

<https://doi.org/10.52889/1684-9280-2025-76-3-jto001>

Original article

Comparative evaluation of clinical outcomes of using articulating and non-articulating cement spacers in the first stage of treatment of periprosthetic infection

[Serik Balgazarov](#)¹, [Alexey Belokobylov](#)², [Zhanatai Ramazanov](#)³,
[Ruslan Abilov](#)⁴, [Artyom Moroshan](#)⁵, [Alya Atepileva](#)⁶,
[Alexandr Kriklivyy](#)⁷, [Yersultan Alzhanov](#)⁸

Received: 02.05.2025

Accepted: 11.06.2025

Published: 30.06.2025

* Corresponding author:

Alexandr Kriklivyy,

Email: kriklivyialexandr@gmail.com

Citation: Trauma & Ortho Kaz, 2025,
76 (3), jto001

This work is licensed under a Creative
Commons Attribution 4.0 International
License



¹Deputy Director for Clinical Affairs, National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician N.D. Batpenov, Astana, Kazakhstan

² Head of the Orthopedic Department No.4, National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician N.D. Batpenov, Astana, Kazakhstan

³Orthopedic Traumatologist of the Traumatology Department No. 4, National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after academician N.D. Batpenov, Astana, Kazakhstan

⁴ Head of the Traumatology Department No.4, National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician N.D. Batpenov, Astana, Kazakhstan

⁵Traumatologist of the Traumatology Department No. 4, National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after academician N.D. Batpenov, Astana, Kazakhstan

⁶Traumatologist of the Traumatology Department No. 4, National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after academician N.D. Batpenov, Astana, Kazakhstan

⁷Traumatologist of the Traumatology Department No. 4, National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after academician N.D. Batpenov, Astana, Kazakhstan

⁸ PhD student, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan

Abstract

Periprosthetic joint infection (PJI) remains one of the most serious complications in modern orthopedic practice, particularly after knee arthroplasty. The incidence of PJI ranges from 0.5–2.0% after primary knee arthroplasty and up to 22% after revision procedures. In Kazakhstan, 403 cases of PJI involving large joints were officially registered in 2023.

Objective. This study aims to evaluate the clinical outcomes of articulating and static (non-articulating) cement spacers used during the first stage of two-stage revision knee arthroplasty for PJI.

Methods. For a randomized study, 20 patients were selected, divided into 2 groups of 10 people. The first group received an articulating cement spacer in the knee joint, while the second group received a non-articulating (static) cement spacer. Both groups included 8 women and 2 men. Median age was 64 years (IQR: 57–69) in the articulating spacer group and 62 years (IQR: 56.5–67) in the non-articulating group. Clinical and radiological evaluations were conducted 12 months postoperatively.

Results. Our study found no significant differences in baseline characteristics, hospital stay, or duration of surgery. Functional outcomes were significantly better in the

articulating group based on Knee Society Score (knee: 82 vs. 38.2; function: 70 vs. 35; $p < 0.001$) and Oxford Knee Score (35 vs. 25; $p = 0.0014$). Radiographic analysis showed cement-bone lucency in 100% of non-articulating spacers and 40% of articulating spacers ($p = 0.0034$). At 12 months, PJI recurrence was 20% in both groups.

Conclusions. Articulating spacers offer functional advantages over static ones, particularly in delayed reimplantation, by preserving mobility and improving interim quality of life.

Keywords: cement spacer, articulating spacer, non-articulating spacer, periprosthetic joint infection.

1. Introduction

One of the main problems of modern orthopedics is the development of peri-implant infection. Among all peri-implant infections, periprosthetic joint infection of large joints occupies a special place [1]. According to world statistics, periprosthetic joint infection (PJI) after primary total knee arthroplasty (TKA) varies from 0.5 to 2.0%, and after revision arthroplasty from 0.95-22% [2]. According to the statistical digest on the provision of traumatological and orthopedic care to the population in the Republic of Kazakhstan in 2023, 403 cases of periprosthetic infection of large joints were officially registered [3].

Two-stage revision is the gold standard for the treatment of periprosthetic infection and, at the first stage, consists of complete removal of the endoprosthesis components, thorough debridement with removal of infected soft and bone tissues, sanitation of the knee joint cavity with antiseptic solutions and installation of a cement spacer with an antibiotic. At the second stage, once the infection has been fully eradicated, revision arthroplasty is recommended. This involves removal of the cement spacer and implantation of a revision endoprosthesis [4].

There are two main types of cement spacers - articulating (dynamic) and non-articulating (static). The

fundamental difference between these two types of spacers is that when using an articulating spacer, it is possible to maintain movements in the knee joint, and when installing a non-articulating spacer, the knee joint remains in a position of full extension [5]. Both methods are widely used both in world practice and in the Republic of Kazakhstan.

Each of the two methods has certain advantages and disadvantages. Thus, an articulating spacer allows you to maintain the range of motion in the knee joint and is more comfortable for the patient, but due to the preservation of metal and polymer components, it may be associated with a higher risk of re-infection [6]. A non-articulated spacer, in turn, does not prolong the surgical intervention, does not contain metal and polymer components in its structure that come into contact with tissues, but at the same time the range of motion in the knee joint is completely lost, and can limit the axial load on the limb [7].

The purpose of this study is to evaluate the clinical outcomes of using an articulated and non-articulated cement spacer in the first stage of treatment of periprosthetic infection.

2. Materials and Methods

The study was conducted at the National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after academician N.D. Batpenov in Astana. Patients were divided into 2 groups of 10 patients each. All patients signed informed consent for treatment, surgery, data collection and publication of data.

The study was conducted at the National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after academician N.D. Batpenov in Astana. Patients were

divided into 2 groups of 10 patients each. All patients signed informed consent for treatment, surgery, data collection and publication of data.

Patients were included in the study according to the following criteria:

- Patients with an established diagnosis of periprosthetic infection of the knee joint, requiring surgical treatment;
- Patient age from 45 to 79 years;

- Patients' consent to participate in the study.

The exclusion criteria were as follows:

- Patients with an established diagnosis of periprosthetic infection of the knee joint, refusing surgical treatment or undergoing a course of conservative therapy;

- Patient age under 45 and over 79 years;

- Hemiparesis on the side of the proposed operation;

- Neoplasms of other localizations with or without metastases;

- Patient's refusal from the study.

In the first group, 10 patients underwent surgical intervention in the volume of arthrotomy, endoprosthesis removal, revision, sanitation, installation of an articulating cement spacer with an antibiotic of the knee joint. In the second group, patients underwent surgical intervention in the volume of arthrotomy, endoprosthesis removal, revision, sanitation, installation of a non-articulating cement spacer with an antibiotic of the knee joint.

When assessing the groups by gender, age, concomitant diseases, the number of previous revision surgeries, no differences were found between the groups.

Evaluation of clinical efficacy between the groups was carried out according to the following indicators:

the number of hospital beds; the number of bed days spent in the intensive care unit; the duration of the operation; assessment of knee joint function, radiographic stability, the number of relapses of cases of periprosthetic infection. Control evaluation of the results was carried out 12 months after the operation. Knee joint function was assessed using the Knee Society Score scale (KSS) and the Oxford Knee Score questionnaire (OKS). Radiographic evaluation of the appearance of radiolucent lines at the cement/bone interface of the endoprosthesis was performed using the Modern Knee Society Radiographic Evaluation System.

The surgical technique of arthrotomy, endoprosthesis removal, revision, debridement, and installation of a cement spacer with an antibiotic in the knee joint included the following steps: An incision was made along the old postoperative scar; the scar was excised if necessary. Then, medial arthrotomy of the knee joint was performed, bending around the patella (Figure 1). Resection of scar adhesions was performed and the patella was mobilized. Then, the endoprosthesis components were removed one by one and thorough tissue debridement was performed (Figure 2). The joint cavity was abundantly washed with antiseptic solutions and exposed to povidone-iodine solution for 5 minutes.



Figure 1 – Medial arthrotomy of the knee joint. The unstable component of the knee joint endoprosthesis is visualized

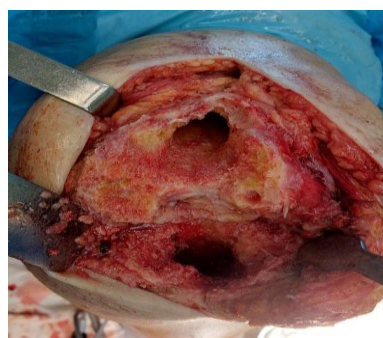


Figure 2 – View of the knee joint after debridement

Further, the technique differed depending on the type of spacer. When installing an articulating spacer, after exposure, the trial femoral components and liner were installed (Figure 3). The liner was additionally reinforced with a rod and covered with bone cement.

After installing the reinforced liner, the femoral component was installed. Then the range of motion and stability of the knee joint were checked. The wound was sutured layer by layer and drained.

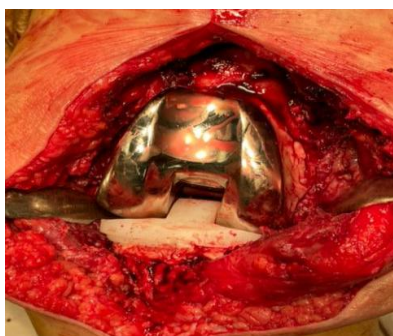


Figure 3 – Installed articulating cement spacer of the knee joint

When installing a non-articulated cement spacer, bone cement with an antibiotic was prepared after exposure and installed in the knee joint cavity (Figure 4). The knee joint was in a position of full extension and traction. After polymerization of the bone cement, the

stability of the knee joint was assessed. The wound was sutured layer by layer and drained. The knee joint was fixed with a bandage.



Figure 4 – Installed articulating cement spacer of the knee joint

All data were recorded and processed using Microsoft Excel from the Microsoft Office 2019 package and Statistica 13.0 software for statistical analysis developed by Statsoft. Statistical processing of the obtained data was carried out using the nonparametric

Mann-Whitney criterion for quantitative data and the parametric Pearson's criterion χ^2 (chi-squared) for qualitative data. Differences between the groups were considered significant at $p < 0.05$ [8].

3. Results

There were 8 women (80%) and 2 men (20%) in each group. The median age of patients was 64 years (Q25-Q75; 57-69) in the first group and 62 years (Q25-Q75; 56.5-67) in the second group. The median number of previous revisions in the first group was 1 (Q25-Q75; 1-2), in the second group 2 (Q25-Q75; 1.5-2). There were no statistically significant differences between the

groups for the presented criteria. When comparing in the articulating spacer group, the median hospital stay of patients was 18 days (Q25-Q75; 16 - 23). In the non-articulated spacer group, the median was 18 days (Q25-Q75; 15 - 23) ($p = 0.56$).

The median number of days in the intensive care unit for the first group was 1 day (Q25-Q75; 0-1), for the second group also 1 day (Q25-Q75; 1-1), ($p = 0.42$).

The median duration of surgery in the first group was 120 minutes (Q25 - Q75; 116.25 - 128.75), in the second group 117.5 minutes (Q25-75; 111.25-120) ($p = 0.25$). Evaluation of knee joint function using the Knee Society Score scale showed a median number of knee points in the articulating spacer group of 82 points (Q25 - Q75; 69.75 - 83), in the non-articulating spacer group 38.2 points (Q25-Q75; 32.25-41) ($p = 0.00015$). The median number of functional points in the first group was 70 points (Q25 - Q75; 62.5 - 80), in the control group 35 points (Q25-Q75; 30 - 40) ($p = 0.00055$). When assessing according to the Oxford Knee Score scale, the median score in the first group was 35 points (Q25-Q75; 30-40), in the second group 25 points (Q25-Q75; 21-25) ($p = 0.0014$).

4. Discussion

The choice between articulating and static cement spacers in two-stage revision total knee arthroplasty for periprosthetic joint infection remains a topic of debate. Numerous studies have highlighted the clinical advantages and disadvantages of each type.

Articulating spacers offer superior postoperative range of motion (ROM), better functional outcomes, and improved patient satisfaction. According to Nahhas et al., patients treated with articulating spacers demonstrated significantly higher Knee Society Scores and faster recovery of knee mobility after reimplantation compared to those with static spacers [9].

Similar findings were confirmed by Warwick et al., who observed a reduced need for quadriceps release and easier exposure at second-stage surgery [6].

However, articulating spacers are associated with increased complexity in fabrication and may carry a higher risk of spacer dislocation or instability, especially in cases with poor soft tissue or severe bone loss. Additionally, certain designs (e.g., metal-on-poly articulating spacers) may induce more wear debris, though clinical significance remains unclear [9].

When assessing the radiographic stability of the spacer components in the non-articulated spacer group, radiographic clear lines were found at the cement/bone interface in all cases (100%). This radiographic picture indicates the presence of mobility between the bone cement and bone, indicating the moment of lack of complete fixation of the non-articulated cement spacer in the bed. In the articulating spacer group, 4 cases (40%) of radiographic clear lines at the cement/bone interface were detected. In this case, a statistically significant difference was revealed between the groups ($\chi^2 = 8.57$; $p = 0.0034$). At 12 months postoperatively, there were 2 cases (20%) of periprosthetic infection in the articulating spacer group, and 2 cases of recurrent periprosthetic infection (20%) in the non-articulating spacer group.

Static (non-articulating) spacers, on the other hand, provide superior joint stability and are generally preferred in cases of severe bone defects, ligament insufficiency, or extensor mechanism disruption. They are simpler to construct and offer strong local antibiotic delivery due to their bulk cement volume. Nevertheless, several studies report inferior functional results and limited postoperative ROM. For example, Mian et al. observed increased stiffness and longer rehabilitation periods in patients receiving static spacers [10].

The infection eradication rates between the two types remain comparable across most studies, with success rates ranging from 85–95% for both designs. However, as shown in the meta-analysis by Voleti et al., articulating spacers may result in fewer manipulations under anesthesia and improved long-term joint function [11].

Limitations of current evidence include heterogeneity in spacer design, surgical technique, and follow-up duration. More randomized controlled trials are required to determine the ideal spacer selection based on individual patient characteristics and infection severity.

4. Conclusions

In this comparative study, the use of an articulating antibiotic-loaded cement spacer demonstrated clear functional advantages over the static design. The articulating spacer preserved weight-bearing capacity and range of motion in the knee joint,

resulting in superior functional outcomes. Furthermore, its use may offer additional benefits in cases where prolonged delay before second-stage reimplantation is required, maintaining joint mobility and improving patient quality of life during the interim period.

Conflict of interest. The authors declare no conflicts of interest.

Funding. The authors declare that there is no funding.

Author Contributions. Conceptualization - S.B.; methodology - A.B.; formal analysis - A.B.;

investigation - R.A.; resources - A.B.; data curation - A.M.; writing – original draft preparation - Ye.A., A.A.; writing – review and editing - Zh.R., A.K.; visualization - S.B.; supervision - A.B.; project administration - A.B. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

References

1. Nelson, S. B., Pinkney, J. A., Chen, A. F., & Tande, A. J. (2023). Periprosthetic joint infection: current clinical challenges. *Clinical Infectious Diseases*, 77(7), e34–e45. <https://doi.org/10.1093/cid/ciad360>
2. Mavrogenis, A. F., Pala, E., Angelini, A., Calabro, T., Romagnoli, C., Romantini, M., ... & Ruggieri, P. (2015). Infected prostheses after lower-extremity bone tumor resection: clinical outcomes of 100 patients. *Surgical infections*, 16(3), 267–275. <https://doi.org/10.1089/sur.2014.085>
3. Джаксыбекова Г.К., Искаков Е.С., Мусина Г.А., Бекболаткызы Н. Основные показатели травматологической и ортопедической помощи населению Республики Казахстан в 2022 году. Астана, 2023. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://cloud.mail.ru/public/MS4C/PapiY4z8Y>
4. Dzhaksybekova G.K., Isakov E.S., Musina G.A., Bekbolatkyzy N. Osnovnyye pokazateli travmatologicheskoy i ortopedicheskoy pomoshchi naseleniju Respubliki Kazakhstan v 2022 godu. (The main indicators of traumatological and orthopedic care to the population of the Republic of Kazakhstan in 2022) [in Russian]. Astana, 2023. Jelektronnyj resurs. Rezhim dostupa: <https://cloud.mail.ru/public/MS4C/PapiY4z8Y>
5. Kubista, B., Hartzler, R. U., Wood, C. M., Osmon, D. R., Hanssen, A. D., & Lewallen, D. G. (2012). Reinfection after two-stage revision for periprosthetic infection of total knee arthroplasty. *International orthopaedics*, 36, 65–71. <https://doi.org/10.1007/s00264-011-1267-x>
6. Charette, R. S., & Melnic, C. M. (2018). Two-stage revision arthroplasty for the treatment of prosthetic joint infection. *Current reviews in musculoskeletal medicine*, 11, 332–340. <https://doi.org/10.1007/s12178-018-9495-y>
7. Warwick, H. S., Tan, T. L., Weiser, L., Shau, D. N., Barry, J. J., & Hansen, E. N. (2023). Comparison of static and articulating spacers after periprosthetic joint infection. *JAAOS Global Research & Reviews*, 7(2), e22. <https://doi.org/10.5435/JAAOSGlobal-D-22-00284>
8. Oliva, F., Ziello, S., & Maffulli, N. (2023). Knee Spacers in Periprosthetic Joint Infections: A Narrative Review. *Muscles, Ligaments & Tendons Journal (MLTJ)*, 13(2). <https://doi.org/10.32098/mltj.02.2023.06>
9. Койчубеков Б.К. Биостатистика: учеб. пособие. – Алматы: Издательство «Эверо», 2015, 152 с. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://webirbis.qmu.kz/en/lib/document/BOOK/3453482D-5308-4B94-8A83-1B49DD8DDB44/>
10. Koychubekov B.K. Biostatistika: ucheb. Posobiye (Biostatistics: a textbook) [in Russian]. Almaty: Izdatel'stvo «Evero», 2015, 152 p. Jelektronnyj resurs. Rezhim dostupa: <https://webirbis.qmu.kz/en/lib/document/BOOK/3453482D-5308-4B94-8A83-1B49DD8DDB44/>
11. Nahhas, C. R., Chalmers, P. N., Parvizi, J., Sporer, S. M., Berend, K. R., Moric, M., ... & Della Valle, C. J. (2020). A randomized trial of static and articulating spacers for the treatment of infection following total knee arthroplasty. *JBJS*, 102(9), 778–787. <https://doi.org/10.2106/JBJS.19.00915>
12. Mian, H. M., Lyons, J. G., Perrin, J., Froehle, A. W., & Krishnamurthy, A. B. (2022). A review of current practices in periprosthetic joint infection debridement and revision arthroplasty. *Arthroplasty*, 4(1), 31. <https://doi.org/10.1186/s42836-022-00136-5>
13. Voleti, P. B., Baldwin, K. D., & Lee, G. C. (2013). Use of static or articulating spacers for infection following total knee arthroplasty: a systematic literature review. *JBJS*, 95(17), 1594–1599. <https://doi.org/10.2106/JBJS.L.01461>

Тізе буынының протезмаңы инфекциясын емдеудің бірінші кезеңінде артикуляциялық және буынсыз цемент аралықтарды қолданудың клиникалық нәтижелерін салыстырмалы бағалау

[Балгазаров С.С.](#) ¹, [Белокобылов А.А.](#) ², [Рамазанов Ж.К.](#) ³, [Абилов Р.С.](#) ⁴, [Морошан А.В.](#) ⁵,
[Атепилева А.М.](#) ⁶, [Крикливый А.А.](#) ⁷, [Альжанов Е.Е.](#) ⁸

¹ Директордың клиникалық жұмыс жөніндегі орынбасары, Академик Н.Д. Батпенев атындағы травматология және ортопедия ұлттық ғылыми орталығы, Астана, Қазақстан

² №4 ортопедия бөлімінің меңгерушісі, Академик Н.Д. Батпенев атындағы травматология және ортопедия ұлттық ғылыми орталығы, Астана, Қазақстан

³ №4 травматология бөлімшесінің ортопед-травматологы, Академик Н.Д. Батпенев атындағы травматология және ортопедия ұлттық ғылыми орталығы, Астана, Қазақстан

⁴ №4 травматология бөлімінің меңгерушісі, Академик Н.Д. Батпенев атындағы травматология және ортопедия ұлттық ғылыми орталығы, Астана, Қазақстан

⁵ №4 травматология бөлімшесінің травматолог дәрігері, Академик Н.Д. Батпенев атындағы травматология және ортопедия ұлттық ғылыми орталығы, Астана, Қазақстан

⁶ №4 травматология бөлімшесінің травматолог дәрігері, Академик Н.Д. Батпенев атындағы травматология және ортопедия ұлттық ғылыми орталығы, Астана, Қазақстан

⁷ №4 травматология бөлімшесінің травматолог дәрігері, Академик Н.Д. Батпенев атындағы травматология және ортопедия ұлттық ғылыми орталығы, Астана, Қазақстан

⁸ PhD-докторант, Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан

Түйіндеме

Тізе буынының протезмаңы инфекциясы (ПМИ) қазіргі ортопедиялық тәжірибеде, әсіресе тізе буындарын протездеуден кейін ең ауыр асқынулардың бірі болып қала береді. ПМИ жиілігі тізе буынының бастапқы артропластикасынан кейін 0,5-тен 2,0%-ға дейін және қайта қарау процедураларынан кейін 22%-ға дейін ауытқиды. Қазақстанда 2023 жылы ірі буындарды қамтитын 403 ПМИ жағдайы ресми түрде тіркелген.

Бұл зерттеу ПМИ үшін екі сатылы ревизиялық тізе артропластикасының бірінші кезеңінде артикуляциялық және статикалық (буынсыз, артикуляциялық емес) цемент спейсерлерді қолданудың клиникалық нәтижелерін бағалауға бағытталған.

Әдістері. Рандомизацияланған зерттеуге әрқайсысы 10 адамнан тұратын 2 топқа бөлінген барлығы 20 науқас таңдалды. Бірінші топтағы науқастардың тізе буынына артикуляциялық цемент спейсер, ал екінші топқа тізе буынына статикалық цемент спейсер орнатылды. Екі топта 8 әйел және 2 ер адам болды. Артикуляциялық спрейлер тобында орташа жас 64 жасты (квартильаралық диапазон: 57–69) және буынсыз спейсер тобында 62 жасты (квартильаралық диапазон: 56,5–67) құрады. Емнің нәтижелерін клиникалық және рентгенографиялық бағалау отадан 12 ай өткеннен кейін жүргізілді.

Нәтижелері. Негізгі сипаттамаларда салыстырғанда, ауруханада өткізген уақыт немесе отаның ұзақтығында айтарлықтай айырмашылықтар табылмады. Функционалдық нәтижелер Knee Society Index бойынша (тізе: 82 (38,2-ге қарсы); функция: 70 (35-ке қарсы); $p < 0,001$) және Оксфорд тізе индексі бойынша (35 (25-ке қарсы); $p = 0,001$), негізіндегі артикуляциялық спейсер тобында айтарлықтай жақсы болды. Рентгенографиялық талдау 100% жағдайда артикуляциялық емес спейсерде және 40% жағдайда

артикуляциялық спейсерде ($p = 0,0034$) цемент/сүйек ағаруын көрсетті. 12 айдан кейін ПМИ қайталануы екі топта да 20% құрады.

Қорытынды. Артикуляциялық спейсердің функционалдық артықшылығы статикалықтарға қарағанда, әсіресе кешіктірілген реимплантацияда, ұтқырлықты сақтауда және уақытша өмір сапасын жақсартуда байқалады.

Түйін сөздер: цементтік спейсер, артикуляциялық спейсер, буынсыз спейсер, протезмаңы инфекциясы.

Сравнительная оценка клинических результатов применения артикулирующих и неартикулирующих цементных спейсеров при первом этапе лечения перипротезной инфекции коленного сустава

[Балгазаров С.С.](#)¹, [Белокобылов А.А.](#)², [Рамазанов Ж.К.](#)³, [Абилов Р.С.](#)⁴, [Морошан А.В.](#)⁵,

[Атепилева А.М.](#)⁶, [Крикливый А.А.](#)⁷, [Альжанов Е.Е.](#)⁸

¹ Заместитель директора по клинической работе, Национальный научный центр травматологии и ортопедии имени академика Н.Д. Батпенова, Астана, Казахстан

² Заведующий отделением Ортопедии №4, Национальный научный центр травматологии и ортопедии имени академика Н.Д. Батпенова, Астана, Казахстан

³ Травматолог-ортопед отделения Травматологии № 4, Национальный научный центр травматологии и ортопедии имени академика Н.Д. Батпенова, Астана, Казахстан

⁴ Заведующий отделением травматологии №4 Национального научного центра травматологии и ортопедии имени академика Н.Д. Батпенова, Астана, Казахстан

⁵ Травматолог отделения Травматологии № 4, Национальный научный центр травматологии и ортопедии имени академика Н.Д. Батпенова, Астана, Казахстан

⁶ Травматолог отделения Травматологии № 4, Национальный научный центр травматологии и ортопедии имени академика Н.Д. Батпенова, Астана, Казахстан

⁷ Травматолог отделения Травматологии №4, Национальный научный центр травматологии и ортопедии имени академика Н.Д. Батпенова, Астана, Казахстан

⁸ PhD докторант, Карагандинский медицинский университет, Караганда, Казахстан

Резюме

Перипротезная инфекция (ППИ) остается одним из самых серьезных осложнений в современной ортопедической практике, особенно после эндопротезирования коленного сустава. Частота ППИ составляет от 0,5 до 2,0% после первичного эндопротезирования коленного сустава и до 22% после ревизионных процедур. В Казахстане в 2023 году официально зарегистрировано 403 случая ППИ, затрагивающих крупные суставы.

Цель исследования: оценить клинические результаты применения артикулирующих и статических (неартикулирующих) цементных спейсеров на первом этапе двухэтапного ревизионного эндопротезирования коленного сустава при ППИ.

Методы. В рандомизированное исследование были включены 20 пациентов, разделенных на 2 группы по 10 человек. В первой группе пациентам был установлен артикулирующий цементный спейсер коленного сустава, во второй — неартикулирующий цементный спейсер коленного сустава. В обеих группах было 8

женщин и 2 мужчин. Медианный возраст составил 64 года (межквартильный размах: 57–69) в группе с артикулирующего спейсера и 62 года (межквартильный размах: 56,5–67) в группе неартикулирующего спейсера. Клиническая и рентгенологическая оценка результатов хирургического вмешательства проводилась через 12 месяцев после операции.

Результаты. В результате нашего исследования не было обнаружено существенных различий в исходных характеристиках, пребывании в больнице или продолжительности операции. Функциональные результаты были значительно лучше в группе с артикулирующими спейсерами на основе индекса Knee Society (колени: 82 против 38,2; функция: 70 против 35; $p < 0,001$) и индекса Oxford Knee (35 против 25; $p = 0,0014$). Рентгенографический анализ показал просветление цемента/кости в 100% случаев с неартикулирующими спейсерами и в 40% случаев с артикуляционными спейсерами ($p = 0,0034$). Через 12 месяцев рецидив ППИ составил 20% в обеих группах.

Выводы. Артикулирующие спейсеры демонстрируют функциональные преимущества по сравнению со статическими, особенно при отсроченной реимплантации, сохраняя подвижность и улучшая временное качество жизни.

Ключевые слова: цементный спейсер, артикулирующий спейсер, неартикулирующий спейсер, перипротезная инфекция.



<https://doi.org/10.52889/1684-9280-2025-76-3-jto002>

Review article

Myocardial strain review and its potential use for prediction of clinical outcome in patients with heart trauma

[Makhabbat Bekbossynova](#)¹, [Murat Mukarov](#)², [Perizat Kanabekova](#)³,
[Zhanerke Shaktybek](#)^{4*}, [Madina Surgalimova](#)⁵, [Arman Batpen](#)⁶,
[Anar Kozhakhmetova](#)⁷, [Zhumagul Sholdanova](#)⁸, [Aknur Zhanbolat](#)⁹

Received: 13.03.2025

Accepted: 17.04.2025

Published: 30.06.2025

* **Corresponding author:** Zhanerke Shaktybek,
E-mail: zhanerke.shaktybek@nu.edu.kz

Citation: Trauma & Ortho Kaz, 2025, 76 (3), jto002

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



¹ Deputy Chairman of the Board, "University Medical Center" Corporate Fund, Astana, Kazakhstan

² Director of the Cardiology Department, "University Medical Center" Corporate Fund, Astana, Kazakhstan

³ Residency in Internal Medicine, Nazarbayev University School of Medicine, Astana, Kazakhstan

⁴ Senior Manager of the Research Department, "University Medical Center" Corporate Fund, Astana, Kazakhstan

⁵ Cardiologist, "University Medical Center" Corporate Fund, Astana, Kazakhstan

⁶ Deputy Director of Strategy and Science, National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician N.D. Batpenov., Astana, Kazakhstan.

⁷ General Clinical Department Physician, National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician N.D. Batpenov, Astana, Kazakhstan

⁸ Resident-cardiologist, "University Medical Center" Corporate Fund, Astana, Kazakhstan

⁹ Resident-cardiologist, "University Medical Center" Corporate Fund, Astana, Kazakhstan

Abstract

The left ventricular systolic function is significant in defining the management of cardiac conditions. Lately measurement of myocardial strain is studied as a tool which characterizes LV function better and carries prognostic utility.

This paper aims at reviewing the myocardial strain concept and how it might be useful in evaluating the patient with polytrauma cardiac injury. The myocardial muscle undergoes specific rotation in different compartments during different stages of contraction-relaxation. Generally, the apex and the base of the heart move in opposite directions.

There are different parameters which can be measured to describe and quantify heart function such as SV, EF, CO, strain. Several studies report the normal value of myocardial strain to be around -20. The movement of myocardial tissue during the heat cycle allows measurement of myocardial strain, which is an index of deformation. The change in value of strain correlates with different cardiac conditions. The strain can be measured using different diagnostic tools, each of which has its unique utilities. The myocardial strain value is dependent on multiple factors such as age, sex, location. Moreover, researchers often claim integrability to be a major barrier to introduction of strain measurements to protocols. However, there are measures taken to standardize the procedure. Patients who have polytrauma with cardiac involvement have a range of structural changes, which makes possible the measurement of strain. It has a potential to predict future long-term complications.

Keywords: myocardial strain; myocardial deformation; echocardiography; Cardiovascular Magnetic Resonance.

1. Introduction

The evaluation of systolic function of the left ventricle is a crucial characteristic which defines the clinical management and patient prognosis [1,2]. The functional defect of the heart muscle may present in changes of blood filling or ejection, therefore causing different clinical presentations of the condition. Currently, in clinical settings the assessment of LV systolic function is done by measurement of ejection fraction (EF). Moreover, one of the classifications of heart failure is based on LVEF. Lately the LVEF is criticized more as it does not describe cardiac action and does not provide the difference between the healthy patients and patients with preserved ejection fraction (HFpEF). Assessment of myocardial deformation (strain) is a promising tool aiding improved characterization of patients [3]. The technical progress and different instrumental investigations allow evaluation of the myocardial function at whole and at specific regions in different cardiac conditions [1].

The cardiac injury incidence in patients with polytrauma is poorly studied as there is a range of clinical presentations depending on structure damage

and absence of diagnostic criteria [4]. It might manifest severely in case of myocardial rupture, valvular damage, arrhythmias or might have delayed presentation. However, it was established that presence of cardiac damage itself is a predictor of poor outcome in patients. The pathophysiology of polytrauma is a complex net of different reactions of the body in response to injury. The cardiac injury taking place during and after the trauma causes the accordingly changes in myocardium, which in turn might affect the strain value. Currently, there are no studies analyzing the myocardial strain change in polytrauma patients. However, as change in strain in other cardiological conditions carries prognostic utility, it might be assumed that the measurement of myocardial strain has a potential of prognostic evaluation in posttraumatic patients too.

This review is focused on revision of myocardial deformation assessment tools, the correlation to clinical presentation and how it can be potentially used for patients with cardiac trauma.

2. Methodology

To prepare this review article, a comprehensive literature search was conducted to explore the topic of myocardial strain and myocardial deformation assessment using echocardiography and cardiovascular magnetic resonance (CMR). The search included publications indexed in PubMed, Google Scholar, and Elibrary databases. Combinations of keywords such as “myocardial strain”, “myocardial deformation”, “echocardiography”, and “cardiovascular magnetic resonance (CMR)” were used.

Inclusion criteria were: original research articles, review articles, meta-analyses, and clinical guideline

recommendations published in English between 2014 and 2024.

Exclusion criteria were: case reports, non-original articles, articles without access to full texts, and duplicate publications.

As a result, 26 full-text articles were identified and reviewed. After applying the inclusion and exclusion criteria, 24 articles were selected for in-depth analysis and synthesis in this review.

3. Cardiac cycle and mechanics

The cardiac cycle is alternation of systole and diastole of different heart compartments, which allows blood pumping. The systole consists of isovolumic contraction, followed by ejection. The diastole consists of isovolumic relaxation, followed by diastolic filling phase. The cardiac cycle is often described using the pressure-volume diagram, which represents the change

in these parameters during the cycle and stroke work. Basically, filling with blood stretches the tissue, which in turn elevates the pressure. The cardiac muscle performance depends on structural parameters such as functionality of valves, size and shape of the ventricles, the contraction force itself [5].

The mechanics of the heart are different in distinct regions and during the cardiac cycle. Generally, the apex and base of the heart move in opposite directions when there is change in blood volume and in the same direction in isovolumic period. Sengupta et al reviewed this movement, which is also called twist or torsion, and suggested referring to it as rotation [6]. During the rotation, there is a circumferential movement of the left ventricle around the longitudinal axis [6]. So, during the systole there is a counterclockwise apical rotation and small clockwise rotation. During the diastole the clockwise apical rotation base counterclockwise rotation. However, during isovolumic contraction, there is a basal and apical counterclockwise rotation and during isovolumic relaxation, there is basal and apical clockwise rotation [1].

The quantification of the heart function can be done by measuring the several parameters of contraction such as stroke volume (SV), ejection fraction (EF), cardiac output (CO). SV is the amount of blood pumped by the heart per 1 beat. CO is a volume of blood, which the heart pumps within 1 minute. EF is a ratio of SV to end diastolic volume represented in percentages [5]. Measurement of EF currently faces criticism as it is volumetric in nature, has issues with reproducibility, depends largely on the experience of the person analyzing it and does not reflect regional function of the LV [7]. Lately, myocardial strain became one more significant index of cardiac function.

4. Myocardial deformation

Myocardial deformation is the change in the size and shape of the myocardium during the cardiac cycle. It can be longitudinal, circumferential and radial, depending on the stage of the cardiac cycle. Myocardial Strain is an index of ventricular myocardial deformation. So, for example during systole, there is negative longitudinal strain as muscle fibers shorten [13]. This explains the negative value of the normal value of myocardial strain. Circumferential strain measures the shortening of the myocardial wall due to the inward movement of the endocardial circumference. This shortening would still happen even in the absence of circumferential fibers. In practice, it measures the reduction in myocardial diameter as the wall thickens. This thickening is caused by the shortening of the wall, because the heart muscle is incompressible. Radial strain, aligned with the direction of the ultrasound beam, essentially represents transmural strain. It is the cumulative result of both

These parameters can be measured using a range of diagnostic tools including echocardiography, CT, MRI, Multi Gated Acquisition Scan (MUGA). However, it is important to mention that the value of myocardial strain is different not only during the heart cycle but also at different heart 'layers'. It has been supposed for a long time that LV muscle is homogeneous, however actually its fibers do not contract and relax at the same time [8]. So, Marwick et al conducted measurement of myocardial strain in a healthy population using ST-echocardiography (Speckle Tracking) and reported normal value around -18% [9]. Another research group which investigated normal value of strain using echocardiography represented the reference from -24 to -16 [10]. Later, Taylor et al measured the normal value of myocardial strain in healthy population by FT-CMR (Feature Tracking Cardiovascular Magnetic Resonance) and presented that longitudinal one in endocardium is around -21%, in epicardium around -17% during the systole [2]. The systematic review investigating the myocardial strain normal value measured by FT-MRI reports the pooled mean value of -20% [11]. As systolic function defines the prognosis, the change in strain also carries prognostic utilities. One of the suggestions is considering GLS<12% to correlate with severe dysfunction and worse prognosis [12]. Therefore, the average normal value can be approximated from these studies.

subepicardial and subendocardial radial deformations [13].

