptosis. In stem and progenitor compartments, repeated damage narrows regenerative capacity and promotes clonal distortion. Rejuvenation strategies that improve DNA maintenance indirectly, such as enhanced autophagy, metabolic optimization, and reduced inflammatory burden, may therefore have broad effects even without directly editing the genome (Campisi & d'Adda di Fagagna, 2007; López-Otín et al., 2023).

Telomere attrition exemplifies a replicative clock that interfaces with damage signaling. Critically short telomeres trigger DNA damage responses, senescence, and stem cell failure. While telomerase restoration is conceptually attractive, it carries oncogenic risk if implemented indiscriminately. Accordingly, most modern anti-aging strategies do not target telomeres in isolation, but instead aim to reduce replicative stress and inflammatory turnover that accelerate attrition. This is consistent with the broader lesson of geroscience: single-lesion repair is often less effective than shifting the regulatory environment that drives repeated injury (López-Otín et al., 2013; Partridge, 2010).

Epigenetic drift is among the most compelling mechanisms linking molecular change to reversible aging. Age alters DNA methylation, histone modifications, chromatin accessibility, and higher-order genome organization. These changes are sufficiently structured to support epigenetic clocks, indicating that aging is not random noise alone but a partially ordered remodeling of regulatory state (Horvath, 2013; Levine et al., 2018). The reversibility of epigenetic age in some experimental contexts underlies enthusiasm for partial reprogramming. By transiently expressing pluripotency-associated factors without full dedifferentiation, investigators aim to erase age-associated epigenetic marks while preserving cellular identity. This is currently one of the most ambitious rejuvenation strategies, but it remains bounded by risks of tumorigenesis, loss of lineage fidelity, and tissue disorganization (Kerepesi et al., 2024; Takahashi & Yamanaka, 2006).

Proteostasis failure and impaired autophagy constitute another core axis of aging. Youthful cells maintain protein quality through chaperones, the ubiquitin-proteasome system, and lysosome-dependent turnover. With age, damaged proteins, aggregates, and dysfunctional organelles accumulate, contributing to neurodegeneration, sarcopenia, and metabolic decline. Autophagy is especially important because it intersects with nutrient sensing, mitochondrial quality control, and inflammatory tone. Interventions such as fasting, exercise, spermidine, and mTOR modulation may improve healthspan in part by restoring autophagic flux and proteome renewal (de Cabo & Mattson, 2019; Guarente et al., 2024; Longo & Mattson, 2014).

Mitochondrial dysfunction is both a cause and consequence of aging. Aged mitochondria exhibit impaired oxidative phosphorylation, altered dynamics, reduced mitophagy, increased reactive oxygen species signaling, and defective mitochondrial DNA maintenance. Because mitochondria integrate energy production, innate immune activation, apoptosis, and anabolic signaling, their decline propagates systemically. NAD⁺ metabolism, sirtuin activity, AMPK, and mitochondrial unfolded protein response pathways are central here. Age-associated NAD⁺ depletion impairs sirtuin-dependent deacetylation, DNA repair, and metabolic flexibility, providing a rationale for NAD⁺ precursor therapies and CD38-targeting strategies (Covarrubias et al., 2021; Katsyuba et al., 2020).

Deregulated nutrient sensing involves chronic overactivation of insulin/IGF-1 and mTOR signaling, alongside insufficient AMPK and FOXO engagement. In evolutionary terms, these pathways allocate resources between growth, reproduction, and maintenance. In modern aging biology, sustained anabolic signaling appears to favor accelerated aging, while periodic stress-responsive signaling favors repair and resilience. This explains why interventions as diverse as caloric

restriction, metformin, rapamycin, and exercise converge mechanistically despite distinct proximate effects (Barzilai et al., 2016; Guarente et al., 2024; Longo & Mattson, 2014).

Cellular senescence is perhaps the most therapeutically advanced hallmark. Senescent cells enter durable cell-cycle arrest in response to damage, oncogenic signaling, telomere dysfunction, or stress. Although senescence can suppress cancer and support wound healing in acute contexts, chronic persistence becomes pathogenic because senescent cells secrete inflammatory cytokines, proteases, growth factors, and matrix-remodeling molecules collectively termed the senescence-associated secretory phenotype, or SASP (Campisi, 2013; Tchkonina et al., 2013). The SASP disrupts neighboring cells, amplifies inflammation, impairs stem cell function, and promotes fibrosis. The recognition that senescent cells are both rare and disproportionately harmful helped launch senolytic therapies intended to selectively eliminate them (Baar et al., 2017; Kirkland et al., 2020; Zhang et al., 2023).

Stem cell exhaustion links intracellular damage to organ-level decline. Hematopoietic, muscle, intestinal, epidermal, and neural stem cells progressively lose self-renewal capacity, become biased in lineage output, and experience niche deterioration. This is shaped not only by intrinsic DNA and mitochondrial damage, but by extracellular inflammation, matrix stiffness, endocrine shifts, and altered support-cell signaling. Consequently, rejuvenation may require niche restoration as much as stem cell replacement. This insight has shifted the field toward cell-free regenerative strategies, including extracellular vesicles and systemic-factor modulation, rather than simplistic transplantation models (López-Otín et al., 2023; Mahmoudi et al., 2019; Villeda et al., 2014).

Chronic inflammation and immune aging are emergent properties of multiple hallmarks. Inflammaging reflects persistent low-grade activation driven by senescent cells, mitochondrial damage, microbial products, visceral adiposity, clonal hematopoiesis, and impaired resolution pathways. Immunosenescence, in parallel, reduces naïve T-cell reserve, weakens vaccine responses, alters myeloid function, and increases susceptibility to infection and malignancy (Franceschi et al., 2018; Del Giudice et al., 2014). These processes help explain why interventions targeting mTOR, senescence, and metabolism can improve not only disease risk but also immune competence (Fig 1).

