

ANESTHESIOLOGICAL CHALLENGES IN ROBOTIC SURGERY

Dnipro State Medical University (Dnipro, Ukraine)

resuscitation9@gmail.com

Robotic surgery holds a leading position among modern minimally invasive methods, enabling complex surgical procedures to be performed with high precision. However, its use is accompanied by several anesthesiological difficulties. The Trendelenburg position and pneumoperitoneum lead to an increase in systemic vascular resistance, mean arterial pressure, and intracranial pressure, a decrease in lung compliance, and the development of hypercapnia and acidosis. In patients with concomitant pathologies (obesity, COPD, cardiovascular diseases), these changes become clinically significant and may complicate the course of anesthesia. Additional risks include endotracheal tube displacement, upper airway edema, rhabdomyolysis during prolonged lithotomy position, and hypothermia due to the duration of surgery. A significant problem is the limited intraoperative access to the patient after docking the robot, which requires careful fixation of all respiratory and vascular pathways during the preparation stage.

The aim of the study was to summarize current literature data on physiological changes associated with robotic interventions and to identify the main strategies for their anesthesiological support.

Analysis of the sources showed that safe performance of operations requires an individualized approach to anesthesiological support: correction of ventilation modes, targeted control of infusion therapy, prevention of hypothermia, and extended intraoperative monitoring.

Thus, timely detection and correction of potential complications caused by the patient's position, pneumoperitoneum, and the duration of the intervention are key factors in improving the safety and effectiveness of robotic surgery.

Key words: anesthesiology, robotic surgery, general anesthesia, pneumoperitoneum, Trendelenburg position, perioperative period, hemodynamics, intraoperative monitoring, anesthesia complications, infusion therapy.

Connection of the publication with planned research works.

The work is part of the scientific work of the Department of Anesthesiology, Intensive Care, and Emergency Medicine of the Dnipro State Medical University "Development and improvement of technologies to enhance the safety of anesthesia, pain management, and individualized intensive care in critically ill patients," state registration number 0123U104848.

Introduction.

The path to the use of minimally invasive surgical methods has been long, beginning in 1805 when Boccini first attempted to examine the urethra using a simple tube and candle. The next important step was Kelling's use of pneumoperitoneum in 1901. And in 1988, Philippe Mouret performed the first full laparoscopic cholecystectomy [1, 2, 3].

Thanks to the development of laparoscopic surgery, it has been possible to improve and refine surgical procedures significantly: reduce blood loss, reduce tissue trauma, and decrease the number of postoperative complications and the level of pain [1, 4, 5].

The active development of robotic surgery began in the 1990s as a military project that enabled surgeons to operate on wounded soldiers remotely on the battlefield. However, since then, robotic surgery has gained popularity among civilian specialists and has been introduced in almost all areas of surgery: from general surgery to urological, gynecological, cardiological interventions, and transplantology [6, 7]. In 2023, the first fully robotic liver transplant was reported [8].

In 2012, the use of robotic surgery in general surgery accounted for only 1.8% of all procedures, but by 2018, this figure had risen to 15.1% [6, 9]. According to the English National Health Service, the proportion of robotic surgery used for radical prostatectomy increased from

5% in 2006 to 88% of all prostatectomies performed in 2018 [10]. In Poland in 2023, 55% of 9,147 prostate cancer surgeries, 13% of 6,309 uterine cancer surgeries, and 7% of 14,203 colon cancer surgeries were performed with robots [11, 12].

Robotic surgery is attractive for several reasons: like laparoscopic surgery, it offers smaller incisions, improved visibility of the surgical field, including high-resolution 3D imaging, lower risk of infection, shorter hospital stays, and faster recovery times [6, 13, 14]. In addition, unlike laparoscopic surgery, robotic surgery offers the advantage of increased range of motion, allowing for more precise instrument manipulation and eliminating the effects of hand tremors. Increased flexibility allows for more precise dissection during surgery [6, 15, 16, 17, 18, 19].

Laparoscopy and robotic surgery, as their technical pinnacle, allow for the most complex technical surgical interventions and are the method of choice in patients who, under other conditions, could be considered inoperable, such as obese patients. These techniques reduce the length of hospital stays and promote the development of outpatient surgery [1, 20, 21].

The primary disadvantage of robotic surgery is its high cost, ranging from \$1.5 to \$2.5 million, with maintenance costs accounting for up to 10% of the robot's cost, and the cost of consumables and instruments comprising nearly a third of the average total cost [22]. However, despite this, there is hope that the use of robotic surgery will reduce healthcare costs by decreasing the number of complications, lowering the risk of nosocomial infections, and shortening hospital stays, which in turn will decrease the utilisation of hospital resources [6, 9].

For anesthesiologists, robotic surgery is associated with several challenges, including proper patient selection, patient positioning during surgery (such as steep or

reverse Trendelenburg), longer duration of pneumoperitoneum, especially in the early stages of operator training, and limited access to the patient after robot docking [22, 23].

As the clinical possibilities of laparoscopic and robotic surgery expand, surgical procedures become more complex and involve a cohort of the most severely ill patients, anesthesiologists face new challenges.

The aim of the study.

To analyze and summarize current literature data on anesthesiological challenges that arise in patients during robotic surgical interventions and to identify ways to overcome them.

Main part.

Patient positioning.

Proper patient positioning should ensure safe docking of the robot and adequate access to the robot's arms and ports for the surgical assistant. Robotic surgery depends on creating and maintaining the best possible field of view for the surgeon, which is achieved in part by positioning the patient so that unused organs are moved away from the surgical site [24, 25].

For bariatric surgery, cholecystectomy, and other procedures on the upper abdomen, the anti-Trendelenburg position is used, which involves raising the head and lowering the legs. For prostatectomy, hysterectomy, and other operations on the lower abdomen, patients are placed in the Trendelenburg position, which means that for most of the operation, the patient will be lying with their head down. The steep Trendelenburg position is defined as a position with the head lowered by 30-40°. For colectomy, nephrectomy, and other operations on the middle part of the abdominal cavity, the operating table may remain in a neutral position [1, 6, 26, 27].

From an anesthesiological perspective, it is essential to understand the physiological impact of the patient's position on various organs and systems. The use of the reverse Trendelenburg position with a robotic system positioned above the patient's head increases the risk of head and neck injuries, can lead to persistent hypotension due to venous stasis, and increases the risk of deep vein thrombosis of the lower extremities. The specifics of the impact of the Trendelenburg position on physiological functions are presented in the table [6, 23, 24, 28, 29, 30, 31, 32, 33].

In addition to the physiological changes, the Trendelenburg position has many physical consequences, such as tracheal displacement, resulting in a change in the position of the endotracheal tube with intubation of the main bronchus, edema of the supraglottic structures and upper airways, which may cause stridor or difficulty breathing after extubation, which will require reintubation. Other negative consequences include post-operative corneal abrasion and possible loss of vision, confusion of the patient during positioning, and high venous pressure in the earlobe, which must be considered when placing a pulse oximeter. To avoid these negative effects, a careful preoperative assessment of the patient's ability to tolerate the position is necessary, for example, in patients with severe pulmonary disease (COPD), severe obesity, glaucoma. Addition-

al safety measures should be taken, including ensuring facial visibility throughout the procedure, securing the endotracheal tube, considering naso- or orogastric tube placement, using goal-directed fluid management, providing adequate eye protection, ensuring pressure points are cushioned, attaching the pulse oximeter to the finger, and avoiding extreme positions with an inclination of >30° [24, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39].