Global longitudinal strain is the most significant parameter for measuring the systolic LV function [12]. The mechanics of longitudinal left ventricular deformation is affected by myocardial disease the most. In the early stages of disease, circumferential strain and rotation may remain normal because the midmyocardial and epicardial function compensates to maintain left ventricular (LV) systolic performance. As the disease progresses or following transmural damage, simultaneous dysfunction in the midmyocardial and subepicardial regions will impair LV movement mechanics, leading to a decrease in left ventricular ejection fraction (LVEF) [13]. Strain accurately describes contraction/relaxation because it measures myocardial deformation directly, global right and left ventricular function, and regional wall deformation.

Myocardial deformation measurement has been studied as a risk prediction and evaluation for different conditions, including MI, ischemia, diabetic cardiomyopathy and myocarditis. For example, Haugaa et al investigated myocardial strain in post-myocardial infarction patients and outlined it to be the marker of arrhythmias in patients with preserved ventricular functions [14]. Another research group by Thavendiranathan et al conducted systematic review for measurement of strain by STE for detection of early chemotherapy cardiotoxicity and confirmed its predictive utilities [15].

In regard to heart failure, a range of studies conducting measurements at different stages were done. The review of the studies confirmed that myocardial strain is prognostic to outcomes and complications of heart failure, which might be a key factor in management of further guidance. The author also highlighted that one of the major barriers to introducing GLS measurement to guidelines are intervender variability and the need for experienced specialists [16]. Despite this, the correlation of myocardial strain measurement with assessment of

different cardiovascular conditions is studied extensively.

One of the largest studies investigating prognostic utility of GLS for all-cause mortality in HFrEF patients represented superior prediction in comparison to other echocardiography parameters, which goes along with the results reported by other studies. However, authors report limited prognostic value in women and patients presenting with atrial fibrillation [17]. In comparison, Trobs et al reported men and Afib with other factors such as obesity, diabetes, history of MI to be related to higher GLS in patients with heart failure [18]. They explain the sex-specific difference by physiologic differences such as lower cardiac muscle mass, effect of estrogen and existing comorbidities [18]. In regard to patients with HFpEF, Brann et al report GLS to be a predictor of future worsening [19]. Similarly, Haji et al represent GLS to be prognostic of all-cause mortality in patients with coronary artery disease [20]. The functionality and predictive utility of the strain to its full extent is still being investigated.

5. Myocardial deformation assessment

The assessment of the myocardial strain is done using different diagnostic tools. At first, the strain measurements were done using Tissue Doppler imaging, however the limitations of this technique led to search and discovery of the new technique such as speckle tracking echocardiography (2D and 3D). As a result, other diagnostic tools were also analyzed for the possibility of strain measurements, and it was established that cardiac magnetic resonance is quite appropriate and informative. All of them have their own advantages and disadvantages. For example, echocardiographic measurements are more available, quick, portable, while magnetic resonance can be considered to be more precise. Moreover, there are different methods within the diagnostic tool, so by echocardiography it is possible to measure myocardial strain by Tissue Doppler method or by tracking speckles.

Echocardiographic methods:

Tissue Doppler imaging (TDI): Measurement of TDI strain requires an optimized 2D image and rapid frame rates to resolve regional velocities and calculate strain rate [21]. Proper alignment of the Doppler beam with the myocardial region of interest is crucial, as an angle of incidence exceeding 20 degrees will lead to

inaccurate measurements. Strain is calculated from each sample volume and presented in a graphical format.

Later, more advanced techniques using speckle tracking allows measurement of different strains and makes measurement in a more precise manner [22]. Basically, speckles are a unique set of gray patterns on a digital image of the myocardium, which can be tracked during the cardiac cycle. It also does not require proper beam alignment as it does not depend on angle.

2D-STE: two-dimensional speckle tracking echocardiography: STE can increase the sensitivity of stress echocardiography and provide information on the location, extent, and severity of myocardial ischemia in combination with visual wall motion during Dobutamine stress echocardiography [23]. However, there are different methods and approaches to conduct 2D-STE, therefore the normal values would differ [13].

3D-STE: three-dimensional speckle tracking echocardiography is similar to 2D-STE, but the measurement in three directions is simultaneous. It also provides more details in terms of overall configuration, which in turn makes it more difficult to analyze. However, the image is more physiological and the level of automatization is higher [24].

Distinct structural changes in myocardium as a deformation cause change in strain value. For example, ischemic wall motion is referred to as passive motion, which in turn causes widening of apical septal compartments and reduced compression in the middle. There is also change in the strain value in distinct myocardial compartments in cardiomyopathies depending on the etiology of pathology. Moreover, even valvular heart disease causes a decrease in strain value [22]. Therefore, local and global myocardial strain measurements can be done to estimate the local effect in case of ischemia and overall effect on LV systolic function.

CMR

CMR feature tracking: Feature tracking has been developed to monitor myocardial motions, including displacement and velocity, and to calculate cardiac deformation parameters such as strain and strain rate in CMR. It follows the movement of tissue between the epicardial and endocardial borders throughout the cardiac cycle using optical flow methods. In heart-failure patients, both left atrium longitudinal strain and strain rate were lower than in healthy subjects. Scarred segments showed lower contractile function, radial displacement, radial velocity, radial strain and longitudinal strain values compared with non-scar segments. Radial strain was shown to be the best parameter to discriminate between scarred segments and non-scarred ones [23].

CMR tissue tagging: The initial step typically involves identifying key cardiac events: end-diastole

(ED) and end-systole (ES). The next step is to define a region of interest that includes the myocardial wall, which is done by semi-automatically contouring the endocardial and epicardial borders either at ED, ES, or both. This segmentation step is crucial as it determines the set of points that will be tracked, introducing variability based on the user and the segmentation algorithm used. Finally, the region of interest is tracked throughout the cardiac cycle, strain curves are computed, and possibly post-processed. The reported measurements can include either the end-systolic strain or peak systolic strain.

Tissue tagging, feature tracking strategies can be applied in echocardiography as well as in magnetic resonance imaging. Amzulescu et al described the difference of the strategy in different imaging techniques and highlighted their features [7].

The calculation of strain and strain rate always depends on image quality; this can have an effect on the reliability and reproducibility of deformation parameters derived from echocardiographic images. Echocardiography is limited by acquisition angle and operator dependence. CMR is increasingly the method of choice because of its wide field-of-view, better image quality and reproducibility [23]. However, as there is no gold standard, the medical centers use the tool upon the availability of diagnostic methods. The table 1 below summarizes the myocardial deformation techniques in terms of their advantages and limitations.

Table 1 - Advantages and Limitations of strain measurement techniques

Method of assessment	Advantage	Limitations
TDE	Fast, cheap and portable	Dependence on acquisition angle and operating person
2D-STE	Tracking during the cardiac cycle, efficient, reliable and validated to MRI tagging	No unique measurement method (no standardization, difference depending on the operating person), time consuming
3D-STE	Measurement of strain in all direction at the same time, More physiological and faster analysis and better automatization	Image processing is more complicated. Depends on image quality. Vulnerable to artifacts
CMR	Better image quality and better reproducibility	Availability Not portable More expensive

Imaging myocardial deformation provides additional functional information compared to the traditional EF measurement. Echocardiography is currently the preferred method for clinical strain assessment, with GLS being the most reliable and reproducible parameter [25]. Other parameters might include Left Atrium reservoir strain and Global Work Index [26]. As GLS is dependent on multiple factors, numerous studies were done to establish association between its value and factor change. One of the largest studies was by Skaarup et al, who investigated age and sex specific normal values of GLS by conducting measurements among healthy populations. They report that normal GLS values for males are lower than for females. Moreover, for females the value tends to decrease with age, while for males this value is slightly elevated [27]. The effect of other factors such as existing medical conditions is still being investigated.

6. Myocardial strain in polytrauma patients with heart involvement

As it was mentioned, the post-traumatic cardiac dysfunction has various presentations, depending on structures involved, such as dysrhythmias or changes in motion of cardiac muscle. Moreover, there is not only acute presentation, but also delayed one, such as in patients with systemic reaction to polytrauma or in those with multiple organ damage. Currently, there are no reported studies conducting measurements of myocardial strain in patients with polytrauma. First, current polytrauma guidelines and protocols recommend measurement of troponin level and ECG only as screening for heart injury. Then if required, echocardiogram and CT might be done for further investigations [30]. Secondly, due to the variety of the clinical presentation of heart injury, which might be even asymptomatic, there is no standardized guideline on how to diagnose patients with polytrauma [4].

One of the studies investigated metrics of baseball games to improve the safety measures on protection of children from trauma. As commotio cordis caused by hit of the ball to chest can lead to fatal cases, it needed more investigations on biomechanics of trauma. The authors evaluated the importance of factors such as ball stiffness, location of the hit and response of the body such as different forces at the moment of impact, rib deformation, LV strain by using a computational model. It is reported that the most significant factor affecting the LV strain by computational model was the velocity, so the most damaging hit was by the fastest ball, causing the highest strain. The rib deformation,

There are also other factors that influence the strain value such as image quality, choice of segmentation, choice of image clips, landmark and segmental contouring, choice of region to investigate [28]. Researchers commonly refer to intervendor variability as to a major barrier to clinical implementation. However, the European Association of Cardiovascular Imaging (EACVI) and American Society of Echocardiography (ASE) with Industry initiated the Task Force to standardize the imaging from physical and mathematical perspectives [29]. This would allow reproducing the measurements of the strain now, then during the follow up for measurement using the same strategy so that any radiologist could reproduce the examination.

ball stiffness and reaction force did not affect the value of the LV strain. Authors highlight that the major limitation is that the computational model does not consider fluid within the heart being blood despite applying pressure imitating blood pressure [31]. Although this study is based on computer simulation investigating monotrauma, it shows that the different settings of the polytrauma can be simulated and studied too with subsequent studies in real life. As the hit by the ball affects the

LV strain, then any blunt chest traumas would have their own substantial effect.

Moreover, there are several other facts indicating that strain measurement would be informative in patients with polytrauma. For example, after the trauma the common structural injuries include intramural hematoma, papillary muscle rupture, septal injuries presenting with murmur and arrhythmias [4]. In case of blunt cardiac injury, the right ventricle is the most common region affected [32]. As these injuries affect the myocardial tissue itself, the architecture of layers becomes disrupted and there is an expected change in a strain value. Moreover, as there is prognostic correlation of change in strain with complications like arrhythmias in post-MI patients, these long-term complications might also be assessed with risk prediction. Next, the cardiac injury presents in different severity from asymptomatic to fatal cases. It is expected that patients with more severe clinical presentation would develop long-term cardiac

consequences. Therefore, it would be suggested to create the grading scale for heart involvement according to which patient evaluation would be conducted. It is also important to mention that the effect of cardiac injury on healthy patients would be different than on patients with existing cardiovascular disease. So, setting a computational model would allow checking theoretical differences in response to trauma. However, no computer simulation can mimic real life settings with all the details. Moreover, the measurements of LV myocardial strain on a computer model is nothing like by echocardiogram or magnetic resonance.

Today myocardial strain measurement is done on a variety of patients with a range of conditions. Some of them do not have a standard to establish diagnosis as it is in case of traumatic heart injury. One of such conditions is myocarditis, which is difficult to diagnose due to variability of clinical presentation. The authors of the study reported the results of GLS measurements using CMR in patients suspected with myocarditis. So, these measurements had improved utility as a prognostic technique. Farzaneh-Far and Romano suggest that if despite subendocardial located longitudinal fibers might be more prone to damage by pathologies, CMR recorded fibrotic and injury changes in myocardium in patients with myocarditis, then there

is very different connection between myocardial fibers, which needs to be investigated further [33]. Moreover, other study reports that myocardial strain reflects fibrosis by decreased strain value and cardiac remodeling. The authors suggest that fibrosis might play a role in rearrangement of layers between the sheets of cardiac muscle [34]. So, the myocardial strain value changes when there is a change in the architecture of the heart, therefore the impact or damage affecting fiber communication between each other results in a difference from normal value. As it was mentioned above, trauma causes structural changes in case of direct or blunt hit and the changes are expected when there is a later cardiac response to trauma. As future directions it is suggested to conduct the computational model studies to improve the study design and observe which changes are expected. Then, implementation to real life investigation with measurement of myocardial strain in different groups of patients with polytrauma can be done. Moreover, the effect of different mechanisms of trauma (blunt, penetrating, burn and others) should be compared to evaluate whether the long-term outcomes are similar. Next, it would be possible to investigate the change in myocardial strain in progress after definite periods and its response to treatment.

7. Conclusions

The biomechanics and cycle of the heart are complex processes that require a deep understanding of its anatomical structure and overall function. The characterization of LV systolic function can be done by measurement of the LV strain. The myocardial strain measurement can be done using different diagnostic tools. It does not only evaluate LV systolic function, but there are also correlations with change of strain value with long term complications.

Therefore, myocardial strain measurements are a valuable tool with prognostic utility. Currently, there are no standardized guidelines for strain measurement and there is an intervenor variability with the need for a skilled specialist to conduct the measurements. However, there are already measures initiated to standardize the procedure and create the guideline. There is a potential to use the strain measurements for evaluation of patients with polytrauma heart injury and a range of research areas in this unexplored topic.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

Funding. This research was funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan, grant number IPH AP19678310. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript.

Author Contributions: Conceptualization, M.B. and M.M.; methodology, P.K.; software, A.Z.; validation, M.B., M.M. and A.B.; formal analysis, M.S.; investigation, P.K.; resources, A.K.; data curation, Z.S.; writing—original draft preparation, P.K.; writing—review and editing – Z.S.; visualization, A.Z.; supervision, M.B.; project administration, Z.S.; funding acquisition, M.B.

All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

References

1. Di Salvo, G., Pergola, V., Fadel, B., Al Bulbul, Z., & Caso, P. (2015). Strain echocardiography and myocardial mechanics: from basics to clinical applications. *Journal of cardiovascular echography*, 25(1), 1-8. <https://doi.org/10.4103/2211-4122.158415>
2. Taylor, R. J., Moody, W. E., Umar, F., Edwards, N. C., Taylor, T. J., Stegemann, B., ... & Leyva, F. (2015). Myocardial strain measurement with feature-tracking cardiovascular magnetic resonance: normal values. *European Heart Journal–Cardiovascular Imaging*, 16(8), 871-881. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jev006>
3. Hashemi, D., Motzkus, L., Blum, M., Kraft, R., Tanacli, R., Tahirovic, E., ... & Kelle, S. (2021). Myocardial deformation assessed among heart failure entities by cardiovascular magnetic resonance imaging. *ESC Heart Failure*, 8(2), 890-897. <https://doi.org/10.1002/ehf2.13193>
4. Singh, S., Heard, M., & Pester, J. M. (2022). Blunt Cardiac Injury. StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing. [Cited 27 Dec 2024]. Available from URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532267/>
5. Voorhees, A. P., & Han, H. C. (2015). Biomechanics of cardiac function. *Comprehensive Physiology*, 5(4), 1623-1644. <https://doi.org/10.1002/cphy.c140070>
6. Sengupta, P. P., Tajik, A. J., Chandrasekaran, K., & Khandheria, B. K. (2008). Twist mechanics of the left ventricle: principles and application. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 1(3), 366-376. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2008.02.006>
7. Amzulescu, M. S., De Craene, M., Langet, H., Pasquet, A., Vancraeynest, D., Pouleur, A. C., ... & Gerber, B. L. (2019). Myocardial strain imaging: review of general principles, validation, and sources of discrepancies. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*, 20(6), 605-619. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jez041>
8. Buckberg, G., Hoffman, J. I., Mahajan, A., Saleh, S., & Coghlan, C. (2008). Cardiac mechanics revisited: the relationship of cardiac architecture to ventricular function. *Circulation*, 118(24), 2571-2587. <https://doi.org/10.1161/circulationaha.107.754424>
9. Marwick, T. H., Leano, R. L., Brown, J., Sun, J. P., Hoffmann, R., Lysyansky, P., ... & Thomas, J. D. (2009). Myocardial strain measurement with 2-dimensional speckle-tracking echocardiography: definition of normal range. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 2(1), 80-84. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2007.12.007>
10. Nyberg, J., Jakobsen, E. O., Østvik, A., Holte, E., Stølen, S., Lovstakken, L., ... & Dalen, H. (2023). Echocardiographic reference ranges of global longitudinal strain for all cardiac chambers using guideline-directed dedicated views. *Cardiovascular Imaging*, 16(12), 1516-1531. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2023.08.011>
11. Vo, H. Q., Marwick, T. H., & Negishi, K. (2018). MRI-derived myocardial strain measures in normal subjects. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 11(2 Part 1), 196-205. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2016.12.025>
12. Smiseth, O. A., Torp, H., Opdahl, A., Haugaa, K. H., & Urheim, S. (2016). Myocardial strain imaging: how useful is it in clinical decision making? *European heart journal*, 37(15), 1196-1207. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehv529>
13. Brady, B., King, G., Murphy, R. T., & Walsh, D. (2023). Myocardial strain: A clinical review. *Irish Journal of Medical Science (1971-)*, 192(4), 1649-1656. <https://doi.org/10.1007/s11845-022-03210-8>
14. Haugaa, K. H., Smedsrud, M. K., Steen, T., Kongsgaard, E., Loennechen, J. P., Skjaerpe, T., ... & Edvardsen, T. (2010). Mechanical dispersion assessed by myocardial strain in patients after myocardial infarction for risk prediction of ventricular arrhythmia. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 3(3), 247-256. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2009.11.012>
15. Thavendiranathan, P., Poulin, F., Lim, K. D., Plana, J. C., Woo, A., & Marwick, T. H. (2014). Use of myocardial strain imaging by echocardiography for the early detection of cardiotoxicity in patients during and after cancer chemotherapy: a systematic review. *Journal of the American College of Cardiology*, 63(25 Part A), 2751-2768. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2014.01.073>

16. Marwick, T. H., Shah, S. J., & Thomas, J. D. (2019). Myocardial strain in the assessment of patients with heart failure: a review. *JAMA cardiology*, 4(3), 287-294. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2019.0052>
17. Sengeløv, M., Jørgensen, P. G., Jensen, J. S., Bruun, N. E., Olsen, F. J., Fritz-Hansen, T., ... & Biering-Sørensen, T. (2015). Global longitudinal strain is a superior predictor of all-cause mortality in heart failure with reduced ejection fraction. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 8(12), 1351-1359. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2015.07.013>
18. Tröbs, S. O., Prochaska, J. H., Schwuchow-Thonke, S., Schulz, A., Müller, F., Heidorn, M. W., ... & Wild, P. S. (2021). Association of global longitudinal strain with clinical status and mortality in patients with chronic heart failure. *JAMA cardiology*, 6(4), 448-456. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2020.7184>
19. Brann, A., Miller, J., Eshraghian, E., Park, J. J., & Greenberg, B. (2023). Global longitudinal strain predicts clinical outcomes in patients with heart failure with preserved ejection fraction. *European Journal of Heart Failure*, 25(10), 1755-1765. <https://doi.org/10.1002/ehf.2947>
20. Haji, K., Marwick, T. H., Stewart, S., Carrington, M., Chan, Y. K., Chan, W., ... & Wong, C. (2022). Incremental value of global longitudinal strain in the long-term prediction of heart failure among patients with coronary artery disease. *Journal of the American Society of Echocardiography*, 35(2), 187-195. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2021.09.003>
21. Duncan, A. E., Alfirevic, A., Sessler, D. I., Popovic, Z. B., & Thomas, J. D. (2014). Perioperative assessment of myocardial deformation. *Anesthesia & Analgesia*, 118(3), 525-544. <https://doi.org/10.1213/ANE.0000000000000088>
22. Gorcsan, J., & Tanaka, H. (2011). Echocardiographic assessment of myocardial strain. *Journal of the American College of Cardiology*, 58(14), 1401-1413. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2011.06.038>
23. Rumbinaite, E., Karuzas, A., Verikas, D., Jonauskiene, I., Gustiene, O., Mamedov, A., ... & Vaskelyte, J. J. (2022). Value of myocardial deformation parameters for detecting significant coronary artery disease. *Journal of Cardiovascular and Thoracic Research*, 14(3), 180. <https://doi.org/10.34172/jcvtr.2022.30>
24. Plášek, J., Rychlý, T., Drieníková, D., Císovský, O., Grézl, T., Homza, M., & Václavík, J. (2022). The agreement of a two-and a three-dimensional speckle-tracking global longitudinal strain. *Journal of Clinical Medicine*, 11(9), 2402. <https://doi.org/10.3390/jcm11092402>
25. Voigt, J. U., & Cvijic, M. (2019). 2-and 3-dimensional myocardial strain in cardiac health and disease. *JACC: Cardiovascular Imaging*, 12(9), 1849-1863. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.01.044>
26. Gherbesi, E., Gianstefani, S., Angeli, F., Ryabenko, K., Bergamaschi, L., Armillotta, M., ... & Carugo, S. (2024). Myocardial strain of the left ventricle by speckle tracking echocardiography: From physics to clinical practice. *Echocardiography*, 41(1), e15753. <https://doi.org/10.1111/echo.15753>
27. Skaarup, K. G., Lassen, M. C. H., Johansen, N. D., Olsen, F. J., Lind, J. N., Jørgensen, P. G., ... & Biering-Sørensen, T. (2022). Age-and sex-based normal values of layer-specific longitudinal and circumferential strain by speckle tracking echocardiography: the Copenhagen City Heart Study. *European Heart Journal-Cardiovascular Imaging*, 23(5), 629-640. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeab032>
28. Collier, P., Phelan, D., & Klein, A. (2017). A test in context: myocardial strain measured by speckle-tracking echocardiography. *Journal of the American College of Cardiology*, 69(8), 1043-1056. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2016.12.012>
29. Voigt, J. U., Pedrizzetti, G., Lysyansky, P., Marwick, T. H., Houle, H., Baumann, R., ... & Song, J. H. (2015). yu., Hamilton J, Sengupta PP, Kolas TJ, d'Hooge J, Aurigemma GP, Thomas JD, Badano LP aol. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*, 16, 1-11. <https://doi.org/10.1093/ehjci/jeu184>
30. Weber, B., Lackner, I., Gebhard, F., Miclau, T., & Kalbitz, M. (2021). Trauma, a matter of the heart – molecular mechanism of post-traumatic cardiac dysfunction. *International journal of molecular sciences*, 22(2), 737. <https://doi.org/10.3390/ijms22020737>
31. Dickey, G. J., Bian, K., Khan, H. R., & Mao, H. (2022). Developing commotio cordis injury metrics for baseball safety: unravelling the connection between chest force and rib deformation to left ventricle strain and

pressure. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 25(3), 247-256. <https://doi.org/10.1080/10255842.2021.1948022>

32. Schultz, J. M., & Trunkey, D. D. (2004). Blunt cardiac injury. *Critical care clinics*, 20(1), 57-70. <https://doi.org/10.1016/j.ccc.2003.08.002>

33. Farzaneh-Far, A., & Romano, S. (2020). Imaging and impact of myocardial strain in myocarditis. *Cardiovascular Imaging*, 13(9), 1902-1905. <https://doi.org/10.1016/j.icmg.2020.05.028>

34. Alsharari, R., Oxborough, D., Lip, G. Y., & Shantsila, A. (2021). Myocardial strain imaging in resistant hypertension. *Current Hypertension Reports*, 23(5), 24. <https://doi.org/10.1007/s11906-021-01148-3>

Миокардтың деформациясына шолу және оның жүрек жарақаты бар науқастардағы клиникалық нәтижені болжаудағы әлеуеті

[Бекбосынова М.С.](#)¹, [Мукаров М.А.](#)², [Канабекова П.](#)³, [Шактыбек Ж.М.](#)⁴,
[Сурғалимова М.М.](#)⁵, [Бәтпен А.Н.](#)⁶, [Кожаметова А.И.](#)⁷,
[Шолданова Ж.А.](#)⁸, [Жанболат А.](#)⁹

¹ Басқарма төрағасының орынбасары, «University Medical Center» Корпоративтік Қоры, Астана, Қазақстан

² Кардиология департаменті директоры, «University Medical Center» Корпоративтік Қоры, Астана, Қазақстан

³ Резидент-дәрігер, Назарбаев Университетінің Медицина мектебі, Астана, Қазақстан

⁴ Ғылым департаментінің бас менеджері, «University Medical Center» Корпоративтік Қоры, Астана, Қазақстан

⁵ Кардиолог-дәрігер, «University Medical Center» Корпоративтік Қоры, Астана, Қазақстан

⁶ Стратегия және ғылым жөніндегі директордың орынбасары, Академик Н.Д. Бәтпенов атындағы Ұлттық ғылыми травматология және ортопедия орталығы, Астана, Қазақстан

⁷ Жалпы клиникалық бөлім дәрігері, Академик Н.Д. Бәтпенов атындағы Ұлттық ғылыми травматология және ортопедия орталығы, Астана, Қазақстан

⁸ Резидент-кардиолог, «University Medical Center» Корпоративтік Қоры, Астана, Қазақстан

⁹ Резидент-кардиолог, «University Medical Center» Корпоративтік Қоры, Астана, Қазақстан

Түйіндеме

Жүректің сол жақ қарыншасының систолалық функциясы жүрек ауруларын басқаруда маңызды рөл атқарады. Соңғы уақытта миокардтық деформацияны (strain) өлшеу – сол жақ қарыншаның қызметін неғұрлым дәл сипаттайтын және болжамдық маңызы бар құрал ретінде зерттеліп жүр.

Бұл мақала миокардтық деформация ұғымына шолу жасап, оның көп жарақат алған және жүрекке зақым келген науқастарды бағалаудағы әлеуетін қарастырады.

Миокард бұлшықеті жиырылу мен босану кезеңдерінде әртүрлі бөліктерде белгілі бір бұрылысқа ұшырайды. Жалпы алғанда, жүректің ұшы мен негізі қарама-қарсы бағытта қозғалады. Жүрек қызметін сипаттап, сандық түрде бағалау үшін әртүрлі параметрлер өлшенеді: соққы көлемі (SV), шығарылу фракциясы (EF), жүрек шығару көлемі (CO), деформация (strain). Бірқатар зерттеулер бойынша, миокардтық деформацияның қалыпты мәні шамамен –20. Жүрек цикліндегі миокард тінінің қозғалысы оның деформациясын өлшеуге мүмкіндік береді. Бұл деформация көрсеткіші – жүрек бұлшықетінің пішінінің өзгеру дәрежесін сипаттайтын индекс. Бұл көрсеткіштің өзгеруі жүрек ауруларының әртүрлі түрлерімен байланысқа ие. Деформацияны әртүрлі диагностикалық құралдармен өлшеуге болады, олардың әрқайсысының өзіндік артықшылықтары бар. Миокардтық деформация көрсеткіші жасқа, жынысқа және анатомиялық аймаққа

байланысты әртүрлі болуы мүмкін. Сонымен қатар, зерттеушілер бұл әдісті клиникалық хаттамаларға енгізудегі басты кедергілердің бірі ретінде оның интеграциялану қиындығын атап өтеді. Алайда бұл процедураны стандарттауға бағытталған шаралар қабылдануда. Жүрекке зақым келген көп жарақат алған науқастарда құрылымдық өзгерістердің кең ауқымы байқалады, бұл деформацияны өлшеуге мүмкіндік береді. Бұл көрсеткіш ұзақ мерзімді асқынуларды болжауға әлеуетті құрал бола алады.

Түйін сөздер: жүрек бұлшықетіндегі ішкі кернеуі, миокардтың деформациясы, эхокардиография, жүректің магниттік-резонанстық томографиясы.

Обзор внутримыокардиального напряжения и его потенциальное применение для прогнозирования клинических исходов у пациентов с травмой сердца

[Бекбосынова М.С.¹](#), [Мукаров М.А.²](#), [Канабекова П.³](#), [Шактыбек Ж.М.⁴](#),
[Сурғалимова М.М.⁵](#), [Бәтпен А.Н.⁶](#), [Кожаметова А.И.⁷](#),
[Шолданова Ж.А.⁸](#), [Жанболат А.⁹](#)

¹ Заместитель Председателя правления, Корпоративный фонд «University Medical Center», Астана, Казахстан

² Директор КАД Кардиологии, Корпоративный фонд «University Medical Center», Астана, Казахстан

³ Врач-резидент, Школа медицины Назарбаев Университета, Астана, Казахстан

⁴ Главный менеджер департамента науки, Корпоративный фонд «University Medical Center», Астана, Казахстан

⁵ Кардиолог, Корпоративный фонд «University Medical Center», Астана, Казахстан

⁶ Заместитель директора по стратегии и науке, Национальный научный центр травматологии и ортопедии имени академика Н.Д. Батпенова, Астана, Казахстан

⁷ Врач общего клинического отдела, Национальный научный центр травматологии и ортопедии имени академика Н.Д. Батпенова, Астана, Казахстан

⁸ Резидент-кардиолог, Корпоративный фонд «University Medical Center», Астана, Казахстан

⁹ Резидент-кардиолог, Корпоративный фонд «University Medical Center», Астана, Казахстан

Резюме

Систолическая функция левого желудочка играет важную роль в определении тактики ведения сердечно-сосудистых заболеваний. В последнее время измерение деформации миокарда изучается как инструмент, который лучше характеризует функцию левого желудочка и обладает прогностической ценностью. Цель данной статьи — рассмотреть понятие миокардной деформации и её возможную полезность в оценке пациентов с политравмой и сердечным повреждением. Миокард подвергается специфическому вращению в различных отделах в разные фазы сокращения и расслабления. Как правило, верхушка и основание сердца движутся в противоположных направлениях. Существует несколько параметров, которые можно измерить для описания и количественной оценки функции сердца: ударный объём (SV), фракция выброса (EF), сердечный выброс (CO), деформация (strain). Ряд исследований указывает, что нормальное значение миокардной деформации составляет около -20. Движение миокардиальной ткани в течение сердечного цикла позволяет измерить деформацию миокарда, которая представляет собой индекс изменения формы ткани. Изменение значения деформации коррелирует с различными кардиологическими состояниями. Деформация может измеряться с использованием различных диагностических методов, каждый из которых имеет свои особенности и преимущества.

Значение миокардной деформации зависит от множества факторов, таких как возраст, пол, анатомическое расположение. Кроме того, исследователи часто указывают, что одной из основных преград к внедрению этого показателя в клинические протоколы является сложность интеграции. Тем не менее предпринимаются шаги по стандартизации этой процедуры. У пациентов с политравмой и вовлечением сердца наблюдаются различные структурные изменения, что делает возможным измерение деформации. Этот показатель обладает потенциалом для прогнозирования долгосрочных осложнений.

Ключевые слова: внутримиокардиальное напряжение, деформация миокарда, эхокардиография, магнитно-резонансная томография сердца.



<https://doi.org/10.52889/1684-9280-2025-76-3-jto004>

Шолу мақала

Наноматериалдарды дамытудың заманауи тенденциялары мен оларды медицинада қолдану

[Тулеубаев Б.Е.](#)¹, [Косилова Е.Ю.](#)^{2*}, [Қошанова А.А.](#)³, [Авромиди И.К.](#)⁴

Received: 12.04.2025

Accepted: 01.05.2025

Published: 30.06.2025

* Corresponding author:

Yekateriva Kossilova,

E-mail: katy_181291@mail.ru

¹ Хирургиялық аурулар кафедрасының меңгерушісі, Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан

² Хирургиялық аурулар кафедрасының ассистент-профессоры, Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан

³ Хирургиялық аурулар кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан

⁴ Жалпы медицина факультетінің интерні, Қарағанды медицина университеті, Қарағанды, Қазақстан

Citation: Trauma & Ortho Kaz, 2025,
76 (3), jto004

This work is licensed under a Creative
Commons Attribution 4.0 International
License



Түйіндеме

Наноматериалдар медицинада, әсіресе тіндік инженерияда, травматологияда және регенеративті медицинада кеңінен қолданылатын биоматериалдардың перспективалық тобы болып табылады. Олардың ішінде жаңартылатын өсімдік көздерінен алынған наноцеллюлоза жоғары механикалық беріктігімен, үлкен бетімен, биодеградациясымен және микробқа қарсы қасиеттерімен ерекшеленеді. Бұл сипаттамалар оны жараларды емдеуге, дәрі-дәрмектерді жеткізуге және сүйек тінін қалпына келтіруге таптырмас материал етеді.

Дегенмен, наноцеллюлозаның сүйек регенерациясын ынталандыру үшін қажетті өзіндік биологиялық белсенділігі жоқ. Бұл мәселені шешу үшін наноцеллюлозаны остеоактивті материалдармен - кальций фосфаттарымен, силикаттармен және көміртекті нанотүтікшелермен біріктіретін композиттер жасалуда. Мұндай комбинациялар механикалық қасиеттерді, биоактивтілікті және деградацияның бақылануын жақсартады, бұл оларды сүйек импланттарын жасауға потенциалы жоғары екендігін көрсетеді.

Клиникаға дейінгі зерттеулерде, соның ішінде егеуқұйрықтардағы ортан жіліктің ақауларының үлгілерінде, наноцеллюлоза негізіндегі композиттер аутологиялық қан ұйығыштары сияқты дәстүрлі материалдармен салыстырғанда сүйек регенерациясын жоғары немесе тиімдірек деңгейде қамтамасыз ететіні көрсетілген. Гистологиялық талдауда тіндермен жақсы интеграциясы, әлсіз қабыну реакциясы, жеткілікті тамырлану және бактериялық инфекцияның өршу қаупінің төмендігі анықталды.

Шолу мақаласы наноцеллюлозаны сүйек регенерациясы мен травматологияда қолданудағы жетістіктерді жинақтайды. Оның шектеулері мен одан әрі даму және клиникалық қолдану перспективаларының мүмкіндіктерін көрсетеді.

Түйін сөздер: наноматериал, тіндердің регенерациясы, нанобөлшектер, нанокристалдар.

1. Кіріспе

Наноматериалдарды зерттеу қазіргі ғылымда перспективасы ең жоғары және сұранысқа ие зерттеулер тобы болып табылады. Наноматериалдар - бұл нанобөлшектердің көмегімен немесе нанотехнологиялар арқылы жасалған, құрамындағы осы бөлшектердің болуына байланысты ерекше қасиеттерге ие материалдар. Наноматериалдарға тән өлшемдерінің бірі 1-ден 100 нм-ге дейінгі аралықта жатқан объектілер жатады. Нанотехнологияның идеясын белгілі материалтанушы ғалым Ричард Фейнман 1959 жылы желтоқсанда американдық физикалық қоғам жиналысында «Түбінде көп орын бар» атты негізгі дәрісінде ұсынған [1].

Қазіргі уақытта жаратылыстану ғылымдарында да, биомедицинада да қолданылатын нанотехнологиялардың дамуының өсуі байқалады [2]. Соңғы жылдары халықтың қартаюына байланысты сүйек аурулары мен ақауларын емдеу әдістерінің саны артты, сүйек тінін қалпына келтіру үшін әртүрлі материалдарды қолдану қажеттілігі артып келеді [3-7]. Сүйекті қалпына келтіру материалдарын пайдаланудағы негізгі мәселе - биологиялық белсенділікке, биоүйлесімділікке, механикалық өнімділікке және өндірістің қарапайымдылығына бір уақытта қол жеткізу болып табылады.

2. Әдістеме

Біз жүргізген әдеби шолу нәтижесінде Scopus, Web of Science, Pubmed дерекқорларынан шамамен 90 мақала қаралып, олардың ішінен травматология мен ортопедия саласында, тікелей хирургиялық араласу кезінде қолданылатын заманауи нанотехнологияларға қатысты материалдар таңдалып, іздеуді сүйек тінінің ақауларын емдеуде, трансплантация және сүйек тінін наноцеллюлоза негізіндегі биокөмposиттермен алмастыру кезінде қолданылатын нанотехнологиялар туралы мәліметтер бар мақалалармен кеңейттік, травматология мен ортопедияда наноматериалдарды қолдану мүмкіндіктерін көрсету үшін іздеу кеңейтіліп, сүйек тінін қалпына келтіруге арналған наноцеллюлоза негізіндегі биокөмposиттерді қолдану жайлы мақалалар табылып, оларда сүйек тініне трансплантация

Целлюлоза нанокристалдары – бұл қышқыл гидролиз үрдісі арқылы табиғи целлюлозадан бөлінетін кристалды нанобөлшектер [8]. Наноцеллюлоза әртүрлі биомедициналық қолданбалар үшін жоғары механикалық қасиеттері бар нанокомпозиттерді өндіру үшін қолданылады [9].

