

Schmerzreduzierung nach pelvi/-laparoskopischen Eingriffen durch Einblasen von körperwarmem CO₂-Gas (Flow-Therme)

K. Semm¹, W.-D. Arp², M. Trappe², D. Kube²

¹ Klinik für Gynäkologie und Geburtshilfe im Klinikum der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel und Michaelis-Hebammenschule (Direktor: o. Prof. Dr. med. Dr. med. vet. h. c. Kurt Semm, FRCOG (Ed), FICS (hon.))

² Klinik für Anästhesiologie und Operative Intensivmedizin (Direktor: Prof. Dr. med. J. Wawersik)

Zusammenfassung

Nach pelviskopischen Eingriffen werden intraabdominale Schmerzen, Schulterschmerzen und Tachykardien beobachtet. Neuere Veröffentlichungen machen hierfür eine durch das verwendete CO₂-Gas erzeugte Hypothermie verantwortlich. Die Problematik der Erwärmung von CO₂-Gas wird physikalisch ausführlich erläutert. Die Erwärmung von Kohlendioxidgas auf 37 °C im Wärmeschlauch der WISAP®-Flow-Therme vermindert nicht nur eine intraoperative Hypothermie (beobachtet bis zu 28 °C intraabdominal und 34 °C rektal), sondern auch das Auftreten von Tachykardien (Minderung von 40 % auf 11 %). Aus der Erwärmung resultiert desweiteren ein verminderter CO₂-Gasverbrauch, was auch ökologisch von Bedeutung ist. Aufgrund der insgesamt verbesserten postoperativen Allgemeinbefindlichkeit der Patientinnen resultiert eine signifikante Senkung des postoperativen Schmerzmittelbedarfs um 31 %. Die physikalischen Gesetze und Daten erlauben den Anschluß der WISAP®-Universal-Flow-Therme an alle bekannten CO₂-Gasinsufflatoren. Das Spülwasser als zusätzlicher Faktor einer Hypothermie soll auf 40 °C vorgeheizt sein (WISAP®-Wasserbad).

Pain Relief after Pelvi/-Laparoscopic Interventions by Insufflation of CO₂ Gas at Body Temperature (FLOW-THERME)

Intraabdominal pain, shoulder pain and tachycardia are observed after pelviscopic interventions. Recent publications blame this on hypothermia caused by the CO₂ gas used. The authors discuss in detail the physics of the problems connected with the heating of CO₂ gas. The heating of carbon dioxide gas to 37 °C in the heating tube of the WISAP®-Flow-Therme will not only reduce intra-operative hypothermia (down to 28 °C intra-abdominally and 34 °C in the rectum) but also the occurrence of tachycardia (reduced by 40 % to 11 %). Heating will also result in reduced CO₂ consumption, which is also of ecological significance. As a result of the overall improvement of the female patients' perception of pain there is a significant reduction in postoperative palliative medication required by 31 %. The physical laws and data permit fitting the WISAP® Universal Flow Therme to all commercially available CO₂ gas insufflators. The rinse water, as an additional factor causing hypothermia, should be preheated to 40 °C (WISAP® water bath).

Einleitung

Die Pelviskopie bzw. Laparoskopie reduziert als minimal invasiver chirurgischer Eingriff insgesamt den postoperativen Wundschmerz (1, 2, 3). Aber auch intraabdominale- und Schulterschmerzen beeinträchtigen das Wohlbefinden der Patienten. Als Ursache hierfür wurde in früheren Arbeiten sowohl eine Überdehnung des Zwerchfelles durch Vagusreize, als auch der Säurewert des verbliebenen CO₂-Restgases angesehen (4). Neuere Veröffentlichungen nennen als mögliche Ursache eine während der Pelviskopie erzeugte intraabdominale Hypothermie (2, 3, 5, 6). Zur diagnostischen Laparoskopie füllte man früher den Bauchraum mit maximal 5 l Gas (2). Heute werden bei der operativen Pelvi/-Laparoskopie bis zu einigen 100 l Kohlendioxidgas in den Bauch-