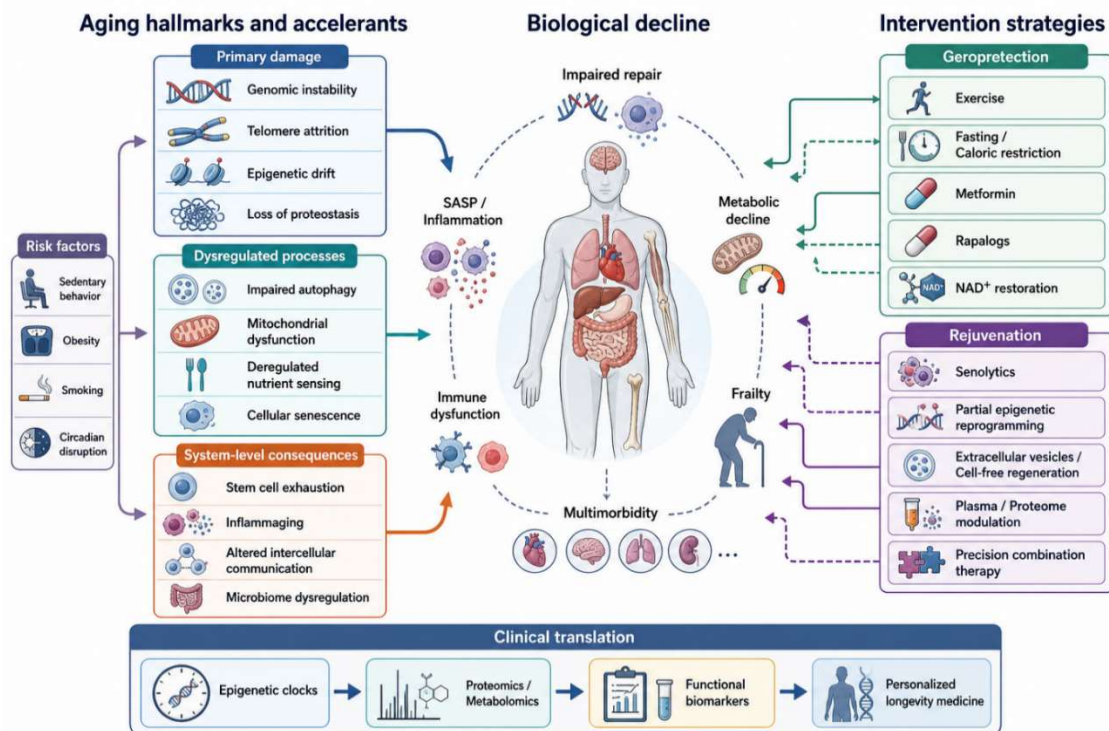


Figure 1. Schematic overview of the biological architecture of aging and the principal intervention strategies.

Aging is depicted as a network process initiated by primary molecular damage, including genomic instability, telomere attrition, epigenetic drift, and loss of proteostasis, and amplified by dysregulated cellular programs such as impaired autophagy, mitochondrial dysfunction, deregulated nutrient sensing, and cellular senescence. These changes propagate into system-level consequences, including stem cell exhaustion, chronic low-grade inflammation, altered intercellular communication, and microbiome dysregulation, ultimately driving tissue dysfunction, impaired repair, immune decline, frailty, and multimorbidity. Major behavioral and environmental accelerants, including sedentary lifestyle, obesity, smoking, and circadian disruption, are shown as modifiers that intensify this trajectory. The figure also summarizes current and emerging gerotherapeutic strategies across two broad domains: geroprotection, which aims to slow the rate of biological aging through exercise, fasting/caloric restriction, metformin, rapalogs, and NAD-restorative approaches; and rejuvenation, which seeks to reverse established damage through senolytics, partial epigenetic reprogramming, extracellular vesicle-based or other cell-free regenerative therapies, plasma/proteome modulation, and precision combination therapies. At the translational level, epigenetic clocks, omics-based biomarkers, and functional assessments support personalized longevity medicine by enabling biological age stratification and response-guided intervention selection.

Risk Factors That Accelerate Aging

Aging rate is shaped not only by genes and stochastic biology but by cumulative exposures. Many classical chronic-disease risk factors can be reinterpreted as accelerants of biological aging because they intensify hallmark dysfunction across multiple tissues. This perspective is clinically important because it connects lifestyle medicine and environmental health directly to rejuvenation science rather than treating them as separate domains.

Sedentary behavior is strongly associated with reduced mitochondrial biogenesis, impaired insulin sensitivity, sarcopenia, endothelial dysfunction, and chronic inflammation. Regular physical activity counteracts several hallmarks simultaneously by improving autophagy, metabolic flexibility, vascular function, and myokine signaling. The absence of movement therefore does more than increase disease incidence; it narrows physiological reserve and reduces resilience to stressors. Exercise remains one of the most validated anti-aging interventions precisely because it touches multiple conserved pathways at once (Seals et al., 2016; Ferrucci et al., 2018).

Obesity, particularly visceral adiposity, is a major driver of accelerated aging. Adipose tissue in obesity becomes inflamed, fibrotic, and senescent, secreting adipokines and cytokines that alter systemic metabolism and immune tone. Hyperinsulinemia, lipotoxicity, ectopic fat deposition, and adipose macrophage recruitment reinforce a state of chronic nutrient excess. These processes increase mTOR signaling, suppress autophagic maintenance, and worsen mitochondrial stress. In this framework, obesity is not merely excess energy storage but a pro-aging inflammatory organ state (Barzilai et al., 2016; Kulkarni et al., 2020).

Hyperglycemia and insulin resistance accelerate protein glycation, oxidative stress, endothelial damage, and mitochondrial dysfunction. Diabetes illustrates how metabolic disease compresses multiple hallmarks into a clinically recognizable syndrome of vascular aging, immune dysregulation, nephropathy, neuropathy, and impaired tissue repair. The importance of this axis helps explain enduring interest in metformin and related insulin-sensitizing strategies as gerotherapeutics (Barzilai et al., 2016; Hickson et al., 2019).

Smoking remains a potent aging accelerator through oxidative stress, inflammation, DNA damage, vascular dysfunction, and disruption of stem and immune compartments. It influences epigenetic patterns strongly enough to appear in biomarker studies of biological age acceleration. Similarly, excessive alcohol intake perturbs sleep, liver metabolism, redox state, microbiome integrity, and immune homeostasis, producing a multisystem pro-aging burden even before frank organ disease emerges (Quach et al., 2017).

Poor sleep and circadian disruption have gained increasing attention as aging modifiers. Sleep deficiency perturbs glucose metabolism, hormonal rhythms, proteostatic restoration, glymphatic clearance, and immune regulation. Chronically fragmented or misaligned sleep may therefore promote inflammaging, cognitive decline, and metabolic dysfunction. Although the molecular links are still being clarified, circadian integrity is likely to become a larger component of future anti-aging protocols because timing regulates autophagy, mitochondrial turnover, and endocrine synchronization.

Psychosocial stress also acts biologically. Chronic activation of stress-response systems alters glucocorticoid exposure, inflammatory signaling, health behaviors, and epigenetic state. Stress does not operate independently of social context; isolation, low socioeconomic position, and cumulative adversity often cluster with poor diet, reduced sleep quality, pollution exposure, and limited access to preventive care. As a result, social determinants become embodied as aging heterogeneity, underscoring that biological age is a biosocial as well as molecular construct.