Lithotomy for more than 2 hours is associated with an increased risk of nerve injury. In addition, rhabdomyolysis has been reported in patients undergoing radical prostatectomy for more than 5 hours in the lithotomy position [24, 32].

Pneumoperitoneum.

Pneumoperitoneum is achieved by infusing gas into the abdominal cavity. Many different gases have been investigated for the induction of pneumoperitoneum, including room air, oxygen (O₂), nitrous oxide (NO), and carbon dioxide (CO₂). CO₂ has been shown to be the safest option because the risk of gas embolism is lower than with O₂ and room air due to its higher resorption rate. There is an increased risk of intra-abdominal fire with nitrous oxide if the NO is mixed with methane produced by the intestine [1, 40, 41].

CO₂ in the abdominal cavity is resorbed into the bloodstream over time. Abdominal CO₂ absorption depends on factors such as intra-abdominal pressure, the site of CO₂ injection, and the stage of the surgical procedure. Extraperitoneal CO₂ insufflation, which is used in laparoscopic prostatectomy, has been shown to be resorbed much more rapidly than intra-abdominal CO₂ absorption [42].

Carbon dioxide absorption increases during the induction of pneumoperitoneum and then reaches a plateau, with a brief increase during the release of pneumoperitoneum at the end of the procedure due to increased venous return with decreased intra-abdominal pressure. The resorbed CO₂ is transported to the lungs and exhaled along with the carbon dioxide produced during gas exchange [43, 44].

The use of pneumoperitoneum can cause various ventilation problems. Because, during its use, total lung capacity and functional residual capacity decrease. It is

Table – Physiological changes due to the influence of the Trendelenburg position

System	Physiological changes
Cardiovascular system	<ul style="list-style-type: none"> • Increase in systemic vascular resistance • Increase in myocardial oxygen demand • Increase in mean arterial pressure • Decrease in renal, portal and abdominal blood flow
Respiratory system	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilation and perfusion mismatch • Increased peak airway pressure • Decreased functional residual lung capacity, vital capacity, and compliance • Possible occurrence of pulmonary congestion or edema • Hypercapnia • Respiratory acidosis
Central nervous system	<ul style="list-style-type: none"> • Increased intracranial pressure • Increased cerebral blood flow
Endocrine system	<ul style="list-style-type: none"> • Activation of the renin-angiotensin system • Release of catecholamines
Changes from other systems	<ul style="list-style-type: none"> • Increased intraocular pressure • Gastroesophageal reflux • Venous air embolism • Neuropraxia • Facial edema

worth remembering that general anesthesia with muscle relaxants alone reduces residual lung capacity by 20%. These changes indicate that there are areas of the lung that are perfusion-free but not ventilated, which in turn leads to reduced oxygenation and reduced CO₂ exchange [1, 37, 45]. In addition, pneumoperitoneum increases the stiffness of the chest wall and respiratory system. Lestar et al. reported a significant decrease in lung compliance from 60 ml/cm H₂O to 28 ml/cm H₂O during robotic-assisted laparoscopic prostatectomy [46]. Similar results were obtained by Kalmar et al. [47]. This decrease leads to increased inspiratory pressures with the risk of developing barotrauma (pneumothorax) [1, 45].

Since the partial pressure of CO₂ is a determinant of acid-base status, ventilation adjustment is necessary to prevent hypercapnia and acidosis. Minute ventilation should be increased to 15% to meet the respiratory demands resulting from increased CO₂ resorption [1, 43].

If ventilation adjustment is not possible, surgeons should be asked to reduce intra-abdominal pressure or stop the flow of CO₂ for a few minutes. Otherwise, hypoventilation leads to hypercapnia and acidosis. Increased pCO₂ and acidosis lead to cerebral vasodilation, which in turn increases cerebral blood flow and intracranial pressure (ICP). This can be fatal in patients with already elevated ICP. Acidosis leads to pulmonary vasoconstriction, leading to increased pulmonary vascular resistance with increased right-to-left shunting, which can lead to decompensation in patients with right ventricular heart failure [44]. Therefore, it is vital to continuously monitor gas exchange, acid-base homeostasis, and final pCO₂ in patients undergoing robotic surgery.

Since the partial pressure of CO₂ is a determinant of acid-base status, ventilation adjustment is necessary to prevent hypercapnia and acidosis. Minute ventilation should be increased to 15% to meet the respiratory demands resulting from increased CO₂ resorption [1, 43].

If ventilation adjustment is not possible, surgeons should be asked to reduce intra-abdominal pressure or stop the flow of CO₂ for a few minutes. Otherwise, hypoventilation leads to hypercapnia and acidosis. Increased pCO₂ and acidosis lead to cerebral vasodilation, which in turn increases cerebral blood flow and intracranial pressure (ICP). This can be fatal in patients with already elevated ICP. Acidosis leads to pulmonary vasoconstriction, leading to increased pulmonary vascular resistance with increased right-to-left shunting, which can lead to decompensation in patients with right ventricular heart failure [44]. Therefore, it is vital to always monitor gas exchange, acid-base homeostasis, and final pCO₂ in patients undergoing robotic surgery.

Development of unintentional hypothermia.

Robotic surgery typically takes longer than similar procedures performed laparoscopically. The operative time for robotic procedures depends on factors such as the surgical team's experience and the robot's docking time. Due to the duration of robotic procedures, patients are at greater risk of developing unintentional hypothermia and should be protected from it with warming devices [11].

Limited patient access.

One of the main challenges that anesthesiologists face during robot-assisted surgery is the limited access to the patient, as well as the restricted area of the an-

aesthesia workstation. The surgical robot occupies a large area in the operating room, typically positioned directly next to the operating table. Another problem is that once the robotic arms are deployed and the instruments are inserted into the patient's body, they cannot be easily moved or removed, so it is important to ensure the patient's safety before the robot starts working. The endotracheal tube, intravenous lines, drains, arterial line, and patient monitoring devices must be secured in a way that minimizes the risk of disconnection or kinking throughout the procedure. In addition, it is necessary to ensure easy access to the drug injection site [6, 11].

Features of kidney and liver function.

Abdominal blood flow is inversely correlated with intra-abdominal pressure. When intra-abdominal pressure increases and exceeds the arterial pressure in the abdominal arteries, renal and hepatic perfusion is impaired and venous outflow is reduced. Reduced renal blood flow results in a decreased glomerular filtration rate, accompanied by decreased urine output and elevated creatinine levels. Optimising fluid therapy may help mitigate this effect. Therefore, the anesthesiologist should carefully monitor the patient's intravascular volume status, as well as perioperative diuresis and renal function [48, 49].

If hepatic blood flow or venous outflow is reduced, hepatic dysfunction and elevated liver enzymes may occur. In patients with normal liver function, these effects are usually transient and not associated with any complications. However, if patients already have documented liver dysfunction or severe and prolonged elevation of intra-abdominal pressure, liver function should be a subject of special attention for the anesthesiologist [50, 51].

Conclusions.

1. Robotic surgery expands the possibilities for surgeons and patients, but for the anesthesiologist it creates specific difficulties related to the patient's position, the duration of pneumoperitoneum and limited intraoperative access to patients.

