



복강경수술과 로봇수술의 마취관리

손근숙 · 김재환* | 고려대학교 의과대학 마취통증의학교실

Anesthetic management for laparoscopic surgery and robotic surgery

Keun-Sook Sohn, MD · Jae-Hwan Kim, MD*

Department of Anesthesiology and Pain Medicine, Korea University College of Medicine, Seoul, Korea

*Corresponding author: Jae-Hwan Kim, E-mail: anejhkim@korea.ac.kr

Received May 31, 2012 · Accepted June 14, 2012

The advent of minimally invasive surgery has provided many benefits to patients including less trauma, less pain, quicker recovery, and shorter hospital stays. A typical example of a minimally invasive surgery technique is laparoscopic surgery. Intraperitoneal insufflation of carbon dioxide is a routine procedure for creating pneumoperitoneum for accurate visualization and operative manipulation during laparoscopic surgery. However, pneumoperitoneum resulted in ventilatory, respiratory, and hemodynamic changes. Along with these changes, the patient position for the operation complicated anesthetic management. An understanding of these pathophysiologic consequences associated with laparoscopic surgery is important in anesthetic management. Robotic surgery was developed to alleviate the disadvantages of laparoscopic surgery. The advantages of computer-assisted robotic surgery include improved operative field visibility with a three dimensional imaging system and improved control of fine movement. However, the huge size of the robot itself unavoidably invades the anesthetic work space and may impair access to the patient. In addition, repositioning of a patient is almost impossible once the robot has been stationed for surgery. With the innovation of scientific technology, new surgical and anesthetic techniques are being developed for patient care. Anesthesiologists need to be aware of this fast changing surgical field and scientific technology and how it affects anesthetic management.

Keywords: Anesthesia; Laparoscopy; Robotics; Surgery

서 론

학기술의 발전은 의학분야에도 영향을 끼쳐 임상에서 환자에게 시행되는 의료기술의 많은 발전과 변화를 초래하고 있다. 의학분야의 장비와 기술의 발전은 수술분야에 최소침습수술이 가능하게 하였는데 복강경수술이 그 대표적인 예이다. 개복수술에 비해 복강경수술은 절개부위가 작아

통증이 심하지 않고, 회복이 빨라 일찍 퇴원할 수 있게 되어 의학적 비용을 절감하게 하였고 직장으로의 복귀가 빨라 사회적 이득을 증가시켰다. 그러나 복강경수술은 환자의 밀폐된 공간에 이산화탄소를 주입하여 공기배증(pneumoperitoneum)을 만들어 수술시야를 확보해야 되기 때문에 복압의 상승을 초래하고 이에 따른 환기와 호흡변화, 심혈관계 변화 등의 생리적 변화와 수술을 위한 환자의 자세 변화로 인한 혈역학적

변화 등을 초래하여 기존의 마취환자 관리에 비해 많은 변화와 어려움을 초래하였다. 최근에는 수술분야에 컴퓨터 보조로봇수술시스템이 도입되면서 기존의 복강경수술의 장점 외에 3차원적인 시야확보와 정밀한 수술 조작이 가능해지는 장점이 추가되게 되었다. 하지만 로봇수술 역시 수술시야 확보를 위해 필요한 이산화탄소 공기배증과 환자의 자세변화로 야기되는 복강경수술의 호흡기 및 심혈관계의 생리적 변화를 극복하지는 못하였고, 일단 로봇시스템이 장착되면 해제되기 전까지 마취통증의학과 의사의 환자로의 접근을 어렵게 하기 때문에 마취환자관리에 더욱 많은 주의와 어려움을 초래하게 되었다. 현재 로봇수술은 일부 대학병원과 종합병원에서만 실시되고 있으나 로봇수술의 종류가 점차 다양해지고 있어 마취통증의학과 의사들은 안전한 환자관리를 위해 복강경수술뿐만 아니라 로봇수술에 대한 충분한 지식을 가지고 적절한 마취계획을 세울 수 있어야 할 것이다.

공기배증에 의한 호흡기 변화

복강경수술과 로봇수술은 복부수술 시 복강이란 밀폐된 공간에 가스를 주입하여 수술시야를 확보해야 하기 때문에 복압의 상승을 피할 수 없다. 따라서 마취통증의학과 의사들은 공기배증을 만들고 복강 내에 기구를 넣는 과정에 익숙해야 하며 복압상승에 따른 병태생리와 시술 과정에 의한 합병증도 잘 파악하고 있어야 한다. 복강경수술을 위한 공기배증의 초기에는 20 mmHg 이상의 높은 복압을 사용하였으나 1990년대 이후에는 15 mmHg 이하의 낮은 복압을 사용하여 합병증과 부작용을 줄이고 있다.