Environmental exposures are equally relevant. Air pollution contributes to oxidative injury, vascular inflammation, pulmonary dysfunction, and neuroinflammatory signaling. Ultraviolet radiation directly accelerates cutaneous aging through DNA damage, collagen breakdown, and senescence induction in skin compartments. Chronic infection and unresolved pathogen burden may sustain immune activation, especially in older adults with declining adaptive reserve. Malnutrition, whether through protein deficiency, micronutrient insufficiency, or low dietary diversity, compromises repair and immune competence, while frailty-related multimorbidity creates feedback loops in which disease itself accelerates biological aging (Franceschi et al., 2018; Quach et al., 2017).

Importantly, these factors are not additive in a simple linear sense. They interact across the lifespan. Obesity worsens sleep quality, sleep loss worsens insulin resistance, psychosocial stress alters eating patterns, pollution amplifies vascular risk, and frailty reduces activity. The practical consequence is that successful anti-aging medicine cannot be purely pharmacological. Even the most sophisticated rejuvenation technologies will likely fail to achieve durable benefit if deployed against an unchanged environment of chronic pro-aging exposures.

Current Rejuvenation and Anti-Aging Interventions

Exercise and structured physical activity

Exercise remains the benchmark intervention against which all pharmacological anti-aging strategies should be judged. It improves mitochondrial function, insulin sensitivity, vascular elasticity, muscle mass, autophagic competence, and inflammatory tone. Resistance training preserves neuromuscular function and bone health, while aerobic training improves cardiorespiratory fitness and endothelial biology. Exercise also appears to influence biological aging markers, though effect sizes vary by modality, intensity, and baseline risk. Its broad efficacy reflects network-level action rather than single-target specificity, making it a foundational rather than optional anti-aging therapy (Quach et al., 2017; Seals et al., 2016).

Caloric restriction, intermittent fasting, and fasting-mimicking strategies

Caloric restriction is the most reproducible lifespan-extending intervention in many model organisms, and its human relevance has driven intense interest in intermittent fasting and fasting-mimicking approaches. Mechanistically, fasting reduces insulin/IGF-1 signaling, modulates mTOR and AMPK, enhances autophagy, promotes ketogenesis, and may improve stress resistance. These responses favor cellular maintenance over growth. In humans, fasting-based regimens can improve body composition, insulin sensitivity, cardiometabolic markers, and inflammatory profiles, though long-term adherence and effects on hard aging endpoints remain uncertain (de Cabo & Mattson, 2019; Longo & Mattson, 2014). Future use will likely require personalization because undernourished, frail, or sarcopenic patients may be harmed by indiscriminate restriction.

Metformin

Metformin is perhaps the most widely discussed gerotherapeutic because of its safety record, low cost, and pleiotropic actions. It indirectly activates AMPK, reduces hepatic gluconeogenesis, improves insulin sensitivity, and may attenuate inflammatory and mitochondrial stress pathways. Observational studies have suggested reduced incidence of some age-related diseases among metformin users, and the drug became central to proposals for aging-targeted clinical trials (Barzilai et al., 2016). Yet metformin is not a universal anti-aging solution. Benefits may be context dependent, stronger in insulin-resistant states, and potentially blunted in healthy young individuals. There is also debate about interactions with exercise adaptation, gastrointestinal tolerability, and the degree to which metformin genuinely slows biological aging rather than improving metabolic disease burden (Kulkarni et al., 2020). Even so, it remains a leading candidate for preventive longevity medicine.

Rapamycin and rapalogs

mTOR inhibition is among the strongest mechanistically grounded anti-aging strategies. In multiple organisms, reduced mTOR signaling extends lifespan and delays age-related dysfunction. Rapamycin and related compounds promote autophagy, restrain anabolic overdrive, and alter immune and metabolic programs in ways consistent with improved cellular maintenance. Human trials have shown that low-dose mTOR modulation can improve vaccine responsiveness and reduce infection burden in older adults, suggesting that gerotherapeutic benefit is not purely theoretical (Del Giudice et al., 2014; Morris et al., 2018). However, dose and schedule are critical. Chronic or excessive inhibition can impair wound healing, glucose metabolism, and immune balance. Current efforts therefore focus on intermittent dosing, TORC1 selectivity, and tissue-specific strategies rather than blanket suppression (Guarente et al., 2024).

Senolytics and senomorphics

Senotherapeutics represent a major conceptual breakthrough because they target an identifiable pathogenic cell state rather than a generalized metabolic pathway. Senolytics selectively kill senescent cells by exploiting their dependence on pro-survival networks, while senomorphics suppress harmful SASP output without necessarily eliminating the cells. Preclinical studies have shown that removing p16-positive senescent cells can delay age-related pathology and extend healthy lifespan in mice (Baker et al., 2011; Baker et al., 2016). Early translational work demonstrated that dasatinib plus quercetin or related strategies can reduce senescent-cell burden and improve selected functional outcomes in human pilot studies, including diabetic kidney disease and idiopathic pulmonary fibrosis cohorts (Hickson et al., 2019; Justice et al., 2019). Nonetheless, important uncertainties remain regarding optimal targets, tissue penetration, off-target toxicity, cell-type specificity, and the risk of removing beneficial acute senescence programs. Senolytics are promising, but current evidence still supports cautious clinical experimentation rather than routine use (Kirkland et al., 2020; Zhang et al., 2023).

NAD⁺ restoration and sirtuin-linked strategies

Declining NAD⁺ availability with age has become a central theme in metabolic aging. Because NAD⁺ supports sirtuin activity, DNA repair, mitochondrial function, and redox homeostasis, replenishing it may improve cellular resilience. Strategies include nicotinamide riboside, nicotinamide mononucleotide, and modulation of NAD⁺-consuming enzymes such as CD38. Animal data are encouraging, particularly for mitochondrial function and tissue repair, but human evidence remains mixed. Some studies show improved biochemical markers or modest physiological effects, whereas clear systemic anti-aging outcomes have not yet been established. The enthusiasm is mechanistically plausible, but the field still requires more rigorous trials with validated biological-age endpoints (Covarrubias et al., 2021; Katsyuba et al., 2020).

Spermidine and autophagy enhancers

Autophagy-enhancing compounds such as spermidine have attracted attention because they may reproduce part of the longevity biology seen with fasting and mTOR modulation. Spermidine has been linked in preclinical models to improved proteostasis, mitochondrial function, and cardiovascular health. Human data are still early, but the intervention is appealing because it targets a basic maintenance program rather than a disease-specific pathway. Similar logic applies to other candidate caloric-restriction mimetics and proteostatic enhancers. The challenge is demonstrating clinically meaningful effects without relying on surrogate biomarkers alone.