2. Trendelenburg position in combination with the use of pneumoperitoneum causes a complex of changes in the cardiovascular, respiratory, nervous and other systems, in particular, it increases the risk of developing hypercapnia, acidosis, therefore there is a need for careful selection of patients and dynamic extended intraoperative monitoring.

3. Patients undergoing robotic surgical interventions require individualized anesthetic care with careful monitoring of ventilation and hemodynamics, optimization of infusion therapy and prevention of potential complications, which will increase patient safety.

Prospects for further research.

The data obtained can be used to improve recommendations for optimizing anesthetic management and increasing patient safety during robotic surgery. Further research should be directed towards the development of standardized protocols for ventilation, infusion therapy, monitoring, and prevention of complications when using robotic surgery.

АНЕСТЕЗІОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ У РОБОТИЗОВАНІЙ ХІРУРГІЇ

Дніпровський державний медичний університет (м. Дніпро, Україна)

resuscitation9@gmail.com

Роботизована хірургія посідає провідне місце серед сучасних малоінвазивних методів та дозволяє виконувати складні оперативні втручання з високою точністю. Проте її застосування супроводжується низкою анестезіологічних труднощів. Положення Тренделенбурга та пневмоперитонеум спричиняють підвищення системного судинного опору, середнього артеріального й внутрішньочерепного тиску, зниження комплаєнсу легень, розвиток гіперкапнії та ацидозу. У пацієнтів із супутньою патологією (ожиріння, ХОЗЛ, серцево-судинні захворювання) ці зміни набувають клінічної значущості та можуть ускладнювати перебіг анестезії. Додаткові ризики включають зміщення ендотрахеальної трубки, набряк верхніх дихальних шляхів, рабдоміоліз при тривалому літотомічному положенні, а також гіпотермію через тривалість операції. Суттєвою проблемою є обмежений інтраопераційний доступ до пацієнта після стикування робота, що вимагає ретельної фіксації всіх дихальних і судинних шляхів на етапі підготовки.

Метою роботи було узагальнити сучасні літературні дані щодо фізіологічних змін, пов'язаних із проведенням роботизованих втручань, та визначити основні стратегії їхнього анестезіологічного супроводу.

Аналіз джерел показав, що безпечне виконання операцій потребує індивідуалізованого підходу до анестезіологічного забезпечення: корекції вентиляційних режимів, цільового контролю інфузійної терапії, профілактики гіпотермії та розширеного інтраопераційного моніторингу.

Таким чином, своєчасне виявлення та корекція потенційних ускладнень, зумовлених положенням пацієнта, пневмоперитонеумом і тривалістю втручання, є ключовими умовами підвищення безпеки та ефективності роботизованої хірургії.

Ключові слова: анестезіологія, роботизована хірургія, загальна анестезія, пневмоперитонеум, положення Тренделенбурга, периопераційний період, гемодинаміка, інтраопераційний моніторинг, ускладнення анестезії, інфузійна терапія.

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.

Робота є фрагментом наукової роботи кафедри анестезіології, інтенсивної терапії та медицини невідкладних станів ФПО Дніпровського державного медичного університету «Розробка та удосконалення технологій підвищення безпеки анестезії, лікування болю та індивідуалізованої інтенсивної терапії у пацієнтів в критичних станах», номер державної реєстрації 0123U104848.

Вступ.

Шлях до застосування малоінвазивних хірургічних методів є довгим і бере свій початок з 1805 року, коли Боцціні вперше спробував дослідити уретру за допомогою простої трубки та свічки. Наступним важливим етапом стало застосування Келлінгом пневмоперитонеуму у 1901 році. А вже у 1988 році Філіпом Муре було проведено першу повноцінну лапароскопічну холецистектомію [1, 2, 3].

Завдяки розвитку лапароскопічної хірургії вдалося значно вдосконалити та поліпшити оперативні втручання: зменшити об'єм крововтрати, зменшити обсяг травматизації тканин, знизити кількість післяопераційних ускладнень та рівень болю [1, 4, 5].

Активний розвиток роботизованої хірургії почався у 1990-х роках, як військовий проект, що дозволяв хірургам дистанційно оперувати поранених солдатів безпосередньо на полі бою, однак з того часу роботизована хірургія набула популярності і серед цивільних спеціалістів та була впроваджена в майже усі напрямки хірургії: від загальної хірургії до урологічних, гінекологічних, кардіологічних втручань та трансплантології [6, 7]. У 2023 році повідомлялось про

вперше проведену повну роботизовану трансплантацію печінки [8].

У 2012 році в галузі загальної хірургії використання роботизованої хірургії становило лише 1,8% усіх процедур, проте до 2018 року цей показник зріс до 15,1% [6, 9]. За даними англійської Національної служби охорони здоров'я частка роботизованої хірургії, що використовується для радикальної простатектомії, зросла з 5% у 2006 році до 88% усіх простатектомій, виконаних у 2018 році [10]. У Польщі у 2023 році було виконано за допомогою роботів 55% з 9147 операцій з приводу раку простати, 13% з 6309 операцій з приводу раку матки та 7% з 14203 операцій з приводу раку товстої кишки [11, 12].

Роботизована хірургія приваблива з кількох причин: як і лапароскопічна хірургія, вона пропонує менші розрізи, покращує видимість оперативного поля, включаючи тривимірне зображення високої роздільної здатності, нижчий ризик інфекції, коротший термін перебування в лікарні та швидший період одужання [6, 13, 14]. Крім того, на відміну від лапароскопічної хірургії, роботизована хірургія має перевагу у підвищенні діапазону рухів завдяки збільшеній можливості здійснення маніпуляцій інструментами та усунення впливу тремору рук. Підвищена маневреність дозволяє проводити більш точну дисекцію під час операції [6, 15, 16, 17, 18, 19].

Лапароскопія та роботизована хірургія, як її технічна вершина, дозволяють реалізувати найскладніші технічні оперативні втручання та є методом вибору у пацієнтів, що за інших умов могли б розглядатися як неоперабельні, наприклад пацієнти з ожирінням. Ці методики дозволяють зменшити тривалість пере-

бування у стаціонарі та сприяють розвитку амбулаторної хірургії [1, 20, 21].

Основним недоліком роботизованої хірургії є її висока вартість, що коливається від 1,5 до 2,5 мільйонів доларів США, до того ж вартість обслуговування може сягати 10% від вартості самого робота, а вартість витратних матеріалів та інструментів становить майже третину від середньої загальної вартості [22]. Однак не зважаючи на це є надія, що використання роботизованої хірургії дозволить скоротити витрати на охорону здоров'я за рахунок зменшення кількості ускладнень, зниження ризику внутрішньо лікарняних інфекцій, скорочення тривалості перебування у стаціонарі, що в свою чергу дозволить зменшити використання ресурсів лікарні [6, 9].

Для анестезіолога роботизована хірургія пов'язана з такими труднощами: правильний відбір пацієнтів, положення пацієнта під час оперативного втручання (крутий або зворотний Тренделенбург), довша тривалість пневмоперитонеуму, особливо на початковому етапі навчання оператора, та обмежений доступ до пацієнта після стикування робота [22, 23].

Оскільки, клінічні можливості лапароскопічної та роботизованої хірургії розширюються, оперативні втручання стають складнішими та охоплюють когорту найтяжчих пацієнтів, перед анестезіологом постають нові виклики.