raum insuffliert (7). Dabei wird bislang nicht bedacht, daß wegen der Größe der Peritonealoberfläche nicht körperwarmes Gas zu einer Unterkühlung des Bauchraumes und damit zur Senkung der Körpertemperatur führt. Die vorliegende Arbeit zeigt, daß die Anwendung von körperwarmem CO₂-Gas bei pelvi/-laparoskopischen Eingriffen sowohl das Risiko der provozierten Hypothermie als auch die Schmerzen, die intraoperative Tachykardie, der Gesamtgasverbrauch und den Schmerzmittelverbrauch postoperativ reduziert.

Material und Methoden

Die Durchführung der Studie erfolgte nach jahrelangen Vorstudien nach Erarbeiten einer reproduzierbaren Versuchsstudie als randomisierte prospektive Vergleichsuntersuchung an insgesamt 60 pelviskopisch operierten Patientinnen. Die Randomisierung erfolgte vor Beginn der Studie nach Zufallszahlen: Je 30 Patientinnen wurden der Gruppe I (= Pelviskopie mit erwärmtem CO₂-Gas) bzw. der Gruppe II (= Pelviskopie mit

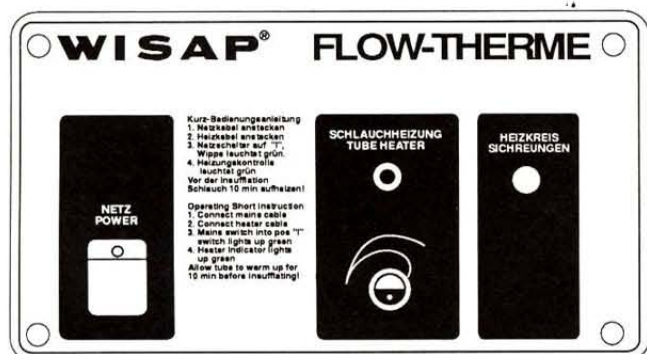


Abb. 1 Wisap®-Flow-Therme: Steuergerät zur problemlosen Heizung von CO₂-Gas für das körperwarme Pneumoperitoneum.

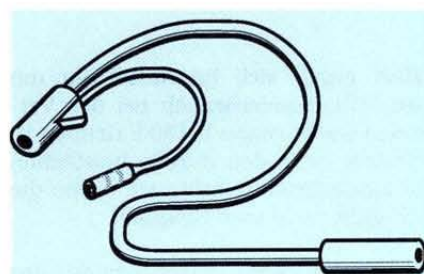


Abb. 2 Insufflations-Heizschlauch sterilisierbar für CO₂-Gas zum Erzeugen eines körperwarmen Pneumoperitoneum (problemlos an alle handelsüblichen CO₂-Gasinsufflatoren anschließbar).

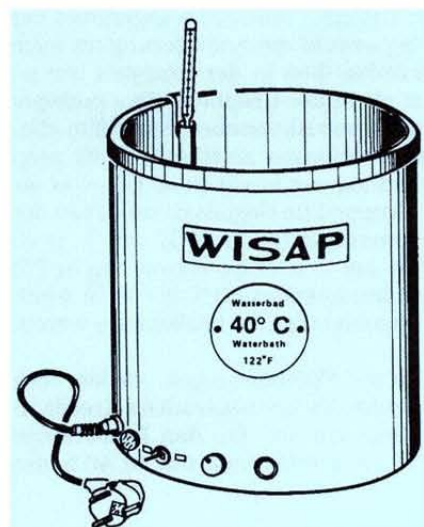


Abb. 3 Wasserbad 40 °C für 3 × 1 l Spülflüssigkeit.