공기배증을 만들면 가슴폐탄성이 감소하게 되는데, 보통 환자의 경우 30%, 비만환자의 경우 50%까지 감소한다. 또한 가로막의 상승으로 인하여 기능적잔기용량은 감소하고 무기폐는 증가하고, 기도압의 증가로 인하여 폐환기와 관류의 분포가 달라질 수 있다[1]. 공기배증을 만들 때는 주로 이산화탄소를 사용하기 때문에 수술 도중 동맥혈 이산화탄소 분압(PaCO_2)이 점차 상승하게 되는데 15-30분이 지나면 더 이상 상승하지 않고 정점지속에 이르게 된다. PaCO_2 증가의 주된 원인은 주입된 이산화탄소의 흡수이며 그 외에 복부

팽만, 환자의 자세, 기계환기로 인한 폐환기와 관류 장애 등 다른 요인도 관련된다. 환자가 얇고 건강한 경우 폐환기나 관류분포가 변하거나 PaCO_2 가 상승해도 잘 견딜 수 있지만, 심혈관계나 호흡기에 문제가 있는 환자의 경우에는 문제가 될 수도 있으므로 적절한 기계적 조절환기를 통해 PaCO_2 를 생리적인 범위 내로 유지하여야 한다. 이산화탄소 피하기종과 같은 특수한 경우가 아니면 폐포환기를 10%에서 25% 정도 증가시키면 PaCO_2 의 상승을 쉽게 교정할 수 있는데 주로 일회호흡량 보다는 분당 호흡수를 늘린다.

이산화탄소 공기배증은 여러 호흡기 합병증을 유발할 수 있다. 이산화탄소가 복강 밖으로 잘못 주입될 경우에는 이산화탄소 피하기종이 발생할 수 있다[2]. 호기말 이산화탄소 분압($P_{\text{ET}}\text{CO}_2$)이 정점지속을 이룬 다음 혹은 이산화탄소 주입 후 30분이 지난 후에도 $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 가 25% 이상 계속 증가하면 항상 피하기종을 생각해야 한다. 피하기종이 발생하면 환기조절로 고이산화탄소증을 교정하는데 잘 교정되지 않으면 일시적으로 수술을 정지하고 고이산화탄소증을 교정한 다음 낮은 압력으로 수술을 다시 시작한다. 이산화탄소 주입을 중지하면 피하기종은 쉽게 해결이 된다.

공기배증을 만드는 동안 가스 이동으로 인하여 기흉, 종격동기종, 공기심장막증 등의 합병증이 발생할 수 있다[3,4]. 이때는 가슴폐탄성과 기도압력이 증가하고 PaCO_2 , $P_{\text{ET}}\text{CO}_2$ 가 증가한다. 가슴의 청진과 엑스레이로 확인할 수 있으며 폐 손상 없이 기흉이 발생했으면 가슴에 튜브를 넣지 않아도 30-60분 안에 소멸이 되므로 호기말양압으로 치료가 가능하다. 그러나 큰 공기집이 파열되어 기흉이 발생했다면 반드시 가슴에 튜브를 넣어야 한다. 공기배증 시 가로막이 머리 쪽으로 이동하고 기관용골(carina)이 머리 쪽으로 밀려 기관 튜브가 기관지로 들어가는 기관지내 삽관이 일어나기도 한다[5]. 복강경수술 중 동맥혈 산소분압(PaO_2)은 크게 변하지 않으나 환가와 관류의 불균형이 심해지거나 기관지내 삽관이 일어나면 저산소혈증이 나타난다.

드물게 가스색전증이 발생할 수도 있는데 주사바늘이나 뚫개(trocår)를 직접 혈관 내에 끊거나 복부 장기 내에 가스를 주입할 때 발생한다[6]. 이전에 복부수술을 받은 과거력이 있는 환자에서 가스색전증이 잘 발생한다. 이산화탄소



색전증의 초기에는 $P_{ET}CO_2$ 가 갑자기 상승하지만 이산화탄소의 양이 많아지면 $P_{ET}CO_2$ 가 감소하게 되는데 돌아오는 정맥혈이 막혀 심박출량이 감소하고 심하면 순환허탈이 일어날 수도 있다. 이산화탄소 색전증이 발생하면 즉시 가스주입을 정지하고 공기배증을 해제하고 환자의 머리를 낮춘다. 100% 산소로 과환기를 시키면 저산소증도 교정되고 색전의 크기도 줄어든다. 이러한 방법으로 증상이 호전되지 않으면 중심정맥카테터나 폐동맥카테터를 넣어 가스를 흡인해야 하며 필요 시 심폐소생술도 실시해야 한다.