Аталмыш композиттер целлюлозаның негізгі қасиеттерін – жоғары беріктігін және икемділігін, химиялық инерттілігін және гидрофильділігін біріктіреді [10]. Заманауи ғылымда нанотехнологиялар наноматериалдарды жасау және қолдану үшін үлкен мүмкіндіктер береді. Атап айтқанда, нанотехнологиялар мен наноматериалдарды биомедицинада қолдану, наномедицина терминімен табуға болады. Онда бүгінгі күнге дейін нанотехнологиялар тіндердің регенерациясында, дәрі-дәрмектерді жеткізуде, қатерлі ісіктерді емдеуде, түрлі аурулардың алдын алуда және диагностикалауда бұрын-соңды болмаған жетістіктерге жетті.

Шолудың мақсаты – биомедицинада наноматериалдарды қолданудың негізгі бағыттарын анықтау. Наноматериалдар туралы қолда бар ақпаратты құрылымдау, артықшылықтары мен мәселелерін, биомедицинадағы рөлін көрсету.

ретінде наноцеллюлоза негізіндегі биокөмposиттерді қолданудың дұрыстығын дәлелдейтін нәтижелер болды. Дерекқорларды таңдау осы платформалардағы әдебиет көздерінің сенімділігіне негізделген.

Қазіргі таңда көптеген зерттеулер наноцеллюлоза негізіндегі биокөмposиттерді қолдану арқылы жүргізіліп жатқанына қарамастан, олардың қолдану аумағы әлі ашылмаған. Бұл наноцеллюлоза негізіндегі биокөмposиттерді зерттеген, үміт күттіретін нәтижелерге қарамастан, қосымша зерттеулердің қажеттілігін көрсететін мақалалармен дәлелденеді.

3. Нано-кеуекті құрылымдар

Нано-кеуекті құрылымдар – беті наноөлшемді диаметрі бар саңылаулармен (тесіктермен) нүктеленген құрылымдар. Бұл жағдайда жасушалардың сыртқы ортамен өзара әрекеттесуі диаметрі шамамен 20 нм болатын тесіктері бар силикон мембранасы арқылы жүзеге асады. Сипатталған тесіктер арқылы глюкоза, оттегі және инсулин сияқты ұсақ молекулалар жасушаларға өтіп, бірақ антиденелермен жанасуға жол бермейді. Осылайша, нано-кеуекті материалдарды пайдалану биология мен медицинада нанотехнологияны қолданудың келешегі зор бағыттарының бірі болып табылады.

Функционалды нано-кеуекті материалдар реттелетін кеуектілігі мен тесіктерінің геометриясына (мөлшері, пішіні және таралуы), сондай-ақ басқа наноқұрылымдармен салыстырғанда ерекше химиялық және физикалық қасиеттерге ие болуына байланысты наноқұрылымдық материалдар тобына жатады. Нано-кеуекті материалдардың кең ауқымын әзірлеу саласындағы жетістіктер олардың катализ, зондтау, бөлу, сондай-ақ энергетика мен биомедицинадағы қолдануын тездетті.

Нано-кеуекті құрылымдар кеуек мөлшеріне, құрылымына, материалдардың кристалдылығына

және материал түріне қарай жіктеледі. Кеуек мөлшері бойынша бұл материалдар Халықаралық теориялық және қолданбалы химия одағының (ХТҚХО) номенклатурасы негізінде үш санатқа бөлінеді: микрокеуекті (кеуек мөлшері <2 нм), мезокеуекті (кеуек мөлшері $\sim 2-50$ нм) және макрокеуекті (кеуек мөлшері >50 нм) [11].

Нано-кеуекті материалдар биозондтау, биологиялық молекулаларды жеткізу, микробқа қарсы қасиеттері, диализ, ортопедия мен нейрондық импланттарға арналған жаңа медициналық құрылғыларды жасау сияқты бірнеше биологиялық және медициналық қолданысқа ие [12]. Наноқұрылымдық материалдар жасушалардың өсуіне, тіндердің қайта құрылуына, ангиогенезге және микробқа қарсы қасиеттерге ықпал етіп, күшейте алатыны көрсетілген.

Нано-кеуекті құрылымдар өз бетіндегі тесіктердің арқасында диффузиялық газ бөлігіштер ретінде қызмет ете алады, сонымен қатар бетіне басқа нанобөлшектерді бекітуге мүмкіндік береді. Олар биомедицинада дәрілік заттарды жеткізу жүйесі ретінде кеңінен қолданылады.

4. Көміртекті нанотүтікшелер

Көміртекті нанотүтікшелер – бұл графит қабыршақтарынан түзілген тұтас цилиндр тәрізді құрылымдар. Көпқабатты нанотүтікшелердің сыртқы диаметрі (2,5-100 нм) әдетте бір қабатты (0,6-2,4 нм) нанотүтікшелерге қарағанда үлкен. Нанотүтікшелер қаттылығы жоғары пен серпімділік, қайтымды иілу мен бұзылуға төзімділік қасиеттеріне ие. Оларды дәрілік заттарды тасымалдаушы ретінде пайдалануға болады.

Нанотүтікшелер макромолекулалармен әрекеттесетіні белгілі. Функционалды нанотүтікшелер шағын дәрілік молекулалармен қатар, макромолекулалық кешендердің де тасымалдаушысы бола алады. Көміртекті нанотүтікшелер тері тесігінің субнанометрлік диаметріне дейін тамаша су өткізгіштер болып табылады. Бірегей физико-химиялық қасиеттері оларды биомедицинадағы көптеген қолданбаларға, соның ішінде дәрі-дәрмектерді жеткізуге, гендік терапияға, биосенсорларға және тіндік инженерияға алғашқы үміткерлердің бірі етеді.

Бүгінгі таңда олардың биомедицинада кеңінен қолданылуы жоғары уыттылықпен қиындайды [13].

Олардың әсерлі құрылымдық, механикалық және электрондық қасиеттері шағын өлшемі мен массасына, жоғары механикалық беріктігіне, сондай-ақ электр және жылу өткізгіштігіне байланысты [14]. Көміртекті нанотүтікшелер алғаш рет электроника, оптика, пластмасса үшін әртүрлі құрылымдық материалдарға қоспалар ретінде пайдаланылған. Көміртекті нанотүтікшелер тек түтік тәрізді құрылымға оралған конденсацияланған бензол сақиналарының қатарында орналасқан көміртек атомдарынан тұрады. Бұл жаңа наноматериал фуллерендер қатарына жатады, графит пен тауһармен бірге көміртектің үшінші аллотропты түрі, олар табиғи түрде жазық және текше пішінде болады [15]. Қабаттардың санына байланысты құрылымдар екі түрге бөлінеді: бір қабырғалы көміртекті нанотүтікшелер және көп қабатты көміртекті нанотүтікшелер. Бір қабат – диаметрі 0,4-тен 2 нм-ге дейінгі бір графен цилиндры, әдетте тығыз

орналасқан гексагоналды шоғырлар түрінде болады, олардың әрқайсысы бірнеше көпқабатты коаксиалды цилиндрлерден тұрады. Әрбір цилиндр - қуыс ядроны қоршап тұрған бір графен қабатты.

Көп қабатты көміртекті нанотүтікшелердің сыртқы диаметрі 2-100 нм, ішкі диаметрі 1-3 нм, ұзындығы 0,2 мкм-ден бірнеше микрометрге дейін жетеді. Химиялық белсенділік тұрғысынан көміртекті нанотүтікшелерді екі аймаққа: ұштары мен бүйір қабырғаларына бөлуге болады. Бұл ерекше қасиеттерді басқаратын маңызды фактор - графен қабыршағының түтікке оралғанынан туындаған түтік құрылымының өзгеруі. Молекула айналуы, оның бағытына байланысты үш түрлі жолмен орындайды: орындық, зигзаг және хиралды.

5. Көміртекті нанотүтікшелерді фармацевтикада және медицинада қолдану

Медицинада көміртекті нанотүтікшелерді қолданудың негізгі бағыттарына дәрі-дәрмектер, биомолекулалар, гендерді жасушаларға немесе мүшелерге жеткізу, тіндердің регенерациясы, биосенсорлық диагностика және талдау жатады.

Дәрі-дәрмектерді жеткізу үшін көміртекті нанотүтікшелерді қолданудың жалпы үрдісін келесідей қысқаша сипаттауға болады. Препарат функционалды көміртекті нанотүтікшелердің бетіне немесе ішіне бекітіледі. Содан кейін алынған конъюгат жануардың денесіне дәстүрлі тәсілдермен (ауыз арқылы, инъекция арқылы) немесе магниттік конъюгат көмегімен нысана-мүшеге тікелей енгізіледі, мысалы, сыртқы магнитті белгілі бір мүшеге бағыттайды. Бұл жағдайда жасуша көміртекті нанотүтікшенің капсуласын препаратпен сіңіреді, содан кейін нанотүтікшенің ішіндегі зат жасуша ішіне босап, дәріні тікелей нысанаға жеткізеді. Әдетте, функционалды көміртекті нанотүтікшелер қажетті молекулаларын цитоплазмалық және ядролық мембрана арқылы уытты әсерсіз тасымалдауға қабілетті [17,18]. Осыны ескере отырып, дәрілік конъюгат дәстүрлі жалғыз қолданылатын препаратқа қарағанда қауіпсіз және тиімдірек болады. Жасуша-нысанаға жеткеннен кейін дәріні жеткізудің екі тәсілі бар: көміртекті нанотүтікшелер тасымалдаушысы жасушаға еңбестен дәрі жасушаға өтеді немесе дәрі мен тасымалдаушы бірге жасушаға енеді. Көміртекті нанотүтікшелердің жасуша мембраналарына өтіп, дәрілерді жеткізе алу қабілеті олардың

Моноқабатты және көп қабатты көміртекті нанотүтікшелерді өндіру үшін әдетте үш негізгі әдіс қолданылады: доғалық разряд әдісі (екі көміртекті стерженді доғалық буландыру), лазерлік абляция әдісі (графитті қолдану) және бу фазасынан химиялық тұндыру әдісі (көмірсутек көздерін пайдалану: Со, метан, этилен, ацетилен). Көміртекті нанотүтікшелерді дайындағаннан кейін оларды кері тоңазытқышпен қайнату, беттік белсенді затпен ультрадыбыстық өңдеу немесе синтез кезінде катализатор ретінде енгізілген аморфты көміртегі, фуллерендер және өтпелі металдар сияқты қоспаларды кетіру үшін ауада тотығу үрдісі арқылы тазартады [16].

құрылымындағы қарапайым гидрофобты әрекеттесулермен, жинақталу әрекеттесулерімен, электростатикалық адсорбция және коваленттік байланыстармен, сондай-ақ еден үстілік цилиндріндегі адсорбциямен байланысты [19].

Сонымен қатар, көміртекті нанотүтікшелер жасушаларға еніп қана қоймай, жасушалардың дәрілік заттарды сіңіруіне ықпал етеді, сонымен қатар тасымалдау және жасушаға ену кезінде оларды бүтін күйінде ұстайды. Бұл қасиет қолданылатын дәрі-дәрмектердің мөлшерін азайтуға мүмкіндік береді, әсіресе ісікке қарсы дәрілерде оның уыттылығын төмендетеді.

Көміртекті нанотүтікшелерді ісіктерді емдеу үшін дәрі-дәрмек тасымалдаушысы ретінде пайдалануға болады. Жалғыз қолданылатын ісікке қарсы препараттардың тиімділігі олардың жүйелік уыттылығымен және тар емдік диапазонымен ғана емес, сонымен қатар дәріге төзімділігімен және жасушаларға енуімен шектеледі. Көміртекті нанотүтікшелер цитоплазмалық мембрана мен ядролық мембрананы оңай кесіп өтетіндіктен, осы тасымалдаушы тасымалдайтын қатерлі ісікке қарсы препарат *in situ*-да тұрақты концентрацияда шығарылады, сондықтан оның ісік жасушаларына әсері дәстүрлі терапияға қарағанда жоғары болады. Осылайша, қолданыстағы күшті препараттардың жасушалық сіңуін күшейтуге қабілетті тиімді жеткізу жүйелерін әзірлеу қажет. Көміртекті нанотүтікшелердің жоғары арақатынасы қолданыстағы жеткізу векторларына қарағанда

үлкен артықшылықтар береді, өйткені бетінің үлкен ауданы көптеген дәрі-дәрмектерді бекіту орындарын қамтамасыз етеді. Көптеген ісікке қарсы препараттар функционалды көміртекті нанотүтікшелермен конъюгацияланады және эпирубицин, доксорубицин, цисплатин, метотрексат, кверцетин және паклитаксел сияқты *in vitro* және *in vivo* зерттеулері арқылы сәтті сыналды. Бірқатар зерттеулер тасымалдаушы ретінде пайдаланылатын көміртекті нанотүтікшелерді ісікке қарсы иммунотерапияда тиімді қолдануға болатынын көрсетті [20]. Бұл терапевтік әдіс науқастың иммундық жүйесіндегі қатерлі ісікті жоюды ынталандыруға негізделген. Бұл ынталандыру қатерлі ісікке қарсы вакцина немесе терапевтік антидене енгізу арқылы қол жеткізуге болады. Кейбір авторлар көміртекті нанотүтікшелерді вакциналарды жеткізу құралы ретінде қолданудың тиімділігін растады.

Жақында қатерлі ісік ауруын емдеудің тиімді әдісі ретінде көміртекті нанотүтікшелерді қолданатын гипертермиялық терапия ұсынылды. Бір қабатты көміртекті нанотүтікшелер жақын инфрақызыл аймақта (700-1100 нм) күшті сіңіруге ие. Бұл наноматериалдар гипертермиялық терапияға әлеуетті үміткерлер болып саналады, өйткені олар жарықпен қозған кезде айтарлықтай мөлшерде жылу бөледі. Фототермиялық әсер ұйқы безінің қатерлі ісігі сияқты ісік жасушаларында қатайтылған бір қабатты көміртекті нанотүтікшелерді шамадан тыс қыздыру арқылы ісік жасушаларының жергілікті термиялық абляциясын тудыруы мүмкін. Жұқпалы агенттердің көптеген вирусқа, бактерияға қарсы препараттарға төзімділігін ескере отырып немесе вакцинаның белгілі бір тиімсіздігіне байланысты мәселелерді шешу үшін ағзада көміртекті нанотүтікшелерге сынақтар жүргізілді. Қызметтік көміртекті нанотүтікшелер микробқа қарсы агенттерді, мысалы, зеңге қарсы амфотерицинді тасымалдаушылар ретінде әрекет ете алатыны дәлелденді [21].

Көміртекті нанотүтікшелер амфотерицинге ковалентті түрде қосылып, оны сүтқоректілердің жасушаларына тасымалдай алады. Бұл конъюгат саңырауқұлаққа қарсы уыттылықты бос күйдегі дәрімен салыстырғанда шамамен 40% төмендетеді. Бір қабатты көміртекті нанотүтікшелермен байланысқан кезде ДНҚ зондтары нуклеин қышқылдарын байланыстыратын ақуыздардың ферментативті ыдырауынан және араласуынан

қорғалған, сондықтан ДНҚ – бір қабатты көміртекті нанотүтікшелер кешені жоғары биотұрақтылықты көрсетеді және ДНҚ-ның өздігінен қолданылатын ДНҚ-мен салыстырғанда өзін-өзі қамтамасыз ету қабілетін арттырады. Көміртекті нанотүтікшелерді гендік терапия векторлары ретінде пайдалану бұл жобаланған құрылымдар сүтқоректілердің жасушаларының ішіндегі гендерді тиімді тасымалдай алатынын және олардың тұтастығын сақтай алатынын көрсетті.

Жасушалар мен мүшелерді трансплантациялаудағы және көміртекті нанотүтікшелердің химиядағы жетістіктер соңғы жылдары көміртекті нанотүтікшелерге негізделген тіндік инженерия мен регенеративті медицинаның тұрақты дамуына ықпал етті. Көміртекті нанотүтікшелер тіндік қаңқаларға арналған табиғи және синтетикалық полимерлер сияқты көптеген басқа материалдардың арасында тіндік инженерия ретінде ең жақсы өкіл ретінде әрекет ете алады, өйткені бұл наноматериал биоүйлесімді, биоыдырауға төзімді және ағзалардың регенерациясын күшейту үшін биомолекулалармен жұмыс істей алады. Бұл салада көміртекті нанотүтікшелер тіндік қаңқаның механикалық беріктігін және өткізгіштігін арттыратын қоспа ретінде иесінің денесіне енгізу арқылы пайдалануға болады.

Жақында кейбір ғалымдар өз зерттеулерінде көміртекті нанотүтікшелердің табиғаты бойынша антиоксиданттар екенін және созылмалы аурулардың, қартаюдың және азық-түлікті сақтаудың алдын алу үшін биомедицинада қолдануға болатынын анықтады. Биосенсорлық нанотехнологияда көміртекті нанотүтікшелерді пайдалану жақында басталды және *in vitro* және *in vivo* зерттеулер терапиялық бақылау мен диагностика үшін ең қызықты бағыттарының бірі болып саналады. Мысалы, көптеген зерттеушілер көміртекті нанотүтікшелерді глюкозооксидаза биосенсорларымен біріктіріп, қант диабетімен ауыратын науқастарда қандағы қант деңгейін дәлірек және жеңіл бақылауға қол жеткізді. Бұл жеке қолданылатын биосенсорларға қарағанда анағұрлым тиімді болды. Дегенмен, көміртекті нанотүтікшелерді зерттеу арқылы алынған көптеген әсерлі нәтижелерге қарамастан, бұл саланың әлі де кең зерттеу мүмкіндіктері бар, сонымен қатар елеулі мәселелер мен тәуекелдер де бар.

Сондықтан болашақта медициналық қолдану үшін тиімділігі мен қауіпсіздігі жоғары көміртекті

нанотүтікшелер мен олардың конъюгаттарының әртүрлі жаңа формаларын жасау үшін көбірек шығармашылық пен инновация қажет. Мысалы, болашақ көміртекті нанотүтікшелі препараттар тікелей жасуша-нысанаға жетуі үшін жаңа сезімтал маркерлермен жабдықталуы тиіс немесе ғалымдар

4. Нанодисперсиялар

Нанодисперсиялар – бұл өлшемдері 0,1–150 нм аралығында болатын бөлшектер мен агломераттардан тұратын сұйық нанобөлшекті жүйелер [22]. Табиғи полиэлектролиттер фармацевтикалық препараттарды әзірлеу үшін бірегей ерекшеленеді, өйткені олар табиғи жағдайда жаңарып отыру қабілетіне ие [23].

Биомедициналық салаларда қолданылатын ең маңызды табиғи полиэлектролиттерге полисахаридтер (балдырлардан алынған полисахаридтер, пектиндер), ақуыздар (коллаген, желатин, лектиндер) және табиғи полиэфирлер жатады [24,25].

Синтетикалық, органикалық және бейорганикалық биоыдырайтын полиэлектролиттерге мысал ретінде эксперименттік адъюванттар класы - азоксимера бромиді (полиоксидоний), полифосфазендер жатады [26].

Биомедициналық полимерлі композицияларды енгізу қарқынының артуына жаңа полимерлі импланттарға, дәрі-дәрмектерді жеткізудің бақыланатын әдістеріне (бақыланатын босату жүйелері) сұраныстың артуы ғана емес, сонымен қатар қымбат матрицаларды экономикалық тұрғыдан қол жетімді түрлерге ауыстыру да ықпал етеді [27].

Полиэлектролиттердің су дисперсиясының бөлшектерінің орташа мөлшерін бақылау жүйелердің салыстырмалы агрегаттық тұрақтылығын арттыруға ықпал етеді [28,29]. Нанобөлшектердің өлшемі жасушаларға (10–100 мкм), вирустарға (20–450 нм), ақуыздарға (5–50 нм) және коллоидтық бөлшектерге (шамамен 100 нм) ұқсас болғандықтан, биологиялық объектілермен өзара әрекеттесуге және байланысуға қабілетті. Осыған байланысты дәрілік заттардың тасымалдаушысын жасау кезінде, мысалы,

басқа сау тіндерге жанама әсерлерді болдырмау үшін оларды сырттан нысана мүшеге оңай бағыттай алады. Зерттеудің осы бағытында әлі де ауқымды мүмкіндіктер, шешілуі керек маңызды мәселелер мен тәуекелдер бар.

полиэлектролиттердің беткі электр зарядына қарама-қарсы беттік-белсенді заттармен өздігінен ұйымдастырылатын нанобөлшектерін қалыптастыру барысында зерттеушілер бөлшектердің өлшемдік сипаттамалары мен олардың тұрақтандырылуына ерекше назар аударады. Нанодисперсияларды тұрақтандыру үшін табиғи немесе синтетикалық полимерлер қолданылады. Олар нанобөлшектердің бетіне адсорбцияланып, бөлшектердің бір-біріне жабысуына жол бермейтін құрылымдық-механикалық тосқауыл түзеді [30].

Медициналық-биологиялық мақсаттарға арналған гуминдік заттар негізінде нанодисперсиялар алу - болашағы зор бағыттардың бірі. Гуминдік заттар-топырақта, шөгінділерде және табиғи суларда өсімдік және микробтық қалдықтардың ыдырауы мен трансформациясы (гумификация) кезіндегі биохимиялық реакциялар нәтижесінде түзілетін күрделі, гетерогенді, полидисперсті қоспалар. Гуминдік заттардың көпфункционалды қосылыстар ретіндегі құрылымы тұрақты химиялық құрамға ие емес. Бұл гумификация үрдісінің стохастикалық сипатына байланысты. Әртүрлі молекулалық массадағы гумин молекулалары өзара байланысып, олардың агрегатталу дәрежесі ерітіндінің рН, йондық күші мен минералдық құрамына байланысты болатын супрамолекулалық құрылым түзе алады [31].

Гуминдік заттар құрылымында карбоксил, гидроксил (спирт, фенол) сияқты полярлы функционалдық топтары бар. Олар диссоциацияға ұшырап, теріс зарядталған бөлшектер түзетіндіктен анионды полиэлектролиттерге жатады. Осы мәліметтердің барлығы фармацевтика өнеркәсібі үшін табиғи полиэлектролиттерге негізделген жаңа биологиялық белсенді заттарды жасаудың алғышарттарын жасайды.

5. Нанокристаллдар

Нанокристаллдар - қасиеттері анизотропиясымен сипатталатын және өлшемдері 100 нм болатын үздіксіз кристалдық торы бар жеке

біртекті кристаллдар. Нанокристаллдар мінсіз, нақты нанокристалл болып екі түрге бөлінеді.

Мінсіз нанокристалл - құрылымдық ақаулары жоқ, мінсіз құрылымның үш өлшемді бөлшегі, керісінше ол толық, өзіне тән симметриясы, мінсіз тегіс беттері және т.б. бар математикалық объект.

Нақты нанокристалл - әрқашан әртүрлі ақауларды, беттердегі бұзылуларды және қоршаған ортаның әсерінен төмен симметрияны қамтиды. Нақты нанокристалда кристаллографиялық беттер болмауы мүмкін, бірақ оның негізгі қасиеті - тордағы атомдардың тұрақты орналасуын сақтау.

Белсенді дәрілік наноматериал кристалдары белсенді заттан тұрады және наносуспензия түрінде дайындалады. Оны көктамыр ішіне енгізуге жарамды, ал ішке қабылдау үшін одан түйіршіктер немесе таблетка жасауға болады. Бұл жағдайда полимерлік матрица қолданылмайды, өйткені кейбір ғалымдардың пікірінше, оның ыдырауы жасушаларға уытты әсер етуі мүмкін. Нанокристалдардың әдеттегі мөлшері 200-600 нм құрайды.

Соңғы онжылдықтарда нанокристалдар пішіні мен өлшеміне байланысты бірегей физикалық және химиялық қасиеттеріне байланысты көп назар аударды. Бұл олардың көлемді аналогтарынан күрт ерекшеленеді.

Наноматериалдардың морфологиясын, жиналуын және соған байланысты энергетикалық қолданылуын ұтымды бақылауға қол жеткізуге көп күш жұмсалды. Осылайша, бейорганикалық наноматериалдардың морфологиясын, өлшемдерін және өлшем біркелкілігін басқару мүмкіндігі қазіргі заманғы материалдар физикасы мен химиясының маңызды міндеті болып қала береді.

Дәрілік нанокристалдарды өндіру үшін қолданылатын стандартты әдістер жоғары қысымды гомогенизация және моншақтармен ылғалды

ұнтақтау болып табылады. Бұл үдеріс ерімейтін қосылыстарды сәтті алу үшін қолданылған [32]. Дегенмен, олардың ұзақ өңдеу уақыты және микронизацияланған препаратты бастапқы материал ретінде пайдалану қажеттілігі сияқты кемшіліктері бар. Келесі буын технологиялары стандартты әдістермен салыстырғанда бөлшектердің мөлшерін азайту тиімділігін арттыру үшін бөлшектердің өлшемін азайтудың біріктірілген әдістерін қамтиды. Дәрілік заттардың нанокристалдарын алудың негізінен екі тәсілі бар, үшіншісі (аралас тәсіл) алғашқы екі әдістің тіркесімі болып табылады.

Үрдістің бірінші түрі еріген молекулалардан нанокристалдардың тұнуы арқылы бөлшектердің мөлшері үлкейеді. Бұл тәсіл өсу деп аталады, өйткені бөлшектердің мөлшері артады. Бұл топқа микротұндыру және химиялық синтез сияқты үрдістер кіреді.

Үрдістің екінші түрі бөлшектердің мөлшерін азайтуды немесе ұсақтауды қамтиды. Бұл тәсіл кішірейту деп аталады, өйткені бұрыннан бар бөлшектердің мөлшері азаяды.

Үшінші тәсіл бір блокты үрдістердің бөлшектерінің мөлшерін азайту тиімділігін арттыру үшін жоғары және төмен қадамдардың қосындысын қамтиды. Бірінші кезең, әдетте, ұнтақтаудың кейінгі сатысы үшін нәзік, ұсақталған бастапқы материалды алу үшін препаратты алдын ала өңдеу ретінде қолданылатын өрлемелі үрдіс болып табылады. Осылайша, дәрілік материалды наноөлшемге жеткізу жеңілдейді. Сонымен қатар, екі түрлі «кішірейту» кезеңін біріктіру тәсілі де бар (мысалы, моншақтармен ұнтақтау, содан кейін жоғары қысымды гомогенизация) [33,34].

6. Биомедицинада нанокристалдарды алу әдістері

Тұндыру үрдістері (төменнен жоғары). Препаратты еріткішке ерітіп, оған басқа еріткіш қосу арқылы тұндыру - бұл классикалық тұндыру үрдісі, кейде ылғалды өндіріс деп те аталады. Бұл әдістің міндеті - нанометрлік диапазондағы кристалдардың өсуін азайту (бақыланатын кристалдану) және кристалдардың қатты күйін бақылау, яғни оларды кристалды немесе аморфты түрде шығару [35]. «Гидрозоль» технологиясы - бұл дәрілік нанобөлшектерді алудың алғашқы сатыларын қамтитын «төменнен жоғары» тәсіл. Бұл әдістің артықшылығы - кристалдық құрылымдағы дәрілік нанобөлшектерді алуға

мүмкіндік береді [36,37]. Алайда, бұл технологияның бірқатар кемшіліктері бар. Препарат кем дегенде бір еріткіште толық еруі тиіс және үрдіс жойылуы керек органикалық еріткіштерді қамтиды. Кристалдардың өсуін бақылау қиын болғандықтан, бұл әдіс кеңінен қолданылмайды.

Тағы бір жоғары технологиялық әдіс - мұздату арқылы кептіру кезінде бақыланатын кристалдану [38]. Бұл технология нанокристалды бөлшектерді алу үшін тұндыру үрдісін (лиофилизация) қамтиды. Кейіннен алынған сублимацияланған ұнтақтар таблетка жасауға тікелей қолданылуы

мүмкін. Бұл әдіс бір сатылы қарапайым тұндыру процесі ретінде сипатталады. Сонымен қатар, 10 минуттық еріту сынағынан кейін дәрілік заттың 80%-ға дейін босатылғаны туралы хабарланды. Бұл жоғары технологияның ерекшеліктері - кристалдық дәрілік нанобөлшектерді өндіру мүмкіндігі және ауқымды өндірісте қолдану қолайлылығы. Мұздату арқылы кептіру, сондай-ақ бүріккішпен кептіру-құрғақ аралық өнімдерді немесе дайын дәрілік ұнтақтарды алу үшін фармацевтика өнеркәсібінде кеңінен қолданылатын тұндыру үрдістері. «Төменнен жоғарыға» екі технологияны да дәрілік материалдарды кейінгі ұнтақтау үрдісіне қолайлы ету үшін (яғни оларды бос және сынғыш ету) өзгертуге пайдалануға болады.

Аралас әдістер. Қазіргі уақытта бес аралас әдіс белгілі: кейінгі жоғары энергетикалық сатысы бар микро тұндыру, «кави-тұндыру» бар микро тұндыру, жоғары энергетикалық сатысы бар бүріккіш кептіру («кави-тұндыру»), жоғары энергетикалық сатысы бар сублимациялық кептіру («кави-тұндыру») және аралас технология (қоршаған ортаны кейіннен «кави-тұндыру» арқылы ұнтақтау) [39]. Инжу-маржандарды немесе моншақтарды ұнтақтау әдісі - бұл нанокристалдар

өндірудің бірінші буынындағы технология ретінде де белгілі. Бұл технологияға ұнтақталған материал, дисперсиялық орта (әдетте су), тұрақтандырғыш жүйе ретінде беттік белсенді заттар және нанөөлшемді препарат жүктелетін араластырғыш ұнтақтау камерасы кіреді. Дәрі-дәрмектің бөлшектері механикалық тозу арқылы азаяды. Ұнтақтау материалы әдетте тот баспайтын болаттан, шыныдан, керамикадан (мысалы, иттриймен тұрақтандырылған цирконий диоксиді) немесе полистирол шайырынан жасалған ұсақ шарлар болып табылады. Соңғы екеуі өнімді аз ластайтын болғандықтан жиі қолданылады. Инжу бөлшектері 0.1, 0.2 немесе 0.5 мм сияқты әртүрлі өлшемдерде болады. Ұнтақтау үрдісінде соқтығысу жиілігі ұнтақтау дәндерінің мөлшерінің азаюымен артады. Осылайша, нанөөлшем еру жылдамдығын және осылайша нашар еритін дәрілердің биожетімділігін арттырудың қолайлы әдісі болып табылады. Бөлшектердің мөлшерін азайту үрдісінің тиімділігі қолданылатын технология, жабдық және дәрілік заттың физико-химиялық қасиеттері сияқты маңызды факторларға байланысты.

7. Талқылау

Бұл шолудың нәтижелері биомедицинадағы наноматериалдардың, атап айтқанда нано-кеуекті құрылымдардың, көміртекті нанотүтікшелердің және наноцеллюлозаның жоғары әлеуетін, соның ішінде сүйек регенерациясын, дәрі-дәрмектерді жеткізуді және биоүйлесімді импланттарды әзірлеуді растайды. Әсіресе перспективалы материал - жоғары механикалық беріктігі, биоүйлесімділігі және биоактивті композиттерді қалыптастыру қабілеті бар наноцеллюлоза [40-42]. Басқа дереккөздермен салыстырмалы талдау наноцеллюлоза негізіндегі композиттердің биоүйлесімділігі, остеоинтеграция қабілеті және төмен қабыну реакциясы бойынша аутогендік трансплантация сияқты дәстүрлі материалдармен бәсекелесе алатынын растайды [43]. Дегенмен, олардың кең клиникалық қолданысқа енгізілуіне кедергі келтіретін шектеулер бар. Біріншіден, деректердің көпшілігі *in vivo* және *in vitro* зерттеулерге негізделген, бұл клиникалық тәжірибеде қайталануын шектейді. Екіншіден, керемет қасиеттеріне қарамастан, көміртекті

нанотүтікшелер әсіресе созылмалы қолдануда потенциалды уыттылықты көрсетеді, бұл бірқатар зерттеулермен расталады [44,45].

Сонымен қатар, наноцеллюлоза бірегей физико-химиялық қасиеттерге ие жоғары беріктік, электр өткізгіштік және биофункционалдылық бұл оларды дәрі-дәрмектерді жеткізуге, гендік терапияға және тіндік инженерияға тамаша үміткер етеді [47]. Нано-кеуекті құрылымдар реттелетін тері тесігінің өлшемі мен жоғары ерекшелігіне байланысты белсенді заттарды басқарылатын босату мембраналарын қоса алғанда, дәрі-дәрмек жеткізу жүйелері мен имплантацияланатын медициналық құрылғыларды әзірлеуде белсенді қолдануды табады [48].

Сонымен қатар, нано-кеуекті материалдар биосенсорлар мен диагностикалық жүйелер саласында, әсіресе жекелендірілген медицина аясында айтарлықтай әлеует көрсетті.

Болашақ зерттеулер наноцеллюлозалық композиттерден белсенді заттардың

биодеградациясы мен бақыланатын босатылуын оңтайландыруға бағытталуы тиіс.

Бұл биомедициналық қосымшаларда осындай материалдарды пайдалану тиімділігін арттырады және тіңдердің регенерация үдерісін дәл басқаруды қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, көміртекті нанотүтікшелердің уыттылығын азайту және олардың ағзадағы метаболизмін зерттеу өзекті міндеттердің бірі болып табылады. Себебі, олардың бірегей физико-химиялық қасиеттеріне қарамастан, әлеуетті уыттылық олардың кеңінен қолданылуын шектейді. Наноматериалдарды клиникалық

8. Қорытынды

Бұл шолуда біз әртүрлі жіктеулерді қорытындыладық және наноматериалдардың түрлеріне жалпы сипаттама бердік. Биомедицинада наноматериалдарды алу әдістері, қолдану салалары, сондай-ақ қолданудың заманауи трендтері қарастырылды.

Биомедицинада наноматериалдарды қолданудың ең танымал бағыты - дәрілік заттарды жеткізу. Бұл бағыт үнемі дамып, зерттеушілерге жаңа мүмкіндіктерді ашуда. Нанобөлшектердің дамыған түрлерінің кең таңдауына байланысты дәрі-дәрмектерді қажетті аймаққа тікелей жеткізу жүйесі ең танымал болды. Нанобөлшектерге нақты қасиеттер мен құрылым беру, оларды әртүрлі матрицаларға енгізу мүмкіндігі - олардың кеңінен қолданылуына жол ашты. Бұл көміртекті нанотүтікшелерге қатысты айту қиын, өйткені олар дәрі жеткізу жүйелерінде, гендік терапияда, тіңдік инженериясында қолданылғанымен, уыттылығы олардың кең таралуына кедергі келтіреді. Соған қарамастан, көміртекті нанотүтікшелер бойынша жүргізілген зерттеулер оң нәтижелер берді: олардың цитоплазмалық және ядролық мембраналардан өту қабілеті жоғары, беттік ауданы үлкен және беттеріне дәрілік заттарды көп мөлшерде бекітуге мүмкіндік береді.

Осылайша, бұл әдістердің тиімділігі дәрілік заттарды жеке қолданумен салыстырғанда бірнеше есе артады. Нано-кеуекті құрылымдарға келетін болсақ, олардың ерекшелігі кеуекті табиғатында. Бұл олардың бетіне әртүрлі молекулаларды орналастыруға мүмкіндік береді. Болашақта белгілі бір молекулалармен жабдықталған нанокеуекті

тәжірибеге сәтті енгізу үшін материалдардың қайталануы мен қауіпсіздігін қамтамасыз ететін ауқымды және стандартталған синтез әдістерін әзірлеу қажет. Наноматериалдарды ортопедия мен травматологияда қолдану бойынша клиникалық сынақтар жүргізу олардың нақты жағдайдағы тиімділігі мен қауіпсіздігін бағалаудың негізгі кезеңі болып табылады. Бұдан басқа, күтпеген асқынуларды болдырмау және науқастарға барынша пайда әкелу үшін денеге наноқұрылымды материалдарды енгізумен байланысты ұзақ мерзімді биологиялық әсерлер мен ықтимал қауіптерді мұқият зерделеу керек.