Мета дослідження.

Провести аналіз та узагальнення сучасних літературних даних щодо анестезіологічних викликів, що виникають у пацієнтів під час проведення роботизованих хірургічних втручань та визначити шляхи їх подолання.

Основна частина.

Положення пацієнта.

Правильне положення пацієнта має забезпечувати безпеку стикування робота та належний доступ до рук та портів робота для хірургічного асистента. Роботизована хірургія залежить від створення та підтримки найкращого можливого поля зору для хірурга, що досягається частково шляхом позиціонування пацієнта таким чином, щоб незадіяні органи віддалилися від місця операції [24, 25].

Для баріатричної хірургії, холецистектомії та інших процедур на верхній частині черевної порожнини використовується положення анти-Тренделенбурга, яке передбачає підняття голови та опускання ніг. Для простатектомії, гістеректомії та інших операцій на нижній частині черевної порожнини пацієнти вкладаються у положення Тренделенбурга це означає, що протягом більшої частини операції пацієнт буде перебувати з опущеною головою. Круте положення Тренделенбурга визначається як положення з опущеною головою на 30-40°. Для колектомії, нефректомії та інших операцій на середній частині черевної порожнини операційний стіл може залишатися в нейтральному положенні [1, 6, 26, 27].

З анестезіологічної точки зору важливо розуміти фізіологічний вплив положення пацієнта на різні органи та системи. Використання положення анти-Тренделенбур-

га з роботизованою системою, що розташовується над головою пацієнта збільшує ризик травм голови та шиї, може призвести до стійкої гіпотензії, через венозний застій, підвищує ризик тромбозу глибоких вен нижніх кінцівок. Особливості впливу положення Тренделенбурга на фізіологічні функції представлені у таблиці [6, 23, 24, 28, 29, 30, 31, 32, 33].

Окрім фізіологічних змін положення Тренделенбурга має низку фізичних наслідків, таких як зміщення трахеї, як наслідок зміна положення ендотрахеальної трубки з інтубацією головного бронха, набряк надгортанних структур та верхніх дихальних шляхів, через що після екстубації можуть виникнути стридор або утруднене дихання, що буде потребувати реінтубації. Інші негативні наслідки включають: післяопераційну абразію рогівки та можливу втрату зору, зміщення пацієнта під час позиціонування, високий венозний тиск у мочці вуха, що необхідно враховувати при розміщенні пульсоксиметра. Для запобігання цим негативним впливам потрібно проводити ретельну передопераційну оцінку здатності пацієнта переносити положення, наприклад, у пацієнтів з тяжким захворюванням легень (ХОЗЛ), тяжким ожирінням, глаукомою. Необхідно вжити додаткових заходів безпеки, а саме забезпечити видимість обличчя впродовж всього оперативного втручання, надійно зафіксувати ендотрахеальну трубку, розглянути можливість встановлення назо- або орогастрального зонда, застосовувати цільове керування рідиною (goal-directed fluid management), забезпечити надійний захист очей, переконатися, що точки тиску мають м'яку підкладку, закріпити пульсоксиметр на пальці, уникати екстримальних положень з нахилом >30° [24, 32, 34, 35, 36, 37, 38, 39].

Літотомічне положення більше 2 годин пов'язане з підвищеним ризиком травматизації нервів. Окрім того, при проведенні радикальних простатектомій тривалістю понад 5 годин у літотомічному положенні були зафіксовані випадки рабдоміолізу [24, 32].

Пневмоперитонеум.

Пневмоперитонеум досягається шляхом введення газу в черевну порожнину. Для індукції пневмоперитонеуму було досліджено багато різних газів,

Таблиця – Фізіологічні зміни впливу положення Тренделенбурга

Система	Фізіологічні зміни
Серцево-судинна система	<ul style="list-style-type: none"> • Підвищення системного судинного опору • Збільшення потреби міокарда в кисні • Підвищення середнього артеріального тиску • Зниження ниркового, порталного та черевного кровотоку
Дихальна система	<ul style="list-style-type: none"> • Невідповідність вентиляції та перфузії • Зростання пікового тиску у дихальних шляхах • Зниження функціональної залишкової ємності легень, життєвої ємності, піддатливості • Можливе виникнення застійних явищ або набряку легень • Гіперкапнія • Респіраторний ацидоз
Центральна нервова система	<ul style="list-style-type: none"> • Підвищення внутрішньочерепного тиску • Збільшення мозкового кровотоку
Ендокринна система	<ul style="list-style-type: none"> • Активація ренін-ангіотензинової системи • Вивільнення катехоламінів
Зміни з боку інших систем	<ul style="list-style-type: none"> • Підвищення внутрішньоочного тиску • Гастроезофагальний рефлюкс • Венозна повітряна емболія • Невропраксія • Набряк обличчя

включаючи кімнатне повітря, кисень (O_2), закис азоту (NO) та вуглекислий газ (CO_2). CO_2 виявився найбезпечнішим варіантом, оскільки ризик газової емболії нижчий, ніж для O_2 та кімнатного повітря, завдяки вищій швидкості резорбції. При використанні закису азоту існує підвищений ризик внутрішньочеревного загоряння, якщо NO змішується з метаном, що виробляється кишківником [1, 40, 41].

CO_2 у черевній порожнині, з часом резорбується в кровоток. Абдомінальна резорбція CO_2 залежить від таких факторів як внутрішньочеревинний тиск, місце введення CO_2 та етапу оперативного втручання. Існують дані, що екстраперитонеальна інсуфляція CO_2 , яка використовується при лапароскопічній простатектомії, резорбується набагато швидше, ніж внутрішньочеревинна резорбція CO_2 [42].

Резорбція вуглекислого газу зростає під час індукції пневмоперитонеуму і далі досягає періоду плато, повторне короткочасне зростання можливе під час вивільнення пневмоперитонеуму в кінці процедури через збільшення венозного повернення зі зниженням внутрішньочеревного тиску. Резорбований CO_2 транспортується до легень і видихається разом з вуглекислим газом, що утворюється в процесі газообміну [43, 44].

Через використання пневмоперитонеум можуть виникати різні проблеми з вентиляцією. Тому що під час його застосування зменшується загальна ємність легень, а також знижується функціональна залишкова ємність. Варто пам'ятати, що сама по собі загальна анестезія з використанням міорелаксантів зменшує залишкову ємність легень на 20%. Ці зміни вказують на те, що є ділянки легень, де є перфузія, але не має вентиляції, що в свою чергу призводить до зниження оксигенації та зниження обміну CO_2 [1, 37, 45]. Окрім того, пневмоперитонеум підвищує жорсткість грудної стінки та дихальної системи. Lestar та співавт. повідомили про значне зниження легеневого комплаєнсу з 60 мл/см H_2O до 28 мл/см H_2O під час роботизованої асистованої лапароскопічної простатектомії [46]. Подібні результати були отримані Kalmar та співавт. [47]. Це зниження призводить до підвищення інспіраторних тисків із ризиком розвитку баротравми (пневмотораксу) [1, 45].

Оскільки парціальний тиск CO_2 є визначальним фактором кислотно-лужного стану, для запобігання гіперкапнії та ацидозу необхідно коригування вентиляції. Хвилину вентиляцію необхідно збільшити до 15%, щоб задовільнити дихальні потреби, які виникають внаслідок збільшення резорбції CO_2 [1, 43].