Mitochondrial-targeted therapies

Mitochondrial decline is sufficiently central to aging that direct mitochondrial therapeutics remain an active area of development. These include targeted antioxidants, NAD⁺-modulating agents, mitophagy enhancers, and strategies that improve mitochondrial biogenesis or unfolded protein response signaling. Yet the history of antioxidant medicine warns against simplistic reductionism. Reactive oxygen species are not merely damaging byproducts; they are signaling molecules whose complete suppression may be counterproductive. Therefore, future mitochondrial therapies will likely focus less on generic antioxidant effects and more on restoring organelle quality control, dynamics, and communication with the nucleus (Fig 2).

Figure 2. Integrative framework for predictive, integrative, and causal biology

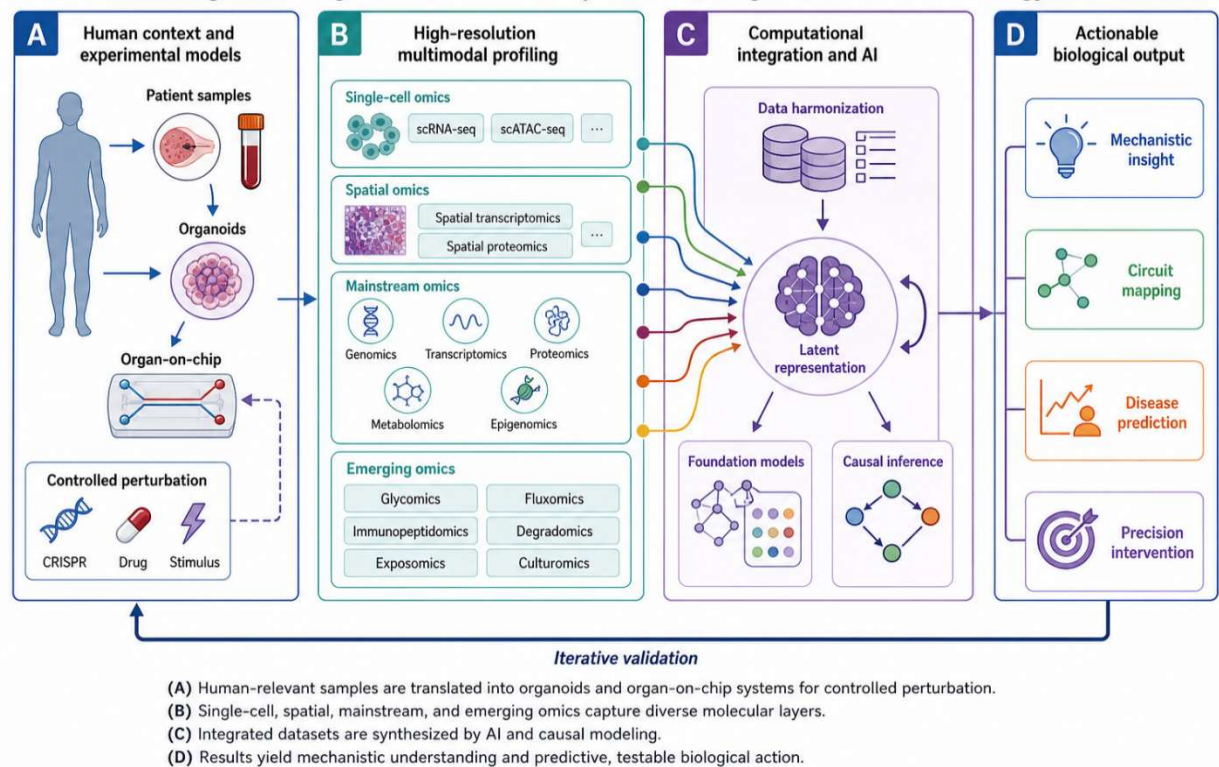


Figure 2 Integrative framework for predictive, integrative and causal biology.

Human-derived and environmentally informed inputs are channelled into experimentally tractable systems, including organoids, organ-on-chip platforms and perturbation-based models, enabling coordinated biological manipulation and readout. These systems are profiled across complementary molecular layers that span both established and emerging omics modalities, including single-cell and spatial omics, glycomics, fluxomics, immunopeptidomics, degradomics, exposomics and culturomics. The resulting multimodal datasets are integrated through multi-omic modelling, foundation-model-assisted inference and causal analysis to generate mechanistic insight, circuit-level interpretation and actionable predictions. Feedback from computational prediction to experimental validation establishes a closed-loop workflow, illustrating the transition

of life science research from descriptive atlas building to iterative, testable and human-relevant causal biology.

Stem-cell-based and cell-free regenerative therapies

Classical stem-cell transplantation generated early anti-aging enthusiasm but has faced major limitations including poor engraftment, variable potency, immunogenicity, and tumor risk. The field is therefore shifting toward more precise or cell-free approaches, especially mesenchymal stromal cell secretomes and extracellular vesicles. These may deliver anti-inflammatory, pro-regenerative, and niche-supportive signals without the full risks of persistent cell transplantation. However, potency standardization, manufacturing quality, biodistribution, and long-term safety remain unresolved. At present, stem-cell rejuvenation should be considered experimental and far from routine evidence-based practice (Mahmoudi et al., 2019).

Plasma, proteome, and systemic-factor rejuvenation

Heterochronic parabiosis experiments and related work suggested that youthful systemic factors can partially restore regenerative capacity and cognitive function in aged animals (Villeda et al., 2014). This inspired interest in young-plasma transfusions, plasma dilution, and proteomic rejuvenation. The central insight is that age-related decline may be driven not only by missing youthful factors but by the accumulation of pro-aging circulating signals. Translation to humans has been difficult, with limited evidence and substantial risk of overinterpretation. Still, the concept may evolve into a more credible field through defined protein cocktails, plasma fractionation, or targeted removal of pathogenic circulating factors rather than crude transfusion approaches (Mahmoudi et al., 2019).

Microbiome modulation

The aging microbiome is increasingly recognized as a regulator of inflammation, barrier function, metabolism, and immune education. Dysbiosis may contribute to inflammaging and frailty, while dietary shifts, medications, and disease states further destabilize microbial ecology. Although microbiome rejuvenation remains less mature than senolytics or rapalogs, it is plausible that future anti-aging programs will incorporate diet, prebiotics, probiotics, postbiotics, and perhaps targeted microbial ecosystem engineering as adjunctive strategies (López-Otín et al., 2023).