(Atmung, Herz-Kreislaufverhalten) unter Verwendung eines Oxy-Shuttles (Fa. Criticon) statt.

Das für die Durchführung der Pelviskopie notwendige Pneumo-Peritoneum wurde mit 12 mmHg intraabdominellen Druck bei allen Patientinnen mit einem Kohlendioxid-Nachfluß von 4,5 l/min über ein elektronisch-pneumatisch gesteuertes (8) Insufflationsgerät (OP-Pneu-Elektronik mit Quadro-Test nach Semm, Hersteller: Fa. WISAP®) konstant gehalten. Zusätzlich wurde bei den Patientinnen der Gruppe I das insufflierte CO₂-Gas auf ca. 40 °C durch die WISAP®-Flow-therme (s. Abb. 1) isotherm beheizten Wärmeschlauches (s. Abb. 2) erwärmt.

Wegen der unerwarteten Schwierigkeiten, strömendes CO₂-Gas zu heizen, fanden vor Beginn der reproduzierbaren intraabdominalen Temperaturmessungen verschiedene Meß- und Heizstudien statt, um das „merkwürdige“ Temperaturverhalten von erwärmten Kohlendioxidgas unter verschiedenen Bedingungen (Änderung der Fließgeschwindigkeiten; unterschiedliche Zeitdauer des Gas-Flows) zu eruieren. Die Messung der intraabdominalen Temperatur erfolgte letztendlich unter pelviskopischer Sichtkontrolle in der freien Bauchhöhle mittels einer starren Temperaturmeßsonde mit digitaler Meßanzeige (Firma WISAP®). Die Meßvorgänge wurden über den linken 5 mm-Arbeitstrokart im kleinen Becken standardisiert. Parallel dazu bestimmte eine Meßsonde (Fa. Siemens) die Rektaltemperatur. Die zeitlichen Abstände für die durchgeführten Messungen waren: Erste Messung unmittelbar nach Erreichen von 12 mmHG im Abdomen (= 3–5 l Gasvolumen) und dem Einbringen des linken Arbeitstrokars (Zweiteinstich); weitere intraabdominale Temperaturmessungen erfolgten halbstündlich; die letzte direkt vor dem Ablassen des Pneumoperitoneums.

Eine anfänglich apparativ sehr aufwendige fortlaufende Temperaturaufzeichnung erwies sich in mehreren Vorversuchen als kostenexplosiv und überflüssig. In beiden Gruppen wurde das Abdomen stets mit 0,9 %iger auf 37 °C vorgeheizter physiologischer Kochsalzlösung gespült. Dies war zweifellos ein zusätzlicher Faktor zur Unterkühlung. Heute werden die Kochsalzflaschen auf 40 °C vorgeheizt (Abb. 3).

Ergebnisse

Das bei der Pelviskopie verwendete Kohlendioxidgas ist in der Vorratsflasche flüssig, kühlt bei der Verdampfung zunächst auf –96 °C (= Kohlendioxidschnee) ab, um dann intraapparativ etwa Raumtemperatur zu erreichen.

Als reales Gas mißt es bei einer Raumtemperatur von 22 °C sowohl bei einer Fließgeschwindigkeit von 1 l/min als auch von 4,5 l/min im Durchschnitt beim Austritt aus der Veress-Nadel 21,4 °C (= Insufflationstemperatur). Trotz des Durchströmens des auf 40 °C konstant geheizten Heizschlauches trat mittels der WISAP®-Flow-Therme bei unterschiedlichen Fließgeschwindigkeiten und verschieden langer Stand- bzw. Durchflußzeit das Gas aus der Veress-Nadel entsprechend physikalischen Regeln mit verschiedenen Temperaturen aus. Sie sind paradoxerweise umso höher, je größer Gasvolumen und Flow des durch den isothermen Wärmeschlauch fließenden Kohlendioxidgases sind. Die Graphik (Abb. 4) zeigen die gemessenen Temperaturen von CO₂-Gas jeweils in Ruhe und bei Durchfließen des bei 40 °C isothermen Insufflationsschlauches bei einer Flow-Geschwindigkeit von 1 l/min und 4,5 l/min in den Zeitabständen von 5 und 10 min. Den charakteristischen intraoperativen abdominalen und rektalen Temperaturverlauf für geheiztes CO₂-Gas (=