У випадку якщо корекція вентиляції неможлива, хірургів слід попросити зменшити внутрішньочеревний тиск або зупинити потік CO_2 на кілька хвилин. В іншому випадку гіповентиляція призводить до гіперкапнії та ацидозу. Підвищений pCO_2 та ацидоз призводять до вазодилатації судин головного мозку, а потім до збільшення мозкового кровотоку та внутрішньочеревного тиску (ВЧТ). Це може бути фатальним для пацієнтів з уже підвищеним ВЧТ. Ацидоз призводить до легеневої вазоконстрикції, що призводить до підвищення опору легневих судин зі збільшенням право-лівого шунта, що може призвести до декомпенсації у пацієнтів з правошлуночною серцевою недостатністю [44]. Тому життєво важливо у пацієнтів яким проводяться роботизовані хірургічні втручання

завжди контролювати газообмін, кислотно-лужний гомеостаз та кінцевий рівень pCO_2 .

Розвиток ненавмисної гіпотермії.

Роботизована хірургія зазвичай триває довше, ніж аналогічні процедури, що виконуються лапароскопічно. Час операції під час роботизованих процедур залежить від таких факторів, як досвід хірургічної команди та час стикування робота. Через тривалість роботизованих процедур пацієнти мають більший ризик розвитку ненавмисної гіпотермії, тому їх слід захищати від неї за допомогою нагрівальних пристроїв [11].

Обмежений доступ до пацієнтів.

Однією з головних проблем, з якими стикається анестезіолог під час робот-асистованої хірургії, є відсутність доступу до пацієнта, а також обмежена площа анестезіологічного робочого місця. Хірургічний робот займає велику площу в операційній, найчастіше безпосередньо поруч з операційним столом. Ще одна проблема полягає в тому, що після розгортання роботизованих рук і введення інструментів у тіло пацієнта їх не можна легко перемістити або видалити, тому важливо забезпечити безпеку пацієнта перед початком роботи робота. Ендотрахеальна трубка, внутрішньовенні доступи, дренажі, артеріальна лінія та пристрої моніторингу пацієнта повинні бути закріплені таким чином, щоб мінімізувати ризик від'єднання або перегину протягом всієї процедури. Крім того, необхідно забезпечити легкий доступ до місця введення ліків [6, 11].

Особливості функції нирок та печінки.

Кровоток у черевній порожнині обернено корелює з внутрішньочеревним тиском. Коли внутрішньочеревний тиск підвищується та перевищує артеріальний тиск у черевних артеріях, перфузія у нирках та печінці, порушується, а венозний відтік зменшується. Зниження ниркового кровотоку призводить до зниження клубочкової фільтрації зі зменшенням секреції сечі та підвищенням рівня креатиніну. Оптимізація інфузійної терапії може допомогти пом'якшити цей ефект. Тому для анестезіолога повинен ретельно контролювати стан внутрішньосудинного об'єму, а також периопераційний діурез та функцію нирок пацієнта [48, 49].

Якщо кровоток до печінки або венозний відтік знижений, можна спостерігати печінкову дисфункцію та підвищення рівня печінкових ферментів. У пацієнтів з нормальною функцією печінки ці ефекти здебільшого є тимчасовими та не пов'язані з будь-якими ускладненнями. Однак якщо у пацієнтів вже є зафіксовані порушення функції печінки або сильне та тривале підвищення внутрішньочеревного тиску, функція печінки повинна бути предметом особливої уваги для анестезіолога [50, 51].

Висновки.

1. Роботизована хірургія розширює можливості для хірургів та пацієнтів, однак для анестезіолога створює певні труднощі, що пов'язані з положенням пацієнта, тривалістю пневмоперитонеуму та обмеженим інтраопераційним доступом до пацієнтів.

2. Положення Тренделенбурга у поєднанні із застосуванням пневмоперитонеуму викликають комплекс змін зі сторони серцево-судинної, дихальної, нервової та інших систем, зокрема підвищує ризик розвитку гіперкапнії, ацидозу, тому виникає потреба

у ретельному відборі пацієнтів та динамічному розширеному інтраопераційному моніторингу.

3. Пацієнти у яких виконуються роботизовані оперативні втручання потребують індивідуалізованого анестезіологічного забезпечення з ретельним контролем вентиляції і гемодинаміки, оптимізацією інфузійної терапії та профілактикою потенційних ускладнень, що дозволить підвищити безпеку пацієнтів.

Перспективи подальших досліджень.

Отримані дані можуть бути використані для удосконалення рекомендацій щодо оптимізації анестезіологічного супроводу та підвищення рівня безпеки у пацієнтів під час роботизованих оперативних втручань. Подальші дослідження необхідно спрямувати у напрямку розробки стандартизованих протоколів вентиляції, інфузійної терапії, моніторингу та профілактики ускладнень при використанні роботизованої хірургії.