Partial epigenetic reprogramming and gene-based rejuvenation

Among future-facing therapies, partial reprogramming is the most radical because it aims to reset cellular age directly. Reprogramming factors can erase epigenetic marks and restore youthful transcriptional patterns, but full reprogramming destroys cell identity and carries major tumor risk. Partial reprogramming seeks a narrow therapeutic window in which age-associated information is reset without dedifferentiation. In animal models, intermittent expression paradigms have produced striking signs of tissue rejuvenation, but the translational path remains difficult. Delivery, reversibility, oncogenic risk, tissue targeting, and quantitative control must all be solved before human use becomes plausible (Kerepesi et al., 2024; Takahashi & Yamanaka, 2006). Still, if achieved safely, partial reprogramming could become the defining rejuvenation platform of the next generation.

Biomarkers and Clocks Used to Assess Biological Age and Treatment Response

The ability to measure biological age is essential for the field because anti-aging interventions unfold over timescales that are often longer than conventional clinical trials. Biomarkers therefore serve three functions: they identify individuals aging faster than expected, help select patients for intervention, and offer candidate surrogate endpoints for treatment response (Ferrucci et al., 2018; Moqri et al., 2023).

Epigenetic clocks are the best known tools. Horvath's multi-tissue clock demonstrated that DNA methylation patterns can estimate chronological age across diverse tissues with remarkable precision (Horvath, 2013). Later clocks, including DNAm PhenoAge and related second-generation models, aimed to capture biological rather than purely chronological aging by incorporating

morbidity and mortality-associated features (Levine et al., 2018). These clocks have transformed the field by making aging measurable in a standardized, quantitative way. However, they are not interchangeable. Different clocks capture different latent constructs, including chronological age, mortality risk, inflammatory state, organ-specific decline, or cumulative exposure.

The field has since moved toward broader frameworks that include proteomic, metabolomic, inflammatory, imaging, and functional measures. Blood-based proteomic signatures may reflect systemic inflammation, extracellular matrix remodeling, immune dysfunction, and endocrine shifts. Functional markers such as gait speed, grip strength, cardiorespiratory fitness, and frailty indices remain clinically powerful because they capture integrated organismal reserve rather than molecular state alone. The most useful future biomarkers will likely be hybrid systems combining molecular and functional domains (Bell et al., 2019; Ferrucci et al., 2018; Moqri et al., 2024).

Biomarker validation remains a major challenge. A marker may correlate with age without changing meaningfully after intervention, or it may change after treatment without predicting durable clinical benefit. Analytical reproducibility, tissue specificity, sensitivity to acute stress, and interpretability all matter. Moqri and colleagues have argued that the field needs clearer terminology distinguishing biomarkers of aging, pace-of-aging measures, resilience measures, and intervention-response markers (Moqri et al., 2023; Moqri et al., 2024). This distinction is especially important because rejuvenation may manifest not only as younger static biology but as improved recovery from perturbation.

In practical terms, the future of anti-aging trials will depend heavily on biomarker refinement. Without validated endpoints, promising therapies will remain trapped between mechanistic excitement and regulatory uncertainty. With them, the field can shift from anecdotal longevity claims to quantitative, testable medicine.

Safety, Risks, and Translational Challenges

The greatest danger in anti-aging medicine is conceptual overreach. Aging is a complex adaptive state, not a single lesion, and interventions that appear beneficial in one tissue or timeframe may be harmful elsewhere. This is especially true for pathways that evolved to balance growth, repair, tumor suppression, and fertility. Manipulating such pathways requires humility and precise dosing. Cancer risk is a central concern. Senescence protects against malignant transformation in some settings, so eliminating senescent cells indiscriminately could theoretically remove a tumor-suppressive barrier. Conversely, partial reprogramming may erase age-associated dysfunction while also increasing dedifferentiation and neoplasia risk if control is imperfect (Campisi, 2013; Kerepesi et al., 2024). Telomerase activation, stem-cell expansion, and DNA repair enhancement raise similar dual-use concerns.

Immune effects are another challenge. While low-dose mTOR modulation may improve immune function in older adults, excessive inhibition could impair host defense or wound healing. Senolytics may alter tissue repair, fibrosis, and inflammatory balance in ways that differ by disease context. NAD⁺-boosting therapies could benefit mitochondrial function but also have context-dependent effects on proliferative or inflammatory pathways. Thus, the same intervention may be protective in one biological milieu and adverse in another (Covarrubias et al., 2021; Del Giudice et al., 2014; Morris et al., 2018).

Heterogeneity is equally important. Biological age differs across organs, sexes, genetic backgrounds, and exposure histories. A therapy that benefits metabolically unhealthy older adults may do little for healthy middle-aged individuals. Frailty, undernutrition, polypharmacy, renal function, and immune competence all modify risk-benefit profiles. Anti-aging medicine therefore cannot mature as a one-size-fits-all commercial category; it must become a stratified clinical discipline.

There are also practical barriers. Trials require long follow-up or validated surrogate markers. Regulatory systems remain organized around disease indications rather than aging itself.

Manufacturing complexity limits advanced biological therapies. Public demand creates incentives for premature commercialization, especially in stem-cell, peptide, and supplement markets where evidence often lags far behind marketing claims. For this reason, the field must distinguish sharply between mechanism-based experimental medicine and consumer anti-aging culture.

Ethical considerations extend beyond safety. If effective rejuvenation technologies emerge, questions of access, health equity, labor structure, insurance coverage, and intergenerational allocation will intensify. Treatments that extend healthspan could reduce disability and healthcare burden, but unequal access could widen social and biological disparities. The ethics of enhancement versus treatment will also become more difficult when interventions are offered to middle-aged or healthy individuals rather than to patients with defined disease (Fig 3).

Figure 3 | Temporal biology as a central framework for future life science research

From static omics snapshots to dynamic, time-resolved, predictive analysis of biological systems