құрылымдар қажетті аймаққа тікелей жеткізіледі. Берілген қасиеттерге байланысты қажетті аймақтағы нано-кеуекті құрылымдар, мысалы, жасушалардың өсуіне, тіңдердің қайта құрылуына ықпал етеді. Бұл олардың бетіне қандай биологиялық молекулалар жүктелгеніне байланысты болады. Жоғарыда айтылғандарды қорытындылай келе, бүгінгі таңда наноматериалдар терең зерттеліп жатыр, олардың биомедицинада және басқа салаларда алатын орны өте маңызды және баға жетпейтіндігін көрсетеді.

Ауыл шаруашылығынан бастап биосенсорларға, тіңдік инженерияға және биомедициналық импланттарға дейінгі қолдану салаларының үнемі кеңеюімен қатар, наноматериалдарға деген қызығушылық күн сайын артып келеді. Қолдану аймақтары наноматериалдарды өндіру технологиясының жетілдірілуіне және оларға нақты қасиеттер беру мүмкіндігінің артуына байланысты кеңеюде. Алайда, трансплантологиядағы қолданылуы немесе тің ақауларын толтыруға арналған материал ретінде пайдаланылуы сияқты кейбір аспектілер әлі де жеткілікті зерттелмеген.

Сондықтан бұл бағытта тоқтап қалуға болмайды - наноматериалдар биомедицина мен ғылымның болашағы болып табылады. Бұл салада әлі де мұқият зерттеуді қажет ететін наноматериалдарды қолдануды дамытудың көптеген зерттелмеген бағыттары бар.

Мүдделер қақтығысы. Авторлар мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді.

Қаржыландыру. Жұмыс Қазақстан Республикасының жоғары білім және ғылым

министрлігінің гранттық қаржыландыруы аясында жүргізілді (2023-2025, ЖТН АР19678427)

Авторлардың қосқан үлесі: Концептуализация – Т.Б., К.Е.; мәліметтерді анализ жүргізу – А.К., К.Е.; ресми талдау К.Е., А.И.; материалдар жинау және саралау – К.Е., К.А. және А.И.; әдістемесі – Т.Б., К.Е.,

К.А.; зерттеу дизайнын анықтау – К.Е., К.А.; мәлімет жинау – Т.Б., К.Е., К.А.; валидация – К.А., К.Е., А.И.; іріктеу көрнекілігі – К.Е., А.И.; жазу және түзету – К.Е., К.А.

Әдебиет

1. Babilotte, J., Guduric, V., Le Nihouannen, D., Naveau, A., Fricain, J. C., & Catros, S. (2019). 3D printed polymer–mineral composite biomaterials for bone tissue engineering: Fabrication and characterization. *Journal of Biomedical Materials Research Part B: Applied Biomaterials*, 107(8), 2579-2595. <https://doi.org/10.1002/jbm.b.34348>
2. Zhou, W., Tangl, S., Reich, K. M., Kirchweiger, F., Liu, Z., Zechner, W., ... & Rausch-Fan, X. (2019). The Influence of Type 2 Diabetes Mellitus on the Osseointegration of Titanium Implants with Different Surface Modifications—A Histomorphometric Study in High-Fat Diet/Low-Dose Streptozotocin–Treated Rats. *Implant dentistry*, 28(1), 11-19. <https://doi.org/10.1097/id.0000000000000836>
3. Zhou, W., Kuderer, S., Liu, Z., Ulm, C., Rausch-Fan, X., & Tangl, S. (2017). Peri-implant bone remodeling at the interface of three different implant types: a histomorphometric study in mini-pigs. *Clinical Oral Implants Research*, 28(11), 1443-1449. <https://doi.org/10.1111/clr.13009>
4. Mauffrey, C., Barlow, B. T., & Smith, W. (2015). Management of segmental bone defects. *JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 23(3), 143-153. <https://doi.org/10.5435/jaaos-d-14-00018>
5. Osorio, D. A., Lee, B. E., Kwiecien, J. M., Wang, X., Shahid, I., Hurley, A. L., & Grandfield, K. (2019). Cross-linked cellulose nanocrystal aerogels as viable bone tissue scaffolds. *Acta biomaterialia*, 87, 152-165. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2019.01.049>
6. Ho-Shui-Ling, A., Bolander, J., Rustom, L. E., Johnson, A. W., Luyten, F. P., & Picart, C. (2018). Bone regeneration strategies: Engineered scaffolds, bioactive molecules and stem cells current stage and future perspectives. *Biomaterials*, 180, 143-162. <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2018.07.017>
7. Waldrop, R., Cheng, J., Devin, C., McGirt, M., Fehlings, M., & Berven, S. (2015). The burden of spinal disorders in the elderly. *Neurosurgery*, 77, S46-S50. <https://doi.org/10.1227/neu.0000000000000950>
8. Roseti, L., Parisi, V., Petretta, M., Cavallo, C., Desando, G., Bartolotti, I., & Grigolo, B. (2017). Scaffolds for bone tissue engineering: state of the art and new perspectives. *Materials Science and Engineering: C*, 78, 1246-1262. <https://doi.org/10.1016/j.msec.2017.05.017>
9. Khan, S., Siddique, R., Huanfei, D., Shereen, M. A., Nabi, G., Bai, Q., ... & Bowen, H. (2021). Perspective applications and associated challenges of using nanocellulose in treating bone-related diseases. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 9, 616555. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2021.616555>
10. Habibi, Y., Lucia, L. A., & Rojas, O. J. (2010). Cellulose nanocrystals: chemistry, self-assembly, and applications. *Chemical reviews*, 110(6), 3479-3500. <https://doi.org/10.1021/cr900339w>
11. Adiga, S. P., Jin, C., Curtiss, L. A., Monteiro-Riviere, N. A., & Narayan, R. J. (2009). Nanoporous membranes for medical and biological applications. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 1(5), 568-581. <https://doi.org/10.1002/wnan.50>
12. Alshehri, R., Ilyas, A. M., Hasan, A., Arnaout, A., Ahmed, F., & Memic, A. (2016). Carbon nanotubes in biomedical applications: factors, mechanisms, and remedies of toxicity: miniperspective. *Journal of medicinal chemistry*, 59(18), 8149-8167. <https://doi.org/10.1021/acs.jmedchem.5b01770>
13. Usui, Y., Haniu, H., Tsuruoka, S., & Saito, N. (2012). Carbon nanotubes innovate on medical technology. *Medicinal Chemistry*, 2(02), 105. <https://doi.org/10.4172/2161-0444.1000105>

14. Zhang, Y., Bai, Y., & Yan, B. (2010). Functionalized carbon nanotubes for potential medicinal applications. *Drug discovery today*, 15(11-12), 428-435. <https://doi.org/10.1016/j.drudis.2010.04.005>
15. Singh, B. G. P., Baburao, C., Pispati, V., Pathipati, H., Muthy, N., Prassana, S. R. V., & Rathode, B. G. (2012). Carbon nanotubes. A novel drug delivery system. *International Journal of Research in Pharmacy and Chemistry*, 2(2), 523-532. Available from URL: <http://www.researchjournal.gtu.ac.in/News/9.%20Pharmacy%20-Final.pdf>
16. Kateb, B., Yamamoto, V., Alizadeh, D., Zhang, L., Manohara, H. M., Bronikowski, M. J., & Badie, B. (2010). Multi-walled carbon nanotube (MWCNT) synthesis, preparation, labeling, and functionalization. In *Immunotherapy of Cancer: Methods and Protocols* (pp. 307-317). Totowa, NJ: Humana Press. https://doi.org/10.1007/978-1-60761-786-0_18
17. Zhang, W., Zhang, Z., & Zhang, Y. (2011). The application of carbon nanotubes in target drug delivery systems for cancer therapies. *Nanoscale research letters*, 6, 1-22. <https://doi.org/10.1186/1556-276x-6-555>
18. Jiang, L., Liu, T., He, H., Pham-Huy, L. A., Li, L., Pham-Huy, C., & Xiao, D. (2012). Adsorption behavior of pazufloxacin mesilate on amino-functionalized carbon nanotubes. *Journal of Nanoscience and Nanotechnology*, 12(9), 7271-7279. <https://doi.org/10.1166/jnn.2012.6562>
19. Chen, Z., Pierre, D., He, H., Tan, S., Pham-Huy, C., Hong, H., & Huang, J. (2011). Adsorption behavior of epirubicin hydrochloride on carboxylated carbon nanotubes. *International journal of pharmaceutics*, 405(1-2), 153-161. <https://doi.org/10.1016/j.jipharm.2010.11.034>
20. Elhissi, A., Ahmed, W., Dhanak, V., & Subramani, K. (2012). Carbon nanotubes in cancer therapy and drug delivery. In *Emerging nanotechnologies in dentistry* (pp. 347-363). William Andrew Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-4557-7862-1.00020-1>
21. Rosen, Y., Mattix, B., Rao, A., & Alexis, F. (2011). Carbon nanotubes and infectious diseases. *Nanomedicine in Health and Disease*, 10, 249-267.
22. Lalevée, G., David, L., Montembault, A., Blanchard, K., Meadows, J., Malaise, S., ... & Sudre, G. (2017). Highly stretchable hydrogels from complex coacervation of natural polyelectrolytes. *Soft Matter*, 13(37), 6594-6605. <https://doi.org/10.1039/c7sm01215b>
23. Muxika, A., Etxabide, A., Uranga, J., Guerrero, P., & De La Caba, K. (2017). Chitosan as a bioactive polymer: Processing, properties and applications. *International journal of biological macromolecules*, 105, 1358-1368. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.07.087>
24. Wu, L. X., Qiao, Z. R., Cai, W. D., Qiu, W. Y., & Yan, J. K. (2019). Quaternized curdlan/pectin polyelectrolyte complexes as biocompatible nanovehicles for curcumin. *Food Chemistry*, 291, 180-186. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.04.029>
25. Vijitha, R., Reddy, N. S., Nagaraja, K., Vani, T. J. S., Hanafiah, M. M., Venkateswarlu, K. & Rao, K. M. (2021). Fabrication of polyelectrolyte membranes of pectin graft-copolymers with PVA and their composites with phosphomolybdic acid for drug delivery, toxic metal ion removal, and fuel cell applications. *Membranes*, 11(10), 792. <https://doi.org/10.3390/membranes11100792>
26. Efimov, S. V., Matsiyevskaya, N. V., Boytsova, O. V., Akhieva, L. Y., Kvasova, E. I., Harrison, F., ... & Rossi, J. F. (2021). The effect of azoximer bromide (Polyoxidonium®) in patients hospitalized with coronavirus disease (COVID-19): an open-label, multicentre, interventional clinical study. *Drugs in Context*, 10, 2020-11. <https://doi.org/10.7573/dic.2020-11-1>
27. Vainio, U., Lauten, R. A., & Serimaa, R. (2008). Small-angle X-ray scattering and rheological characterization of aqueous lignosulfonate solutions. *Langmuir*, 24(15), 7735-7743. <https://doi.org/10.1021/la800479k>
28. Zheng, Y., Wu, Y., Yang, W., Wang, C., Fu, S., & Shen, X. (2006). Preparation, characterization, and drug release in vitro of chitosan-glycyrrhetic acid nanoparticles. *Journal of Pharmaceutical Sciences*, 95, 181-191. <https://doi.org/10.1002/jps.20399>

29. Kesavan, K., Kant, S., Singh, P. N., & Pandit, J. K. (2013). Mucoadhesive chitosan-coated cationic microemulsion of dexamethasone for ocular delivery: In vitro and in vivo evaluation. *Current Eye Research*, 38, 342–352. <https://doi.org/10.3109/02713683.2012.745879>
30. Winkler, J., & Ghosh, S. (2018). Therapeutic potential of fulvic acid in chronic inflammatory diseases and diabetes. *Journal of diabetes research*, 2018(1), 5391014. <https://doi.org/10.1155/2018/5391014>
31. Van Eerdenbrugh, B., Van den Mooter, G., & Augustijns, P. (2008). Top-down production of drug nanocrystals: nanosuspension stabilization, miniaturization and transformation into solid products. *International journal of pharmaceutics*, 364(1), 64–75. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2008.07.023>
32. Möschwitzer, J., & Müller, R. H. (2006). New method for the effective production of ultrafine drug nanocrystals. *Journal of nanoscience and nanotechnology*, 6(9–10), 3145–3153. <https://doi.org/10.1166/jnn.2006.480>
33. Petersen, R. (2006). Nanocrystals for topical cosmetic formulations and method of production. *U.S. Patent Application* No. 60/886,233.
34. Sucker, H., & Gassmann, P. (1992). Pharmaceutical compositions improvement. *European Patent* No. 0580690.
35. List, M., & Sucker, H. (1988). Pharmaceutical colloidal hydrosols for injection. *UK Patent* No. 2200048.
36. Auweter, H., Bon, H., Heger, R., et al. (2002). Precipitated water-insoluble dyes in colloidal dispersed form. *U.S. Patent* No. 6494924.
37. Auweter, H., André, V., Horn, D., & Lüddecke, E. (1998). The function of gelatin in controlled precipitation processes of nanosize particles. *Journal of dispersion science and technology*, 19(2–3), 163–184. <https://doi.org/10.1080/01932699808913170>
38. Hancock, B. C., & Zografi, G. (1997). Characteristics and significance of the amorphous state in pharmaceutical systems. *Journal of pharmaceutical sciences*, 86(1), 1–12. <https://doi.org/10.1021/js9601896>
39. Shegokar, R., & Müller, R. H. (2010). Nanocrystals: industrially feasible multifunctional formulation technology for poorly soluble actives. *International journal of pharmaceutics*, 399(1–2), 129–139. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2010.07.044>
40. Kandhola, G., Park, S., Lim, J. W., Chivers, C., Song, Y. H., Chung, J. H., & Kim, J. W. (2023). Nanomaterial-based scaffolds for tissue engineering applications: a review on graphene, carbon nanotubes and nanocellulose. *Tissue Engineering and Regenerative Medicine*, 20(3), 411–433. <https://doi.org/10.1007/s13770-023-00530-3>
41. Zhang, Y., Jiang, S., Xu, D., et al. (2023). Application of nanocellulose-based aerogels in bone tissue engineering: Current trends and outlooks. *Polymers (Basel)*, 15(10), 2323. <https://doi.org/10.3390/polym15102323>
42. Malekpour, K., Hazrati, A., Khosrojerdi, A., Roshangar, L., & Ahmadi, M. (2023). An overview to nanocellulose clinical application: Biocompatibility and opportunities in disease treatment. *Regenerative Therapy*, 24, 630–641. <https://doi.org/10.1016/j.reth.2023.10.006>
43. Cañas-Gutiérrez, A., Toro, L., Fornaguera, C., Borrós, S., Osorio, M., Castro-Herazo, C., & Arboleda-Toro, D. (2023). Biomineralization in three-dimensional scaffolds based on bacterial nanocellulose for bone tissue engineering: Feature characterization and stem cell differentiation. *Polymers*, 15(9), 2012. <https://doi.org/10.3390/polym15092012>
44. Gomez-Gualdrón, D. A., Burgos, J. C., Yu, J., & Balbuena, P. B. (2011). Carbon nanotubes: Engineering biomedical applications. *Progress in Molecular Biology and Translational Science*, 104, 175–245. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-416020-0.00005-X>
45. Lamberti, M., Pedata, P., Sannolo, N., Porto, S., De Rosa, A., & Caraglia, M. (2015). Carbon nanotubes: Properties, biomedical applications, advantages and risks in patients and occupationally-exposed workers. *International journal of immunopathology and pharmacology*, 28(1), 4–13. <https://doi.org/10.1177/0394632015572559>
46. Eivazzadeh-Keihan, R., Maleki, A., De La Guardia, M., Bani, M. S., Chenab, K. K., Pashazadeh-Panahi, P., & Hamblin, M. R. (2019). Carbon based nanomaterials for tissue engineering of bone: Building new bone on small black scaffolds: A review. *Journal of advanced research*, 18, 185–201. <https://doi.org/10.1016/j.jare.2019.03.011>

47. Gultepe, E., Nagesha, D., Sridhar, S., & Amiji, M. (2010). Nanoporous inorganic membranes or coatings for sustained drug delivery in implantable devices. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 62(3), 305–315. <https://doi.org/10.1016/j.addr.2009.11.003>
48. Adiga, S. P., Jin, C., Curtiss, L. A., Monteiro-Riviere, N. A., & Narayan, R. J. (2009). Nanoporous membranes for medical and biological applications. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 1(5), 568–581. <https://doi.org/10.1002/wnan.50>

Современные тенденции развития наноматериалов и их применение в медицине

[Түлеубаев Б.Е.](#)¹, [Косилова Е.Ю.](#)², [Қошанова А.А.](#)³, [Авромиди И.К.](#)⁴

¹ Заведующий кафедрой хирургических болезней, Карагандинский медицинский университет, Караганда, Казахстан

² Ассистент кафедры хирургических болезней, Карагандинский медицинский университет, Караганда, Казахстан

³ Ассоциированный профессор кафедры хирургических болезней, Карагандинский медицинский университет, Караганда, Казахстан

⁴ Интерн факультета «Общая медицина», Карагандинский медицинский университет, Караганда, Казахстан

Резюме

Наноматериалы представляют собой перспективный класс биоматериалов с широким применением в медицине, особенно в тканевой инженерии, травматологии и регенеративной медицине. Среди них nanoцеллюлоза, получаемая из возобновляемых растительных источников, выделяется благодаря высокой механической прочности, большой поверхности, биodeградируемости и антимикробным свойствам. Эти характеристики делают её привлекательной для заживления ран, доставки лекарств и восстановления костной ткани.

Однако nanoцеллюлоза не обладает собственной биологической активностью, необходимой для стимуляции регенерации костей. Для решения этой проблемы разрабатываются композиты, объединяющие nanoцеллюлозу с остеoактивными материалами - фосфатами кальция, силикатами и углеродными нанотрубками. Такие сочетания улучшают механические свойства, биоактивность и контролируемость деградации, что делает их перспективными для создания костных имплантатов.

Предклинические исследования, включая модели дефектов бедренной кости у крыс, показали, что композиты на основе nanoцеллюлозы обеспечивают регенерацию костной ткани на уровне или выше по сравнению с традиционными материалами, такими как аутологичные сгустки крови. Гистологический анализ выявил хорошую интеграцию с тканями, слабую воспалительную реакцию, достаточную васкуляризацию и низкий риск бактериального заражения.

Обзор обобщает достижения в использовании nanoцеллюлозы в регенерации костей и травматологии, отмечает ее ограничения, а также перспективы дальнейшего развития и клинического применения.

Ключевые слова: наноматериал, регенерация тканей, наночастицы, нанокристаллы.

Current trends in the development of nanomaterials and their use in medicine

[Berik Tuleubaev](#)¹, [Yekaterina Kossilova](#)², [Amina Koshanova](#)³, [Ivan Avromidi](#)⁴

¹ Head of the Department of Surgical Diseases, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan

² Assistant of the Department of Surgical Diseases, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan

³ Associate Professor of the Department of Surgical Diseases, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan

⁴ Intern at the Faculty of General Medicine, Karaganda Medical University, Karaganda, Kazakhstan

Abstract

Nanomaterials are a promising class of biomaterials with wide applications in medicine, particularly in tissue engineering, trauma surgery, and regenerative medicine. Among them, nanocellulose derived from renewable plant sources stands out due to its high mechanical strength, large surface area, biodegradability, and antimicrobial properties. These features make it attractive for wound healing, drug delivery, and bone tissue repair.

However, nanocellulose lacks the inherent biological activity required to stimulate bone regeneration. To address this, researchers are developing composites that combine nanocellulose with osteoactive materials such as calcium phosphates, silicates, and carbon nanotubes. These combinations enhance mechanical properties, bioactivity, and degradation control, making them suitable for bone implants.

Preclinical studies, including rat femoral defect models, demonstrated that nanocellulose-based composites support bone regeneration at levels comparable to or better than traditional materials like autologous blood clots. Histological analysis reveals good integration with host tissues, minimal inflammatory response, sufficient vascularization, and low risk of bacterial infection.

This review summarizes current progress in the application of nanocellulose in bone regeneration and trauma care, highlights existing limitations, and outlines future directions for its clinical use.

Keywords: nanomaterial, tissue regeneration, nanoparticles, nanocrystals.

<https://doi.org/10.52889/1684-9280-2025-76-3-jto005>

Review article

Surgical management of osteoporotic vertebral fractures: current approaches. Literature review

[Nurzhan Abishev](#)¹, [Daryn Borangaliyev](#)^{2*}, [Galym Kadirbekov](#)³, [Talgat Kerimbayev](#)⁴,
[Zhandos Tuigynov](#)⁵, [Meirzhan Oshaev](#)⁶, [Viktor Aleynikov](#)⁷,
[Ramazan Minuarov](#)⁸, [Khalit Mustafin](#)⁹, [Asylbek Kaliyev](#)¹⁰

Received: 28.02.2025

Accepted: 21.04.2025

Published: 30.06.2025

* Corresponding author:

Daryn Borangaliyev,

E-mail: www.daryn@mail.ru

Citation: Trauma & Ortho Kaz,
2025, 76 (3), jto005

This work is licensed under a
Creative Commons Attribution 4.0
International License



¹ PhD student at Astana Medical University, Neurosurgeon at the Department of Spinal Neurosurgery and Peripheral Nervous System Pathology, National Center for Neurosurgery, Astana, Kazakhstan

² Neurosurgeon at the Department of Spinal Neurosurgery and Peripheral Nervous System Pathology, National Center for Neurosurgery, Astana, Kazakhstan

³ Neurosurgeon at the Department of Spinal Neurosurgery and Peripheral Nervous System Pathology, National Center for Neurosurgery, Astana, Kazakhstan

⁴ Head of the Department of Spinal Neurosurgery and Peripheral Nervous System Pathology, National Center for Neurosurgery, Astana, Kazakhstan

⁵ Neurosurgeon at the Department of Spinal Neurosurgery and Peripheral Nervous System Pathology, National Center for Neurosurgery, Astana, Kazakhstan

⁶ Neurosurgeon at the Department of Spinal Neurosurgery and Peripheral Nervous System Pathology, National Center for Neurosurgery, Astana, Kazakhstan

⁷ Head of the Department of Minimally Invasive Neurosurgery, National Center for Neurosurgery, Astana, Kazakhstan

⁸ Neurosurgeon at the Department of Spinal Neurosurgery and Peripheral Nervous System Pathology, National Center for Neurosurgery, Astana, Kazakhstan

⁹ Neurosurgeon at the Minimally Invasive Neurosurgery, National Center for Neurosurgery, Astana, Kazakhstan

¹⁰ Deputy Chairman of the Board at the National Center for Neurosurgery, Astana, Kazakhstan

Abstract

Osteoporotic vertebral fractures represent one of the most prevalent and clinically significant complications of systemic osteoporosis, particularly in elderly patients. Reduced bone mineral density compromises the mechanical stability of spinal instrumentation and increases the risk of postoperative construct failure. This literature review analyzes studies retrieved from PubMed, Scopus, and Web of Science databases covering the period from January 2015 to April 2025. Included sources comprise original articles, randomized controlled trials, meta-analyses, and systematic reviews focused on the surgical treatment of osteoporotic vertebral fractures.

The review summarizes contemporary surgical strategies aimed at improving fixation strength and optimizing clinical outcomes in patients with spinal osteoporotic lesions. Special attention is given to cement-augmented pedicle screws, expandable and fenestrated implants, cortical bone trajectory systems, as well as minimally invasive procedures such as vertebroplasty and kyphoplasty.

Available evidence demonstrates that the use of bone cement significantly increases pedicle screw pullout strength and reduces the incidence of postoperative complications.

Kyphoplasty additionally enables partial deformity correction and provides effective pain relief.

The findings highlight the importance of an individualized approach to surgical planning, taking into account bone quality and anatomical characteristics of the affected segment. Such tailored strategies are critical to reducing the risk of revision surgeries and achieving stable, long-term functional outcomes.

Keywords: osteoporosis, pathological fracture, transpedicular fixation, cement augmentation, expandable screws, bicortical fixation, kyphosis, vertebroplasty, kyphoplasty.

1. Introduction

Osteoporosis is a major global health concern, contributing significantly to the rising incidence of vertebral body fractures resulting from decreased bone mineral density and structural deterioration.

According to the Global Burden of Disease study (2019) by the World Health Organization (WHO), an estimated 8.6 million new cases and 5.3 million prevalent cases of vertebral compression fractures were reported worldwide. This marks a 38% increase since 1990, reflecting both the aging of the global population and demographic expansion. Regional prevalence rates vary, ranging from 18–26% among women in Europe to 9–24% in Asian countries [1].

The WHO as a priority non-communicable, age-related disease, alongside cardiovascular and oncological disorders, recognizes osteoporosis. It is estimated that one in three women and one in five men over the age of 50 will experience an osteoporotic fracture during their lifetime, with vertebral fractures being the most common site (World Health Organization, 2021) [2].

This condition has a direct impact on diagnostic and therapeutic decision-making in patients with vertebral injuries. As life expectancy increases and global populations continue to age, the incidence of osteoporotic fractures is projected to rise further. This trend is expected to result in higher rates of disability and mortality, as well as an increasing burden on healthcare systems worldwide [3–5].

Reduced bone mineral density is a key risk factor for mechanical instability of the spinal segment during surgical intervention. In addition to this, age-related remodeling of bone tissue, degradation of the bone matrix, and the presence of comorbid somatic conditions further compromise the effectiveness of conventional spinal fusion techniques. In this context, the development and implementation of advanced fixation methods, the use of innovative biomaterials, and the application of both antiresorptive and anabolic therapies aimed at enhancing bone metabolism have

gained increasing importance. Emerging strategies incorporating elements of bioengineering and personalized treatment planning allow for the adaptation of surgical approaches to the patient's individual anatomical and functional characteristics, thereby expanding the possibilities for stabilizing the osteoporotic spine [6].

Global demographic shifts have led to a substantial increase in spinal surgeries among elderly patients. For example, in the United States alone, the rate of spinal procedures among individuals covered by the Medicare program increased more than fifteen-fold between 2001 and 2007. A significant proportion of these patients are over the age of 50, with osteoporosis frequently remaining underdiagnosed. It is estimated that up to 50% of women in this age group who undergo spinal surgery exhibit signs of osteoporosis a prevalence notably higher than in age-matched populations without surgical intervention [7]. This highlights the critical need for routine osteoporosis screening in this patient cohort, as well as the timely initiation of therapies aimed at reducing fracture risk and improving surgical outcomes [8].

According to estimates from the WHO and leading clinical societies as of 2021–2022, up to 70% of osteoporotic vertebral body fractures remain undiagnosed in a timely manner, often due to their asymptomatic nature or presentation with nonspecific complaints. This underdiagnosis significantly increases the risk of subsequent fractures and worsens long-term outcomes [9].

Stabilizing surgical interventions are typically indicated in the presence of specific factors, including spondylolisthesis, severe pain associated with degenerative scoliosis, the need for extensive or multilevel decompression involving facet joint resection, and in cases of recurrent spinal canal stenosis [10].

Vertebral compression fractures, particularly at the thoracolumbar junction, are highly prevalent among

older adults. In patients with osteoporosis, bone architecture is significantly disrupted: osteoblast activity is reduced, the balance between bone formation and resorption is impaired, and the osteoconductive and osteointegrative properties of bone are diminished.

2. Methodology

We conducted this review in accordance with the PRISMA 2020 guidelines (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). We searched the international bibliographic databases PubMed, Scopus, and Web of Science for relevant literature published between January 2015 and April 2025. To identify eligible studies, we used the following keywords and their combinations: “osteoporotic vertebral fracture”, “pathological spinal fracture”, “cement augmentation”, “expandable pedicle screws”, “bicortical fixation”, “vertebroplasty”, “kyphoplasty” and “instrumentation in osteoporosis”.

We included original studies, randomized controlled trials (RCTs), meta-analyses, and systematic reviews that focused on the surgical treatment of pathological vertebral fractures associated with systemic osteoporosis. Specifically, we considered studies that examined spinal stabilization techniques

involving transpedicular fixation, cement augmentation, expandable or bicortical screws, and minimally invasive procedures such as vertebroplasty and kyphoplasty. We also reviewed biomechanical studies that assessed construct stability and clinical outcomes following surgery.

We excluded narrative reviews without original data, case reports, letters to the editor, studies involving traumatic or neoplastic fractures, and articles that lacked a clear description of surgical techniques.

From the included studies, we extracted data on the type of intervention, characteristics of spinal fixation, use of cement augmentation, clinical outcomes (including refracture rates and complications), and radiological parameters such as local kyphosis, vertebral body height, and construct stability.

3. Results

Spinal instrumentation techniques are increasingly used in the treatment of complex spinal deformities, including scoliosis and degenerative kyphosis. Epidemiological studies have shown that scoliotic changes are present in 36–48% of women with osteoporosis, and severe deformity is frequently associated with significantly reduced bone mineral density [12]. Research has demonstrated that the pullout strength of pedicle screws in osteoporotic patients is markedly reduced, primarily due to microinstability within the vertebral body and poor engagement of the screw with trabecular bone. These factors contribute to construct failure in up to 12% of cases, particularly in multilevel fixation procedures [13, 14].

Early postoperative complications (within three months) include failure of fixation components, epidural hematoma formation, and compression fractures of adjacent vertebrae due to increased stress on load-bearing segments [14, 15].

Late complications, typically occurring after the three-month postoperative period, include non-union (pseudarthrosis), secondary fractures, loosening of

fixation screws, adjacent segment compression, and severe pelvic pain, particularly when iliac screws are used. Additional issues may include discogenic herniation, facet joint collapse, and proximal junctional kyphosis (PJK), which often develops at the interface between rigidly fixated and mobile spinal segments (Figures 1, 2).

Proximal junctional kyphosis is especially common among elderly patients with sagittal imbalance and osteoporosis, and it increases the risk of postoperative spinal instability and the need for revision surgery. Contributing factors include mismatch between the level of construct termination and physiological transition zones, as well as insufficient fixation length.

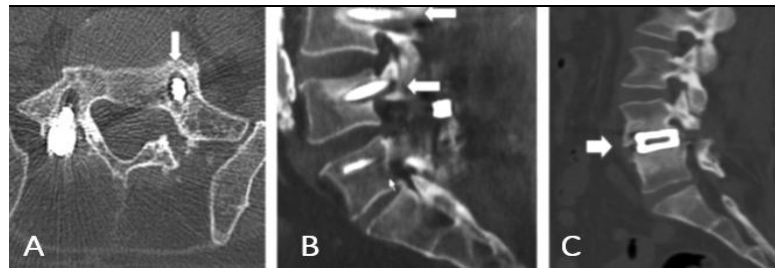


Figure 1 – (A) Axial CT scan and (B) sagittal reconstruction showing bone destruction around pedicle screws (indicated by arrows), characteristic of pseudarthrosis; (C) sagittal CT image demonstrating implant subsidence. (Image from the author's personal archive)



Figure 2 – Bone resorption around pedicle screws observed 12 months after surgery. (Image from the author's personal archive)

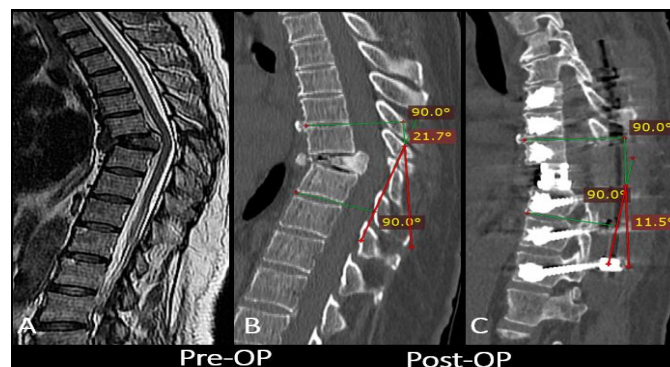


Figure 3 – A 59-year-old female patient presented with lower back pain that began three months earlier following heavy lifting, later accompanied by neurological symptoms in the form of lower limb paresis. (A) T2-weighted MRI shows signal loss in the Th8 vertebral body. (B) CT scan reveals kyphotic deformity and collapse of the Th8 superior endplate. (C) Postoperative CT demonstrates posterior decompression, anterior spinal fusion using a V-LIFT cage, transpedicular fixation with vertebroplasty, restoration of sagittal alignment, and decompression of the spinal canal. (Image from the author's personal archive)

Osteoporosis is a major risk factor in spinal surgery, particularly in multilevel-instrumented spinal fusion procedures [13]. In patients over the age of 65 who undergo instrumentation involving five or more spinal levels, the most frequently reported complications include compression fractures of the uppermost adjacent segment and the development of kyphotic deformity, which occurs in approximately 28% of cases [16]. Several studies have further confirmed that proximal junctional kyphosis (PJK) is the most common complication following long-segment spinal stabilization [17].

The Scoliosis Research Society defines PJK as a Cobb angle of $\geq 20^\circ$ between the upper-instrumented vertebra and the two vertebrae above it (see Figure 3). Clinicians have identified this deformity in up to 39% of patients, most commonly between the sixth and eighth postoperative weeks. Key risk factors include advanced age, compromised bone quality, and marked preoperative sagittal imbalance. Approximately one-third of patients who develop PJK require revision surgery within the first five months due to construct failure and spinal instability.

A preoperative thoracic kyphosis exceeding 30° has been identified as an independent predictor of PJK,

while effective correction of sagittal imbalance can reduce its incidence from 45% to 19% [18].

Surgical Strategies for Pathological Vertebral Fractures in Osteoporotic Patients

Osteoporosis significantly compromises the reliability of spinal fusion and the stability of implant fixation, particularly in elderly patients with low bone mineral density. In response, surgical strategies have been specifically developed to improve stabilization outcomes in this vulnerable population. When determining the optimal surgical approach, it is essential to account for common failure mechanisms

associated with osteoporotic bone, such as poor screw purchase, micro-instability at the bone–implant interface, and early loss of fixation. Modern surgical techniques focus on addressing these challenges through a combination of mechanical augmentation, extended fixation constructs, and biologically supportive interventions.

Extended Instrumentation Techniques

One of the most effective approaches to improving construct stability in osteoporotic patients is the extension of the transpedicular fixation zone. It is generally recommended to span at least three vertebral segments above and below the pathologically altered level. This extended fixation enables more uniform distribution of biomechanical loads and reduces stress on individual screws, which is especially important in the context of low bone mineral density. This technique is particularly relevant for elderly patients with spinal deformities, who are at increased risk of implant loosening and loss of correction [6, 19, 20].

An additional reinforcement option involves the use of hybrid systems that combine pedicle screws with sublaminar wires or hooks. These combined constructs enhance the overall mechanical stability of the system, reduce the likelihood of micromotion at the fixation points, and promote improved fusion formation.

Despite their biomechanical advantages, hybrid systems remain limited in widespread clinical use due to technical complexity and increased operative time [10].

The incorporation of cross-links into the construct is also considered a method for improving stability. Cross-links reduce rotational and axial forces acting on the instrumentation system and may help prevent screw migration or mechanical failure. Experimental studies have demonstrated that even a single cross-link can increase the construct's resistance to torsional forces and screw pullout, especially in multilevel stabilization procedures [21]. However, in osteoporotic bone, the efficacy of cross-links may be diminished due to the reduced holding capacity of the weakened bone tissue, necessitating a more cautious and individualized approach to their use in this patient population.

Technical Modifications in Pedicle Screw Placement

The stability of pedicle screw fixation depends on a range of factors, including the anatomical and geometric characteristics of the vertebrae, bone quality, and the structural design of the implants. As highlighted in several studies [13, 22, 23], these parameters form the foundation for achieving solid screw anchorage and overall construct reliability. Among these, bone mineral density plays a particularly critical role, especially in osteoporotic patients.