References / Література

- Hottenrott S, Schlesinger T, Helmer P, Meybohm P, Alkatout I, Kranke P. Do Small Incisions Need Only Minimal Anesthesia?-Anesthetic Management in Laparoscopic and Robotic Surgery. *J Clin Med*. 2020;9(12):4058. DOI: [10.3390/jcm9124058](https://doi.org/10.3390/jcm9124058).
- Walshaw J, Huo B, McClean A, Gajos S, Kwan JY, Tomlinson J, et al. Innovation in gastrointestinal surgery: the evolution of minimally invasive surgery - a narrative review. *Front Surg*. 2023;10:1193486. DOI: [10.3389/fsurg.2023.1193486](https://doi.org/10.3389/fsurg.2023.1193486).
- Erlinger S. A history of research into the physiology of bile, from Hippocrates to molecular medicine. *Clin Liver Dis (Hoboken)*. 2022;20(1):33-44. DOI: [10.1002/cld.1266](https://doi.org/10.1002/cld.1266).
- Vretzakis G, Bareka M, Aretha D, Karanikolas M. Regional anesthesia for laparoscopic surgery: a narrative review. *J Anesth*. 2014;28(3):429-446. DOI: [10.1007/s00540-013-1736-z](https://doi.org/10.1007/s00540-013-1736-z).
- Wang D, Dong T, Shao Y, Gu T, Xu Y, Jiang Y. Laparoscopy versus open appendectomy for elderly patients, a meta-analysis and systematic review. *BMC Surg*. 2019;19(1):54. DOI: [10.1186/s12893-019-0515-7](https://doi.org/10.1186/s12893-019-0515-7).
- Tameze Y, Low YH. Outpatient Robotic surgery: Considerations for the Anesthesiologist. *Adv Anesth*. 2022;40(1):15-32. DOI: [10.1016/j.aan.2022.06.001](https://doi.org/10.1016/j.aan.2022.06.001).
- George EI, Brand TC, LaPorta A, Marescaux J, Satava RM. Origins of Robotic Surgery: From Skepticism to Standard of Care. *JLS*. 2018;22(4):e2018.00039. DOI: [10.4293/JLS.2018.00039](https://doi.org/10.4293/JLS.2018.00039).
- Duarte A, Katerenchuk V, Poeira R, Rocha P, Pissarra F, Canas M, et al. Anesthesia management for total robotic liver transplantation: Inaugural case series in Europe. *Ann Hepatobiliary Pancreat Surg*. 2025;29(1):88-94. DOI: [10.14701/ahbps.24-170](https://doi.org/10.14701/ahbps.24-170).
- Sheetz KH, Clafin J, Dimick JB. Trends in the Adoption of Robotic Surgery for Common Surgical Procedures. *JAMA Netw Open*. 2020;3(1):e1918911. DOI: [10.1001/jamanetworkopen.2019.18911](https://doi.org/10.1001/jamanetworkopen.2019.18911).
- Maynou L, Pearson G, McGuire A, Serra-Sastre V. The diffusion of robotic surgery: Examining technology use in the English NHS. *Health Policy*. 2022;126(4):325-336. DOI: [10.1016/j.healthpol.2022.02.007](https://doi.org/10.1016/j.healthpol.2022.02.007).
- Barud M, Turek B, Dąbrowski W, Siwicka D. Anesthesia for robot-assisted surgery: a review. *Anaesthesiol Intensive Ther*. 2025;57(1):99-107. DOI: [10.5114/ait.203168](https://doi.org/10.5114/ait.203168).
- Kubiak M, Doniec J, Grasso SV, Gumbs A, Mohammadi AN, Sędlak K, et al. Quality over quantity-current challenges of robotic surgery in Poland. *J Robot Surg*. 2025;19(1):258. DOI: [10.1007/s11701-025-02423-0](https://doi.org/10.1007/s11701-025-02423-0).
- Lee JR. Anesthetic considerations for robotic surgery. *Korean J Anesthesiol*. 2014;66(1):3-11. DOI: [10.4097/kjae.2014.66.1.3](https://doi.org/10.4097/kjae.2014.66.1.3).
- Mishra P, Gupta B, Nath A. Anesthetic considerations and goals in robotic pediatric surgery: a narrative review. *J Anesth*. 2020;34(2):286-293. DOI: [10.1007/s00540-020-02738-2](https://doi.org/10.1007/s00540-020-02738-2).
- Newman RM, Umer A, Bozzuto BJ, Dilungo JL, Ellner S. Surgical Value of Elective Minimally Invasive Gallbladder Removal: A Cost Analysis of Traditional 4-Port vs Single-Incision and Robotically Assisted Cholecystectomy. *J Am Coll Surg*. 2016;222(3):303-308. DOI: [10.1016/j.jamcollsurg.2015.12.016](https://doi.org/10.1016/j.jamcollsurg.2015.12.016).
- Alotaibi WM. Anesthesia experience of pediatric robotic surgery in a University Hospital. *J Robot Surg*. 2019;13(1):141-146. DOI: [10.1007/s11701-018-0834-1](https://doi.org/10.1007/s11701-018-0834-1).
- Ashrafian H, Clancy O, Grover V, Darzi A. The evolution of robotic surgery: surgical and anaesthetic aspects. *Br J Anaesth*. 2017;119(1):i72-i84. DOI: [10.1093/bja/aex383](https://doi.org/10.1093/bja/aex383).
- Finotti M, D'Amico F, Mulligan D, Testa G. A narrative review of the current and future role of robotic surgery in liver surgery and transplantation. *Hepatobiliary Surg Nutr*. 2023;12(1):56-68. DOI: [10.21037/hbsn-21-115](https://doi.org/10.21037/hbsn-21-115).
- Wong DJ, Wong MJ, Choi GH, Wu YM, Lai PB, Goh BKP. Systematic review and meta-analysis of robotic versus open hepatectomy. *ANZ J Surg*. 2019;89(3):165-170. DOI: [10.1111/ans.14690](https://doi.org/10.1111/ans.14690).
- Herling SF, Dreijer B, Wrist Lam G, Thomsen T, Møller AM. Total intravenous anaesthesia versus inhalational anaesthesia for adults undergoing transabdominal robotic assisted laparoscopic surgery. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;4(4):CD011387. DOI: [10.1002/14651858.CD011387.pub2](https://doi.org/10.1002/14651858.CD011387.pub2).
- Grossmann NC, Aschwanden FJ, Cornelius J, Malkmus C, Zahiti L, Viktorin P, et al. Impact of patient positioning during surgery on neuropathies after robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: a randomised controlled trial. *BJU Int*. 2025;135(5):802-809. DOI: [10.1111/bju.16623](https://doi.org/10.1111/bju.16623).
- Suryawanshi CM, Shah B, Khanna S, Ghodki P, Bhati K, Ashok KV. Anaesthetic management of robot-assisted laparoscopic surgery. *Indian J Anaesth*. 2023;67(1):117-122. DOI: [10.4103/ija.ija_966_22](https://doi.org/10.4103/ija.ija_966_22).
- Pathirana S, Kam P. Anaesthetic issues in robotic-assisted minimally invasive surgery. *Anaesth Intensive Care*. 2018;46(1):25-35. DOI: [10.1177/0310057X1804600105](https://doi.org/10.1177/0310057X1804600105).
- Souki FG, Rodriguez-Blanco YF, Polu SR, Eber S, Candiotti KA. Survey of anesthesiologists' practices related to steep Trendelenburg positioning in the USA. *BMC Anesthesiol*. 2018;18(1):117. DOI: [10.1186/s12871-018-0578-5](https://doi.org/10.1186/s12871-018-0578-5).
- Mills JT, Burris MB, Warburton DJ, Conaway MR, Schenkman NS, Krupski TL. Positioning injuries associated with robotic assisted urological surgery. *J Urol*. 2013;190(2):580-584. DOI: [10.1016/j.juro.2013.02.3185](https://doi.org/10.1016/j.juro.2013.02.3185).
- Yamasaki K, Fujii K, Kohjimoto Y, Matsuda K, Iwamoto H, Kawai M, et al. Lower extremity pain and/or numbness after laparoscopic surgery and robot-assisted surgery in the lithotomy position combined with the Trendelenburg position. *J Anesth*. 2024;38(6):821-827. DOI: [10.1007/s00540-024-03399-1](https://doi.org/10.1007/s00540-024-03399-1).
- Bjørø B, Ballestad I, Rustøen T, Fosmark MH, Bentsen SB. Positioning patients for robotic-assisted surgery: A qualitative study of operating room nurses' experiences. *Nurs Open*. 2023;10(2):469-478. DOI: [10.1002/nop.2.1312](https://doi.org/10.1002/nop.2.1312).
- Bjørø B, Mykkeltveit I, Rustøen T, Candas Altinbas B, Røise O, Bentsen SB. Intraoperative peripheral nerve injury related to lithotomy positioning with steep Trendelenburg in patients undergoing robotic-assisted laparoscopic surgery - A systematic review. *J Adv Nurs*. 2020;76(2):490-503. DOI: [10.1111/jan.14271](https://doi.org/10.1111/jan.14271).
- Falcão LFDR, Battisti FPL, Oliveira Júnior IS, Ferez D. Alteração da função pulmonar em cirurgia laparoscópica com pneumoperitônio e elevação da parede abdominal. *Braz J Anesthesiol*. 2018;68(2):215-216. DOI: [10.1016/j.bjan.2017.08.004](https://doi.org/10.1016/j.bjan.2017.08.004).
- Goel N, Chowdhury I, Dubey J, Mittal A, Pathak S. Quantitative rise in intraocular pressure in patients undergoing robotic surgery in steep Trendelenburg position: A prospective observational study. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*. 2020;36(4):546-551. DOI: [10.4103/joacp.JOACP_96_20](https://doi.org/10.4103/joacp.JOACP_96_20).