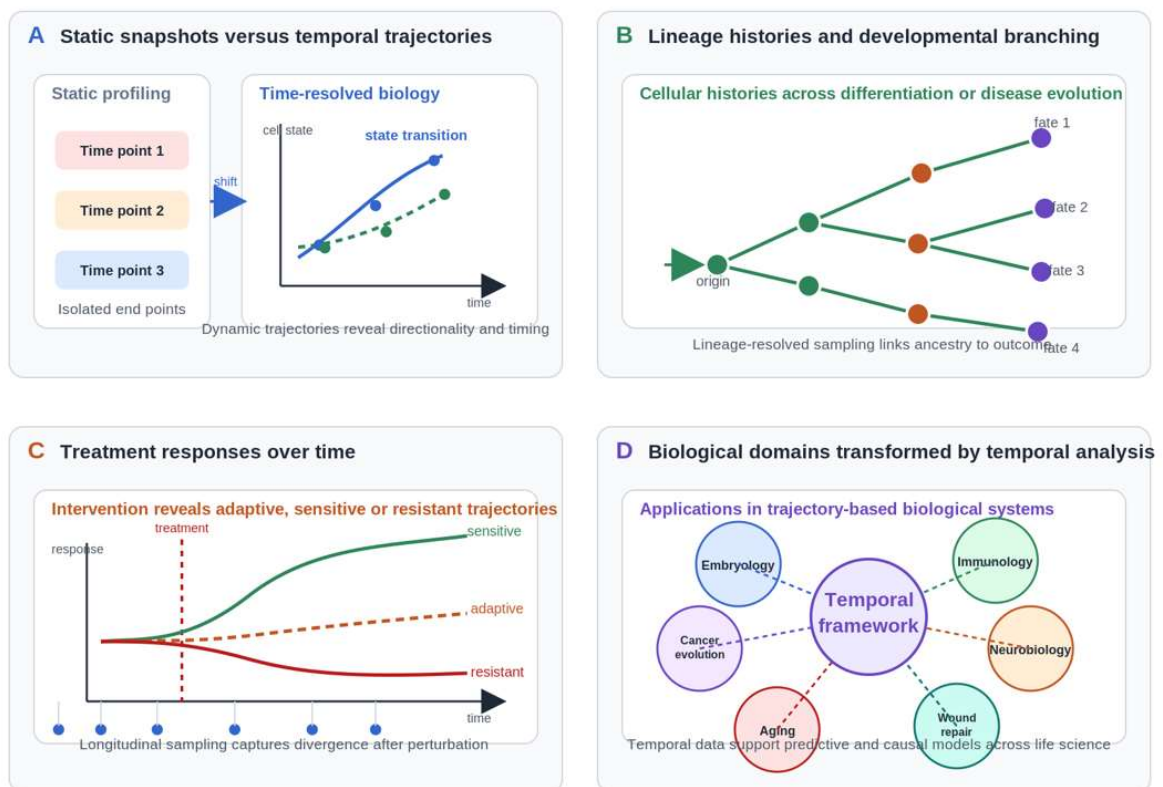


Figure 3. Temporal biology as a central framework for future life science research.

A, conceptual comparison between static omics snapshots and time-resolved analysis, illustrating how longitudinal sampling converts isolated end points into directional biological trajectories and state transitions. B, lineage-aware frameworks that reconstruct cellular histories and branching fates, enabling the mapping of developmental, regenerative or pathological progression over time. C, temporal monitoring of treatment response, showing how repeated measurements after perturbation distinguish sensitive, adaptive and resistant trajectories that would be obscured in single end-point studies. D, representative biological domains in which temporal analysis is expected to become central, including embryology, immunology, neurobiology, wound repair, aging and cancer evolution. Together, these panels illustrate the shift from descriptive molecular atlases towards dynamic, predictive and mechanistic models of biological function and disease progression.

Future Technologies and Evidence-Based Predictions

The most plausible future of rejuvenation is not a single “anti-aging cure” but a layered therapeutic architecture. Several developments are likely to define this next phase.

First, precision geroscience will probably replace generic longevity prescribing. Individuals will be stratified using multi-omic age measures, inflammatory profiles, metabolic phenotypes, and functional resilience indices. Treatment selection will then be personalized. A patient with inflammatory adiposity and insulin resistance may receive a different anti-aging program than one with immunosenescence and preserved metabolic health. This biomarker-guided approach is more realistic than the current search for universally effective geroprotectors (Moqri et al., 2023; Moqri et al., 2024).

Second, combination therapies are likely to outperform monotherapies. Aging is network failure, so stacked interventions targeting complementary pathways should be more effective than isolated drugs. Exercise plus dietary timing plus targeted pharmacology may become the baseline model. Pharmacological combinations might pair mTOR modulation with senomorphic control, mitochondrial support, or microbiome management. The main challenge will be designing regimens that preserve synergy while minimizing toxicity (Guarente et al., 2024; López-Otín et al., 2023).

Third, partial reprogramming will remain a flagship technology, but its first successful applications will likely be organ specific rather than systemic. The eye, skin, skeletal muscle, or hematopoietic system may provide safer initial targets because they permit local delivery and clearer monitoring. Systemic whole-body reprogramming is far more complex and likely much farther away. If the field succeeds, it will do so through tightly regulated, reversible, tissue-adapted platforms rather than broad constitutive factor expression (Kerepesi et al., 2024).

Fourth, senotherapeutics will become more precise. First-generation senolytics are relatively blunt instruments. Next-generation approaches will likely target senescent subtypes defined by transcriptomic and surface-marker signatures, allowing selective clearance in fibrotic lung, dysfunctional adipose tissue, or aged bone marrow without affecting beneficial senescence in wound healing or development. Immunologic senolysis and engineered cell therapies may eventually outperform small molecules in specificity (Kirkland et al., 2020; Zhang et al., 2023).

Fifth, cell-free regenerative medicine will likely eclipse many stem-cell hype cycles. Extracellular vesicles, defined secretomes, and synthetic pro-regenerative cocktails are more scalable and controllable than heterogeneous cell infusions. Their success, however, will depend on standardization, biodistribution control, and reproducible potency assays. The long-term future may involve organ-specific regenerative biologics that restore stem-cell niche signaling without requiring permanent engraftment.

Sixth, AI-driven intervention design and aging-clock interpretation will expand rapidly. Machine learning is well suited to multi-omic pattern recognition, intervention matching, trial enrichment, and detection of early treatment signals. Yet AI will be most useful when embedded in high-quality biological frameworks, not when used as a substitute for mechanism. The likely outcome is a hybrid model in which computational systems guide combination selection and response monitoring while mechanistic biology constrains interpretation.

Seventh, preventive longevity medicine will move earlier in the life course. Rather than waiting for frailty or multimorbidity, clinicians may intervene when pace-of-aging measures first accelerate. This could transform middle age into a window for structured aging-risk modification, analogous to how cardiovascular medicine now treats risk factors before myocardial infarction. Metformin-like metabolic agents, circadian optimization, structured exercise, and immunometabolic screening may form the early, low-risk tier of such programs (Barzilai et al., 2016; Seals et al., 2016).

Finally, the definition of success will evolve. The most meaningful endpoint is unlikely to be maximum lifespan alone. It will be preserved function, delayed multimorbidity, reduced frailty,

better resilience to infection and surgery, and extended years of independent living. In this sense, the field's deepest promise is not immortalism but compression of late-life vulnerability into a shorter, less disabling period.

Conclusion

Modern rejuvenation science has advanced from speculative aspiration to a mechanistically coherent translational field. Aging is now understood as a modifiable network state arising from interacting hallmarks that span genome maintenance, metabolism, organelle quality control, cellular fate, stem cell function, immunity, and systemic communication. This understanding has generated a new therapeutic landscape in which exercise, dietary interventions, metformin, rapalogs, senotherapeutics, NAD⁺-modulating compounds, and emerging epigenetic strategies are evaluated not simply for disease treatment but for their capacity to alter the aging process itself (Guarente et al., 2024; Kennedy et al., 2014; López-Otín et al., 2023).