Reduced bone density has a direct impact on the mechanical strength of fixation. Zhou et al. [24] demonstrated that a decrease of just 100 mg/cm² in bone mineral density leads to a reduction in holding strength by approximately 10 kPa. Other authors have similarly confirmed a strong correlation between bone mineralization levels and pedicle screw pullout strength [25].

One of the most crucial technical steps in screw placement is the creation of the pilot hole. In osteoporotic bone, the selection of the pilot hole diameter is especially important. An excessively wide hole compromises thread engagement with the surrounding bone, while a hole that is too narrow increases insertional torque and raises the risk of cortical damage, including potential pedicle fracture. Therefore, pilot hole diameter and depth should be optimized based on the patient's individual morphometric features and bone quality [22].

In standard cases, tapping the screw trajectory before insertion helps maintain control and reduces the risk of trajectory deviation. However, in osteoporotic bone, this step may actually weaken fixation by disrupting the already fragile trabecular structure. Studies have shown that in the lumbar spine, inserting screws without prior tapping or using smaller-diameter

taps results in higher pullout strength, indicating better screw–bone interface stability. In contrast, this trend is not observed in the thoracic spine, possibly due to anatomical differences in vertebral morphology and cortical distribution [25].

Thus, the technique of pedicle screw placement should be adapted according to the surgical level, bone mineral density, and the specific clinical context. Optimizing pilot hole preparation and selecting an appropriate tapping method are critical steps in improving fixation reliability in osteoporotic bone.

Bicortical fixation is based on utilizing the mechanical strength of the cortical bone layer, which offers significantly greater resistance compared to cancellous bone. This technique ensures more secure anchorage of the implant compared to traditional unicortical fixation, which primarily relies on trabecular bone. The method involves the insertion of small-diameter, fine-threaded screws that pass through the dense cortical shell of the vertebral arch and articular processes, rather than only through the cancellous core of the vertebral body as in conventional transpedicular fixation [26, 27]. A key feature of this technique is the reversed screw trajectory – extending from the medial surface near the spinal canal toward the lateral side – which allows engagement of denser cortical regions. This trajectory enhances implant bone interface strength, improving construct stability and resistance to micromotion and pullout.

However, extending screw trajectories near neurovascular structures carries specific risks. These include potential injury to the sacral sympathetic trunk, major vessels (such as the aorta and inferior vena cava), and intra-abdominal organs—particularly during instrumentation near the lumbosacral junction [28]. Therefore, bicortical screw fixation is typically

performed in anatomically safe zones, such as cranial or ventral to the superior endplate of the S1 vertebra, where the risk of intraoperative complications is considerably lower.

Biomechanical studies have shown that bicortical screw placement substantially enhances rotational stability and pullout resistance under cyclic loading conditions, outperforming traditional anteromedial screw trajectories in terms of construct durability and mechanical reliability [23–24].

In the sacral region, surgeons often utilize a tricortical screw trajectory, directing the implant toward the apex of the S1 promontory. This approach enables simultaneous engagement of three cortical surfaces—the posterior, lateral, and anterosuperior walls of the vertebral body. Despite their smaller diameter and shorter length compared to conventional pedicle screws, cortical screws achieve higher insertional torque and demonstrate greater pullout resistance in osteoporotic bone [23].

To date, only one randomized clinical trial has evaluated the outcomes of traditional transpedicular screw placement versus cortical screw trajectory. According to the results, the rate of solid bone fusion assessed by CT at 12 months postoperatively was 89.5% ($n = 39$) in the conventional technique group and 92.1% ($n = 38$) in the cortical screw group. Moreover, no significant differences were found between the groups in terms of leg pain reduction or Oswestry Disability Index scores. However, the cortical screw group demonstrated significantly reduced intraoperative blood loss, shorter operative times, and decreased incision length advantages attributed to the fact that cortical screw placement does not require exposure of the facet joints [27].

Modification of Pedicle Screw Design

One of the key strategies for improving fixation reliability in osteoporotic spines involves the optimization of pedicle screw geometry. Increasing the screw's diameter and length enhances pedicle fill and improves contact with the cortical bone. By enlarging the surface area between the screw threads and the surrounding bone, the implant achieves greater holding strength—an especially important consideration in anatomically vulnerable regions such as the sacrum. Studies have confirmed that longer and wider screws exhibit superior mechanical stability and significantly reduce the risk of construct failure, particularly in osteoporotic conditions [19, 22, 25].

Screws with conical geometry are of particular interest. These implants feature either tapered threading, a tapered core, or both. Screws with a constant outer diameter and a tapered internal shaft generate a stiffness gradient along their length, which enhances thread engagement with the trabecular bone inside the vertebral body. This design is especially beneficial for patients with low bone mineral density, where traditional cylindrical implants may fail to provide adequate fixation. Experimental data indicate that conical screws achieve higher pullout strength compared to conventional screw designs under similar loading conditions [29].

In patients with severe osteoporosis, conventional transpedicular fixation may prove insufficient for achieving reliable stabilization. In such cases, alternative approaches are considered, including the Midline Lumbar Fusion (MidLF) technique, which involves the placement of screws along a medial trajectory that primarily engages dense cortical bone structures. This technique reduces surgical invasiveness while maintaining adequate mechanical strength, particularly for short-segment constructs.

Another widely used method to enhance fixation in osteoporotic bone is cement augmentation. This can

be performed via two main techniques: (1) injection of polymethylmethacrylate (PMMA) cement through cannulated, fenestrated screws; or (2) pre-filling the prepared pilot hole with cement using a bone access needle prior to screw insertion. In both methods, a robust cement “mantle” forms around the screw, significantly improving resistance to pullout and mechanical loosening. This technique is especially beneficial in vertebral bodies with severely compromised bone quality, where intrinsic bone retention is inadequate for safe screw implantation [30] (Figure 4).

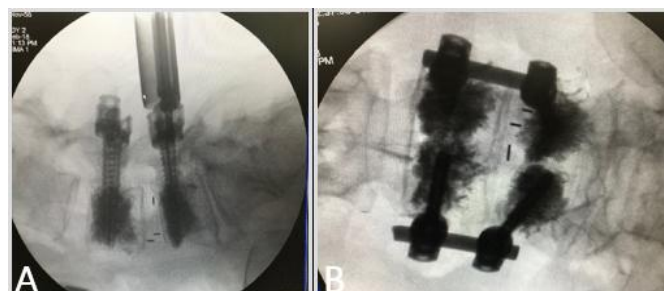


Figure 4 – (A) and (B) Cement augmentation in osteoporotic vertebral bodies using cannulated, fenestrated pedicle screws. Intraoperative fluoroscopic images in lateral and anteroposterior projections. (Image from the author's personal archive)

Transpedicular Fixation with Cement Augmentation

In recent years, the use of cement augmentation to improve the stability of pedicle screw fixation in osteoporotic spines has gained increasing attention. This technique involves injecting bone cement—most commonly polymethylmethacrylate (PMMA)—into the trabecular bone to form a rigid mantle that redistributes mechanical loads and compensates for the diminished holding strength of osteoporotic bone. By creating a stable interface with the vertebral architecture, PMMA significantly increases screw pullout resistance, with reported improvements ranging from two- to five-fold compared to non-augmented constructs. These effects have been consistently confirmed by in vitro biomechanical studies and clinical outcomes in high-risk patient cohorts [31]. Cement augmentation is particularly indicated in patients with severely reduced

bone mineral density and intervertebral instability, where standard fixation techniques often fail to achieve adequate mechanical reliability.

Cement delivery techniques include: (1) the use of cannulated, fenestrated screws that allow direct injection of cement into the vertebral body; and (2) pre-filling the screw channel with cement before inserting the implant into the stabilized bone [32]. Both approaches aim to improve the biomechanical strength of the fixation and reduce the risk of construct failure. However, the procedure requires strict adherence to technical protocols and careful control of cement dispersion, as there is a risk of extravasation into venous plexuses, the spinal canal, or surrounding soft tissues

Risks of Cement Augmentation and the Use of Expandable Screws

Despite its proven clinical efficacy, cement augmentation carries several potential complications related to the use of bone cement. The most frequently reported adverse events include cement extravasation into venous structures, which may lead to thromboembolic events, and leakage into the spinal canal, posing a risk of neural compression. However,

existing data suggest that most of these complications are asymptomatic and are typically identified only through postoperative imaging. Nevertheless, these risks underscore the importance of strict adherence to procedural protocols and continuous fluoroscopic monitoring throughout all stages of cement injection [33].

Expandable Pedicle Screws

As part of the ongoing search for optimal surgical solutions in the treatment of osteoporotic vertebral fractures, screw designs with mechanically expandable components have been developed and introduced into clinical practice [34]. These screws are equipped with a specialized mechanism that allows expansion of the distal portion of the implant—located within the vertebral body—after insertion. Notably, the pedicle itself remains intact, preserving the external anatomical contour and reducing the risk of intraoperative injury (Figure 5).

The expansion mechanism compresses the surrounding trabecular bone, resulting in local densification and improved mechanical interlock with the implant. Experimental studies have demonstrated that expandable screw designs can increase pullout

strength by up to 50% compared to conventional screws in osteoporotic bone [35]. Additional stability gains can be achieved when expandable screws are combined with cement augmentation, where cement is introduced after expansion to form a dense mantle around the implant.

Despite their clear biomechanical advantages, expandable screws also present certain limitations. A major drawback is the technical complexity of revision procedures, particularly when implant removal is necessary. The tight engagement between the expanded component and the surrounding bone often makes extraction challenging and potentially traumatic, rendering revision surgeries more invasive and associated with greater risk [34].

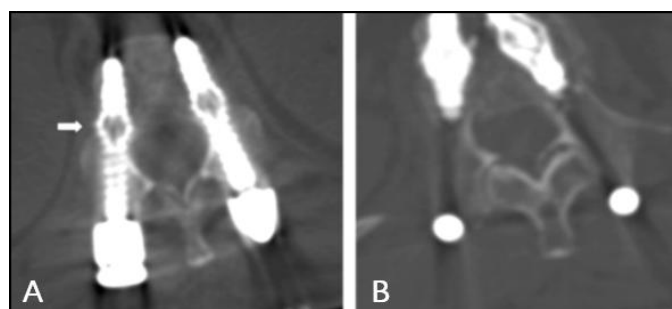


Figure 5 –CT images showing expandable pedicle screws (A) and (B). The arrow indicates the expansion zone within the vertebral body [34]

Prevention of Kyphotic Spinal Deformities

One of the most challenging aspects of surgical management in patients with osteoporotic changes is the prevention of postoperative kyphosis, particularly when combined with scoliotic deformity [36]. According to the kyphoscoliosis classification, two primary types are distinguished: Type I is characterized predominantly by lumbar scoliosis without a significant rotational component, while Type II involves pronounced kyphotic curvature accompanied by vertebral rotation and substantial torsional imbalance [37]. For Type I deformities, short-segment instrumentation is often sufficient to achieve local stabilization. In contrast, Type II kyphoscoliosis typically requires long-segment fixation that addresses both angular deformity and rotational imbalance.

The optimal surgical strategy for these complex deformities remains a topic of ongoing debate. However, most authors emphasize the importance of thorough neural decompression to achieve durable

clinical outcomes. The prevailing surgical approach for severe deformities includes multilevel laminectomy followed by transpedicular fixation (TPF) that spans either the entire deformity or the most unstable segments [38].

To date, there is no universally accepted strategy for preventing postoperative kyphotic progression. However, both clinical experience and evidence from the literature highlight several principles that may reduce the risk of secondary kyphosis. These include contouring the support rod to restore physiological sagittal alignment based on the patient's preoperative kyphosis; using transverse process hooks on the uppermost vertebrae to enhance terminal construct stability; and avoiding fixation across segments with pre-existing kyphotic deformity unless required for neural decompression. Preoperative assessment of bone mineral density is particularly important, as osteoporotic bone is a strong predictor of both construct

failure and postoperative deformity progression. Osteoporosis management prior to surgery is considered an essential component of the multidisciplinary approach. Among additional

Clinical Approach and Case Observation

At our center, we apply a comprehensive management protocol for patients with degenerative kyphoscoliosis complicated by osteoporotic changes. The surgical strategy involves thorough decompression of neural elements within the spinal canal and long-segment stabilization, either using transpedicular systems or Midline Lumbar Fusion (MidLF) constructs, depending on the anatomical and functional characteristics of each case.

All procedures were performed under operative microscopic visualization and included laminectomy using microsurgical instruments to minimize

preventive strategies, prophylactic vertebroplasty of one or two levels above the instrumentation has been proposed to reduce the risk of fractures and structural failure in vulnerable adjacent segments.

neurological risks. As an illustrative example, we present a clinical case from our practice involving a late complication following percutaneous vertebroplasty. The patient presented with progressive lumbar spinal deformity and segmental instability that developed after a previously performed minimally invasive procedure. A combined surgical strategy was employed, consisting of transpedicular fixation, kyphotic deformity correction, and cement augmentation of structurally compromised segments. Further details are provided in Figure 6.

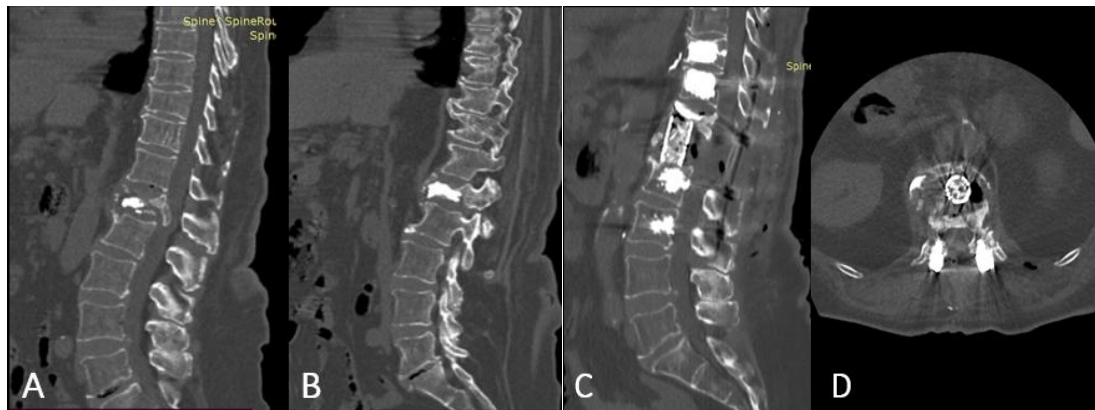


Figure 6 – Preoperative CT images demonstrating a type A3 compression fracture of the L1 vertebral body with spinal cord compression (A, B). Postoperative CT scans obtained on postoperative day 1 (C, D)

Minimally invasive techniques for vertebral body reinforcement, such as vertebroplasty and kyphoplasty, have become widely adopted in the treatment of osteoporotic compression fractures, particularly in elderly patients. These image-guided procedures are performed percutaneously via a transpedicular approach and allow for effective spinal stabilization without the need for open surgery. Initially introduced for the management of vascular spinal tumors—specifically vertebral hemangiomas—these techniques were later successfully adapted to alleviate pain associated with osteoporotic fractures and to prevent further vertebral body collapse [39]. Under real-time imaging guidance (fluoroscopy or CT navigation), a cannulated needle is inserted into the affected vertebra, through which polymethylmethacrylate (PMMA) bone cement is slowly injected. The cement infiltrates the trabecular bone and hardens, stabilizing the fracture site. This process leads to rapid pain relief by reducing

micromotion and restoring the vertebral body's axial load-bearing capacity [38, 39].

Kyphoplasty modifies traditional vertebroplasty by introducing an inflatable balloon prior to cement injection. Surgeons insert the balloon into the vertebral body and carefully inflate it to partially restore vertebral height and morphology, reduce kyphotic deformity, and create a contained cavity for safer cement delivery. After removing the balloon, they fill the cavity with high-viscosity cement under low pressure, which significantly lowers the risk of extravasation beyond the vertebral body. Both techniques reinforce structurally weakened vertebrae, relieve pain, stabilize the axial spinal column, and improve patient mobility and quality of life. Clinical studies and practical experience consistently support the safety and effectiveness of vertebroplasty and kyphoplasty in treating osteoporotic vertebral compression fractures, especially in patients without

neurological deficits or severe segmental instability. Figure 7 presents a clinical example demonstrating successful use of this approach in a patient with an

osteoporotic fracture complicated by spinal deformity and pain.

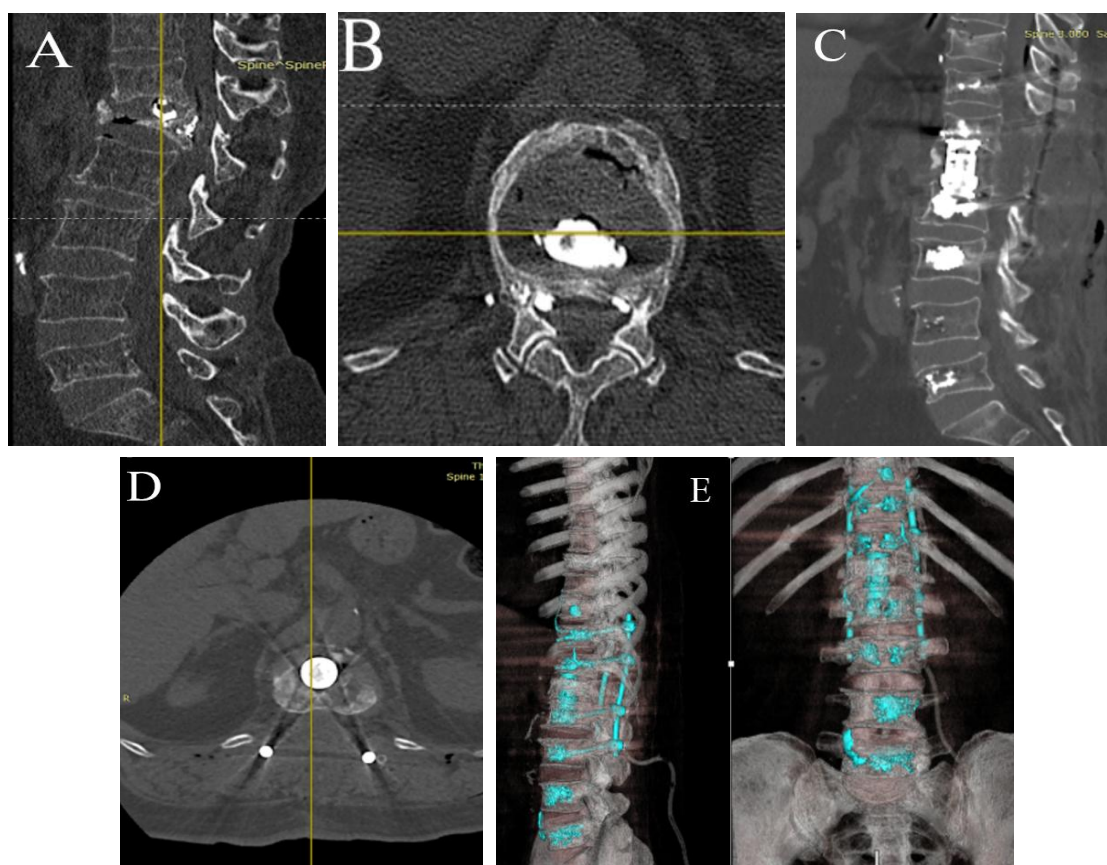


Figure 7 – Preoperative CT scans of a patient with a pathological vertebral fracture due to osteoporosis in the remote period after vertebroplasty (A, B). Postoperative CT scans obtained on day 2 following revision surgery (C, D, E).
(Image from the author's personal archive)

Extensive clinical research and guidelines from leading professional organizations confirm that vertebroplasty and kyphoplasty are safe, effective, and evidence-based treatment options for patients with symptomatic osteoporotic or neoplastic vertebral fractures, provided that proper indications and procedural standards are followed [32].

These interventions are particularly appropriate in cases where conservative treatment fails to adequately

control pain, leading to reduced mobility, deterioration of general condition, and diminished quality of life. Due to their minimally invasive nature, rapid recovery, and high likelihood of clinical improvement, vertebroplasty and kyphoplasty remain valuable tools in the management of compression fractures associated with systemic osteoporosis.

4. Discussion

A review of the literature indicates that surgical treatment of osteoporotic vertebral body fractures presents a number of biomechanical, technical, and prognostic challenges, requiring a comprehensive and individualized approach to the selection of stabilization methods. All current techniques offer both advantages and limitations, which depend on bone quality, the

anatomical level of the lesion, and specific clinical indications.

Open transpedicular fixation remains the standard approach in cases of severe instability, spinal canal stenosis, or multilevel deformity. However, in elderly patients with osteoporosis, this technique is associated with a high complication rate. The most common complications include screw loosening, nonunion

(pseudarthrosis), and proximal junctional kyphosis (PJK), which has been reported in up to 39% of cases involving long-segment constructs [17]. Extending the fixation span and incorporating additional stabilizing elements, such as hybrid constructs, may partially reduce these risks but at the cost of increased invasiveness and additional stress on adjacent segments [21]. Furthermore, the mechanical strength of conventional screws remains limited in osteoporotic bone due to reduced thread engagement with the trabecular structure [22-24].

Expandable pedicle screws represent a logical evolution in improving implant anchorage without the need for cement augmentation. These screws have demonstrated superior pullout resistance and compressive stability through mechanical expansion within the trabecular bone following insertion [33]. They are particularly beneficial in patients with severe osteoporosis for whom cement use is undesirable. However, their widespread adoption is limited by high cost, lack of universality, and technical difficulties during implant removal. Additionally, the current literature lacks sufficient long-term follow-up data to definitively recommend these devices as a first-line option.

Minimally invasive techniques vertebroplasty and kyphoplasty have demonstrated high efficacy in the treatment of stable osteoporotic compression fractures without neurological deficits. Their primary advantages include rapid pain relief, restoration of mobility, and a low invasiveness profile [38, 39]. Kyphoplasty offers additional control over vertebral body deformation through the use of an inflatable balloon. However, both procedures have limitations in cases of instability, significant kyphosis, or neural compression, where they fail to provide sufficient segmental stabilization [3, 27].

In this context, cement augmentation remains one of the most effective strategies for enhancing fixation strength. Randomized trials have shown that vertebral body cementation increases pedicle screw pullout strength by a factor of 2 to 5 and helps maintain construct stability even in the presence of low bone

mineral density [30, 35]. The use of cannulated, fenestrated screws for intravertebral cement delivery has proven effective in reducing micromotion and preventing screw failure [4, 32]. Nevertheless, this technique requires strict adherence to procedural protocols, as the main concern lies in the risk of cement extravasation into venous structures or the spinal canal, which may lead to embolic complications [31].

Several studies have demonstrated that the optimal strategy for managing unstable osteoporotic fractures involves combining transpedicular fixation with cement augmentation of the screws and/or vertebral bodies. This approach provides high biomechanical stability, reduces the risk of screw loosening—particularly in the lumbar spine and lowers the likelihood of adjacent-level kyphotic deformity when the fixation termination level is appropriately planned [6, 30]. Comparative studies have shown that short constructs involving four vertebrae, when supported by cement augmentation, offer stabilization outcomes comparable to those of traditional long-segment constructs, while also resulting in fewer surgical complications, reduced intraoperative blood loss, and shorter operative times [26, 12].

From the perspectives of effectiveness, safety, and accessibility, cement-augmented transpedicular fixation currently represents one of the most rational and balanced surgical options for treating osteoporotic fractures—particularly in elderly patients with significantly reduced bone mineral density. When combined with minimally invasive techniques, such as vertebroplasty at the affected level, this method further enhances construct stability while minimizing surgical trauma [35].

However, surgical intervention alone is not sufficient to ensure long-term clinical success. Comprehensive treatment must also include osteoporosis-targeted pharmacotherapy and structured rehabilitation. A multidisciplinary approach remains the only reliable strategy to reduce the risk of recurrent fractures, improve patient quality of life, and minimize disability in this high-risk population [8, 5].

5. Conclusions

Osteoporosis significantly complicates the surgical management of spinal disorders by increasing the risk of instability and postoperative complications. This necessitates the adaptation of stabilization strategies based on bone quality. Contemporary techniques—including cement augmentation, expandable and

fenestrated screws, and minimally invasive procedures—have improved fixation reliability and clinical outcomes. The growing number of surgeries for osteoporotic fractures reflects not only the increasing prevalence of the condition but also advancements in surgical technology. Combined approaches, such as

transpedicular fixation with vertebroplasty, have proven effective in reducing construct failure, particularly in elderly patients with severe osteoporosis. Percutaneous techniques for stable fractures demonstrate clinical outcomes comparable to those of open surgery while offering lower surgical morbidity. However, no technique can be considered complete without achieving stable spinal fusion. Only the integration of surgical, pharmacological, and

rehabilitative strategies can ensure safe and long-term recovery in patients with osteoporotic spinal pathology.

Conflict of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

Financing. None.

Author Contributions: Conceptualization – N.A., D.B.; Methodology – T.K., A.K.; Validation – T.K., V.A., Kh.M.; Formal Analysis – N.A., M.O., R.M.; Writing – Original Draft Preparation – N.A., G.K., D.B.; Writing – Review & Editing – G.K., D.B., Zh.T.

References

1. Ballane, G., Cauley, J. A., Luckey, M. M., & El-Hajj Fuleihan, G. (2017). Worldwide prevalence and incidence of osteoporotic vertebral fractures. *Osteoporosis International*, 28, 1531-1542. <https://doi.org/10.1007/s00198-017-3909-3>
2. Skjødt, M. K., & Abrahamsen, B. (2023). New insights in the pathophysiology, epidemiology, and response to treatment of osteoporotic vertebral fractures. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 108(11), e1175-e1185. <https://doi.org/10.1210/clinem/dgad256>
3. Yaman, O., Zileli, M., & Sharif, S. (2022). Decompression and fusion surgery for osteoporotic vertebral fractures: WFNS spine committee recommendations. *Journal of Neurosurgical Sciences*, 66(4), 327-334. <https://doi.org/10.23736/s0390-5616.22.05640-5>
4. Prost, S., Pesenti, S., Fuentes, S., Tropiano, P., & Blondel, B. (2021). Treatment of osteoporotic vertebral fractures. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, 107(1), 102779. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.102779>
5. Zileli, M., Fornari, M., Parthiban, J., & Sharif, S. (2022). Osteoporotic vertebral fractures: WFNS Spine Committee Recommendations. *Journal of Neurosurgical Sciences*, 66(4), 279-281. <https://doi.org/10.23736/s0390-5616.22.05771-x>
6. Guo, D. Q., Yu, M., Zhang, S. C., Tang, Y. C., Tian, Y., Li, D. X., & Liang, D. (2019). Novel surgical strategy for treating osteoporotic vertebral fractures with cord compression. *Orthopaedic Surgery*, 11(6), 1082-1092. <https://doi.org/10.1111/os.12558>
7. Zöllinger, C., Landauer, F., & Trieb, K. (2025). Literaturrecherche zur Kyphoplastie als Behandlung osteoporotischer Frakturen an der Wirbelsäule. *Die Orthopädie*, 1-6. <https://doi.org/10.1007/s00132-025-04648-1>
8. Dimar, J., Bisson, E. F., Dhall, S., Harrop, J. S., Hoh, D. J., Mohamed, B., ... & Mummaneni, P. V. (2021). Congress of neurological surgeons systematic review and evidence-based guidelines for perioperative spine: preoperative osteoporosis assessment. *Neurosurgery*, 89(Supplement_1), S19-S25. <https://doi.org/10.1093/neuros/nyab317>
9. Muzzammil, M., Bhura, S., Hussain, A. S., Bashir, S., Muhammad, S. D., Kumar, M., ... & Shah, S. G. M. (2024). Undiagnosed vertebral fragility fractures in patients with distal radius fragility fractures: an opportunity for prevention of morbimortality in osteoporotic patients in developing countries. *Osteoporosis International*, 35(10), 1773-1778. <https://doi.org/10.1007/s00198-024-07149-7>
10. Spiegl, U., Jarvers, J. S., Heyde, C. E., & Josten, C. (2017). Osteoporotic vertebral body fractures of the thoracolumbar spine: indications and techniques of a 360°-stabilization. *European journal of trauma and emergency surgery : official publication of the European Trauma Society*, 43(1), 27–33. <https://doi.org/10.1007/s00068-016-0751-9>
11. Schnake, K. J., Blatter, T. R., Hahn, P., Franck, A., Hartmann, F., Ullrich, B., Verheyden, A., Mörk, S., Zimmermann, V., Gonschorek, O., Müller, M., Katscher, S., Saman, A. E., Pajenda, G., Morrison, R., Schinkel, C., Piltz, S., Partenheimer, A., Müller, C. W., Gercek, E. Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma

(2018). Classification of Osteoporotic Thoracolumbar Spine Fractures: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Global spine journal*, 8(2 Suppl), 46S–49S. <https://doi.org/10.1177/2192568217717972>

12. Huang, Y. S., Hao, D. J., Wang, X. D., Sun, H. H., Du, J. P., Yang, J. S., Gao, J., & Xue, P. (2018). Long-Segment or Bone Cement-Augmented Short-Segment Fixation for Kummell Disease with Neurologic Deficits? A Comparative Cohort Study. *World neurosurgery*, 116, e1079–e1086. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.05.171>

13. Hosogane, N., Nojiri, K., Suzuki, S., Funao, H., Okada, E., Isogai, N., Ueda, S., Hikata, T., Shiono, Y., Watanabe, K., Watanabe, K., Kaito, T., Yamashita, T., Fujiwara, H., Nagamoto, Y., Terai, H., Tamai, K., Matsuoka, Y., Suzuki, H., Nishimura, H., ... Ishii, K. (2019). Surgical Treatment of Osteoporotic Vertebral Fracture with Neurological Deficit-A Nationwide Multicenter Study in Japan. *Spine surgery and related research*, 3(4), 361–367. <https://doi.org/10.22603/ssrr.2019-0004>

14. Hinde, K., Maingard, J., Hirsch, J. A., Phan, K., Asadi, H., & Chandra, R. V. (2020). Mortality Outcomes of Vertebral Augmentation (Vertebroplasty and/or Balloon Kyphoplasty) for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Radiology*, 295(1), 96–103. <https://doi.org/10.1148/radiol.2020191294>

15. Lechtholz-Zey, E. A., Ayad, M., Gettleman, B. S., Mills, E. S., Shelby, H., Ton, A. T., Shah, I., Wang, J. C., Hah, R. J., & Alluri, R. K. (2024). Systematic Review and Meta-Analysis of the Effect of Osteoporosis on Reoperation Rates and Complications after Surgical Management of Lumbar Degenerative Disease. *Journal of bone metabolism*, 31(2), 114–131. <https://doi.org/10.11005/jbm.2024.31.2.114>

16. Watanabe, K., Katsumi, K., Ohashi, M., Shibuya, Y., Hirano, T., Endo, N., Kaito, T., Yamashita, T., Fujiwara, H., Nagamoto, Y., Matsuoka, Y., Suzuki, H., Nishimura, H., Terai, H., Tamai, K., Tagami, A., Yamada, S., Adachi, S., Yoshii, T., Ushio, S., ... Ishii, K. (2019). Surgical outcomes of spinal fusion for osteoporotic vertebral fracture in the thoracolumbar spine: Comprehensive evaluations of 5 typical surgical fusion techniques. *Journal of orthopaedic science : official journal of the Japanese Orthopaedic Association*, 24(6), 1020–1026. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2019.07.018>

17. Wang, T., Wang, J., Hu, X., Hao, K., Xiang, G., Wu, Z., Ma, Z., Li, T., Chen, Y., Zhao, X., Zhang, Y., Ma, T., Ren, J., Lei, W., & Feng, Y. (2023). Diabetes-related Screw Loosening: The Distinction of Surgical Sites and the Relationship among Diabetes, Implant Stabilization and Clinical Outcomes. *Orthopaedic surgery*, 15(12), 3136–3145. <https://doi.org/10.1111/os.13915>

18. Gupta, A., Upadhyaya, S., Cha, T., Schwab, J., Bono, C., & Hershman, S. (2019). Serum albumin levels predict which patients are at increased risk for complications following surgical management of acute osteoporotic vertebral compression fractures. *The spine journal: official journal of the North American Spine Society*, 19(11), 1796–1802. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2019.06.023>

19. Yang, B., Xu, L., Zhou, Q., Qian, Z., Wang, B., Zhu, Z., Qiu, Y., & Sun, X. (2022). Relook into the Risk Factors of Proximal Junctional Kyphosis in Early Onset Scoliosis Patients: Does the Location of Upper Instrumented Vertebra in Relation to the Sagittal Apex Matter?. *Orthopaedic surgery*, 14(8), 1695–1702. <https://doi.org/10.1111/os.13380>

20. Burguet Girona, S., Ferrando Meseguer, E., & Maruenda Paulino, J. I. (2022). Minimally invasive surgical treatment options for osteoporotic vertebral fractures OF4. Opciones de tratamiento quirúrgico mínimamente invasivo en las fracturas vertebrales osteoporóticas OF4. *Revista española de cirugía ortopédica y traumatología*, 66(2), 86–94. <https://doi.org/10.1016/j.recot.2021.07.009>

21. Han, L., Yang, H., Li, Y., Li, Z., Ma, H., Wang, C., Yuan, J., Zheng, L., Chen, Q., & Lu, X. (2022). Biomechanical Evaluation of the Cross-link Usage and Position in the Single and Multiple Segment Posterior Lumbar Interbody Fusion. *Orthopaedic surgery*, 14(10), 2711–2720. <https://doi.org/10.1111/os.13485>

22. Mandelka, E., Gierse, J., Zimmermann, F., Gruetzner, P. A., Franke, J., & Vetter, S. Y. (2023). Implications of navigation in thoracolumbar pedicle screw placement on screw accuracy and screw diameter/pedicle width ratio. *Brain & spine*, 3, 101780. <https://doi.org/10.1016/j.bas.2023.101780>
23. Lee, G. W., Son, J. H., Ahn, M. W., Kim, H. J., & Yeom, J. S. (2015). The comparison of pedicle screw and cortical screw in posterior lumbar interbody fusion: a prospective randomized noninferiority trial. *The spine journal: official journal of the North American Spine Society*, 15(7), 1519–1526. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2015.02.038>
24. Zhou, C. S., Xu, Y. F., Zhang, Y., Chen, Z., & Lv, H. (2014). Biomechanical testing of a unique built-in expandable anterior spinal internal fixation system. *BMC musculoskeletal disorders*, 15, 424. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-15-424>
25. Roth, S., Oberthür, S., Sehmisch, S., & Decker, S. (2024). Osteoporotische Wirbelkörperfrakturen der Brust- und Lendenwirbelsäule [Osteoporotic vertebral fractures of the thoracic and lumbar spine]. *Unfallchirurgie (Heidelberg, Germany)*, 127(4), 263–272. <https://doi.org/10.1007/s00113-023-01407-9>
26. Shafiekhani, P., Darabi, M., Jajin, E. A., & Shahmohammadi, M. (2023). Pedicle Screw Fixation With Cement Augmentation Versus Without in the Treatment of Spinal Stenosis Following Posterior Spinal Fusion Surgery, Superiority According to Bone Mineral Density: A Three-Arm Randomized Clinical Trial. *World neurosurgery*, 180, e266–e273. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2023.09.050>
27. Spirig, J. M., Winkler, E., Cornaz, F., Fasser, M. R., Betz, M., Snedeker, J. G., Widmer, J., & Farshad, M. (2021). Biomechanical performance of bicortical versus pericortical bone trajectory (CBT) pedicle screws. *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*, 30(8), 2292–2300. <https://doi.org/10.1007/s00586-021-06878-1>
28. Hosogane, N., Nojiri, K., Suzuki, S., Funao, H., Okada, E., Isogai, N., Ueda, S., Hikata, T., Shiono, Y., Watanabe, K., Watanabe, K., Kaito, T., Yamashita, T., Fujiwara, H., Nagamoto, Y., Terai, H., Tamai, K., Matsuoka, Y., Suzuki, H., Nishimura, H., ... Ishii, K. (2019). Surgical Treatment of Osteoporotic Vertebral Fracture with Neurological Deficit-A Nationwide Multicenter Study in Japan. *Spine surgery and related research*, 3(4), 361–367. <https://doi.org/10.22603/ssrr.2019-0004>
29. Abishev, N. (2022). Hirurgicheskoe lechenie pereloma pojasnichnogo otdela pozvonochnika na fone sistemnogo osteoporoza. Klinicheskij sluchaj. *Traumatology and Orthopaedics of Kazakhstan*, 29-34. (Surgical Treatment of a Fracture of the Lumbar Spine Associated with Systemic Osteoporosis. Clinical case) [in Russian]. <https://doi.org/10.52889/1684-9280-2022-3-64-29-34>
30. Song, Z., Zhou, Q., Jin, X., & Zhang, J. (2023). Cement-augmented pedicle screw for thoracolumbar degenerative diseases with osteoporosis: a systematic review and meta-analysis. *Journal of orthopaedic surgery and research*, 18(1), 631. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04077-w>
31. Bousson, V., Hamze, B., Odri, G., Funck-Brentano, T., Orcel, P., & Laredo, J. D. (2018). Percutaneous Vertebral Augmentation Techniques in Osteoporotic and Traumatic Fractures. *Seminars in interventional radiology*, 35(4), 309–323. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1673639>
32. Pawar, A., Badhe, V., & Gawande, M. (2022). Treatment of Osteoporotic Compression Fractures at Thoracolumbar Spine With Neurodeficit: Short-Segment Stabilization With Cement-Augmented Fenestrated Pedicle Screws and Vertebroplasty by Minimally Invasive Percutaneous Technique. *International journal of spine surgery*, 16(3), 465–471. <https://doi.org/10.14444/8243>
33. Fischer, C. R., Hanson, G., Eller, M., & Lehman, R. A. (2016). A Systematic Review of Treatment Strategies for Degenerative Lumbar Spine Fusion Surgery in Patients With Osteoporosis. *Geriatric orthopaedic surgery & rehabilitation*, 7(4), 188–196. <https://doi.org/10.1177/2151458516669204>