공기배증에 의한 심혈관 변화

공기배증, 자세 변화, 마취, 고이산화탄소증 등의 복합적 영향으로 혈역학적 변화가 일어날 수 있다. 건강한 환자에서 10 mmHg 이상의 공기배증을 유도하면 혈류역학의 변화가 유발될 수 있다[7]. 대부분 공기배증으로 대정맥이 높리게 되어 심장으로 돌아오는 혈액량이 감소하고 심박출량이 감소하며[8] 혈액이 다리에 고이고[9] 정맥저항은 증가하게 된다[10]. 심박출량의 감소는 복압의 증가에 비례하는데 환자의 머리를 낮게 하거나 높이면 심박출량이 10~30% 감소한다. 심박출량의 감소는 복장 내에 공기를 주입하는 초기에 일어나며 서서히 안정상태를 유지하게 된다. 심박출량의 감소는 공기배증을 유도하기 전에 미리 수액을 주입하여 순환혈액량을 증가시키면 그 정도를 감소시킬 수 있다. 환자의 다리를 공기압박장치나 탄력붕대로 감싸서 혈액이 고이지 않도록 하는 것도 한 방법이다.

좌심실의 박출율은 복압이 15 mmHg로 증가해도 별로 감소하지 않는다. 환자의 자세에 따라 전신혈관저항의 증가가 영향을 받는데 머리를 낮춘 자세에서는 이 증가가 약화되고 머리를 높인 자세에서는 악화된다. 정상적인 심장은 이러한 후부하의 증가를 잘 견딜 수 있지만 심장질환이 있는 환자에게는 위험할 수 있다. 전신혈관 저항의 증가는 nitroglycerine [11] 같이 직접 혈관을 확장시키는 약제를 사용하거나 clonidine이나[12] dexmedetomidine [13] 같은 α_2 -아드레날린 작용제나 β -아드레날린 차단제를[14] 사용하여 교정할 수 있다. 또한 고용량의 remifentanil을 마취제로 사용하여

혈역학적 변화를 방지할 수도 있다[15].

복강경수술 시 종종 부정맥이 발생하는데 $PaCO_2$ 의 증가는 부정맥과 직접적인 관련은 없으며 $PaCO_2$ 가 높지 않은 공기배증 초기에도 발생할 수 있다. 부정맥은 주로 복막을 갑자기 당기거나 내부 장기를 전기 응고할 때 반사적으로 미주 신경긴장도가 증가해서 나타나는데 느린맥, 부정맥, 심정지 등이 발생할 수 있다. 혈중 이산화탄소나 카테콜아민이 증가하면 빈맥이 나타나기도 한다. 마취가 너무 얕거나 β -아드레날린 차단제를 사용하는 환자의 경우 미주신경자극이 심화되어 심한 서맥이 나타날 수 있는데 치료는 공기배증을 해제하고, atropine을 주사하며, 심장박동이 회복되면 마취를 깊게 한다. 부정맥은 대부분 혈역학적 변화가 심한 가스주입 초기에 발생하는데, 대부분의 환자는 잘 견디며 쉽게 회복되나 심장질환이 있는 환자의 경우는 위험할 수 있다. 가장 심한 혈역학적 변화와 산소공급의 장애를 보이는 환자는 수술 전 심박출량과 중심정맥압이 감소되어있고 평균동맥압과 전신혈관저항이 증가되어 있는 등의 순환혈액량이 감소된 환자이다. 이런 환자들에게는 수술 전에 전부하를 증가시켜 주는 것이 좋다. 심장질환이 있는 환자에서는 nitroglycerine, nicardipine, dobutamine 등을 정맥 내로 주입하여 복강내압의 증가로 인한 혈역학적 변화를 관리하는 것이 좋다.

심장질환이나 폐질환이 심한 환자의 경우 가스주입 없는 복강경수술을 추천할 수도 있으나 수술시야가 좁기 때문에 수술이 어렵다. 이런 경우 5 mmHg 이하의 낮은 압력으로 공기배증을 만들고 복부의 벽을 들어올려 시야를 개선시키면서 수술하는 방법이 권유된다[16].

복강경수술 마취관리

공기배증에 대한 절대적인 금기증은 드물다. 그러나 공기배증으로 복압이 상승되면 뇌압을 상승시키므로 뇌종양, 뇌수종, 두부손상 등의 환자는 상대적인 금기증이며, 심장이나 신장이 나쁜 환자는 공기배증에 의해 혈류역학이 심하게 변동되므로 주의를 요한다. 호흡기 질환이 있는 환자는 개복술보다 합병증이 적다고 알려져 있으나 공기배증으로 인한



기흉의 발생 가능성 등은 피할 수 없다. 전처치는 일반적인 개복수술과 다르지 않다.