Yet the field must resist both nihilism and hype. No currently available therapy reverses whole-body human aging in a definitive sense. Most interventions remain partial, context dependent, or incompletely validated. Some of the most exciting technologies, especially partial reprogramming and advanced regenerative biologics, also carry the greatest uncertainty. The immediate future therefore belongs not to miracle cures but to disciplined integration: validated biomarkers, careful patient stratification, combination regimens, and rigorous long-term trials.

The most credible prediction is that anti-aging medicine will increasingly resemble precision systems medicine. Biological age will become measurable in practice. Interventions will be selected according to mechanistic phenotype rather than chronological age alone. Preventive geroscience will begin earlier, and rejuvenation therapies will first succeed in targeted tissues before broader systemic application. If these trajectories hold, the coming decade may not abolish aging, but it could meaningfully delay frailty, preserve function, and extend human healthspan in ways that are scientifically measurable and clinically consequential.

References

- Baar, M. P., Brandt, R. M. C., Putavet, D. A., Klein, J. D. D., Derks, K. W. J., Bourgeois, B. R. M., Stryeck, S., Rijkssen, Y., van Willigenburg, H., Feijtel, D. A., van der Pluijm, I., Essers, J., van Cappellen, W. A., van IJcken, W. F., Houtsmuller, A. B., Pothof, J., de Bruin, R. W. F., Madl, T., Hoeijmakers, J. H. J., Campisi, J., de Keizer, P. L. J. (2017). Targeted apoptosis of senescent cells restores tissue homeostasis in response to chemotoxicity and aging. *Cell*, 169(1), 132–147.e16.
- Baker, D. J., Wijshake, T., Tchkonja, T., LeBrasseur, N. K., Childs, B. G., van de Sluis, B., Kirkland, J. L., & van Deursen, J. M. (2011). Clearance of p16Ink4a-positive senescent cells delays ageing-associated disorders. *Nature*, 479(7372), 232–236.
- Baker, D. J., Childs, B. G., Durik, M., Wijers, M. E., Sieben, C. J., Zhong, J., Saltness, R. A., Jeganathan, K. B., Verzosa, G. C., Pezeshki, A., Khazaie, K., Miller, J. D., & van Deursen, J. M. (2016). Naturally occurring p16Ink4a-positive cells shorten healthy lifespan. *Nature*, 530(7589), 184–189.
- Barzilai, N., Crandall, J. P., Kritchevsky, S. B., & Espeland, M. A. (2016). Metformin as a tool to target aging. *Cell Metabolism*, 23(6), 1060–1065.
- Bell, C. G., Lowe, R., Adams, P. D., Baccarelli, A. A., Beck, S., Bell, J. T., Christensen, B. C., Gladyshev, V. N., Heijmans, B. T., Horvath, S., Ideker, T., Issa, J.-P., Kelsey, K. T., Marioni, R. E., Reik, W., Relton, C. L., Schalkwyk, L. C., Teschendorff, A. E., Wagner, W., & Rakan, V. K. (2019). DNA methylation aging clocks: Challenges and recommendations. *Genome Biology*, 20(1), 249.
- Campisi, J. (2013). Aging, cellular senescence, and cancer. *Annual Review of Physiology*, 75, 685–705.
- Campisi, J., & d'Adda di Fagagna, F. (2007). Cellular senescence: When bad things happen to good cells. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 8(9), 729–740.

- Childs, B. G., Durik, M., Baker, D. J., & van Deursen, J. M. (2015). Cellular senescence in aging and age-related disease: From mechanisms to therapy. *Nature Medicine*, 21(12), 1424–1435.
- Covarrubias, A. J., Perrone, R., Grozio, A., & Verdin, E. (2021). NAD⁺ metabolism and its roles in cellular processes during ageing. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 22(2), 119–141.
- de Cabo, R., & Mattson, M. P. (2019). Effects of intermittent fasting on health, aging, and disease. *New England Journal of Medicine*, 381(26), 2541–2551.
- Del Giudice, G., Lattanzi, M., Valiante, N. M., Praestgaard, J., Huang, B., Lonetto, M. A., Maecker, H. T., Kovarik, J., Carson, S., Glass, D. J., & Klickstein, L. B. (2014). mTOR inhibition improves immune function in the elderly. *Science Translational Medicine*, 6(268), 268ra179.
- Ferrucci, L., Levine, M. E., Kuo, P.-L., & Simonsick, E. M. (2018). Time and the metrics of aging. *Circulation Research*, 123(7), 740–744.
- Franceschi, C., Garagnani, P., Parini, P., Giuliani, C., & Santoro, A. (2018). Inflammaging: A new immune-metabolic viewpoint for age-related diseases. *Nature Reviews Endocrinology*, 14(10), 576–590.
- Guarente, L., Kroemer, G., & Sinclair, D. A. (2024). Eight interventions in human trials for aging and its attending diseases. *Cell Metabolism*, 36(1), 14–35.
- Hickson, L. J., Langhi Prata, L. G. P., Bobart, S. A., Evans, T. K., Giorgadze, N., Hashmi, S. K., Herrmann, S. M., Jensen, M. D., Jia, Q., Jordan, K. L., Kellogg, T. A., Khosla, S., Koerber, D. M., Lagnado, A. B., Lawson, D. K., LeBrasseur, N. K., Lerman, L. O., McDonald, K. M., McKenzie, T. J., Passos, J. F., Pignolo, R. J., Pirtskhalava, T., Saadiq, I. M., Schaefer, K. K., Textor, S. C., Victorelli, S. G., Volkman, T. L., Xue, A., Zhu, Y., Tchkonja, T., & Kirkland, J. L. (2019). Senolytics decrease senescent cells in humans: Preliminary report from a clinical trial of dasatinib plus quercetin in individuals with diabetic kidney disease. *EBioMedicine*, 47, 446–456.
- Horvath, S. (2013). DNA methylation age of human tissues and cell types. *Genome Biology*, 14(10), R115.
- Justice, J. N., Nambiar, A. M., Tchkonja, T., LeBrasseur, N. K., Pascual, R., Hashmi, S. K., Prata, L., Masternak, M. M., Kritchevsky, S. B., Musi, N., & Kirkland, J. L. (2019). Senolytics in idiopathic pulmonary fibrosis: Results from a first-in-human, open-label, pilot study. *EBioMedicine*, 40, 554–563.
- Kennedy, B. K., Berger, S. L., Brunet, A., Campisi, J., Cuervo, A. M., Epel, E. S., Franceschi, C., Lithgow, G. J., Morimoto, R. I., Pessin, J. E., Rando, T. A., Richardson, A., Schadt, E. E., Wyss-Coray, T., & Sierra, F. (2014). Geroscience: Linking aging to chronic disease. *Cell*, 159(4), 709–713.
- Kerepesi, C., Lee, S. G., & Gladyshev, V. N. (2024). Partial cell reprogramming and the potential of aging reversal. *Nature Communications*, 15, 2088.
- Kirkland, J. L., & Tchkonja, T. (2017). Cellular senescence: A translational perspective. *EBioMedicine*, 21, 21–28.
- Kirkland, J. L., Tchkonja, T., Zhu, Y., Niedernhofer, L. J., & Robbins, P. D. (2017). The clinical potential of senolytic drugs. *Journal of the American Geriatrics Society*, 65(10), 2297–2301.
- Kirkland, J. L., Tchkonja, T., Pirtskhalava, T., Han, J., & Karagiannides, I. (2020). Senolytic drugs: From discovery to translation. *Journal of Internal Medicine*, 288(5), 518–536.
- Katsyuba, E., Romani, M., Hofer, D., & Auwerx, J. (2020). NAD⁺ homeostasis in health and disease. *Nature Metabolism*, 2(1), 9–31.
- Kulkarni, A. S., Gubbi, S., & Barzilai, N. (2020). Benefits of metformin in attenuating the hallmarks of aging. *Cell Metabolism*, 32(1), 15–30.
- Levine, M. E., Lu, A. T., Quach, A., Chen, B. H., Assimes, T. L., Bandinelli, S., Hou, L., Baccarelli, A. A., Stewart, J. D., Li, Y., Whitsel, E. A., Wilson, J. G., Reiner, A. P., Aviv, A., Lohman, K., Liu, Y., Ferrucci, L., & Horvath, S. (2018). An epigenetic biomarker of aging for lifespan and healthspan. *Aging*, 10(4), 573–591.