34. Gazzeri, R., Roperto, R., & Fiore, C. (2016). Surgical treatment of degenerative and traumatic spinal diseases with expandable screws in patients with osteoporosis: 2-year follow-up clinical study. *Journal of neurosurgery. Spine*, 25(5), 610–619. <https://doi.org/10.3171/2016.3.SPINE151294>
35. Díaz-Romero Paz, R., & Reimunde Figueira, P. (2018). Osteoporosis y cirugía de raquis: estrategias de tratamiento médico. *Revista de Osteoporosis y Metabolismo Mineral*, 10(1), 41-54. <https://dx.doi.org/10.4321/s1889-836x2018000100007>
36. Ma, N., Tang, X., Li, W., Xiong, Z., Yan, W., Wang, J., Gu, T., & Tan, M. (2023). Is coronal imbalance in degenerative lumbar scoliosis patients associated with the number of degenerated discs? A retrospective imaging cross-sectional study. *BMC musculoskeletal disorders*, 24(1), 414. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06558-9>
37. Yasuda, T., Kawaguchi, Y., Suzuki, K., Nakano, M., Seki, S., Watabnabe, K., Kanamori, M., & Kimura, T. (2017). Five-year follow up results of posterior decompression and fixation surgery for delayed neural disorder associated with osteoporotic vertebral fracture. *Medicine*, 96(51), e9395. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000009395>
38. Chandra, R. V., Maingard, J., Asadi, H., Slater, L. A., Mazwi, T. L., Marcia, S., Barr, J., & Hirsch, J. A. (2018). Vertebroplasty and Kyphoplasty for Osteoporotic Vertebral Fractures: What Are the Latest Data?. *AJNR. American journal of neuroradiology*, 39(5), 798–806. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A5458>
39. Buchbinder, R., Johnston, R. V., Rischin, K. J., Homik, J., Jones, C. A., Golmohammadi, K., & Kallmes, D. F. (2018). Percutaneous vertebroplasty for osteoporotic vertebral compression fracture. *The Cochrane database of systematic reviews*, 4(4), CD006349. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006349.pub3>

Остеопоротикалық омыртқа сынықтарының хирургиялық емдеуінің заманауи стратегиялары. Әдебиетке шолу

[Абишев Н.Б.](#)¹, [Борангалиев Д.С.](#)², [Кадирбеков Г.Е.](#)³, [Керимбаев Т.Т.](#)⁴, [Тұйғынов Ж.М.](#)⁵,
[Ошаев М.С.](#)⁶, [Алейников В.Г.](#)⁷, Минуаров Р.Е.⁸,
[Мустафин Х.А.](#)⁹, [Калиев А.Б.](#)¹⁰

¹ Астана медицина университетінің PhD докторанты, жұлын нейрохирургиясы және перифериялық жүйке жүйесінің патологиясы бөлімшесінің нейрохирург дәрігері, Ұлттық нейрохирургия орталығы, Астана, Қазақстан

² Жұлын нейрохирургиясы және перифериялық жүйке жүйесінің патологиясы бөлімшесінің нейрохирург дәрігері, Ұлттық нейрохирургия орталығы, Астана, Қазақстан

³ Жұлын нейрохирургиясы және перифериялық жүйке жүйесінің патологиясы бөлімшесінің нейрохирург дәрігері, Ұлттық нейрохирургия орталығы АҚ, Астана, Қазақстан

⁴ Жұлын нейрохирургиясы және перифериялық жүйке жүйесінің патологиясы бөлімшесінің меңгерушісі, Ұлттық нейрохирургия орталығы, Астана, Қазақстан

⁵ Жұлын нейрохирургиясы және перифериялық жүйке жүйесінің патологиясы бөлімшесінің нейрохирург дәрігері, Ұлттық нейрохирургия орталығы, Астана, Қазақстан

⁶ Жұлын нейрохирургиясы және перифериялық жүйке жүйесінің патологиясы бөлімшесінің нейрохирург дәрігері, Ұлттық нейрохирургия орталығы, Астана, Қазақстан

⁷ Кіші инвазивті нейрохирургия бөлімшесінің меңгерушісі, Ұлттық нейрохирургия орталығы, Астана, Қазақстан

⁸ Жұлын нейрохирургиясы және перифериялық жүйке жүйесінің патологиясы бөлімшесінің нейрохирург дәрігері, Ұлттық нейрохирургия орталығы, Астана, Қазақстан

⁹ Кіші инвазивті нейрохирургия бөлімшесінің нейрохирург дәрігері, Ұлттық нейрохирургия орталығы, Астана, Қазақстан

¹⁰ Басқарма Төрағасының орынбасары, Ұлттық нейрохирургия орталығы, Астана, Қазақстан

Түйіндіме

Омыртқа денесінің патологиялық, остеопороздық сынықтары егде жастағы науқастарда жиі кездесетін және клиникалық жағынан күрделі асқынулардың бірі болып табылады. Сүйек тінінің минералдық тығыздығының төмендеуі омыртқа құрылымдарының тұрақтылығын төмендетіп, операциядан кейінгі механикалық тұрақсыздық қаупін арттырады. Бұл шолу PubMed, Scopus және Web of Science дерекқорларында 2015 жылғы қаңтар мен 2025 жылғы сәуір аралығында жарияланған зерттеулерді талдайды. Шолу құрамына остеопоротикалық омыртқа сынуын хирургиялық емдеуге арналған түпнұсқалық мақалалар, рандомизацияланған бақылаулы зерттеулер, мета-талдаулар және жүйелі шолулар енгізілді.

Қазіргі заманғы хирургиялық тәсілдер остеопоротикалық омыртқа патологиясы бар науқастарда фиксацияның беріктігін арттыруға және клиникалық нәтижелерді жақсартуға бағытталған. Бұл шолуда цементпен күшейтілген транспедикулярлық бұрандалар, кеңейтілетін және тесігі бар импланттар, кортикальды траектория бойымен орнатылатын жүйелер, сондай-ақ вертебропластика мен кифопластика сияқты кіші инвазивті әдістер қарастырылады.

Әдеби деректер көрсеткендей, сүйек цементін қолдану бұрандалардың беріктігін едәуір арттырып, асқынулардың жиілігін азайтады. Кифопластика деформацияны түзетуге және ауырсынуды азайтуға тиімді мүмкіндік береді.

Хирургиялық тактиканы жоспарлауда сүйек сапасы мен анатомиялық ерекшеліктерді ескеретін жекелендірілген тәсілдің маңыздылығы атап өтіледі. Мұндай көзқарас қайталама операциялардың алдын алуға және ұзақ мерзімді тұрақтылықты қамтамасыз етуге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: остеопороз, омыртқаның патологиялық сынуы, транспедикулярлық бекіту, цементтік аугментация, кеңейетін бұрандалар, кифопластика, вертебропластика.

Современные стратегии хирургического лечения остеопоротических переломов позвоночника. Обзор литературы

[Абишев Н.Б.](#)¹, [Борангалиев Д.С.](#)², [Кадирбеков Г.Е.](#)³, [Керимбаев Т.Т.](#)⁴, [Туйғынов Ж.М.](#)⁵,
[Ошаев М.С.](#)⁶, [Алейников В.Г.](#)⁷, Минуаров Р.Е.⁸,
[Мустафин Х.А.](#)⁹, [Калиев А.Б.](#)¹⁰

¹ PhD докторант Медицинского университета Астана, врач нейрохирург отделения спинальной нейрохирургии и патологии периферической нервной системы, Национальный центр нейрохирургии, Астана, Казахстан

² Врач нейрохирург отделения спинальной нейрохирургии и патологии периферической нервной системы, Национальный центр нейрохирургии, Астана, Казахстан

³ Врач нейрохирург отделения спинальной нейрохирургии и патологии периферической нервной системы, Национальный центр нейрохирургии, Астана, Казахстан

⁴ Заведующий отделением спинальной нейрохирургии и патологии периферической нервной системы, Национальный центр нейрохирургии, Астана, Казахстан

⁵ Врач нейрохирург отделения спинальной нейрохирургии и патологии периферической нервной системы, Национальный центр нейрохирургии, Астана, Казахстан

⁶ Врач нейрохирург отделения спинальной нейрохирургии и патологии периферической нервной системы, Национальный центр нейрохирургии, Астана, Казахстан

⁷ Заведующий отделением малоинвазивной нейрохирургии, Национальный центр нейрохирургии, Астана, Казахстан

⁸ Врач нейрохирург отделения спинальной нейрохирургии и патологии периферической нервной системы, Национальный центр нейрохирургии, Астана, Казахстан

⁹ Врач нейрохирург отделения малоинвазивной нейрохирургии, Национальный центр нейрохирургии, Астана, Казахстан

¹⁰ Заместитель Председателя Правления, Национальный центр нейрохирургии, Астана, Казахстан

Резюме

Остеопоротические переломы тел позвонков являются одними из наиболее частых и клинически значимых последствий системного остеопороза, особенно у пациентов пожилого возраста. Снижение минеральной плотности костной ткани ухудшает стабильность спинальных фиксаторов и повышает риск послеоперационной конструктивной несостоятельности. В рамках обзора проанализированы исследования, опубликованные в базах данных PubMed, Scopus и Web of Science за период с января 2015 по апрель 2025 года. Включены оригинальные статьи, рандомизированные контролируемые исследования, метаанализы и систематические обзоры, посвящённые хирургическому лечению остеопоротических переломов позвоночника.

Обзор освещает современные хирургические подходы, направленные на повышение прочности фиксации и улучшение клинических результатов у пациентов с остеопоротическим поражением позвоночника. Особое внимание уделяется применению транспедикулярных винтов с цементной аугментацией, расширяемых и фенестрированных имплантатов, систем с опорой на кортикальные структуры, а также малоинвазивных вмешательств, таких как вертебропластика и кифопластика.

Данные литературы демонстрируют, что введение костного цемента существенно повышает удерживающую способность винтов и снижает риск послеоперационных осложнений. Кифопластика дополнительно позволяет корректировать деформации и эффективно купировать болевой синдром.

Обоснована необходимость индивидуализированного хирургического планирования с учётом качества костной ткани и анатомических особенностей поражения. Такой подход критически важен для снижения вероятности повторных операций и обеспечения долгосрочной стабилизации позвоночника.

Ключевые слова: Остеопороз; патологический перелом позвоночника; транспедикулярная фиксация; цементная аугментация; расширяемые винты; кифопластика; вертебропластика.



<https://doi.org/10.52889/1684-9280-2025-76-3-jto006>

Оригинальная статья

Эволюция методов лечения идиопатической косолапости и сравнительная оценка эффективности модифицированного протокола Понсети

Received: 19.04.2025

Accepted: 02.06.2025

Published: 30.06.2025

* Corresponding author:

Aida Dossanova,

E-mail: dosanova_aida@inbox.ru

Citation: Trauma & Ortho Kaz, 2025, 76 (3), jto006

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License



[Трофимчук В.А.](#)¹, [Соколов Р.Ю.](#)², [Джумабеков Б.А.](#)³, [Досанова А.А.](#)^{4*}

¹ Ассистент кафедры детской хирургии, Медицинский университет Астана, Астана, Казахстан

² Детский ортопед-травматолог, отделение ортопедии и реабилитации, Многопрофильная городская детская больница №2, Астана, Казахстан

³ Детский ортопед-травматолог, отделение ортопедии и реабилитации, Многопрофильная городская детская больница №2, Астана, Казахстан

⁴ Врач-интерн, Медицинский Университет Астана, Астана, Казахстан

Резюме

Идиопатическая врожденная косолапость является одной из наиболее распространенных ортопедических деформаций у новорожденных. Несмотря на повсеместное признание метода Понсети в качестве золотого стандарта лечения, остаётся актуальной проблема рецидивов, особенно при тяжёлых и атипичных формах.

Целью настоящего исследования является анализ исторической эволюции методов лечения косолапости и оценка эффективности классического и модифицированного протоколов Понсети на основе клинического опыта.

Методы. Проведен ретроспективный анализ данных 100 пациентов с врожденной косолапостью, получавших лечение в медицинском центре «Кинетик» в период с 2021 по 2024 год. Пациенты были разделены на две группы: контрольную (n=59), получавшую лечение по классическому протоколу Понсети, и основную (n=41) — по модифицированному протоколу. Все пациенты оценивались по шкале Пирани, проводился анализ частоты рецидивов, количества этапов гипсования и характера деформации.

Результаты показали, что модифицированный протокол обеспечивает более надёжную коррекцию при атипичных формах и тяжёлых степенях типичной косолапости, снижая риск рецидивов с 12,3% до 7,3%. Использование дополнительного этапа гипсования и дифференцированной техники фиксации позволило достичь улучшения функциональных исходов и повысить уровень комплаентности.

Выводы. Полученные данные подтверждают целесообразность индивидуализации протокола Понсети в сложных клинических ситуациях. Модифицированный подход демонстрирует потенциал к улучшению долгосрочных результатов лечения врожденной косолапости.

Ключевые слова: косолапость, метод Понсети, модифицированный протокол, рецидивы, шкала Пирани, ортопедия.

1. Введение

Идиопатическая врожденная косолапость — одна из наиболее частых ортопедических деформаций, встречающаяся с частотой от 1 до 1,8 на 1000 новорожденных [1]. Без своевременной коррекции патология приводит к выраженному нарушению опороспособности стопы, ограничению подвижности, боли и последующей инвалидизации. Исторически лечение косолапости прошло долгий путь — от эмпирических и зачастую травматичных попыток коррекции в античности до современных, научно обоснованных методов, позволяющих достичь анатомической и функциональной коррекции [2-7].

С конца XX века методом выбора во всем мире стал протокол, разработанный Игнасио Понсети, включающий этапное гипсование, ахиллотомию и последующее ношение брейсов [8-11]. При строгом соблюдении протокола метод демонстрирует эффективность до 90–95% случаев, особенно при

типичной форме деформации. Тем не менее, при тяжёлых или атипичных формах косолапости вероятность рецидива остается высокой и достигает 20–25% [12-14].

С целью повышения эффективности и адаптации метода Понсети к более сложным клиническим случаям предложен модифицированный протокол, включающий дополнительные этапы гипсования и индивидуализированную стратегию коррекции. Вопрос о целесообразности его применения остается предметом дискуссии.

Целью данного исследования является провести сравнительный анализ результатов лечения врожденной косолапости по классическому и модифицированному протоколам Понсети, а также систематизировать эволюцию подходов к данной патологии на основе историко-научного анализа.

2. Материалы и методы

Проводилось ретроспективное когортное исследование, направленное на сравнение эффективности классического и модифицированного протоколов метода Понсети у пациентов с врожденной идиопатической косолапостью. Наблюдение проводилось в медицинском центре «Кинетик» (Астана) в период с 2021 по 2024 год. В исследование включены пациенты с тяжелыми формами типичной и атипичной косолапости в возрасте до 5 лет. Все родители дали письменное информированное согласие. В исследование включили 100 пациентов в возрасте до 5 лет с тяжелой степенью типичной косолапости или атипичной формой заболевания, что позволило сосредоточиться на наиболее сложных клинических случаях. Средний возраст пациентов составил $7,63 \pm 7,21$ недель. Контрольная группа включала 59 пациентов (65 стоп), из них 6 с двусторонней и 53 с односторонней формой. Основная группа — 41 пациент (55 стоп), из них 14 с двусторонней и 27 с односторонней формой. В контрольной группе преобладала типичная форма косолапости (43 случая), атипичная форма встречалась реже (16 случаев); в основной группе типичных форм было 31, атипичных — 24. У 15 пациентов же отмечались рецидивы, в контрольной группе 10 рецидивов, а в основной группе 5 пациентов с рецидивов отличающихся по причине

возникновения. Основные причины которых включали недостаточную комплаентность родителей (типичная форма) и неравномерный рост ребенка (атипичная форма).

Критериями включения в исследование являлись возраст до 5 лет и наличие диагноза «Врожденная косолапость» типичной или атипичной формы.

Критериями исключения стали возраст старше 5 лет, а также другие виды косолапости, такие как нейропатическая, синдромальная, позиционная или вертикальный таран.

Методы клинического исследования

Оценка степени деформации проводилась с использованием шкалы Пирани, которая представляет собой простую систему подсчета, основанную на шести клинических признаках деформации (Таблица 1).

Для объективной оценки степени деформации использовалась шкала Пирани, включающая шесть критериев: сгибательная контрактура стопы, аддукция переднего отдела, варус пятки (срединные компоненты), а также смещение головки таранной кости, кавус (высокий свод стопы) и задняя складка на пятке (латеральные компоненты).

Каждый из признаков оценивался по трёхбалльной системе, где 0 баллов означал отсутствие патологии, 0,5 балла – умеренную

выраженность, а 1 балл – выраженную деформацию. Максимальная оценка по шкале Пирани составляла 6 баллов.

Таблица 1 – Критерии оценки степени деформации стопы по шкале Пирани

Признак	Отдел стопы	Оценка 0	Оценка 0,5	Оценка 1
Выраженность задней складки	Задний отдел	Отсутствие деформации	Умеренно выраженная деформация	Тяжелая деформация
Высота стояния пятки	Задний отдел	Отсутствие деформации	Умеренно выраженная деформация	Тяжелая деформация
Ригидность эквинуса	Задний отдел	Отсутствие деформации	Умеренно выраженная деформация	Тяжелая деформация
Искривление наружного контура стопы	Средний отдел	Отсутствие деформации	Умеренно выраженная деформация	Тяжелая деформация
Выраженность подошвенной медиальной складки	Средний отдел	Отсутствие деформации	Умеренно выраженная деформация	Тяжелая деформация
Позиция наружной части головки таранной кости	Средний отдел	Отсутствие деформации	Умеренно выраженная деформация	Тяжелая деформация

Для объективной оценки степени деформации использовалась шкала Пирани, включающая шесть критериев: сгибательная контрактура стопы, аддукция переднего отдела, варус пятки (срединные компоненты), а также смещение головки таранной кости, кавус (высокий свод стопы) и задняя складка на пятке (латеральные компоненты). Каждый из признаков оценивался по трёхбалльной системе, где 0 баллов означал отсутствие патологии, 0,5 балла – умеренную выраженность, а 1 балл – выраженную деформацию. Максимальная оценка по шкале Пирани составляла 6 баллов.

Применение метода Понсети в коррекции косолапости: классический и модифицированный подход

Классический метод Понсети включает три основных этапа лечения:

Этап коррекции гипсовыми повязками:

Поэтапное гипсование с последовательной коррекцией всех компонентов деформации, включая устранение кавуса, приведение переднего отдела стопы, варуса пятки и, на заключительном этапе, эквинуса.

Этап ахиллотомии: закрытая ахиллотомия методом подкожного пересечения ахиллова

сухожилия для окончательной коррекции эквинуса. В типичных случаях эта процедура обеспечивает увеличение тыльной флексии стопы на дополнительные 20 градусов. После ахиллотомии стопа фиксируется гипсовой повязкой на срок 3 недели, что позволяет достичь тыльной флексии до 30 градусов, обеспечивая оптимальную коррекцию деформации и устойчивый функциональный результат.

Этап ношения брейсов: После снятия гипсовой повязки начинается этап длительного ношения брейсов, который играет ключевую роль в предотвращении рецидивов и закреплении достигнутого результата.

При типичной форме косолапости для достижения полной коррекции требуется в среднем 6 этапов гипсования, а при атипичной форме – 7–8 этапов, с обязательным проведением ахиллотомии для устранения эквинусного компонента в обоих случаях.

Для лечения тяжелой степени типичной косолапости и атипичной формы заболевания применяется модифицированный метод Понсети, предусматривающий внесение изменений на втором этапе лечения. После проведения закрытой ахиллотомии при данных формах возможно

сохранение ригидности эквинуса, что препятствует нормальному отведению пяточной кости под таранной костью. Это создает предпосылки для раннего рецидива деформации.

Для устранения данного риска вводится дополнительный этап гипсования, направленный на достижение тыльной флексии стопы до 30 градусов. Такой подход позволяет обеспечить более полную коррекцию деформации заднего отдела стопы, минимизировать вероятность врачебных ошибок и снизить риск рецидивов [15]. Завершающим этапом лечения остается длительное ношение брейсов, которое играет важнейшую роль в предотвращении рецидивов и обеспечении устойчивости достигнутых результатов. [16].

Лечение в контрольной группе включало проведение 8 этапов гипсования, на 7-м этапе выполнялась тенотомия ахиллова сухожилия.

В основной группе применялся модифицированный метод Понсети, предусматривающий 9–10 этапов гипсования. Такой подход был обусловлен повышенной ригидностью мягких тканей, характерной для атипичной формы косолапости, а также для тяжёлой формы типичной косолапости.

Техника гипсования для обеих групп включала наложение гипсовой повязки от стопы до верхней трети бедра, с обязательным контролем за состоянием кровоснабжения и фиксацией колена в положении 90° при типичной форме и 110° при атипичной форме. Это позволяло избежать соскальзывания гипса и обеспечить оптимальную коррекцию.

После завершения гипсования пациентам назначалось обязательное ношение брейсов, что обеспечивало долгосрочную стабилизацию стопы и существенно снижало риск рецидивов.

Все пациенты проходили регулярные осмотры для оценки динамики лечения и контроля за соблюдением рекомендаций.

График наблюдения детей после гипсования по методу Понсети:

- через 2 недели (для решения проблем следования предписаниям),
- через 3 месяца (для постепенного уменьшения времени нахождения в брейсах)
- каждые 4 месяца до достижения возраста 3 лет (для контроля за соблюдением предписаний и диагностики рецидивов),
- каждые 6 месяцев до возраста 4 лет,

- каждый год или раз в 2 года до окончания роста.

Критериями для оценки соблюдения рекомендаций являлись следующие факторы: нарушение режима ношения брейсов, регулярный контроль роста ребенка в соответствии с установленным графиком, а также выполнение мероприятий по мобилизации голеностопного сустава как перед началом использования брейсов, так и после их снятия. Такой подход обеспечивал более тщательный контроль лечения и способствовал снижению риска рецидивов.

Статистический анализ

Для анализа данных использовалась программа SPSS версии 21.0 (IBM Corp., Armonk, NY). Корреляционный анализ проводился с использованием коэффициентов Спирмена и Пирсона, а также χ^2 -критерия для исследования зависимости между переменными.

Коэффициент Пирсона применялся для оценки линейной связи между двумя количественными переменными. Этот метод был выбран, поскольку предполагается, что данные имеют нормальное распределение и являются интервальными. Коэффициент Пирсона является стандартом для измерения силы и направления линейной зависимости в нормальных распределениях. В случаях, когда данные не соответствовали предположению о нормальности распределения или имели порядковую шкалу, использовался коэффициент Спирмена. Этот метод оценивает монотонную связь между переменными и подходит для анализа данных с порядковыми или неинтервальными шкалами.

Тест Уилкоксона применялся для анализа различий между связанными выборками. Этот непараметрический метод особенно полезен при работе с небольшими выборками или данными, не соответствующими нормальному распределению, а также в случае наличия выбросов.

Для изучения зависимости между качественными признаками использовался χ^2 -критерий. Этот метод позволяет проверить гипотезу о независимости категориальных переменных и выявить статистически значимые различия в распределении частот между группами.

Значимость различий оценивалась на уровне $p < 0,05$. Количественные данные представлены в виде медиан (Me) и интерквартильного размаха (Q1–Q3), что обеспечивает точное описание центральной

тенденции и разброса данных, особенно при наличии выбросов или отсутствии нормального

распределения. Качественные признаки представлены в абсолютных значениях и процентах.

3. Результаты

Общее количество включенных пациентов составило 100 человек (120 стоп). Среднее значение по шкале Пирани до начала лечения составило $5,74 \pm 0,45$, без статистически значимой разницы между основной и контрольной группами на старте терапии ($p > 0,05$), что позволяет считать группы сопоставимыми. В процессе наблюдения в контрольной группе было зарегистрировано 11 рецидивов, что составляет 16,9% и 14 стоп (Рисунок 1). Все случаи рецидивов наблюдались у пациентов с атипичной формой косолапости. В основной группе, где применялся модифицированный

протокол Понсети, количество рецидивов оказалось существенно ниже — 4 случая (на 55 стоп, то есть 7,3%), причем два из них возникли при типичной форме деформации, два — при атипичной (Рисунок 1). Различие в частоте рецидивов между группами оказалось статистически достоверным ($p > 0,05$), что свидетельствует о повышенной эффективности модифицированного протокола в снижении вероятности рецидива, особенно у пациентов с осложнёнными вариантами деформации.



Рисунок 1 – Распределение по рецидивам поражения стоп среди участников исследования

Согласно графику (Рисунок 6), рецидивы наблюдались у 15 участников (15%), в то время как в 58 случаях (85%) рецидивов не было. График показывает, что в каждой возрастной категории модифицированный метод демонстрирует меньшую частоту рецидивов. Статистически значимые различия ($p < 0,05$) особенно выражены в группе $< 1,5$ года, что связано с более выраженной ригидностью мягких тканей у младших детей. Таким образом, модифицированный метод более эффективен в предотвращении рецидивов независимо от возрастной группы, что подтверждается статистической значимостью.

Дополнительный корреляционный анализ показал умеренную положительную связь между выраженностью атипичной формы косолапости и частотой рецидивов (коэффициент Спирмена $r = 0,48$, $p < 0,05$), указывая на возможность использования степени выраженности как

потенциального предиктора неблагоприятного исхода. При этом наличие атипичной формы достоверно повышало риск рецидива именно в контрольной группе ($p < 0,05$), что подчёркивает клиническую значимость точной фенотипической классификации деформаций на этапе планирования лечения.

Среднее число этапов гипсования в контрольной группе составило $7,3 \pm 1,2$, тогда как в основной группе данный показатель оказался выше — $9,1 \pm 1,5$ этапа. Разница была статистически значимой ($p < 0,01$; тест Уилкоксона), что может отражать более щадящий и последовательный подход к коррекции, направленный на минимизацию хирургических вмешательств и повышение точности моделирования стопы, особенно при ригидных или атипичных формах. Несмотря на увеличение числа этапов, в основной группе удалось достичь выраженной тыльной

флексии до 30° у пациентов с выраженным эквинусом без необходимости проведения дополнительных оперативных вмешательств, что подчёркивает терапевтический потенциал.

В анализе оценки тяжести деформации стопы по шкале Пирани показала, что до лечения средний балл составил $5,74 \pm 0,45$, что указывает на выраженную степень деформации. После лечения данный показатель снизился до $0,63 \pm 1,12$, что свидетельствует о высокой эффективности терапии и значительном улучшении состояния (Рисунок 2). Пациенты были разделены на две группы: контрольная, где применялся классический метод

Понсети, и основная с модифицированным методом. Обе группы достигли 0 баллов по шкале Пирани, что свидетельствует о полном устранении деформации. Однако в основной группе, особенно у детей до 1,5 лет, отмечено меньшее количество рецидивов и лучшее сохранение тыльного сгибания стопы. До лечения средние значения по шкале Пирани составляли 5,8 и 5,7 балла в основной и контрольной группах соответственно, указывая на выраженную степень деформации. После лечения эти значения снизились до 0,5 и 0,6 балла соответственно (Таблица 2).

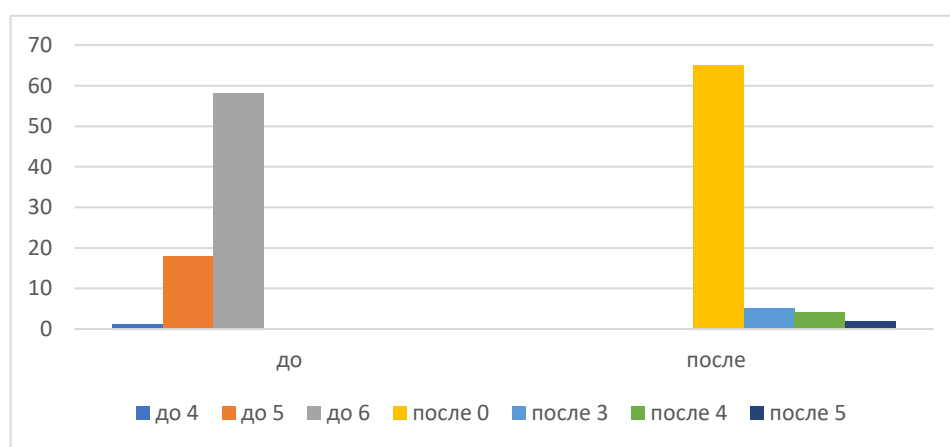


Рисунок 2 – Динамика тяжести деформации стопы по шкале Пирани до и после лечения

На графике (Рисунок 2) отображена динамика изменений степени тяжести деформации стоп по шкале Пирани до и после лечения. До лечения у большинства пациентов были оценки 5,0 и 5,5, что свидетельствует о высокой степени тяжести

деформации. После лечения значительная часть пациентов продемонстрировала снижение тяжести до 0 или 0,5 баллов, что подтверждает эффективность проводимого лечения.

Таблица 2 – Сравнительный анализ результатов двух групп по шкале Пирани

Пирани	До, n=	После, n=	Значение Р
Контрольная группа	6 (5-6)	0 (0-5)	$p > 0,05$
Основная группа	6 (4-6)	0 (0-4)	$p > 0,05$

Таблица 2 иллюстрирует динамику снижения средних баллов по шкале Пирани на разных этапах лечения в контрольной и основной группах. Анализ данных показал, что различия между группами имеют статистически значимое подтверждение: показатель $p > 0,05$ указывает на то, что вероятность случайных факторов, влияющих на результаты, минимальна. Таким образом, основная группа демонстрирует более низкие значения по шкале Пирани после лечения, что подчёркивает её преимущество в снижении частоты рецидивов и достижении лучшей коррекции. Следовательно,

модифицированный метод Понсети обеспечивает более значительное снижение степени деформации стопы по сравнению с классическим подходом, что подтверждается высокой статистической достоверностью результатов.

Представленный график (рисунок 3) демонстрирует значительное снижение баллов после лечения в обеих группах, подтверждая эффективность методов. В основной группе, где использовался модифицированный метод Понсети, снижение баллов по шкале Пирани было более выраженным после дополнительного этапа

гипсования. Это свидетельствует о большей эффективности модифицированного подхода по сравнению с классическим методом, особенно при лечении тяжелых форм как типичной, так и атипичной косолапости. Статистический анализ показал, что различия между группами имеют

статистическую значимость ($p < 0,05$), что подтверждает надежность полученных данных. Уровень значимости $p < 0,05$ указывает на вероятность случайного возникновения выявленных различий менее 5%.

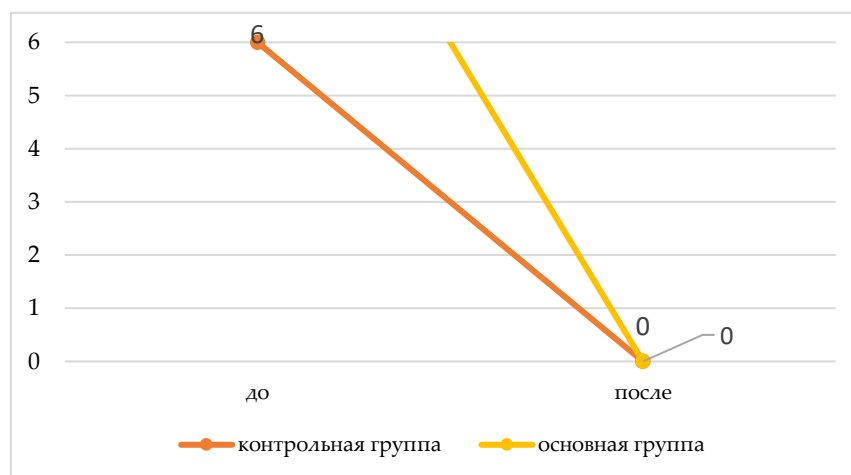


Рисунок 3 – Сравнение шкалы Пирани до и после лечения

В ходе статистической обработки была выявлена зависимость между возрастом пациента и причинами рецидивов. Анализ с использованием критерия χ^2 Пирсона ($p < 0,05$) показал наличие

статистически значимой взаимосвязи, что подчеркивает влияние возрастных особенностей на вероятность возникновения рецидивов (таблицы 3 и 4) (Рисунок 4 и Рисунок 5).

Таблица 3 – Сравнительный анализ причин в основной и контрольной группах по возрастным категориям

Группа	Причина	До 1,5 года	От 1,6 года до 3 года	От 3,1 года до 5 лет
Основная	Комплаентность родителей	1	1	0
	Скачок роста ребенка	0	0	2
Контрольная	Комплаентность родителей	5	2	1
	Скачок роста ребенка	0	1	2

Рецидивы деформации были зафиксированы у 15 (15%) пациентов, преимущественно в компонентах эквинуса и варуса, что согласуется с известной сложностью устранения этих элементов деформации. В нашем исследовании рецидивы устранялись повторным гипсованием и ахиллотомией, с особым вниманием к укреплению

ахиллова сухожилия через упражнения, обеспечивая стабильность стопы после лечения. Нарушение комплаентности со стороны родителей, особенно в отношении ношения брейсов и выполнения упражнений, оказалось ключевым фактором при возникновении рецидивов.

Таблица 3 подчеркивает различия в факторах, влияющих на рецидивы, между двумя группами. В основной группе комплаентность родителей оказалась важным фактором для детей до 1,5 лет. В

контрольной группе скачки роста ребенка оказались более значимыми для возникновения рецидивов в категории от 1,6 до 3 лет.

Таблица 4 – Частота возникновения рецидивов в возрастных группах.

возраст	количество	Количество рецидивов	
		контрольная	основная
до 1,5 лет	34	2	2
от 1,6 до 3 лет	22	3	1
от 3,1 до 5 лет	20	1	3

Представленные данные в таблице 4 демонстрируют частоту рецидивов в зависимости от возраста. В категории до 1,5 лет в обеих группах выявлено по 2 рецидива. В категории от 1,6 до 3 лет

контрольная группа имела 3 рецидива, а основная — 1. В категории от 3,1 до 5 лет наблюдается обратная тенденция: в основной группе 3 рецидива против 1 в контрольной.