부위마취는 회복이 빠르고 수술 후 구역과 구토가 적으며 혈역학적 변동이 적다는 장점이 있으나 환자의 불안감과 통증 및 불편이 크다. 몸을 많이 기울여야 하는 복강경수술은 기관내 삽관을 실시하여 전신마취를 하는 것이 안전하다. 마취제에 따라 수술결과가 달라지지는 않기 때문에 흡입마취 또는 정맥마취 모두 가능하고, 마취를 깊게 하면 복강내압의 증가를 줄일 수 있다. 아산화질소와 구역, 구토의 상관관계는 아직 명확히 밝혀지지 않았으며, 복강경수술에서 반드시 근육을 심하게 이완시킬 필요는 없다. 수술 중에는 혈압, 맥박, 심전도, 호기말이산화탄소, 맥박산소포화도, 체온측정기, 신경자극기 등 기본 감시장치를 부착하고 마취유도를 한다. 심장질환이 있는 환자는 중심정맥압과 폐동맥압을 측정해야 하며 심장질환이 심하면 경식도심초음파기를 장착하는 것이 좋다[17]. 심장과 호흡계 질환이 있는 환자는 동맥내에 카테터를 직접 넣어 동맥혈 산소와 이산화탄소를 측정한다.

수술 시 환자의 자세는 신경손상이 없도록 조심해서 취하며 환자의 자세가 조금이라도 변하면 기관내튜브의 위치를 반드시 확인한다. 환자 기울기는 최소한으로 하고 천천히 기울여 혈류역학의 변동이 급격하게 일어나지 않도록 한다. 환자의 기울기나 자세 변화는 수술의 종류와 부위에 따라 다르다. 상복부 수술의 경우 환자는 바로 누운 자세에서 머리를 위로하는 역 트렌델렌버그 자세를 유지한다. 이 자세에서는 정맥 환류량이 감소하여 심박출량과 평균동맥압이 감소하는데 기울기가 커질수록 심박출량은 더욱 감소하고 다리에 혈액이 저류된다. 무릎을 고정한 돌체거술자세(lithotomy)에서는 심박출량의 감소가 더욱 악화되고, 공기 배증으로 더욱 심해 질 수 있다. 다리는 너무 단단하게 묶지 않고 자연스럽게 받쳐주며, 오금부위의 신경과 혈관이 눌리지 않도록 해 주어야 한다.

하복부 수술, 비뇨기과 전립샘절제술, 산부인과 수술 등에서는 머리를 낮춘 트렌델렌버그 자세를 유지한다. 혈압이 정상인 환자에서 머리를 낮추면 중심정맥압과 심박출량이 증가하는데 이에 대한 압력수용기 반사로 전신혈관 확장과 서맥이 발생할 수 있다. 전신마취 중에 이런 반사들은 줄어

들고 이로 인한 영향은 미미하지만, 관상동맥질환, 특히 심실기능이 저하된 환자는 위험할 수도 있다. 머리를 낮추면 무기폐가 생기기 쉽고 기울기가 높을수록 기능적 잔기 용량, 총폐용적, 폐탄성 등이 더욱 감소한다. 이러한 변화가 보통 환자에서는 특별히 문제가 되지 않으나 비만환자, 노인, 전신상태가 나쁜 환자에서는 문제가 될 수 있다. 신경손상도 머리를 낮춘 자세에서 일어날 가능성이 더 높아진다. 팔은 너무 평지 않도록 하며 어깨 받침은 주의해서 사용하고 팔신경얼기(brachial plexus)가 눌리지 않도록 한다[18].

개복술 시에는 체성통증이 심하고 복강경수술 시에는 내장통증과 가로막 자극에 의한 어깨통증을 호소하는 경우가 많다. 수술 후 통증치료를 위하여 수술부위나 복강내로 국소마취제를 침윤하기도 한다. 수술 후 이산화탄소가 복강내에 남아 있어도 통증을 일으키기 때문에 수술이 끝나면 복강내 이산화탄소를 완전히 제거하도록 한다. 복강경수술은 외상이 적기 때문에 수술 후 통증과 진통제 요구량이 감소되지만 통증의 정도는 상당할 수도 있다. 비스테로이드성 소염제나 다른 진통제에 의한 선행진통 효과는 일정하지 않다.

수술이 끝나고 공기배증을 해제한 후에도 혈역학적 변동과 전신 혈관 저항의 증가는 계속되기 때문에 회복실에서도 혈류역학의 감시를 지속해야 한다. 특히 심질환이 있는 환자의 경우 혈역학적 변화가 크기 때문에 주의해야 한다. 복강경수술은 개복술에 비해 호흡수와 호기말 이산화탄소분압이 수술 후에도 높게 나타난다. 또한 전신상태가 양호한 환자라고 해도 수술 후에는 산소를 공급하며, 구역, 구토, 통증 등 일반적인 회복실 관리를 시행한다. 특히 외래 환자의 경우에는 통증, 구역 및 구토의 예방과 치료가 중요하다.

로봇수술의 특이성

로봇수술은 최소침습수술의 진화단계 중 복강경수술보다 한 단계 더 향상된 시스템으로 복강경수술의 단점을 개선하고자 개발된 수술기법이다. 로봇수술기법은 복강경수술의 2차원적 영상을 3차원적 영상의 수술 시야로 개선하여 인간의 뇌에서 인지한 감각과 같은 자연스러운 영상을 제공하고, 미세한 움직임을 개선시키는 운동크기의 조정기능, 불필요

한 움직임의 제거기능 등 추가적인 기능의 제공과 더불어 사람 손의 기능을 거의 유사하게 흡내 내어 정밀한 수술이 가능하게 한다는 점과 더불어 환자에게서 멀리 떨어져 수술을 진행할 수 있다는 장점을 가진다.