nicht erwärmtem CO₂-Gas) zugeteilt. Die durchschnittliche Dauer der Operations- (120 min) und Narkosezeit (135 min), sowie der Schwierigkeitsgrad der operativen Eingriffe war in beiden Gruppen vergleichbar. Die Narkose erfolgte standardisiert für alle Patientinnen mit 5 mg Tracium, 0,1 mg Fentanyl, 0,25–0,3 mg/kg/KG Hypnomidat und 1 mg/kg/KG Succinylcholin. Die postoperative Schmerztherapie war ebenfalls standardisiert am Operationstag mit dem Opioid Dipidolor als Bolusgabe von 0,1 mg/kg/Körpergewicht intravenös mittels einer PACOM-Schmerz-Pumpe (Fa. Fresenius). Die weitere Schmerztherapie wurde ab dem 1. bis zum 3. postoperativen Tag mit oralen Medikamenten oder Suppositorien aus der Gruppe der peripheren Schmerzmittel durchgeführt. Die Schmerzdokumentation erfolgte mit Hilfe einer visuellen Analog-Skala, sowie einer bewertenden Ratingskala und durch Fragebögen zur Erfassung der Schmerzintensität. Zusätzlich fand am Operationstag eine kontinuierliche Überwachung und Registrierung der vitalen Parameter

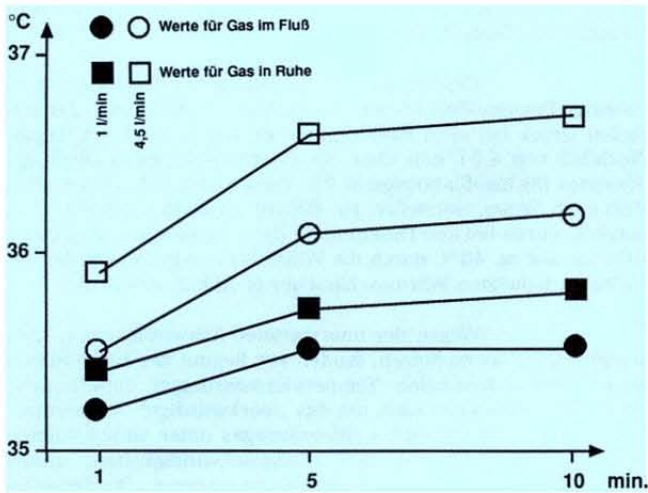


Abb. 4 CO₂-Gastemperaturen beim Austritt aus der Veress-Nadel im Fluß (1 l/min —●—, 4,5 l/min —○—) oder in Ruhe (1 l/min —■—, 4,5 l/min —□—).