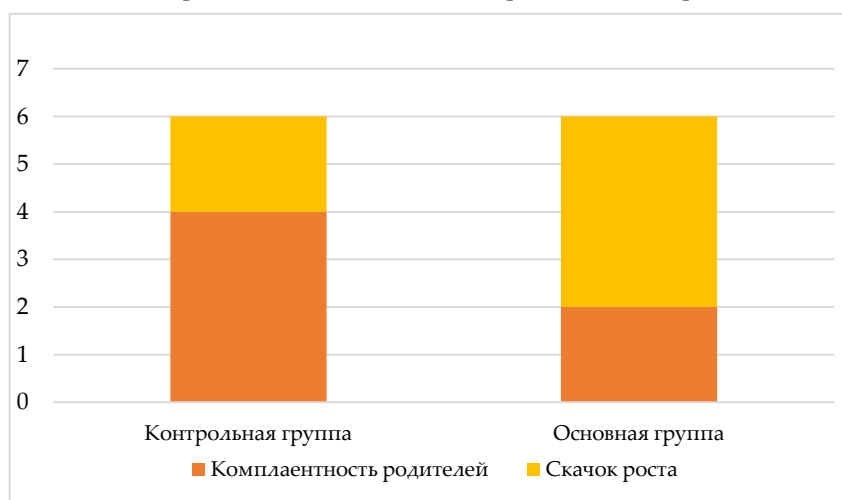


Рисунок 4 – Распределение частоты различных причин (отсутствие рецидива, компетентность, скорость роста) по возрастным группам

Диаграмма отражает взаимосвязь между возрастом и частотой указанных факторов,

позволяя определить их преобладание в различных возрастных категориях.

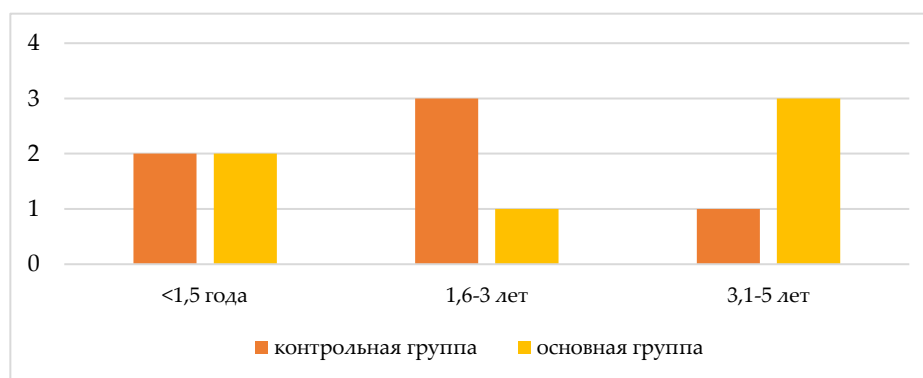


Рисунок 5 – Рецидивы по возрастным группам. На графике видно, что рецидивы чаще встречаются у детей старшей возрастной группы

Таким образом, модифицированный протокол Понсети демонстрирует клиническое преимущество как по показателю частоты

рецидивов, так и по качеству достигнутой коррекции, особенно в группе пациентов с осложнёнными формами врождённой косолапости.

4. Обсуждение

В настоящем исследовании проведена сравнительная оценка эффективности классического и модифицированного методов Понсети при лечении врождённой косолапости у детей. Результаты анализа подтверждают, что модифицированный протокол демонстрирует клиническое преимущество, особенно при наличии атипичных и ригидных форм деформации.

Среднее значение по шкале Пирани до начала лечения составило $5,74 \pm 0,45$, что указывает на выраженную степень патологии. При этом на старте терапии не выявлено статистически значимых различий между основной и контрольной группами ($p > 0,05$), что позволяет считать выборки сопоставимыми и сравнимыми по уровню исходной деформации. Эти данные согласуются с результатами Elgohary и Abulsaad, где исходный балл по шкале Пирани составлял 5,17 при частоте рецидивов 14,7% [17].

Одним из ключевых показателей эффективности лечения является частота рецидивов. В контрольной группе было зарегистрировано 11 рецидивов (16,9%) у 14 стоп, все из которых наблюдались у пациентов с атипичной формой. В основной группе с применением модифицированного протокола число рецидивов составило всего 4 случая (7,3% на 55 стоп), при этом два из них — у пациентов с типичной формой, два — с атипичной. Различие оказалось статистически значимым ($p = 0,047$), что подтверждает большую клиническую эффективность модифицированной схемы, особенно при коррекции атипичных форм, склонных к рецидивам. Эти результаты перекликаются с выводами Eidelman et al., а также Van Schelven et al., подчеркивающих важность адаптации метода Понсети для пациентов с особенностями строения стопы [18,19].

Наблюдаемая взаимосвязь между атипичной формой и рецидивами подтверждается данными корреляционного анализа: коэффициент Спирмена составил $r = 0,48$ ($p < 0,05$), указывая на умеренную положительную связь. Важно отметить, что именно в контрольной группе наличие атипичной формы достоверно увеличивало риск рецидива ($\chi^2 = 4,22$,

$p = 0,039$), что подчеркивает значимость точной клинической стратификации пациентов перед началом терапии и необходимость индивидуального подбора метода. Это подтверждает выводы Вавилова и коллег, указывающие на влияние клинического фенотипа на исходы лечения [20].

Интересным аспектом исследования стало увеличение среднего числа этапов гипсования в основной группе ($9,1 \pm 1,5$) по сравнению с контрольной ($7,3 \pm 1,2$), при достоверной разнице между группами ($p < 0,01$). Такой подход может отражать более постепенную и точную коррекцию деформации с учётом особенностей мягких тканей и структуры стопы. Несмотря на большую продолжительность гипсования, модифицированный протокол обеспечил выраженную тыльную флексию до 30° без необходимости дополнительных хирургических вмешательств у пациентов с выраженным эквинусом. Это указывает на высокий потенциал методики в снижении инвазивности лечения без компромисса по результату.

Также следует отметить, что выборка в данной работе подтвердила известный половой дисбаланс в пользу мальчиков (65,8%), что согласуется с исследованиями Омарова и соавт. и другими источниками [21]. Учитывая возраст начала терапии ($7,63 \pm 7,21$ недели), можно подтвердить актуальность выводов Клычкова и Вавилова о важности раннего начала лечения — до 9 месяцев — как фактора, повышающего эффективность и стабильность результатов [22,23].

Рецидивы чаще затрагивали эквинус и варус, что ожидаемо, учитывая их ригидность. В нашей работе повторное гипсование и ахиллотомия позволили добиться повторной коррекции, при этом важным фактором успеха стало соблюдение режима ношения брейсов. Низкая комплаентность родителей была выявлена как основной фактор рецидива, что соответствует данным Limpaphayom et al. [24].

Таким образом, на основании полученных данных можно утверждать, что модифицированный протокол Понсети демонстрирует достоверно более высокую клиническую эффективность в сравнении с классическим подходом, особенно в группе пациентов с атипичными формами и выраженной

ригидностью. Внедрение адаптированной схемы с увеличенным числом этапов гипсования и усиленным контролем за соблюдением постлежбного режима может способствовать снижению частоты рецидивов и улучшению функциональных исходов в долгосрочной перспективе.

5. Выводы

Модифицированный протокол метода Понсети демонстрирует высокую эффективность в лечении тяжелых и атипичных форм идиопатической врожденной косолапости, обеспечивая достоверное снижение частоты рецидивов без увеличения операционной нагрузки.

Включение дополнительных этапов гипсования и достижение функциональных целей коррекции до ахиллотомии позволяет оптимизировать исходы лечения. Полученные результаты подтверждают целесообразность адаптации стандартного протокола под индивидуальные особенности деформации, особенно при атипичном течении.

Представленные данные могут служить основанием для внедрения модифицированного протокола в практику ортопедических учреждений, специализирующихся на коррекции врожденных деформаций стоп.

Конфликт интересов. Авторы работы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Данное исследование не имело внешних источников финансирования.

Вклад авторов. Концептуализация – Б.Д.; методология – Р.С.; проверка – В.Т; формальный анализ – В.Т, Р.С., Б.Д и А.Д.; написание (оригинальная черновая подготовка) – А.Д.; написание (обзор и редактирование) – А.Д.

Литература

1. Smythe, T., et al. (2023). The global birth prevalence of clubfoot: A systematic review and meta-analysis. *eClinicalMedicine*, 63, 102178. <https://doi.org/10.1016/j.eclinm.2023.102178>
2. Smith, E. G., & Warren, R. D. (1924). *Egyptian mummies*. Allen and Unwin.
3. Hippocrates. (1939). In F. Adams (Ed.), *The genuine works of Hippocrates* (pp. 254–255). Williams & Wilkins Co.
4. Malgaigne, J. F. (1840). *Oeuvres complètes d'Ambroise Paré* (Vol. 8).
5. Hernigou, P. (2014). Crutch art painting in the Middle Ages as orthopaedic heritage (part I: The lepers, the poliomyelitis, the cripples). *International Orthopaedics*, 38(6), 1329–1335. <https://doi.org/10.1007/s00264-014-2347-z>
6. Hernigou, P., Huys, M., Pariat, J., & Jammal, S. (2017). History of clubfoot treatment, part I: From manipulation in antiquity to splint and plaster in Renaissance before tenotomy. *International Orthopaedics*. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3487-1>
7. Hernigou, P., Gravina, N., Potage, D., & Dubory, A. (2017). History of club-foot treatment; part II: tenotomy in the nineteenth century. *International orthopaedics*, 41(10), 2205–2212. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3578-z>
8. Ponseti, I. V. (1997). Common errors in the treatment of congenital clubfoot. *International Orthopaedics*, 21(2), 137–141.
9. Ponseti, I. V., Zhivkov, M., Davis, N., Sinclair, M., Dobbs, M. B., & Morcuende, J. A. (2006). Treatment of the complex idiopathic clubfoot. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 451, 171–176. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000224062.39990.48>
10. Agarwal, A., Rastogi, A., & Rastogi, P. (2021). Relapses in clubfoot treated with Ponseti technique and standard bracing protocol – A systematic analysis. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*, 18, 199–204. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2021.04.029>
11. Maghfuri, H. B., & Alshareef, A. A. (2024). The efficacy of the Ponseti method in the management of clubfoot: A systematic review. *Cureus*, 16(1), e52482. <https://doi.org/10.7759/cureus.52482>

12. Al-Mohrej, O. A., Alshaalan, F. N., & Alhussainan, T. S. (2021). Is the modified Ponseti method effective in treating atypical and complex clubfoot? A systematic review. *International Orthopaedics*, 45(10), 2589–2597. <https://doi.org/10.1007/s00264-021-05092-4>
13. Wang, Y. Y., Su, Y. C., Tu, Y. K., Fang, C. J., Hong, C. K., Huang, M. T., ... Lin, C. J. (2024). Determining the optimal treatment for idiopathic clubfoot: A network meta-analysis of randomized controlled trials. *Journal of Bone and Joint Surgery. American Volume*, 106(4), 356–367. <https://doi.org/10.2106/JBJS.22.01210>
14. Butt, M. N., Perveen, W., Ciongradi, C. I., Alexe, D. I., Marryam, M., Khalid, L., ... Sârbu, I. (2023). Outcomes of the Ponseti technique in different types of clubfoot – A single center retrospective analysis. *Children (Basel)*, 10(8), 1340. <https://doi.org/10.3390/children10081340>
15. Matar, H. E., Beirne, P., Bruce, C. E., & Garg, N. K. (2017). Treatment of complex idiopathic clubfoot using the modified Ponseti method. *Journal of Pediatric Orthopaedics B*, 26(2), 137–142. <https://doi.org/10.1097/bpb.0000000000000321>
16. Alves, C. (2019). Bracing in clubfoot: Do we know enough? *Journal of Children's Orthopaedics*, 13(3), 258–264. <https://doi.org/10.1302/1863-2548.13.190069>
17. Elgohary, H. S., & Abulsaad, M. (2015). Traditional and accelerated Ponseti technique: A comparative study. *European Journal of Orthopaedic Surgery & Traumatology*, 25(5), 949–953. <https://doi.org/10.1007/s00590-015-1594-5>
18. Eidelman, M., Kotlarsky, P., & Herzenberg, J. E. (2019). Treatment of relapsed, residual and neglected clubfoot: Adjunctive surgery. *Journal of Children's Orthopaedics*, 13(3), 293–303. <https://doi.org/10.1302/1863-2548.13.190079>
19. Van Schelven, H., Moerman, S., Van der Steen, M., Besselaar, A. T., & Greve, C. (2022). Prognostic factors for recurrent idiopathic clubfoot deformity: A systematic literature review and meta-analysis. *Acta Orthopaedica*, 93, 11–28. <https://doi.org/10.1080/17453674.2021.1982576>
20. Vavilov, M., Blandinskiy, V., Gromov, I., Solovyeva, E., Dubinenkov, V., & Sokolov, A. (2022). Otdalennyye rezul'taty lecheniya atipichnoy kosolaposty po metodu Ponceti (Long-term results of treating atypical clubfoot using the Ponseti method) [in Russian]. *Geniy ortopedii*, 28(3), 372–377. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-3-372-377>
21. Omarov, G. G., Rumyantsev, N. Y., & Kruglov, I. Y. (2015). Otsenka stop s vrozhdennoy kosolapostyu v pervyye sutki zhizni: statisticheskiy analiz 300 sluchaev (Assessment of feet with congenital clubfoot in the first day of life: Statistical analysis of 300 cases) [in Russian]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta*, (1) <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-stop-s-vrozhdennoy-kosolapostyu-v-pervyye-sutki-zhizni-statisticheskiy-analiz-300-sluchaev>
22. Klychkova, I. Y., Konyukhov, M. P., & Lapkin, Y. A. (2014). Vrozhdennaya kosolapost. Klassifikatsii, etiologiya, patogeneez, evolyutsiya metodov lecheniya (Congenital clubfoot. Classifications, etiology, pathogenesis, evolution of treatment methods) [in Russian]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya khirurgiya detskogo vozrasta*, (3). <https://cyberleninka.ru/article/n/vrozhdennaya-kosolapost-klassifikatsii-etologiya-patogeneez-evolyutsiya-metodov-lecheniya-literaturnyy-obzor>.
23. Vavilov, M. A. (2015). *Sistema lecheniya ekvino-varusnykh deformatsiy stop u detey* (System of treatment for equinovarus foot deformities in children) [in Russian; Doctoral dissertation, Moscow]. <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-stop-s-vrozhdennoy-kosolapostyu-v-pervyye-sutki-zhizni-statisticheskiy-analiz-300-sluchaev>
24. Limpaphayom, N., & Sailohit, P. (2019). Factors Related to Early Recurrence of Idiopathic Clubfoot Post the Ponseti Method. *Malaysian orthopaedic journal*, 13(3), 28–33. <https://doi.org/10.5704/MOJ.1911.005>

Идиопатиялық маймақтықты емдеу әдістерінің эволюциясы және модификацияланған Понсети хаттамасының тиімділігін салыстырмалы бағалау

[Трофимчук В.А.](#)¹, [Соколов Р.Ю.](#)², [Джумабеков Б.А.](#)³, [Досанова А.А.](#)⁴

¹ Балалар хирургиясы кафедрасының ассистенті, Астана Медицина Университеті, Астана, Қазақстан

² Балалар ортопед-травматологы, ортопедия және реабилитация бөлімшесі, № 2 Көпсалалы қалалық балалар ауруханасы,
Астана, Қазақстан

³ Балалар ортопед-травматологы, ортопедия және реабилитация бөлімшесі, № 2 Көпсалалы қалалық балалар ауруханасы,
Астана, Қазақстан

⁴ Дәрігер-интерн, Астана Медицина Университеті, Астана, Қазақстан

Түйіндеме

Идиопатиялық туа біткен маймақтық – туған нәрестелер арасында ең жиі кездесетін ортопедиялық деформациялардың бірі. Понсети әдісі емдеудің «алтын стандарты» ретінде кеңінен танылғанына қарамастан, рецидив мәселесі, әсіресе атипиялық және ауыр түрлерінде өзектілігін жоғалтқан жоқ.

Бұл зерттеудің мақсаты – маймақтықты емдеу әдістерінің тарихи эволюциясын талдау және клиникалық тәжірибе негізінде Понсетидің классикалық және модификацияланған хаттамаларының тиімділігін бағалау.

Әдістері. 2021–2024 жылдар аралығында «Кинетик» медициналық орталығында туа біткен маймақтық диагнозымен ем алған 100 науқастың деректері бойынша ретроспективті талдау жүргізілді. Науқастар екі топқа бөлінді: бақылау тобы (n=59) классикалық Понсети хаттамасы бойынша ем алды, ал негізгі топ (n=41) модификацияланған протокол бойынша емделді. Барлық науқастар Пирани шкаласы бойынша бағаланды, рецидив жиілігі, гипстеудің кезең саны және деформация түрлері сарапталды.

Нәтижесі. Модификацияланған хаттама атипиялық және типтік маймақтықтың ауыр дәрежелерінде анағұрлым түзетуге мүмкіндік беретінін көрсетті. Рецидив деңгейі 12,3%-дан 7,3%-ға дейін төмендеді. Қосымша гипстеу кезеңін енгізу және бекітудің сараланған техникасын қолдану функционалдық нәтижелердің жақсаруына және науқастардың емге бейімділігінің артуына ықпал етті.

Қорытынды. Алынған деректер күрделі клиникалық жағдайларда Понсети хаттамасын жекелеңдірудің орынды екенін дәлелдейді. Модификацияланған тәсіл туа біткен маймақтықты емдеудің ұзақ мерзімді нәтижелерін жақсартуға әлеуеті бар екенін көрсетеді.

Түйін сөздер: маймақтық, Понсети әдісі, модификацияланған хаттама, рецидив, Пирани шкаласы, ортопедия.

Evolution of treatment methods for idiopathic clubfoot and comparative evaluation of the effectiveness of the modified Ponseti protocol

[Vitaliy Trofimchuk](#)¹, [Roman Sokolov](#)², [Bakhtiyar Jumabekov](#)³, [Aida Dosanova](#)⁴

¹ Assistant of the Department of Pediatric Surgery, Astana Medical University, Astana, Kazakhstan

² Pediatric orthopedic traumatologist, Department of Orthopedics and Rehabilitation, Multidisciplinary City Children's Hospital No2,
Astana, Kazakhstan

³ Pediatric orthopedic traumatologist, Department of Orthopedics and Rehabilitation, Multidisciplinary City Children's Hospital No2, Astana, Kazakhstan

⁴ First-year medical intern, Astana Medical University, Astana, Kazakhstan

Abstract

Idiopathic congenital clubfoot is one of the most common orthopedic deformities in newborns. Despite the Ponseti method being widely recognized as the gold standard for treatment, the issue of relapse remains relevant, particularly in severe and atypical cases.

The aim of this study is to analyze the historical evolution of treatment approaches for clubfoot and to evaluate the effectiveness of the classical and modified Ponseti protocols based on clinical experience.

Methods. A retrospective analysis was conducted on data from 100 patients with congenital clubfoot treated at the Kinetic Medical Center between 2021 and 2024. The patients were divided into two groups: the control group (n=59), which received treatment according to the classical Ponseti protocol, and the main group (n=41), which was treated using the modified protocol. All patients were evaluated using the Pirani scoring system, with further analysis of relapse rates, the number of casting stages, and the nature of the deformity.

The results showed that the modified protocol provided more reliable correction in atypical forms and severe degrees of typical clubfoot, reducing the relapse rate from 12.3% to 7.3%. The inclusion of an additional casting stage and a differentiated fixation technique contributed to improved functional outcomes and increased patient compliance.

Conclusions. The data obtained confirm the rationale for individualizing the Ponseti protocol in complex clinical cases. The modified approach demonstrates potential for improving long-term outcomes in the treatment of congenital clubfoot.

Keywords: clubfoot, Ponseti method, modified protocol, relapses, Pirani score, orthopedics.



<https://doi.org/10.52889/1684-9280-2025-76-3-jto007>

A clinical case

Case report: Intramedullary tuberculoma of the thoracic spinal cord

[Sholpan Kauynbekova](#)^{1*}, [Gabit Makhambaev](#)², [Berik Tuleubayev](#)³,
[Amina Koshanova](#)⁴, [Veronika Abzalova](#)⁵

Received: 18.02.2025

Accepted: 05.04.2025

Published: 30.06.2025

* **Corresponding author:** Sholpan
Kauynbekova,
E-mail: ms.sho1982@mail.ru

Citation: Trauma & Ortho Kaz, 2025,
76 (3), jto007

This work is licensed under a Creative
Commons Attribution 4.0 International
License

¹ Associated professor of the Department of Surgical Diseases, Karaganda Medical University;
Multidisciplinary Hospital named after Professor Kh.Zh. Makazhanov, Karaganda, Kazakhstan

² Associated professor of the Department of Surgical Diseases, Karaganda Medical University;
Multidisciplinary Hospital named after Professor Kh.Zh. Makazhanov, Karaganda, Kazakhstan

³ Head of Department of Surgery, Karaganda Medical University; Multidisciplinary Hospital named after
Professor Kh.Zh. Makazhanov, Karaganda, Kazakhstan

⁴ Associate professor of the Department of Surgical Diseases, Karaganda Medical University,
Multidisciplinary Hospital named after Professor Kh.Zh. Makazhanov, Karaganda, Kazakhstan

⁵ PhD-student at the Department of Surgery, Karaganda Medical University, Multidisciplinary Hospital
named after Professor Kh.Zh. Makazhanov, Karaganda, Kazakhstan



Abstract

Tuberculosis is an absolutely controllable infectious disease. At the same time, prevention, diagnosis and treatment of tuberculosis in Kazakhstan are absolutely free and fully financed by the state. Central nervous system damage is often accompanied by severe neurological deficit. Untimely diagnosis and treatment, as well as unfavorable prognosis of central nervous system tuberculosis determine the constant interest in this problem. This work reflects a rare lesion of the central nervous system on the background of disseminated pulmonary tuberculosis, with severe neurological deficit.

This article describes a case after 17 years after pulmonary tuberculosis, the process spread to the central nervous system and manifested severe neurologic deficits. On admission to the neurosurgical department, the patient had inferior paraparesis and neurogenic pelvic dysfunction. Timely surgical treatment with the use of modern technologies, such as intraoperative neuromonitoring, made it possible to avoid complications in the form of irreversible paralysis of the patient. The neurological deficit regressed significantly on the background of the combination of surgical and conservative treatment.

Keywords: extrapulmonary tuberculosis, tuberculoma, combined treatment.

1. Introduction

Tuberculosis is a disease affecting various organs and body systems. According to the World Health Organization, by 2021, about 8 million people in the world will be infected with tuberculosis annually, 15% of which are extrapulmonary forms [1]. Central nervous system (CNS) tuberculosis occurs in 5% of adult patients and 30% of children. About 10% of all patients with tuberculosis affect the central nervous system. Tuberculosis presenting as an intramedullary lesion of the spinal cord is rare, approximately 1-2 cases per 100,000 patients with tuberculosis [2-5]. According to the authors, brain tuberculosis predominates over intramedullary tuberculomas, the ratio is 42:1 cases. In 72% percent intramedullary tuberculomas are located in the thoracic spine [4].

Nervous system pathology often accompanies tuberculosis but is rarely diagnosed for many reasons.

Non-specificity of clinical symptoms, which may look like any volumetric mass of the spinal cord.

Normal blood and liquor values, absence of fever, negative blood TB tests may be the reason for not diagnosing spinal cord tuberculoma in a timely manner.

Intramedullary tuberculoma mimics any other intramedullary mass on radiologic diagnosis. A tuberculoma may appear as a hypointense or isointense mass, with contrast ring enhancement, features characteristic of other pathologies as well. It is often difficult to distinguish from a tumor or abscess [4-8].

Even if patients are not dangerous from the point of view of infection of others (closed form of tuberculosis without detection of mycobacteria in sputum), we should not forget that the progression of the process leads to a violation of the functional component of the affected organ, which accordingly leads to a decrease in the patient's ability to work, quality of life, disability and, in the worst case, death of the patient [4,5].

2. Clinical Case Description

We report on this rare case of intramedullary tuberculoma registered in the Multidisciplinary Hospital named after Professor Kh.Zh. Makazhanov, which developed as a result of disseminated pulmonary tuberculosis, secondary serous tuberculous meningitis,

leading to lower paraparesis with neurogenic dysfunction of the pelvic organs. Informed consent was obtained from the patient for the use of clinical data in this scientific publication.

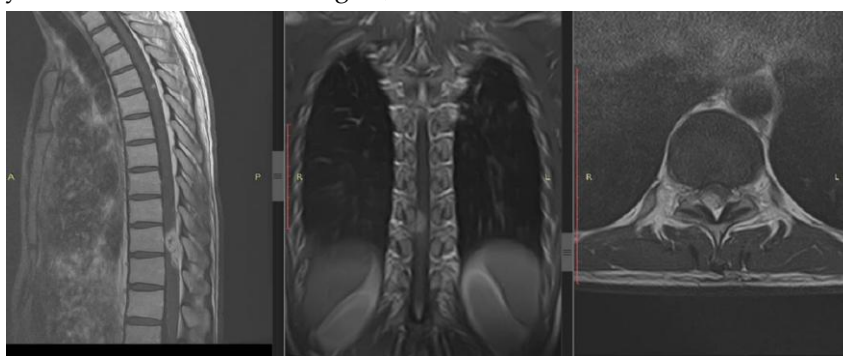


Figure 1 - Contrast-enhanced MRI of the thoracic spine revealing an intradural extramedullary lesion at the Th10–Th11 level

Patient F. born in 1982. Admitted to the department with complaints of severe limitation of movement in the lower limbs, dysfunction of the pelvic organs.

Pulmonary tuberculosis was first detected in 2003, and received a full course of treatment with a favorable outcome. He was registered at the dispensary and regularly underwent examinations. The review X-ray

from February 2019 shows residual changes after tuberculosis. It was removed from the register.

Since 2020, he began to notice increasing weakness in the extremities, followed by a loss of control over the function of the pelvic organs, underwent an magnetic resonance imaging (MRI) of the thoracic spine with contrast, where the presence of intradural and

extracranial spinal cord formation at the level of Th10-Th11 vertebrae was revealed (Figure 1).

Condition at the time of admission to the hospital: complaints of weakness of both legs, inability to walk, urinary incontinence, delay.



Figure 2 - Chest X-ray 01.09.2022 Pneumosclerosis of the lungs, post-tuberculosis changes in the left and right lungs

Neurological status: Conscious, adequate, oriented, markedly asthenic. Pupils OD=OS. Cranial nerve function is normal. Lower paraparesis 2 points in the right leg, 3 points in the left leg. Muscle tone is decreased in both legs. Tendon reflexes are decreased in the legs. Cannot stand in the Romberg position. Performs the finger-to-nose test. Meningeal signs are

negative. Foot signs are negative. Neurogenic dysfunction of the pelvic organs.

Methods: After preoperative preparation, an operation was performed: Laminoplasty Th 10-11. Microsurgical removal of an intramedullary tumor with intraoperative neuromonitoring (Figure 3-5).

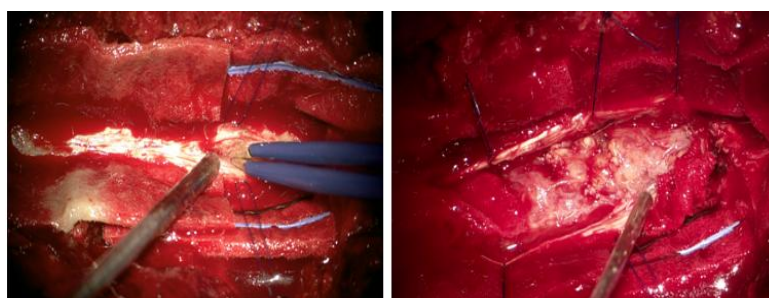


Figure 3. Opening of the dura mater, tumor growth is infiltrative

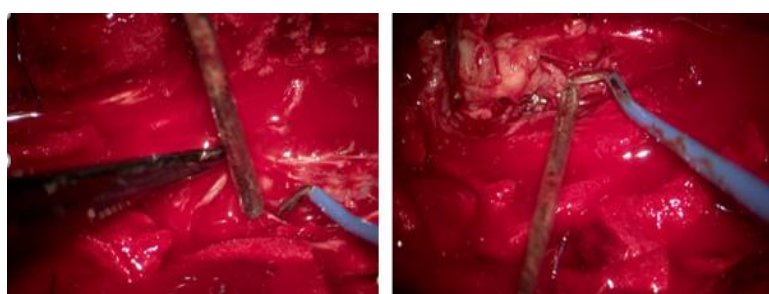


Figure 4 - Using a desector (insulated to the cutting edge), the formation was separated from the spinal cord with continuous unipolar stimulation, which allows for minimal damage to the spinal cord

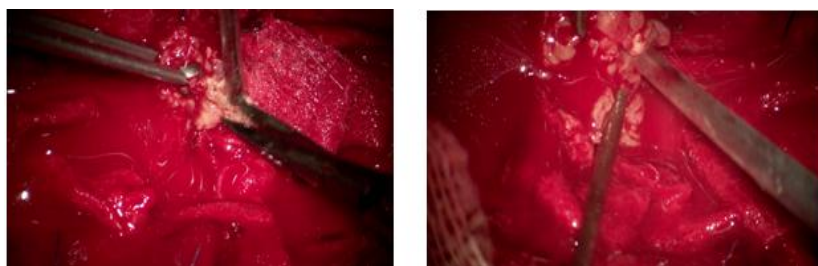


Figure 5 - Further removal by biting and using ultrasonic suction

Postoperative and follow-up MRI scans at 2 months and 2 years after laminoplasty and removal of

the intramedullary lesion at the Th10–Th11 level (Figures 6–8).

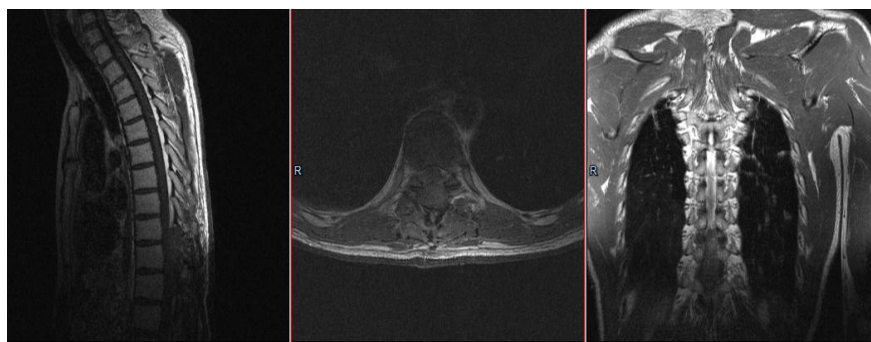


Figure 6. MRI control after surgery (condition after laminoplasty and removal of intramedullary formation at the level of the bodies of the Th10 and Th11 vertebrae)

Condition at discharge: neurological status at preoperative level.

Neurogenic dysfunction of pelvic organs persists.

Histological conclusion: Specific granulomatous inflammation (exclude tuberculosis).

Postoperatively, the patient was referred for consultation with a phthisiologist. Based on the clinical

findings, continued anti-tuberculosis therapy was advised at the regional tuberculosis dispensary.

Today the patient reports weakness in the legs. Muscle strength in the legs is 4 points, neurogenic dysfunction of the pelvic organs has regressed.



Figure 7 - MRI control 2 months after surgery (condition after laminoplasty and removal of intramedullary formation at the level of the bodies of the TH10 and TH11 vertebrae)

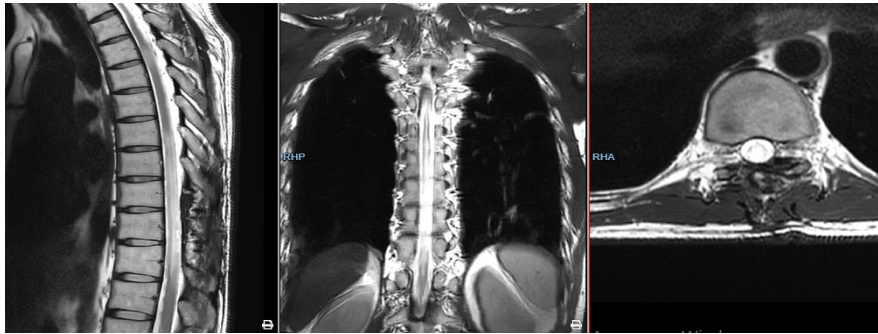


Figure 8 - MRI control 2 years after surgery

3. Discussion

Based on the patient's catamnesis, the result of the histological conclusion was expected. In the described case, the tuberculoma is a consequence of cerebrospinal fluid contamination. Most of these tuberculosis are treated conservatively, excluding cases with severe spinal cord compression and neurological deficiency requiring early surgical intervention [7,9,10].

Li H. et al. described a case series of 23 patients, 10 of whom had verified thoracic spinal tuberculoma, 6 cervical, 3 cervicothoracic and 1 thoracolumbar, and three patients had multiple brain lesions. Nine patients had a history of confirmed tuberculosis. Nineteen patients had sensorimotor deficits depending on the level of the lesion. Surgical treatment was performed in 21 patients, and restoration of sensorimotor function was achieved in 17 patients [11].

Guirado V.M. et al. describe a case of tuberculoma of the cervicothoracic region C1-Th1 with lower paraparesis and urinary retention; microsurgical resection was performed followed by anti-tuberculosis therapy; recovery took 6 months [12]. Ramdurg S.R. et al. described a series of cases of spinal tuberculomas: 7 dorsal, 5 cervical, 2 cervicospinal, 1 dorsal-lumbar. Sensorimotor deficit was detected in 14 of them. In 5 patients, the diagnosis of tuberculosis in the anamnesis was confirmed. Indications for surgery were given to 12 patients, in 9 of whom significant recovery of lost functions was observed [13].

Abhai S. et al. describe a case of cervical tuberculoma with gradually increasing weakness in all limbs. The patient has a confirmed case of pulmonary tuberculosis with an outcome of tuberculous

meningitis, has been on anti-tuberculosis antibiotic therapy for the last 6 months, weakness in the extremities continued to increase. The patient underwent an MRI of the cervical spine, where an intramedullary ring was found, and on the next MRI there was a clear increase in diameter. Total excision of the spinal tuberculoma was performed. Duroplasty was performed. After 6 months, the authors describe significant improvement [14].

Prithvi Varghese et al. reported a case of cervical tuberculoma in a 49-year-old woman who came to the clinic with complaints of aching pain in the upper limbs for 1 week. There was no history of serious diseases. An MRI scan showed an intramedullary mass and enlarged mediastinal lymph nodes. Due to the suspicion of a neoplasm, the patient was prescribed corticosteroids. An insignificant effect was achieved, and it was decided to perform a fine-needle biopsy of the mediastinal nodes, which suggested granulomatous inflammation. The patient was prescribed a course of rifampicin and isoniazid, after 2 months there was complete relief of symptoms [15]. However, one should not expect that anti-tuberculosis drug therapy will eliminate the need for surgical treatment. A review of the presented literature showed that surgical treatment of intramedullary tuberculoma is an effective treatment method and can achieve good results.

In the postoperative period, patients continue to receive anti-tuberculosis therapy, which allows achieving better clinical results.

4. Conclusions

The results of our surgical intervention together with drug treatment exceeded all expectations. At the control examination, the patient demonstrated regression of lower paraparesis from a deep level to a moderate one

(the patient moves independently with the help of a cane) with complete restoration of the function of the pelvic organs. These results were achieved 2 months after the surgery.