그러나, 이러한 수술적 장점에도 불구하고 로봇수술은 마취관리에 많은 어려움을 초래하고 있는데 로봇시스템은 큰 부품으로 이루어져 수술실 공간을 많이 차지하고 있으며, 작거나 오래된 수술실에서는 장비 유지 관리에 어려움을 초래하고 있다. 또한 로봇 팔 자체가 크기 때문에 수술 중 로봇 팔끼리 부딪히거나 로봇 팔이 환자나 보조자에게 닿지 않도록 그 위치를 적절하게 정해야 한다. 로봇시스템은 마취통증의학과의 작업영역까지 침범하는 경우가 많고, 또, 일단 로봇시스템이 장착되면 그 위치를 바꿀 수 없기 때문에 수술 중 마취통증의학과 의사가 기도나 수액로 확보를 위해 환자에게 접근하는 것이 불가능할 수 있다. 또한 한번 로봇시스템이 장착되고 나면, 환자의 자세도 쉽게 바꿀 수 없다. 그러므로 로봇수술에 관여하는 의료진은 응급상황의 경우 로봇 팔을 재빠르게 분리하고 제거할 수 있도록 훈련을 받고 준비되어야 한다[19]. 따라서 마취통증의학과 의사들은 마취기 및 감시장치의 위치를, 수술실 간호사는 수술기구의 위치를 수술시작 전에 잘 결정해야 한다.

이러한 제한점들은 마취관리에서 복강경수술과의 가장 큰 차이점이다. 수술시야를 확보하기 위해 필요한 이산화탄소 공기배증이나 자세변화에 따른 환자의 생리적 변화와 대처법은 복강경수술 시의 마취관리와 다르지 않다. 그러나 수술 중 로봇시스템이 환자 가까이에 위치하기 때문에 환자의 기도나 목으로 접근하기 쉽지 않으므로 기관 내 튜브가 수술 중 움직이지 않도록 미리 잘 고정하고, 로봇 팔이 환자의 기도나 얼굴, 가슴에 매우 가깝게 위치하게 되므로 로봇 팔이 움직이면서 환자에게 닿지 않는지 주의를 기울여야 한다[20]. 또한 로봇시스템 장착 전에 필요한 감시장치와 필요한 수액로를 확보하고 비위관, 도뇨관, 체온 유지기 등을 미리 거치하고 잘 고정하여야 한다. 로봇수술의 초기단계나 수술시간이 긴 경우에는 굵은 정맥로나 침습적인 감시장치의 추가도 논란의 여지가 있지만 고려하여야 한다는 점 등이 로봇수술에서 추가적으로 고려할 사항들이다[21].

로봇수술 마취관리

현재 외과, 비뇨기과, 산부인과, 흉부외과, 이비인후과, 신경외과, 정형외과 등에서 복강경 및 내시경으로 수술할 수 있는 거의 모든 수술을 로봇수술로 시행하고 있다. 주 수술자는 로봇 콘솔에 앉아 수술기구를 조작하고 보조 수술자는 환자 옆에 로봇시스템과 함께 위치하게 된다. 감시장치, 수액로와 자세변화에 대한 패딩 등의 보호장치는 로봇시스템이 장착되기 전에 거치하고 확인하여야 한다. 로봇수술 중에는 환자로의 접근이 제한되기 때문에 자세변화에 따라 기관 내 튜브가 꺾이거나 꼬이지 않는지 미리 철저한 점검이 필요하다.

수술시야 확보를 위한 이산화탄소 공기배증과 자세변화에 대한 생리적 변화는 복강경수술과 비슷하므로 적절한 환기조절로 기도내압과 PaCO_2 를 생리적 범위로 유지하도록 하고 혈역학적 변화를 최소화 시킨다. 복강경수술은 반드시 근육을 심하게 이완시킬 필요가 없으나, 로봇수술의 경우 수술 중 근이완은 아주 중요하다. 로봇수술기구가 일단 장착되어 복강 내에 수술기구가 위치한 상태에서는 환자의 갑작스런 움직임을 피해야 하고, 로봇시스템이 해제되기 전까지 응급한 상황에서 쉽게 환자에게 접근할 수도 없기 때문에 근이완제를 필수적으로 충분히 사용하여 수술 중 환자의 움직임이 없도록 유지한다. 마취유지는 정맥마취 또는 흡입마취 모두 가능한데, propofol은 수술 후 구역, 구토 반응이 적은 약제이며, sevoflurane, desflurane, remifentanil 등은 수술 후 빠른 회복을 가능하게 해 주는 약제들이다.