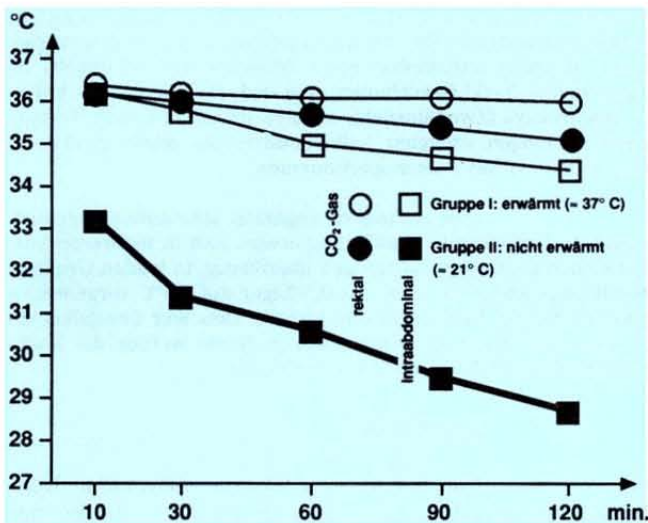


Abb. 5 Graphische Darstellung des Absinkens der intraabdominalen Temperatur eines Falles der Gruppe I mit erwärmtem CO₂-Gas. (—○— rektale, —□— intraabdominale Temperatur) und eines Falles der Gruppe II mit nicht erwärmtem Gas (—●—, —■—).

37 °C) für Gruppe I und ungeheiztes CO₂-Gas (≈ 21 °C) für Gruppe II über die Dauer von 2 Stunden zeigt an zwei Einzelbeispielen Abb. 5.

Die Erwärmung des Kohlendäuregases mittels der WISAP®-Flow-Therme führt insgesamt zu einer signifikanten Beibehaltung der intraabdominalen Temperatur während des pelvi-/laparoskopischen Eingriffs. Die rektalen Meßergebnisse ergaben keine signifikanten Temperaturveränderungen. Als niedrigster intraabdominaler Einzelwert in Gruppe II wurde eine Temperatur von 28,0 °C und in Gruppe I von 34,1 °C ermittelt. Als Höchstwerte fanden sich in Einzelmessungen für die Gruppe II 36,0 °C, für die Gruppe I von 37,2 °C. Die Differenzen zeigen, daß unter der Verwendung von erwärmtem Kohlendäuregas das Erzeugen einer Hypothermie signifikant verringert ist. Schematische Darstellung s. Abb. 6 a und b.

Zusätzlich ergab sich im Mittel ein um 14 % geringerer Gesamt-CO₂-Gasverbrauch bei der Verwendung von erwärmtem Gas (Gruppe I: 130 l; Gruppe II: 150 l). Die folgende Tabelle zeigt den durchschnittlichen postoperativen Schmerzmittelgesamtverbrauch sowie die Bolusanforderung und -gabe in beiden Gruppen.

Es ergibt sich eine Verringerung des Schmerzmittelbedarfs unter Verwendung von erwärmtem Kohlendäuregas in der Gruppe I um 31,0 % gegenüber der Gruppe II. Ebenfalls lag sowohl die Anforderung als auch die Gabe der Schmerzmittel-Boli in der Gruppe I mit jeweils 5 zu 7 niedriger als in der Gruppe II. Das postoperative Auftreten des nach pelviskopischen Eingriffen charakteristischen Schulterschmerzes zeigt Abb. 7. Es zeigt sich, daß unter Verwendung von erwärmtem CO₂-Gas bei den Patientinnen der Gruppe I im Gegensatz zu denen der Gruppe II direkt am Operationstag in 40 %, am 1. postoperativen Tag in 13 %, am 2. postoperativen Tag in 7 % und am 3. Tag post operationem in 20 % der Fälle weniger, d. h. keine Schulterschmerzen zu beobachten waren.

Signifikante Veränderungen stellen sich auch anhand der Kontrolle des intraoperativen Kreislaufverhaltens in beiden Gruppen dar. Bei den Patientinnen der Gruppe II (= nicht erwärmtes Gas) trat in 40 % der