31. Kato T, Kurazumi T, Konishi T, Takko C, Ogawa Y, Iwasaki KI. Effects of -10° and -30° head-down tilt on cerebral blood velocity, dynamic cerebral autoregulation, and noninvasively estimated intracranial pressure. *J Appl Physiol* (1985). 2022;132(4):938-946. DOI: [10.1152/jappphysiol.00283.2021](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00283.2021).
32. Arvizo C, Mehta ST, Yunker A. Adverse events related to Trendelenburg position during laparoscopic surgery: recommendations and review of the literature. *Curr Opin Obstet Gynecol*. 2018;30(4):272-278. DOI: [10.1097/GCO.0000000000000471](https://doi.org/10.1097/GCO.0000000000000471).
33. Chen K, Wang L, Wang Q, Liu X, Lu Y, Li Y, et al. Effects of pneumoperitoneum and steep Trendelenburg position on cerebral hemodynamics during robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy: A randomized controlled study. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(21):e15794. DOI: [10.1097/MD.00000000000015794](https://doi.org/10.1097/MD.00000000000015794).
34. Ozcan MF, Akbulut Z, Gurdal C, Tan S, Yildiz Y, Bayraktar S, et al. Does steep Trendelenburg positioning effect the ocular hemodynamics and intraocular pressure in patients undergoing robotic cystectomy and robotic prostatectomy?. *Int Urol Nephrol*. 2017;49(1):55-60. DOI: [10.1007/s11255-016-1449-y](https://doi.org/10.1007/s11255-016-1449-y).
35. Lebowitz P, Yedlin A, Hakimi AA, Bryan-Brown C, Richards M, Ghavamian R. Respiratory gas exchange during robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *J Clin Anesth*. 2015;27(6):470-475. DOI: [10.1016/j.jclinane.2015.06.001](https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2015.06.001).
36. Savarkar SD, Bakshi SG, Thosar RV, Sareen R. Shoulder soreness due to shoulder braces following robotic surgery in steep Trendelenburg position. *Saudi J Anaesth*. 2016;10(3):363-364. DOI: [10.4103/1658-354X.174909](https://doi.org/10.4103/1658-354X.174909).
37. Aceto P, Beretta L, Cariello C, Claroni C, Esposito C, Forastiere EM, et al. Joint consensus on anesthesia in urologic and gynecologic robotic surgery: specific issues in management from a task force of the SIAARTI, SIGO, and SIU. *Minerva Anestesiologica*. 2019;85(8):871-885. DOI: [10.23736/S0375-9393.19.13360-3](https://doi.org/10.23736/S0375-9393.19.13360-3).
38. Ciccone MA, Hom MS, Morocco EB, Munderspach LI, Matsuo K. Prolonged intubation after robotic-assisted hysterectomy for endometrial cancer: Case reports. *Gynecol Oncol Rep*. 2018;25:106-108. DOI: [10.1016/j.gore.2018.06.005](https://doi.org/10.1016/j.gore.2018.06.005).
39. Xue S, Wang D, Tu HQ, Gu XP, Ma ZL, Liu Y, et al. The effects of robot-assisted laparoscopic surgery with Trendelenburg position on short-term postoperative respiratory diaphragmatic function. *BMC Anesthesiol*. 2024;24(1):92. DOI: [10.1186/s12871-024-02463-3](https://doi.org/10.1186/s12871-024-02463-3).
40. Oti C, Mahendran M, Sabir N. Anaesthesia for laparoscopic surgery. *Br J Hosp Med (Lond)*. 2016;77(1):24-28. DOI: [10.12968/hmed.2016.77.1.24](https://doi.org/10.12968/hmed.2016.77.1.24).
41. Yu T, Cheng Y, Wang X, Tu B, Cheng N, Gong J, et al. Gases for establishing pneumoperitoneum during laparoscopic abdominal surgery. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;6(6):CD009569. DOI: [10.1002/14651858.CD009569.pub3](https://doi.org/10.1002/14651858.CD009569.pub3).
42. Dal Moro F, Crestani A, Valotto C, Guttilla A, Soncin R, Mangano A, et al. Anesthesiologic effects of transperitoneal versus extraperitoneal approach during robot-assisted radical prostatectomy: results of a prospective randomized study. *Int Braz J Urol*. 2015;41(3):466-472. DOI: [10.1590/S1677-5538.IBJU.2014.0199](https://doi.org/10.1590/S1677-5538.IBJU.2014.0199).
43. Bachh MD, Farooq N, Gillani YM. Metabolic effects of carbon dioxide insufflation during laparoscopic surgery: changes in pH, arterial partial pressure of carbon dioxide (PaCO₂) and end tidal carbon dioxide (EtCO₂). *National Journal of Medical Research*. 2022;12(01):3-6. DOI: [10.55489/njmr.12012022893](https://doi.org/10.55489/njmr.12012022893).
44. Manici M, Aykanat IC, Simsek D, Tarim K, Gurkan Y, Canda AE. Anesthesiological and surgical perspectives on using 8 mmHg versus 12 mmHg pneumoperitoneum pressures during robotic radical prostatectomy: Results of a prospective randomized study. Robotik radikal prostatektomide 8 mmHg ve 12 mmHg pnömoperiton basınçlarının karşılaştırılması: Anesteziolojik ve cerrahi perspektiften prospektif randomize kontrollü çalışma. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*. 2024;30(6):430-436. DOI: [10.14744/ujtes.2024.78617](https://doi.org/10.14744/ujtes.2024.78617).
45. Lee HJ, Chae JS, An SM, Oh HW, Kim YJ, Woo JH. Strategy to Reduce Hypercapnia in Robot-Assisted Radical Prostatectomy Using Transcutaneous Carbon Dioxide Monitoring: A Prospective Observational Study. *Ther Clin Risk Manag*. 2022;18:249-258. DOI: [10.2147/TCRM.S347690](https://doi.org/10.2147/TCRM.S347690).
46. Lestar M, Gunnarsson L, Lagerstrand L, Wiklund P, Odeberg-Werner S. Hemodynamic perturbations during robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy in 45° Trendelenburg position. *Anesth Analg*. 2011;113(5):1069-1075. DOI: [10.1213/ANE.0b013e3182075d1f](https://doi.org/10.1213/ANE.0b013e3182075d1f).
47. Kalmar AF, Foubert L, Hendrickx JF, Mottrie A, Absalom A, Mortier EP, et al. Influence of steep Trendelenburg position and CO₂ pneumoperitoneum on cardiovascular, cerebrovascular, and respiratory homeostasis during robotic prostatectomy. *Br J Anaesth*. 2010;104(4):433-439. DOI: [10.1093/bja/aeq018](https://doi.org/10.1093/bja/aeq018).
48. Kopitkó C, Medve L, Gondos T, Soliman KMM, Fülöp T. Mediators of Regional Kidney Perfusion during Surgical Pneumo-Peritoneum Creation and the Risk of Acute Kidney Injury-A Review of Basic Physiology. *J Clin Med*. 2022;11(10):2728. DOI: [10.3390/jcm11102728](https://doi.org/10.3390/jcm11102728).
49. Høyer S, Mose FH, Ekeløf P, Jensen JB, Bech JN. Hemodynamic, renal and hormonal effects of lung protective ventilation during robot-assisted radical prostatectomy, analysis of secondary outcomes from a randomized controlled trial. *BMC Anesthesiol*. 2021;21(1):200. DOI: [10.1186/s12871-021-01401-x](https://doi.org/10.1186/s12871-021-01401-x).
50. Cheng ZJ, Wang YB, Chen L, Gong JP, Zhang W. Effects of Different Levels of Intra-Abdominal Pressure on the Postoperative Hepatic Function of Patients Undergoing Laparoscopic Cholecystectomy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Surg Laparosc Endosc Percutan Tech*. 2018;28(5):275-281. DOI: [10.1097/SLE.0000000000000525](https://doi.org/10.1097/SLE.0000000000000525).
51. Baksh SA, Muhammad S, Parvez U, Shirazi B, Khan MA. Impact of the Laparoscopic Approach on Liver Function Tests: Comparison of Elective Biliary and Non-biliary Procedures. *Cureus*. 2025;17(3):e81500. DOI: [10.7759/cureus.81500](https://doi.org/10.7759/cureus.81500).