상복부 수술과 갑상샘 수술의 경우 환자는 바로누운자세에서 약간의 역 트렌델렌버그자세를 취하고 수술용 카트는 환자의 머리 쪽에 위치하게 된다. 수술 위치 때문에 로봇 팔이 환자의 기도, 얼굴, 가슴에 매우 가까우므로 환자에게 닿지 않도록 주의하고 폼 패딩을 이용하기도 한다. 필요한 감시장치를 떨어지지 않도록 단단히 부착하고 수술 중 최소한 양측의 말초 정맥로를 확보하는 것이 추천된다. 하복부 수술의 경우 수술용 카트는 환자의 다리 쪽에 위치하며 환자는 바로누운자세 또는 돌체거슬자세를 취하고 트렌델렌버그자세를 취한다[22].

현재 로봇을 가장 많이 이용하는 수술은 아마도 전립샘암 수술일 것이다. 로봇보조 근치전립샘절제술로 기준의 복강 경수술에 비해 출혈량이 매우 감소하고 성기능과 요배설 자제능력의 보존이 가능해졌다[23]. 로봇보조 전립샘절제술의 환자 선택기준은 다른 복강경수술과 비슷하나 수술시간이 길기 때문에 기저 질환에 의한 생리학적 변화가 최소인 경우가 이상적이며, 장시간의 마취, 수술을 견딜 수 있어야 하고, 지속적인 트렌델伦버그 자세를 유지하면 뇌압이 증가하므로 뇌졸증이나 뇌동맥류 등의 병력이 있거나 안압이 증가된 환자의 경우는 상대적인 금기이다. 30° 트렌델伦버그 자세를 취하면 뇌압은 8.8 mmHg에서 13.3 mmHg로 증가한다고 한다[24]. 과이산화탄소혈증은 뇌혈류량과 뇌압을 상승시키므로 뇌산소화를 정상적으로 유지하기 위해서는 혈중 이산화탄소 수치를 정상으로 유지하는 것이 바람직하다[25]. 45° 트렌델伦버그자세는 심근기능에는 영향을 미치지는 않으나 중심정맥압을 3배 증가시키고, 폐동맥압과 폐동맥쐐기압은 2배 증가시키고 평균동맥압은 35% 증가시키며 폐탄성은 40%이상 감소시킨다고 한다[26]. 안구손상으로는 각막의 찰과상이 흔히 나타나므로 안구보호패치를 사용한다. 머리를 오랫동안 낮추면 안면과 인후부종 및 기관부종이 초래될 수 있으므로 가능하면 수액투여를 최소화하고 수술이 종료된 후 세심히 환자를 관찰한다. 만약 기관부종이 의심되면 기관내튜브 커프의 공기를 뺀 후 튜브 주위의 여유 공간으로 공기의 흐름이 생기는지 확인하는 기관내튜브 커프 누출검사를 반드시 실시한 후 빨판을 하여야 한다[27]. 수술시간이 길고 많은 출혈이 예상되면 동맥 내에 카테터를 거치하고 굽은 정맥로를 확보하는 것이 좋다. 환자는 바로누운 자세-돌제거술자세에서 30°-45° 트렌델伦버그자세를 취하고 양 다리 사이로 로봇이 접근하므로 허벅지 사이에 공간이 충분해야 한다. 또한 긴 수술 동안 자세를 유지해야 하므로 신경손상을 방지하기 위해 모든 압력부위에 실리콘 패드를 대주어야 하며 팔을 감싸기도 하고 수술 도중 환자가 머리 쪽으로 이동되는 것을 방지하기 위해 환자를 묶는 억제대가 필요할 수도 있다. 전립샘을 적출한 후 방광으로부터 많은 소변이 나오면 수술시야를 방해하므로 요도재문합을 시행하기 전에는 수액을 제한하고 이후 수액을 투여하기도 한다[28].

신장수술의 경우 주로 신장의 부분, 또는 전 절제술에 복강경 장비가 이용되어 왔다. 그러나 로봇을 이용하면 매우 정밀하며 쉽고 빠르게 혈관들을 다룰 수 있어 신장이식 시주는 이 콩팥절제술에서 이식편에 긴 혈관을 남길 수 있어 동종이식의 질이 향상된다. 마취방법은 다른 주요 복부 로봇수술과 비슷하며 출혈에 대비하여 많은 혈관로를 확보하는 것이 필요하고 로봇이 환자의 머리 위에 주로 위치하므로 환자의 얼굴에 패딩을 대준다.

부인과 수술의 영역에서 불임수술 이후 나팔관의 재문합수술에 로봇을 이용하는 등 미세수술에 많은 장점을 제공하고 있다. 환자의 자세는 변형된 등쪽 돌제거술 자세 상태로 트렌델伦버그자세를 취한 후 양측 다리를 벌려서 질을 통해 자궁을 조작할 수 있게 한다. 자궁절제술이나 근종적출술의 경우 기준 복강경수술과 그 준비가 유사하며 수술용 카트는 환자의 다리 쪽에 위치하여 수술에 이용된다[29].