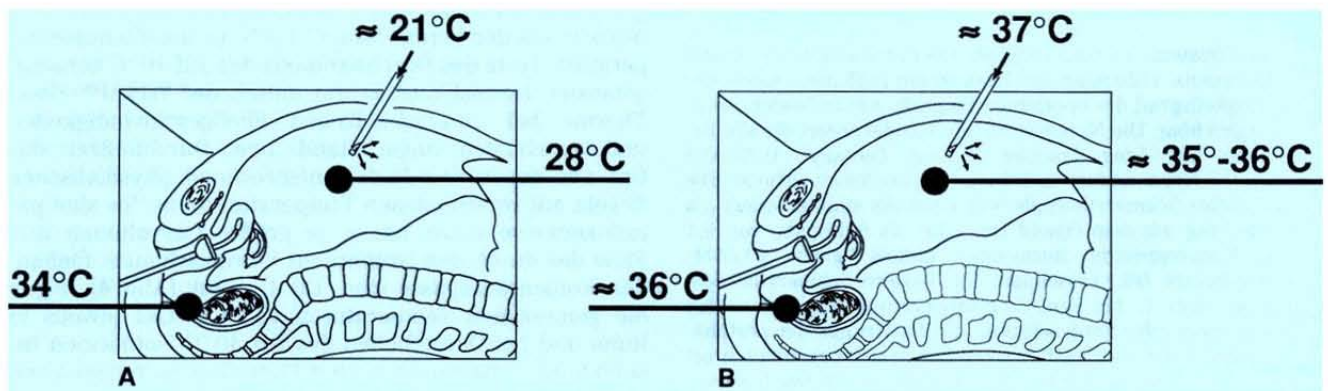


Abb. 6 A u. B Bildliche Darstellung der intraabdominalen CO₂-Gas-Temperatur bei Einblasen von ungeheiztem CO₂-Gas eines Falles aus

Gruppe II (A) und einem solchen der Gruppe I bei Einblasen von körperwarmem CO₂-Gas (B).

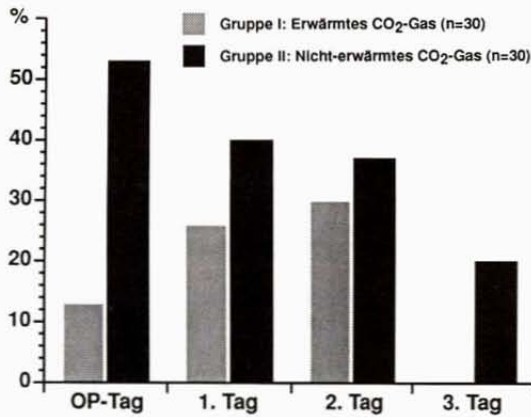


Abb. 7 Graphische Darstellung (n = 60) der Reduktion des Schulderschmerzes durch Verwendung von erwärmtem CO₂-Gas (durch die WiSAP®-Flow-Therme). Auftreten von Schulderschmerz nach pelviskopischen Eingriffen.

Tab. 1 Schmerzmittelverbrauch insgesamt (n = 60).

Gruppe I:	$\bar{X}$ 14,5 mg
Gruppe II:	$\bar{X}$ 21,0 mg

Tab. 2 Bolusverteilung (Anforderung/Gabe) (n = 44).

Gruppe I:	5/5
Gruppe II:	7/7

Fälle eine intraoperative Tachykardie (Puls > 100 SPM) auf. Unter Verwendung von erwärmtem CO₂-Gas wurde in der Gruppe I nur in 11 % der Fälle eine Tachykardie registriert. Dies stellt für die Narkoseleitung ein vermindertes Risiko dar.

Diskussion

Sauerstoff und Lachgas sind als Gasmedien wegen der Explosionsgefahr bzw. dem erhöhten Narkoserisiko für die Pelviskopie ungeeignet. Als Mittel der Wahl zur Erzeugung eines Pneumo-Peritoneums dominiert wegen seiner größeren physikalischen Löslichkeit im Blut das Kohlendioxid. Es wird als physiologisches Stoffwechselprodukt über die Lunge abgeatmet (2, 3, 4). Das Verhalten von Kohlendioxid weicht als ein reales Gas insofern vom Verhalten idealer Gase ab, als es eine Kombination von intermolekularen Anziehungs- und Abstoßungskräften darstellt. Das standardmäßig bei der Pelviskopie eingeblasene CO₂-Gas hatte 21,1 °C ± 0,3 °C. Dies kann intraabdominal temporär zu einer Hypothermie führen (5). Die Hypothermie ist allgemein definiert als Senkung der Körperkerntemperatur von 36,5 °C bis 37,5 °C auf einen Wert unter 35 °C (9).