- Longo, V. D., & Mattson, M. P. (2014). Fasting: Molecular mechanisms and clinical applications. *Cell Metabolism*, 19(2), 181–192.
- López-Otín, C., Blasco, M. A., Partridge, L., Serrano, M., & Kroemer, G. (2013). The hallmarks of aging. *Cell*, 153(6), 1194–1217.
- López-Otín, C., Blasco, M. A., Partridge, L., Serrano, M., & Kroemer, G. (2023). Hallmarks of aging: An expanding universe. *Cell*, 186(2), 243–278.
- Mahmoudi, S., Xu, L., & Brunet, A. (2019). Turning back time with emerging rejuvenation strategies. *Nature Cell Biology*, 21(1), 32–43.
- McHugh, D., & Gil, J. (2018). Senescence and aging: Causes, consequences, and therapeutic avenues. *Journal of Cell Biology*, 217(1), 65–77.
- Moqri, M., Herzog, C., Poganik, J. R., Justice, J., Belsky, D. W., Higgins-Chen, A., Moskalev, A., Fuellen, G., Cohen, A. A., Bautmans, I., Widschwendter, M., Ding, J., Fleming, A., Mannick, J., Han, J.-D. J., Zhavoronkov, A., Barzilai, N., Kaeberlein, M., Cummings, S., Kennedy, B., Ferrucci, L., Horvath, S., Verdin, E., Maier, A. B., Snyder, M. P., Sebastiano, V., & Gladyshev, V. N. (2023). Biomarkers of aging for the identification and evaluation of longevity interventions. *Cell*, 186(18), 3758–3775.
- Moqri, M., Herzog, C., Poganik, J. R., Higgins-Chen, A., Moskalev, A., Kaeberlein, M., Horvath, S., Snyder, M. P., Sebastiano, V., & Gladyshev, V. N. (2024). Validation of biomarkers of aging. *Nature Medicine*, 30(2), 360–372.
- Morris, M., Hockey, H.-U. P., Roma, G., Beibel, M., Kulmatycki, K., Watkins, M., Shavlakadze, T., Zhou, W., Quinn, D., Glass, D. J., & Klickstein, L. B. (2018). TORC1 inhibition enhances immune function and reduces infections in the elderly. *Science Translational Medicine*, 10(449), eaaq1564.
- Partridge, L. (2010). The new biology of ageing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 365(1537), 147–154.
- Quach, A., Levine, M. E., Tanaka, T., Lu, A. T., Chen, B. H., Ferrucci, L., Ritz, B., Bandinelli, S., Neuhauser, M. L., Beasley, J. M., Snetselaar, L., Wallace, R. B., Tsao, P. S., Absher, D., Assimes, T. L., & Horvath, S. (2017). Epigenetic clock analysis of diet, exercise, education, and lifestyle factors. *Aging*, 9(2), 419–446.
- Seals, D. R., Justice, J. N., & LaRocca, T. J. (2016). Physiological geroscience: Targeting function to increase healthspan and achieve optimal longevity. *Journal of Physiology*, 594(8), 2001–2024.
- Sierra, F., & Kohanski, R. (2017). Geroscience and the trans-NIH Geroscience Interest Group, GSIG. *GeroScience*, 39(1), 1–5.
- Takahashi, K., & Yamanaka, S. (2006). Induction of pluripotent stem cells from mouse embryonic and adult fibroblast cultures by defined factors. *Cell*, 126(4), 663–676.
- Tchkonia, T., Zhu, Y., van Deursen, J., Campisi, J., & Kirkland, J. L. (2013). Cellular senescence and the senescent secretory phenotype: Therapeutic opportunities. *Journal of Clinical Investigation*, 123(3), 966–972.
- Villeda, S. A., Plambeck, K. E., Middeldorp, J., Castellano, J. M., Mosher, K. I., Luo, J., Smith, L. K., Bieri, G., Lin, K., Berdnik, D., Wabl, R., Udeochu, J., Wheatley, E. G., Zou, B., Simmons, D. A., Xie, X. S., Longo, F. M., & Wyss-Coray, T. (2014). Young blood reverses age-related impairments in cognitive function and synaptic plasticity in mice. *Nature Medicine*, 20(6), 659–663.
- Zhang, L., Pitcher, L. E., Prahalad, V., Niedernhofer, L. J., Robbins, P. D., & Fuhrmann-Stroissnigg, H. (2023). Targeting cellular senescence with senotherapeutics: Senolytics and senomorphics. *FEBS Journal*, 290(5), 1362–1383.



Proceedings of the 14th International Scientific Conference
«Theoretical Hypotheses and Empirical results» (July 16-17, 2026). Oslo,
Norway, 2026. 124p

editor@publisher.agency

<https://publisher.agency>

University of Norway

PO Box 1012 Blindern

0224 Oslo