결 론

복강경수술은 근래의 과학기술의 발전과 함께 나타난 수술기법이며 특히 로봇수술은 최근에 시행되고 있는 최신수술기법이다. 복강경수술기법은 종래의 개복수술 마취환자 관리와는 다른 관리방법을 요구하게 되었는데 특히 수술 중 공기배증과 자세변화에 의한 혈역학적 변화는 마취통증의 학과 의사들에게 보다 안전한 마취환자 관리에 대하여 기준과는 다른 새로운 접근방식을 요구하게 되었다. 로봇수술은 여기에 더하여 수술 중 환자로의 접근성을 제한하는 추가적인 마취관리의 어려움을 초래하고 있는데 이는 마취통증의 학과 의사들에게 새로운 도전이 되고 있다. 또한 앞으로 수술 환자의 나이는 점점 더 많아지고, 더 병약하여, 덜 침습적인 수술을 받고자 하는 환자의 요구는 증가할 것으로 예상된다. 하지만 이러한 환자들일수록 수술 및 마취에 따른 생리적 변화에 더욱 취약할 것으로 예상된다. 따라서 마취통증의학과 의사는 새로운 과학기술의 발전에 따른 의료환경의 변화와 기술의 발전을 이해하고 능동적으로 대처할 수 있는 능력을 길러야 할 것이다. 또한 마취통증의학과 의사는 새로운 수술과 마취방법에 대한 이해도를 증가시키고 적절



한 마취방법을 숙지하여 환자에게 보다 안전한 마취를 제공하기 위한 노력을 지속해야 할 것으로 생각된다.

핵심용어: 마취; 복강경; 로봇; 수술

REFERENCES

1. Andersson LE, Baath M, Thorne A, Aspelin P, Odeberg-Wernerman S. Effect of carbon dioxide pneumoperitoneum on development of atelectasis during anesthesia, examined by spiral computed tomography. *Anesthesiology* 2005;102:293-299.
2. Lindsey S. Subcutaneous carbon dioxide emphysema following laparoscopic salpingo-oophorectomy: a case report. *AANA J* 2008;76:282-285.
3. Ko ML. Pneumopericardium and severe subcutaneous emphysema after laparoscopic surgery. *J Minim Invasive Gynecol* 2010;17:531-533.
4. Phillips S, Falk GL. Surgical tension pneumothorax during laparoscopic repair of massive hiatus hernia: a different situ-ation requiring different management. *Anaesth Intensive Care* 2011;39:1120-1123.
5. Ezri T, Khazin V, Szmulik P, Medalion B, Shechter P, Prietl I, Loberboim M, Weinbroum AA. Use of the Rapiscopic vs chest auscultation for detection of accidental bronchial intubation in non-obese patients undergoing laparoscopic cholecystectomy. *J Clin Anesth* 2006;18:118-123.
6. Park EY, Kwon JY, Kim KJ. Carbon dioxide embolism during laparoscopic surgery. *Yonsei Med J* 2012;53:459-466.
7. Koivusalo AM, Lindgren L. Effects of carbon dioxide pneumoperitoneum for laparoscopic cholecystectomy. *Acta Anaesthesiol Scand* 2000;44:834-841.
8. Rist M, Hemmerling TM, Rauh R, Siebzehnruhl E, Jacobi KE. Influence of pneumoperitoneum and patient positioning on preload and splanchnic blood volume in laparoscopic surgery of the lower abdomen. *J Clin Anesth* 2001;13:244-249.
9. Kiudelis M, Endzinas Z, Mickevicius A, Pundzius J. Venous stasis and deep vein thrombosis prophylaxis during laparoscopic fundoplication. *Zentralbl Chir* 2002;127:944-949.
10. Giebler RM, Behrends M, Steffens T, Walz MK, Peitgen K, Peters J. Intraperitoneal and retroperitoneal carbon dioxide insufflation evoke different effects on caval vein pressure gradients in humans: evidence for the starling resistor concept of abdominal venous return. *Anesthesiology* 2000;92:1568-1580.
11. Moon HS, Lee SK, Choi YS, In CB, Choi EJ. The effect of nitroglycerin on hemodynamic changes during laparoscopic low anterior resection. *Korean J Anesthesiol* 2011;61:388-393.
12. Laisalmi M, Koivusalo AM, Valta P, Tikkanen I, Lindgren L. Clonidine provides opioid-sparing effect, stable hemodynamics, and renal integrity during laparoscopic cholecystectomy. *Surg Endosc* 2001;15:1331-1335.
13. Salman N, Uzun S, Coskun F, Salman MA, Salman AE, Aypar U. Dexmedetomidine as a substitute for remifentanil in ambulatory gynecologic laparoscopic surgery. *Saudi Med J* 2009;30:77-81.
14. White PF, Wang B, Tang J, Wender RH, Naruse R, Sloninsky A. The effect of intraoperative use of esmolol and nicardipine on recovery after ambulatory surgery. *Anesth Analg* 2003;97:1633-1638.
15. Lentschener C, Axler O, Fernandez H, Megarbane B, Billard V, Fouqueray B, Landault C, Benhamou D. Haemodynamic changes and vasopressin release are not consistently associated with carbon dioxide pneumoperitoneum in humans. *Acta Anaesthesiol Scand* 2001;45:527-535.
16. Neudecker J, Sauerland S, Neugebauer E, Bergamaschi R, Bonjer HJ, Cuschieri A, Fuchs KH, Jacobi Ch, Jansen FW, Koivusalo AM, Lacy A, McMahon MJ, Millat B, Schwenk W. The European Association for Endoscopic Surgery clinical practice guideline on the pneumoperitoneum for laparoscopic surgery. *Surg Endosc* 2002;16:1121-1143.
17. Concha MR, Mertz VF, Cortinez LI, Gonzalez KA, Butte JM. Pulse contour analysis and transesophageal echocardiography: a comparison of measurements of cardiac output during laparoscopic colon surgery. *Anesth Analg* 2009;109:114-118.
18. Barnett JC, Hurd WW, Rogers RM Jr, Williams NL, Shapiro SA. Laparoscopic positioning and nerve injuries. *J Minim Invasive Gynecol* 2007;14:664-672.
19. Sullivan MJ, Frost EA, Lew MW. Anesthetic care of the patient for robotic surgery. *Middle East J Anesthesiol* 2008;19:967-982.
20. Talamini M, Campbell K, Stanfield C. Robotic gastrointestinal surgery: early experience and system description. *J Laparoendosc Adv Surg Tech A* 2002;12:225-232.
21. Parr KG, Talamini MA. Anesthetic implications of the addition of an operative robot for endoscopic surgery: a case report. *J Clin Anesth* 2002;14:228-233.
22. Haas S, Haese A, Goetz AE, Kubitz JC. Haemodynamics and cardiac function during robotic-assisted laparoscopic prostatectomy in steep Trendelenburg position. *Int J Med Robot* 2011;7:408-413.
23. Ficarra V, Cavalleri S, Novara G, Aragona M, Artibani W. Evidence from robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy: a systematic review. *Eur Urol* 2007;51:45-55.
24. Mavrocordatos P, Bissonnette B, Ravussin P. Effects of neck position and head elevation on intracranial pressure in anaesthetized neurosurgical patients: preliminary results. *J Neurosurg Anesthesiol* 2000;12:10-14.