АНЕСТЕЗІОЛОГІЧНІ ВИКЛИКИ У РОБОТИЗОВАНІЙ ХІРУРГІЇ

Пліс М. О., Царьов О. В.

Резюме. Одним з головних етапів розвитку сучасної хірургії є впровадження малоінвазивних технологій, які дозволили оптимізувати оперативні втручання зокрема знизити об'єм крововтрати, зменшити травматизацію тканин та скоротити період відновлення. Роботизовані хірургічні системи є технологічною вершиною сьогодення, завдяки їх застосуванню розширюються можливості візуалізації та інтраопераційних маніпуляцій. Однак, не зважаючи на численні переваги, роботизовані втручання ставлять перед анестезіологами нові виклики, що пов'язані з положенням пацієнта, пневмоперитонеумом та обмеженим інтраопераційним доступом.

Метою роботи було провести аналіз та узагальнення сучасних літературних даних щодо анестезіологічних викликів, що виникають у пацієнтів під час проведення роботизованих хірургічних втручань та визначити шляхи їх подолання.

У статті узагальнені дані сучасних клінічних досліджень, у яких вивчався вплив положення Тренделенбурга та анти-Тренделенбурга, пневмоперитонеуму, тривалості втручань, гіпотермії, особливостей доступу до пацієнта, а також змін функції нирок та печінки у ході роботизованих оперативних втручань. Встановлено, що положення Тренделенбурга, особливо у комбінації з пневмоперитонеумом зумовлює комплексні фізіологічні зміни, а саме підвищення системного судинного опору, середнього артеріального тиску та внутрішньочерепного тиску, супроводжується зниженням комплаєнсу легень, розвитком гіперкапнії та ацидозу. Саме тому пацієнти з серцево-судинними захворюваннями, ожирінням, ХОЗЛ потребують особливої уваги на етапі підготовки до оперативного втручання. Важливими складовими моніторингу мають бути оцінка гемодинаміки, газообміну та кислотно-лужного стану. Оптимізація інфузійної терапії дозволяє зменшити негативний вплив

підвищеного внутрішньочеревного тиску на ниркову та печінкову функцію. Обмежений доступ до пацієнта вимагає ретельної фіксації інтубаційної трубки і судинних доступів ще до початку роботи робота.

Тому анестезіологічний супровід роботизованого оперативного лікування вимагає ретельного відбору пацієнтів та застосування індивідуалізованих стратегій інтраопераційного ведення, що дозволить підвищити профіль безпеки та знизити ризик ускладнень.

Ключові слова: анестезіологія, роботизована хірургія, загальна анестезія, пневмоперитонеум, положення Тренделенбурга, периопераційний період, гемодинаміка, інтраопераційний моніторинг, ускладнення анестезії, інфузійна терапія.

ANESTHESIOLOGICAL CHALLENGES IN ROBOTIC SURGERY

Plis M. O., Tsarev A. V.

Abstract. One of the key stages in the development of modern surgery is the introduction of minimally invasive technologies, which have made it possible to optimize surgical interventions, in particular by reducing blood loss, minimizing tissue trauma, and shortening the recovery period. Robotic surgical systems represent the technological pinnacle of today, as their use expands the possibilities of visualization and intraoperative manipulations. However, despite numerous advantages, robotic interventions present anesthesiologists with new challenges associated with patient positioning, pneumoperitoneum, and limited intraoperative access.

The aim of this study was to analyze and summarize modern literature data regarding anesthesiological challenges encountered in patients during robotic surgical procedures and to identify ways to overcome them.

The article summarizes data from contemporary clinical studies that examined the impact of the Trendelenburg and reverse Trendelenburg positions, pneumoperitoneum, duration of surgery, hypothermia, peculiarities of patient access, as well as changes in renal and hepatic function during robotic operations. It has been established that the Trendelenburg position, especially in combination with pneumoperitoneum, induces complex physiological changes, namely increased systemic vascular resistance, mean arterial pressure, and intracranial pressure, accompanied by decreased lung compliance, development of hypercapnia, and acidosis. Therefore, patients with cardiovascular diseases, obesity, or COPD require special attention during preoperative preparation. Essential components of monitoring include assessment of hemodynamics, gas exchange, and acid-base status. Optimization of infusion therapy helps reduce the negative impact of increased intra-abdominal pressure on renal and hepatic function. Limited access to the patient necessitates careful fixation of the endotracheal tube and vascular access prior to the initiation of robotic surgery.

Thus, anesthesiological management of robotic surgical treatment requires careful patient selection and the use of individualized intraoperative strategies, which will enhance safety and reduce the risk of complications.

Key words: anesthesiology, robotic surgery, general anesthesia, pneumoperitoneum, Trendelenburg position, perioperative period, hemodynamics, intraoperative monitoring, anesthesia complications, infusion therapy.

ORCID and contributionship / ORCID кожного автора та їх внесок до статті:

Plis M. O.: <https://orcid.org/0009-0008-2721-4160>^{BCD}

Tsarev A. V.: <https://orcid.org/0000-0002-2611-604X>^{AEF}

Conflict of interest / Конфлікт інтересів:

The authors declare no conflict of interest. / Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Corresponding author / Адреса для кореспонденції

Tsarev Aleksander Volodymyrovych / Царьов Олександр Володимирович
Dnipro State Medical University / Дніпровський державний медичний університет
Ukraine, 49000, Dnipro, 9 Volodymyr Vernadsky str. / Адреса: Україна, 49000, м. Дніпро, вул. Володимира Вернадського 9
Tel.: 0637933755 / Тел.: 0637933755
E-mail: resuscitation9@gmail.com

A – Work concept and design, **B** – Data collection and analysis, **C** – Responsibility for statistical analysis, **D** – Writing the article, **E** – Critical review, **F** – Final approval of the article / **A** – концепція роботи та дизайн, **B** – збір та аналіз даних, **C** – відповідальність за статичний аналіз, **D** – написання статті, **E** – критичний огляд, **F** – остаточне затвердження статті.

Received 25.04.2025 / Стаття надійшла 25.04.2025 року
Accepted 14.08.2025 / Стаття прийнята до друку 14.08.2025 року