Author Contributions: Conceptualization – S.K. and G.M.; Methodology and verification – B.T. and A.K.; Formal analysis – AK., SK.; Writing (original draft) – S.K., G.M. and V.A.; Writing (review and editing) – S.K. and V.A.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

References

1. World Health Organization. Global tuberculosis report 2021: Website. [Cited 21 Feb 2025]. Available from URL: <https://www.who.int/publications/i/item/9789240037021>
2. Iftikhar, S., Ijaz, N., Iftikhar, S., & Khan, S. (2022). Intramedullary spinal tuberculoma: an uncommon presentation of a common disorder. *Cureus*, 14(9). <https://doi.org/10.7759/cureus.28761>
3. Chandramouleeswaran, V., Philo, H. P., Balasubramaniam, D., & Ramachandran, R. (2017). A lengthy primary intramedullary tuberculoma of the spinal cord extending from C4 to D8: A case report. *Indian Journal of Tuberculosis*, 64(1), 50-53. <https://doi.org/10.1016/j.ijtb.2015.07.012>
4. Pradeep, N., Ghorpade, R., Naik, R., & Malur, P. R. (2017). Intra-medullary tuberculomas: Case series. *International journal of spine surgery*, 11(1). <https://doi.org/10.14444/4002>
5. Liu, Y. D., Wang, F. Y., Xu, J. M., Guan, Y., & Guan, H. (2010). Intramedullary thoracic tuberculoma. *Spinal cord*, 48(1), 80-82. <https://doi.org/10.1038/sc.2009.58>
6. Sardana, V., & Shringi, P. (2019). Intramedullary tuberculoma of the spinal cord, clinical features & imaging: possibility of early diagnosis with imaging? *The Indian Journal of Tuberculosis*, 67(3), 346-348. <https://doi.org/10.1016/j.ijtb.2019.03.007>
7. Mishra, S. S., Das, D., Das, S., Mohanta, I., & Tripathy, S. R. (2015). Spinal cord compression due to primary intramedullary tuberculoma of the spinal cord presenting as paraplegia: A case report and literature review. *Surgical Neurology International*, 6, 42. <https://doi.org/10.4103/2152-7806.15384>
8. Kangabam, B., Amataleima, T., Amitkumar, M., & Umesh, T. (2021). Intradural extramedullary tuberculoma of the thoracic spine—A rare case report of paraparesis. *Surgical Neurology International*, 12, 136. https://doi.org/10.25259/SNI_197_2021
9. Wakhlu, A., Srivastava, D., & Wakhlu, A. (2015). Spinal intramedullary tuberculoma: a rare cause of backache. *The Journal of Rheumatology*, 42(11), 2166-2167. <https://doi.org/10.3899/jrheum.150450>
10. Wang, G. C., & Wu, S. W. (2017). Spinal intramedullary tuberculoma following pulmonary tuberculosis: a case report and literature review. *Medicine*, 96(49), e8673. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000008673>
11. Li, H., Liu, W., & You, C. (2012). Central nervous system tuberculoma. *Journal of Clinical Neuroscience*, 19(5), 691-695. <https://doi.org/10.1016/j.jocn.2011.05.045>
12. Guirado, V. M., Welling, L. C., Meluzzi, A., Santos, M. E., Figueiredo, E. G., Taricco, M. A., & Teixeira, M. J. (2011). Intramedullary granuloma suggestive of tuberculoma. *Arquivos de neuro-psiquiatria*, 69, 848-849. <https://doi.org/10.1590/S0004-282X2011000600028>
13. Ramdurg, S. R., Gupta, D. K., Suri, A., Sharma, B. S., & Mahapatra, A. K. (2009). Spinal intramedullary tuberculosis: a series of 15 cases. *Clinical neurology and neurosurgery*, 111(2), 115-118. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2008.09.029>
14. Singh A. Singh Bhatoe H. Shachi. (2021) Surgical management of intramedullary tuberculoma: a case report and review of literature. *Hospital Mohali India*. 10(5), 37-39 : <https://doi.org/10.36106/gjira>
15. Varghese, P., Jalal, M. J. A., Kandathil, J. C., & Mathew, I. L. (2017). Spinal intramedullary tuberculosis. *The Surgery Journal*, 3(02), e53-e57. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1599823>

Клиникалық жағдай: Кеуде бөлімі жұлынының интрамедуллярлық туберкуломасы

[Қауынбекова III.](#) ¹, [Махамбаев Г.](#) ², [Түлеубаев Б.](#) ³, [Кошанова А.](#) ⁴, [Абзалова В.](#) ⁵

¹ Қарағанды медицина университетінің хирургиялық аурулар кафедрасының профессор ассистенті,

Профессор Х.Ж. Мақажанов атындағы көпбейінді аурухана, Қарағанды, Қазақстан

² Хирургиялық аурулар кафедрасының профессор ассистенті, Қарағанды медицина университеті,

Профессор Х.Ж. Мақажанов атындағы көпбейінді аурухана, Қарағанды, Қазақстан

³ Хирургиялық аурулар кафедрасының меңгерушісі, Қарағанды медицина университеті,

Профессор Х.Ж. Мақажанов атындағы көпбейінді аурухана, Қарағанды, Қазақстан

⁴ Хирургиялық аурулар кафедрасының ассоциирлеген профессоры, Қарағанды медицина университеті,

Профессор Х.Ж. Мақажанов атындағы көпбейінді аурухана, Қарағанды, Қазақстан

⁵ Хирургиялық аурулар кафедрасының PhD-докторанты, Қарағанды медицина университеті,

Профессор Х.Ж. Мақажанов атындағы көпбейінді аурухана, Қарағанды, Қазақстан

Түйіндеме

Туберкулез – толық бақылауға болатын жұқпалы ауру. Сонымен қатар, Қазақстанда туберкулездің алдын алу, диагностикалау және емдеу тегін және мемлекет тарапынан толығымен қаржыландырылады. Орталық жүйке жүйесінің зақымдануы жиі ауыр неврологиялық тапшылықпен бірге жүреді. Кеш диагностика және емдеу, сондай-ақ орталық жүйке жүйесінің туберкулезінің қолайсыз болжамы осы мәселеге тұрақты қызығушылықты танытады. Бұл жұмыс өкпе туберкулезінен тараған ауыр неврологиялық тапшылыққа әкелген орталық жүйке жүйесінің сирек кездесетін жағдайды сипаттайды.

Мақалада өкпе туберкулезімен ауырғаннан кейін 17 жылдан соң орталық жүйке жүйесіне таралып, ауыр неврологиялық тапшылық түрінде көрінген жағдай сипатталған. Нейрохирургиялық бөлімшеге түскен кезде науқаста төменгі парапарез және жамбас мүшелерінің нейрогендік дисфункциясы болған. Отаішілік нейромониторинг әдісі сияқты заманауи технологияларды пайдалана отырып, уақтылы хирургиялық емдеу науқаста болуы ықтимал қайтымсыз сал ауруы түріндегі асқынуларды алдын алуға көмектесті. Хирургиялық және консервативті емді біріктірудің арқасында науқаста неврологиялық тапшылық айтарлықтай төмендеді.

Түйін сөздер: өкпеден тыс туберкулез, туберкулема, аралас емдеу.

Клинический случай: Интрамедуллярная туберкулома грудного отдела спинного мозга

[Қауынбекова Ш.](#) ¹, [Махамбаев Г.](#) ², [Тулеубаев Б.](#) ³, [Кошанова А.](#) ⁴, [Абзалова В.](#) ⁵

¹ Ассистент профессора кафедры хирургических болезней, Карагандинский медицинский университет, Многопрофильная больница имени профессора Х.Ж. Макажанова, Караганда, Казахстан

² Ассистент профессора кафедры хирургических болезней, Карагандинский медицинский университет, Многопрофильная больница имени профессора Х.Ж. Макажанова, Караганда, Казахстан

³ Заведующий хирургических болезней, Карагандинский медицинский университет, Многопрофильная больница имени профессора Х.Ж. Макажанова, Караганда, Казахстан

⁴ Ассоциированный профессор кафедры хирургических болезней, Карагандинский медицинский университет, Многопрофильная больница имени профессора Х.Ж. Макажанова, Караганда, Казахстан

⁵ PhD-докторант кафедры хирургических болезней, Карагандинский медицинский университет, Многопрофильная больница имени профессора Х.Ж. Макажанова, Караганда, Казахстан

Резюме

Туберкулез является абсолютно контролируемым инфекционным заболеванием. В то же время в Казахстане профилактика, диагностика и лечение туберкулеза абсолютно бесплатны и полностью финансируются государством. Поражение центральной нервной системы часто сопровождается тяжелым

неврологическим дефицитом. Несвоевременная диагностика и лечение, а также неблагоприятный прогноз туберкулеза центральной нервной системы определяют постоянный интерес к этой проблеме. Данная работа отражает редкое поражение центральной нервной системы на фоне диссеминированного туберкулеза легких, с тяжелым неврологическим дефицитом.

В статье описан случай, когда через 17 лет после перенесенного туберкулеза легких он распространился на центральную нервную систему и проявился в виде тяжелого неврологического дефицита. У пациента при поступлении в нейрохирургическое отделение наблюдался нижний парапарез и нейротенная дисфункция органов малого таза. Своевременно проведенное оперативное лечение с применением современных технологий как, интраоперационный нейромониторинг помогли избежать осложнений в виде необратимой парализации пациента. Неврологический дефицит значительно регрессировал на фоне сочетания хирургического и консервативного лечения.

Ключевые слова: внелегочный туберкулез, туберкулома, комбинированное лечение.



<https://doi.org/10.52889/1684-9280-2025-76-3-jto009>

Описание клинического случая

Клинический случай: Сложная диагностика остеосаркомы плечевой кости

Received: 11.04.2025

Accepted: 28.05.2025

Published: 30.06.2025

*Corresponding

Yevgeniya Serikbayeva,
E-mail: yese@mail.ru

author:

¹Заведующая отделением лучевой диагностики, Национальный научный центр травматологии и ортопедии имени академика Батпенова Н.Д., Астана, Казахстан

² Врач-радиолог, Национальный научный центр травматологии и ортопедии имени академика Батпенова Н.Д., Астана, Казахстан

³Резидент-радиолог, Национальный научный центр травматологии и ортопедии имени академика Батпенова Н.Д., Астана, Казахстан

Citation: Trauma & Ortho Kaz, 2025,
76 (3), jto009

This work is licensed under a Creative
Commons Attribution 4.0 International
License



Резюме

Остеосаркома – злокачественная опухоль костей, встречающаяся от одного до трех случаев в год на миллион человек. Заболевание может возникать в любом возрасте, однако чаще всего наблюдается у детей и подростков. Второй, менее выраженный пик заболеваемости приходится на пожилых людей старше 60 лет.

В настоящей работе представлен клинический случай пациентки 65 лет, которую первоначально лечили от остеомиелита, до установления окончательного диагноза – «остеосаркома плечевой кости». Диагноз был подтвержден с помощью лучевых методов визуализации: рентгенографии, ультразвукового исследования, компьютерной и магнитно-резонансной томографии.

Встречаемость остеосаркомы у взрослых составляет 1% случаев, что подчеркивает сложность диагностики из-за редкости и неспецифичности симптомов, часто схожих с остеомиелитом. Поэтому остеосаркому следует рассматривать как один из основных дифференциальных диагнозов в таких случаях, пока не будет доказано обратное.

Ключевые слова: остеосаркома, остеосаркома плечевой кости, остеомиелит, остеосаркома у взрослых, радиология.

1. Введение

Остеосаркома – это злокачественная опухоль кости, возникающая из мезенхимы и характеризующаяся продукцией атипичного остеоида и костных структур, злокачественно пролиферирующими опухолевыми клетками,

способных дифференцироваться в направлении хряща или кости. Этиология остеосаркомы в большинстве случаев неизвестна [1].

Остеосаркомы встречаются относительно редко. В мире заболеваемость остеосаркомой

составляет от одного до трёх случаев в год на миллион человек. Остеосаркома может встречаться в любом возрасте, однако наиболее часто наблюдается у детей и подростков (средний возраст 18 лет), а также более низкий пик заболеваемости приходится на пожилых людей старше 60 лет [2].

Редкая встречаемость остеосаркомы может стать причиной ошибки в постановке диагноза при первичном обращении к врачу. Остеосаркома характеризуется агрессивным течением и быстрым гематогенным метастазированием, что обуславливает высокий процент запущенности при выявлении заболевания.

По данным клинико-эпидемиологических характеристик сарком костей в Казахстане в 2019 году было зарегистрировано 32573 новых случая злокачественных новообразований (ЗНО), из них с саркомами костей – 150 (0,5%) пациентов. Среди 150 случаев сарком костей, 66% остеогенной саркомы приходилось на возрастную группу до 20 лет, 39% - на группу 20-34 года, 21% - на 45-54 года. Саркомы костей наиболее часто встречались в длинных костях нижних конечностей – 41% и верхних конечностей – 26%, а также в костях таза, крестца и копчика – 17%, ребрах, грудины и ключице – 6% [3].

Основная масса (около 80%) остеосарком развивается в метафизах длинных трубчатых костей зоны коленного сустава (дистальный метафиз бедренной, проксимальные метафизы большеберцовой и малоберцовой костей) и проксимальном метафизе плечевой кости. Перечисленные отделы скелета являются наиболее ответственными за рост. Именно здесь протекают самые активные процессы ростового остеогенеза, что, по-видимому, является большей вероятностью опухолевой трансформации у детей [1]. У пожилых людей старше 60 лет развитие опухоли может быть спровоцировано другими костными заболеваниями, возникшими к этому возрасту, или связано с перенесённым облучением.

Наиболее частым клиническим проявлением остеосарком является постоянный, упорный и прогрессирующий болевой синдром, преимущественно в ночное время. Чаще всего

болевой синдром связывают с травмой или ушибом, и в большинстве случаев такие пациенты первоначально обращаются к травматологам или ортопедам, что приводит к увеличению сроков постановки правильного диагноза и начала соответствующего лечения. Со временем появляется локальная отечность, гипертермия и гиперемия кожных покровов [4].

Эти признаки и симптомы можно спутать с распространёнными проблемами опорно-двигательного аппарата. Наиболее важной информацией, которую врачи используют для постановки дифференциального диагноза при опухолях костей, являются результаты клинического обследования и рентгенологических исследований.

Для постановки окончательного диагноза проводится гистологическое и дополнительные лабораторные исследования опухоли [5]. Время постановки диагноза имеет решающее значение, поскольку оно определяет выбор лечения и возможность сохранения конечности, что имеет долгосрочные физические и психологические последствия.

Учитывая редкость и вышеописанные неспецифические клинические проявления остеосаркомы, которую трудно дифференцировать с другими заболеваниями костей (остеомиелит), мы пришли к выводу о необходимости публикации данного клинического случая для большей осведомленности врачей травматологов, хирургов, онкологов, врачей лучевой диагностики и других специальностей.

Нами представлен клинический случай остеосаркомы выявленной с помощью методов магнитно-резонансной томографии (МРТ), компьютерной томографии (КТ), ультразвукового и рентгенологического исследования у 65-ти летней женщины, с остеосаркомой правого плеча с прорастанием в большую грудную, подлопаточную, надостную и подостную мышцы справа, деструкцией проксимальной трети плечевой кости, метастазами в легкие, тромбоз яремной вены, ECOG II.

2. Презентация клинического случая

Пациентка, 65 лет, в октябре 2024 года обратилась к народному целителю по поводу болей в области правого плечевого сустава. Во время выполнения процедуры растяжки правой верхней конечности был отмечен выраженный хруст, после

чего появились интенсивные боли. За экстренной медицинской помощью пациентка не обращалась.

Через две недели в связи с нарастанием симптомов пациентка самостоятельно обратилась в приёмный покой Многопрофильной областной

больницы (МОБ) г. Актау, где была госпитализирована и проходила стационарное лечение. Проведено оперативное вмешательство: открытая репозиция и остеосинтез правой плечевой кости с использованием пластины и винтов.

Спустя месяц после операции пациентка вновь отметила отечность правой верхней конечности.

Обратилась в поликлинику по месту жительства, откуда была направлена на плановую госпитализацию. В декабре 2024 года в условиях МОБ г.Актау выполнено удаление металлоконструкции правой плечевой кости и вторичная хирургическая обработка (ВХО) раны (Рисунок 1).



Рисунок 1 – Правое плечо. Состояние после удаления металлоконструкции правой плечевой кости: отек, гиперемия, наличие раны

В послеоперационном периоде отмечалось улучшение состояния пациентки. Однако через два месяца вновь появилась отечность и наличие раны. В связи с чем обратилась в консультативно-диагностическое отделение Национального научного центра травматологии и ортопедии им. академика Н.Д. Батпенова, для определения дальнейшей тактики лечения.

По данным рентгенографии правой плечевой кости: рентгенологическая картина хронического остеомиелита с наличием дефекта костной ткани в верхней трети диафиза плечевой кости; а также признаки застарелого вывиха головки правой плечевой кости (Рисунок 2).



Рисунок 2 – Рентгенограмма правой плечевой кости в двух проекциях

Отмечается фрагментация верхней трети диафиза плечевой кости, представленная отдельно расположенными костными фрагментами. Дефект костной ткани около 6 см. Структура диафиза

плечевой кости резко поротичная, неомогенная за счет множества участков разрежения плотности костной ткани.

Головка плечевой кости децентрирована в каудальную сторону относительно гленоида лопатки, расположена в положении вывиха.

Фистулография – контрастное вещество введено в свищевой ход, расположенный в мягких тканях верхней трети правого плеча (Рисунок 3).



Рисунок 3 – Фистулография в двух проекциях

Контрастируется полость в мягких тканях средней трети плеча размером 7,5х4 см, контраст проникает в структуру средней трети диафиза плечевой кости.

При проведении УЗИ мягких тканей правого плеча (аппарат Samsung Medison HS50, линейный датчик 3,4-5,4МГц) отмечается объемное, мягкотканное образование правого плечевого сустава, связанное с костными структурами.

Образование расположено «муфтообразно», спускается вдоль плечевой кости, занимает (прорастает) практически весь объем мягких тканей до локтевого сустава с продолжением на верхнюю треть предплечья (Рисунок 4). Измерение объема образования технически затруднено. Контуры неровные, бугристые. Заключение: мягкотканное объемное образование правой верхней конечности с поражением двух суставов. ОстеоСа?

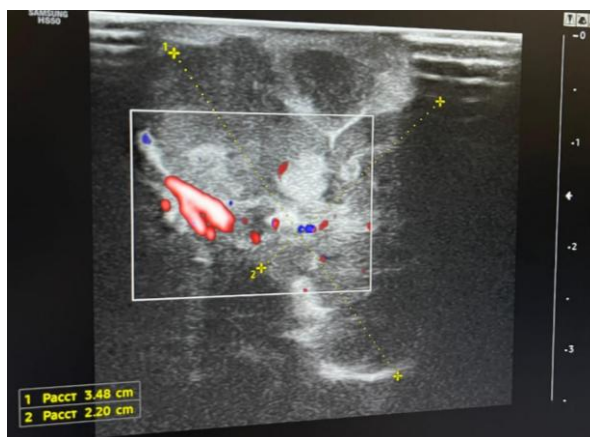


Рисунок 4 – УЗИ мягких тканей правого плеча

Определяется объемное, мягкотканное гипоехогенное, неоднородное образование с неровными, бугристыми контурами правого плечевого сустава, связанное с костными структурами. В ЦДК имеет собственный патологический кровоток.

МРТ-исследование правого плечевого сустава было проведено на аппарате Toshiba Excelart

Vantage, с индукцией магнитного поля 1,5Тл в стандартных коронарной, сагиттальной и аксиальной проекциях, в T1, T2, PDFSat и STIR импульсными последовательностями (Рисунок 5).

Заключение МРТ: МР-картина объемного процесса верхней трети правого плеча, с деструкцией проксимальной трети плечевой кости, с распространением объемного процесса на капсулу

сустава, подлопаточную, подостную, малую круглую, большую круглую мышцы и большую грудную мышцы справа, с наличием деструктивной

(некротической?) полости в структуре образования, с жидкостным содержимым (OsteoSa?).

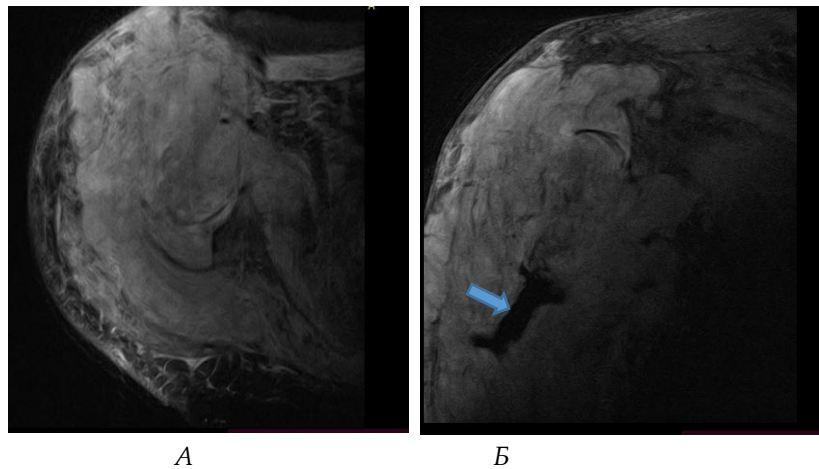


Рисунок 5 – МРТ правого плечевого сустава в PDFSaT. А) аксиальная проекция Б) коронарная проекция

В структуре верхнего отдела плеча определяется объемный компонент, с неоднородным, изо-, гиперинтенсивными сигналами, с неровными бугристыми контурами, занимающее все мышцы верхней трети плеча, распространяющееся также в проекцию

подлопаточной, подостной, малой круглой, большой круглой мышц и большой грудной мышцы справа, с наличием деструктивной (некротической?) полости (указана голубой стрелкой) в структуре образования.

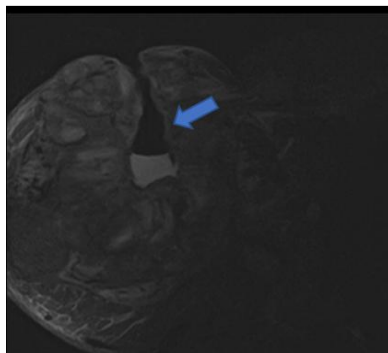


Рисунок 6 – МРТ правого плечевого сустава в T2 STIR, аксиальная проекция. Стрелкой указана полость деструкции, со свищевым каналом, шириной от 7,0мм до 21мм и глубиной до 60мм, в которой отмечается уровень жидкости

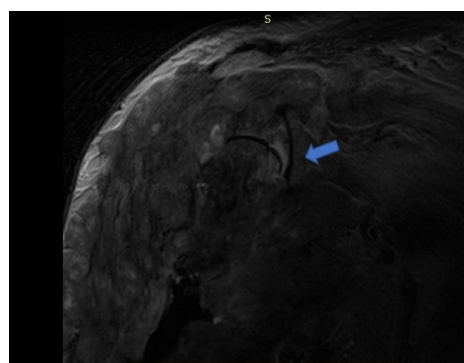


Рисунок 7 – МРТ правого плечевого сустава в T2-ВИ, коронарная проекция. Стрелкой указана часть головки правой плечевой кости, проксимальный метадиафиз кости не определяется за счет выраженного деструктивного процесса

КТ исследование органов грудной клетки с контрастированием было проведено по программе ToraxAngio 5/5 мм с прицельным исследованием по программе 1/1мм, с в/в контрастированием препаратом «Вигексол» 350-70 мл на аппарате Siemens SOMATOM Definition AS 40.

Заключение: КТ-картина образования нижней доли правого легкого (mts?). Участки инфильтрации правого легкого. Ателектаз верхней и нижней доли правого легкого. Незначительный выпот в правой плевральной полости. Объемное мягкотканное

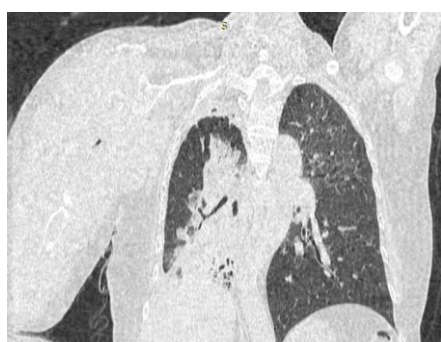
образование правого плеча, с распространением в большую грудную, подлопаточную, надостную и подостную мышцы справа, с литической деструкцией плечевой кости и наличием дефекта мягких тканей на уровне с/3 правого плеча (OsteoSa?). Тромботическая масса в просвете яремной вены справа (Рисунок 8).



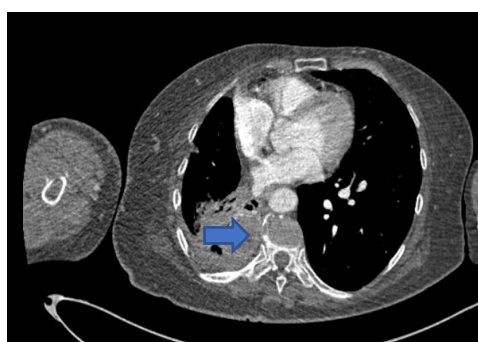
Рисунок 8 – КТ органов грудной клетки и плечевых суставов, коронарная проекция

Определяется объемное мягкотканное образование правого плеча с нечеткими, бугристыми контурами, размерами до 15,2x14,3x24,8см, с распространением в большую грудную, подлопаточную, надостную и подостную мышцы справа, с наличием дефекта мягких тканей

на уровне средней трети, образование неоднородной структуры, так же отмечается литическая деструкция правой плечевой до нижней трети.



А



Б

Рисунок 9 – А) КТ органов грудной клетки, коронарная проекция. Б) КТ органов грудной клетки, аксиальная проекция, артериальная фаза контрастирования

Объем правого легкого уменьшен, в паренхиме правого легкого определяется обширный участок консолидации с нечеткими, неровными контурами, с видимыми просветами бронхов в структуре, на фоне консолидации в S6 сегменте правого легкого определяется округлое образование (указана стрелкой), с нечеткими контурами, размерами до 4,0x3,5см.



Рисунок 10 – КТ органов грудной клетки аксиальная проекция, артериальная фаза контрастирования. В просвете яремной вены справа определяется тромботическая масса (указана стрелкой)

3. Обсуждение

Особенностью этого клинического случая является выявление остеосаркомы у пациентки 65-ти лет, так как только 1% случаев остеосаркомы встречается у взрослых. Изначально пациентке выставили диагноз остеомиелит, по которому она получала лечение, однако, оно не дало положительного эффекта, что привело к пересмотру диагноза и проведению дополнительных методов исследования.

Наиболее распространенными признаками рака костей являются региональная или локализованная боль с сопутствующей чувствительностью и ограничением подвижности. Эти признаки и симптомы нужно дифференцировать с распространенными травмами опорно-двигательного аппарата. Остеосаркомы могут вызывать боль в ночное время, патологические переломы и вывихи суставов, однако эти симптомы встречаются нечасто. Из-за агрессивной природы рака костей точная диагностика имеет решающее значение для эффективного и окончательного лечения.

Лучевые методы диагностики необходимо назначать при наличии постоянной или повторяющейся боли в костях или отека мягких тканей без признаков травмы, для ускорения и уточнения постановки диагноза.[6]. Уид сообщил, что если рентгенография была сделана при первом посещении, то задержка в постановке диагноза составляла в среднем восемь недель по сравнению с девятнадцатью неделями, если рентгенография не была сделана.

Таким образом, при дифференциальной диагностике остеосаркомы необходимо клиническое обследование и лучевые методы

исследования [7]. Затем проводится гистологическое исследование опухоли и необходимые дополнительные лабораторные процедуры для постановки окончательного диагноза. Тем не менее, прежде чем подвергать пациента какой-либо инвазивной процедуре, у специалистов должен быть рабочий диагноз или список возможных дифференциальных диагнозов. Однако, прежде чем подвергать пациента какой-либо инвазивной процедуре, специалисты должны поставить предварительный диагноз или составить список возможных дифференциальных диагнозов.

Задержку между появлением первых симптомов у пациента и первым визитом к врачу, возможно, невозможно изменить, но сокращение периода от первого медицинского осмотра до постановки точного диагноза — единственный способ сократить общую задержку.

Widhe B et al. также указали, что одним из факторов несвоевременной диагностики остеосаркомы заключается в том, что лечение по другому диагнозу продолжается слишком долго несмотря на то, что клиническая картина не соответствует ожидаемой при первоначальном диагнозе. Этот фактор имеет решающее значение, поскольку он может привести к ухудшению прогноза и значительным потерям [6].

4. Выводы

Остеосаркому клинически может имитировать другие, более распространённые заболевания опорно-двигательного аппарата. Повышение выживаемости пациентов с остеосаркомой во многом зависит от способности клиницистов распознать заболевание на ранней стадии своевременно назначить адекватное лечение.

Если на ранней стадии любого костного отёка в нетипичной локализации заподозрить остеосаркому, это значительно снизит риск постановки ошибочного диагноза. Такой подход позволит сохранить конечность с полным удалением очага поражения и запасом здоровой ткани, сохранив при этом основные структуры и суставные поверхности для поддержания стабильности и функциональности плеча.

Представленный нами случай остеосаркома правой плечевой кости доказывает необходимость тщательного обследования пациентов в отделениях лучевой диагностики. Недиагностированная остеосаркома имеет неблагоприятный исход, может стать причиной развития метастазов и других серьезных осложнений.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирования не было.

Вклад авторов: Концептуализация – С.Л.; методология – С.Е.; проверка – С.Л., С.Е.; формальный анализ – С.Л., С.Е., А.А.; написание (оригинальная черновая подготовка) – С.Е.; написание (обзор и редактирование) – С.Л., С.Е.

Литература

1. Булычева, И. В., Рогожин, Д. В., Кушлинский, Н. Е., Соловьев, Ю. Н., Рощин, В. Ю., Казакова, А. Н., & Алиев, М. Д. (2015). Классическая остеосаркома. *Вестник российских университетов. Математика*, 20(1), 130-136. <https://cyberleninka.ru/article/n/klassicheskaya-osteosarkoma/viewer>
1. Bulycheva, I. V., Rogozhin, D. V., Kushlinskij, N. E., Solov'ev, Ju. N., Roshhin, V. Ju., Kazakova, A. N., & Aliev, M. D. (2015). Klassicheskaja osteosarkoma (Classical osteosarcoma). [in Russian]. *Vestnik rossijskih universitetov. Matematika*, 20(1), 130-136. <https://cyberleninka.ru/article/n/klassicheskaya-osteosarkoma/viewer>
2. Kansara, M., Teng, M. W., Smyth, M. J., & Thomas, D. M. (2014). *Translational biology of osteosarcoma. Nature reviews. Cancer*, 14(11), 722–735. <https://doi.org/10.1038/nrc3838>
3. Тулеуова, Д.А., Серикбаев, Г.А., Курманалиев, А.К., Пысанова, Ж.У., Елекбаев, А.М. (2022). Клинико-эпидемиологическая характеристика сарком костей в Республике Казахстан в 2010-2019 гг. *Онкология и радиология Казахстана*, 1 (63), 17-24. <https://doi.org/10.52532/2521-6414-2022-1-63-17-24>
3. Tuleuova, D.A., Serikbaev, G.A., Kurmanaliev, A.K., Pysanova, Zh.U., Elekbaev, A.M. (2022). Kliniko-jepidemiologicheskaja harakteristika sarkom kostej v Respublike Kazahstan v 2010-2019 gg. (Clinical and epidemiological characteristics of bone sarcomas in the Republic of Kazakhstan in 2010-2019) [in Russian]. *Onkologija i radiologija Kazahstana*, 1 (63), 17-24. <https://doi.org/10.52532/2521-6414-2022-1-63-17-24>
4. Валиев, А. К., Тепляков, В. В., Мусаев, Э. Р., Рогожин, Д. В., Сушенцов, Е. А., Мачак, Г. Н., ... & Федосеенко, Д.И. (2022). Практические рекомендации по лечению первичных злокачественных опухолей костей. *Злокачественные опухоли*, 12(3S2-1), 307-329. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2022-12-332-307-329>
4. Valiev, A. K., Tepljakov, V. V., Musaev, Je. R., Rogozhin, D. V., Sushencov, E. A., Machak, G. N., ... & Fedoseenko, D.I. (2022). Prakticheskie rekomendacii po lecheniju pervichnyh zlokachestvennyh opuholej kostej (Practical recommendations for the treatment of primary malignant bone tumors) [in Russian]. *Zlokachestvennye opuholi*, 12(3S2-1), 307-329. <https://doi.org/10.18027/2224-5057-2022-12-332-307-329>
5. Niu, X., Xu, H., Inwards, C. Y., Li, Y., Ding, Y., Letson, G. D., & Bui, M. M. (2015). Primary Bone Tumors: Epidemiologic Comparison of 9200 Patients Treated at Beijing Ji Shui Tan Hospital, Beijing, China, With 10 165 Patients at Mayo Clinic, Rochester, Minnesota. *Archives of pathology & laboratory medicine*, 139(9), 1149–1155. <https://doi.org/10.5858/arpa.2014-0432-OA>

6. Widhe, B., & Widhe, T. (2000). Initial symptoms and clinical features in osteosarcoma and Ewing sarcoma. *The Journal of bone and joint surgery. American volume*, 82(5), 667–674. <https://doi.org/10.2106/00004623-200005000-00007>
7. Thomas, B. P., Sasi, K., Pallapati, S. C., Mathew, A., Sreekanth, R., & Thomas, M. (2011). Malignant tumours of the hand and wrist. *Indian journal of plastic surgery : official publication of the Association of Plastic Surgeons of India*, 44(2), 337–347. <https://doi.org/10.4103/0970-0358.85355>

Клиникалық жағдай: Иық сүйегінің остеосаркомасын диагностикалаудың күрделілігі

[Спичак Л.В.](#) ¹, [Серикбаева Е.Н.](#) ², [Айменова А.К.](#) ³

¹ Сәулелік диагностика бөлімінің меңгерушісі, Академик Н.Ж. Батпенов атындағы травматология және ортопедия ұлттық ғылыми орталығы, Астана, Қазақстан

² Радиолог дәрігер, Академик Н.Ж. Батпенов атындағы травматология және ортопедия ұлттық ғылыми орталығы, Астана, Қазақстан

³ Радиолог резидент, Академик Н.Ж. Батпенов атындағы травматология және ортопедия ұлттық ғылыми орталығы, Астана, Қазақстан

Түйіндеме

Остеосаркома жылына миллион адамға 1-3 жағдайдан келетін сүйектердің қатерлі ісігі. Остеосаркома кез келген жаста кездесуі мүмкін, бірақ көбінесе балалар мен жасөспірімдерде байқалады, сондай-ақ аурушаңдықтың төмен шегі 60 жастан асқан егде жастағы адамдарда тіркеледі.

Бұл мақалада 65 жастағы әйел пациенттің клиникалық жағдайын ұсынамыз, ол алғашында остеомиелит ретінде емделген, кейін «иық сүйегінің остеосаркомасы» диагнозы қойылған. Остеосаркома сәулелік зерттеу әдістері – рентгенография, ультрадыбыстық зерттеу, компьютерлік томография және магниттік-резонанстық томография арқылы анықталады.

Ересектерде остеосаркома барлық жағдайлардың 1%-ын құрайды, бұл аурудың сирек кездесетіндігі және остеомиелитке ұқсас спецификалық емес белгілеріне байланысты диагностиканың күрделілігін көрсетеді. Сондықтан мұндай жағдайларда остеосаркома басқа себептер жоққа шығарылғанға дейін негізгі дифференциалды диагноздардың бірі ретінде қарастырылуы керек.

Түйін сөздер: остеосаркома, иық сүйегінің остеосаркомасы, остеомиелит, ересектердегі остеосаркома, радиология.

Case Report: Diagnostic challenges in humeral osteosarcoma

[Lyudmila Spichak](#) ¹, [Yevgeniya Serikbayeva](#) ², [Azhar Aimenova](#) ³

¹ Head of the Department of Radiation Diagnostics, National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician Batpenov N.D., Astana, Kazakhstan

² Radiologist, National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician Batpenov N.D., Astana, Kazakhstan

³ Radiology resident, National Scientific Center of Traumatology and Orthopedics named after Academician Batpenov N.D., Astana, Kazakhstan

Abstract

Osteosarcoma is a malignant bone tumor with an incidence of 1–3 cases per million people annually. While it can occur at any age but is most common in children and adolescents, with a secondary, lower incidence peak in individuals over 60 years.

We present a clinical case of a 65-year-old female initially treated for osteomyelitis before being diagnosed with osteosarcoma of the humerus. The diagnosis was confirmed using radiological methods, including X-ray, ultrasound, computed tomography (CT), and magnetic resonance imaging (MRI).

Osteosarcoma in adults accounts for approximately 1% of all cases, highlighting diagnostic challenges due to its rarity and nonspecific symptoms mimicking osteomyelitis. Therefore, osteosarcoma should be considered a primary differential diagnosis in such cases until proven otherwise.

Keywords: osteosarcoma, humeral osteosarcoma, osteomyelitis, adult osteosarcoma, radiology.