25. Park EY, Koo BN, Min KT, Nam SH. The effect of pneumoperitoneum in the steep Trendelenburg position on cerebral oxygenation. *Acta Anaesthesiol Scand* 2009;53:895-899.
26. Lestar M, Gunnarsson L, Lagerstrand L, Wiklund P, Odeberg-Wernerman S. Hemodynamic perturbations during robot-assisted laparoscopic radical prostatectomy in 45° Trendelenburg position. *Anesth Analg* 2011;113:1069-1075.
27. Phong SV, Koh LK. Anaesthesia for robotic-assisted radical prostatectomy: considerations for laparoscopy in the Trendelenburg position. *Anaesth Intensive Care* 2007;35:281-285.
28. Gainsburg DM. Anesthetic concerns for robotic-assisted laparoscopic radical prostatectomy. *Minerva Anestesiol* 2012; 78:596-604.
29. Field JB, Benoit MF, Dinh TA, Diaz-Arrastia C. Computer-enhanced robotic surgery in gynecologic oncology. *Surg Endosc* 2007;21:244-246.



Peer Reviewers' Commentary

의학분야의 장비와 기술의 발전은 수술분야에서 최소침습수술을 가능하게 하였는데 복강경수술과 로봇수술이 그 대표적인 예이다. 본 논문은 복강경 및 로봇 수술의 마취 관리 시 발생하는 생리적 변화 및 마취관리 시의 주의사항들을 기술하고 있다. 수술시야 확보를 위한 공기배증과 자세변화에 의한 호흡기 및 심혈관계의 생리적 변화는 복강경 및 로봇 수술 모두에 해당하는 것으로 이에 대한 대처방법을 제시하고 있다. 특히, 3차원적인 시야확보와 정밀한 수술 조작이 가능해 근래에 활성화되고 있는 로봇수술에서 장착된 시스템으로 인해 수술 중에 환자로의 접근이 어렵기 때문에 이에 대한 철저한 사전 조치가 필요한 점을 강조하고 있다. 앞으로 로봇수술 시스템의 소형화 및 기능의 발전은 보다 더 진전된 형태의 로봇수술과 마취관리를 가능하게 할 것으로 기대된다.

[정리: 편집위원회]