Speziell für den Gastrointestinaltrakt, der bei pelviskopischen Eingriffen einem ständigen CO₂-Gas-Flow mit einer Temperatur von 21,4 °C ausgesetzt ist gilt, daß bereits bei einer Absenkung der intraabdominalen Temperatur unter 34 °C die Darmperistaltik herabgesetzt und unter 28 °C eine Darmatonie auftritt (9).

Die von Ott et al. (5, 6) und Semm (2, 3) dargestellte pelviskopisch induzierte Hypothermie wiesen wir für die Gruppe II (= Verwendung von nicht erwärmtem CO₂-Gas) ebenfalls nach. Unter der Anwendung von erwärmtem Kohlendioxid war das Risiko der Erzeugung einer Hypothermie signifikant verringert. Während der Studie zeigte sich, daß die Erwärmung von strömendem CO₂-Gas bei unserem Wärmesystem zu einer intraabdominalen um so größeren Temperaturerhöhung führte, um so größer Gasvolumen, bzw. Flow waren, mit denen das CO₂-Gas den Wärmeschlauch durchströmte. Dieser Effekt ist damit zu begründen, daß im Gegensatz zu den idealen Gasen beim Kohlendioxid die molare innere Energie (E) der Temperatur nur annähernd proportional ist und somit eine Erwärmung zum Anstieg der inneren Energie führt. Je höher die Temperatur ist, desto weniger ausgeprägt ist dann die intermolekulare Anziehung (Boltzmannkonstante, 10). Während bei den idealen Gasen die innere Energie nicht vom Volumen des Gases abhängt, wird beim Kohlendioxid durch die Molekularattraktion eine Volumenabhängigkeit hervorgerufen. Folgt man den Gesetzen der Gasdynamik für Gasströmungen mit hoher Geschwindigkeit, bei denen große Dichteunterschiede auftreten, so gilt, daß die Ausströmungsgeschwindigkeit von der Gasart, der Temperatur im Behälter und dem Verhältnis der Drucke hinter und vor der Düse abhängt (10).

Diese Theorie läßt sich auch auf die Verhältnisse übertragen, die bei der Pelviskopie mit dem Insufflieren von Kohlendioxid über einen Wärmeschlauch (s. Abb. 2) mit einer Düse (Veress-Nadel) vorliegen. Wie in den Graphiken der Abb. 4 dargestellt, fließt bei konstantem Druck 1 l CO₂-Gas/min. mit einer laminaren Strömung durch den Wärmeschlauch und tritt gleichmäßig aus der Veress-Nadel aus – die Temperatur bleibt relativ konstant. Erst eine Erhöhung von Druck und Gasvolumen (4,5 l/min) führt – bei gleicher Energieabgabe des Heizschlauches – zu einer Temperaturerhöhung: Durch den größeren Flow geht die laminare in eine turbulente Strömung über; durch entstehende Reibung und Verwirbelung innerhalb des Schlauches entsteht eine höhere Wärmeaufnahme des Kohlendioxids innerhalb des Schlauches (= Joule-Thomson-Effekt, 10).

Der in dieser Studie dokumentierte um 14 % verminderte CO₂-Gasverbrauch in der Gruppe mit erwärmtem Kohlendioxid ist anhand der *van der Waals'schen* Zustandsgleichung zu erklären: Gase reagieren auf Drucksteigerung und Erwärmung mit Volumenzunahme. Die Anwendung von warmem Kohlendioxid und der daraus resultierte verringerte Gasverbrauch bilden einen entscheidenden Faktor für die deutliche Reduzierung des Auftretens von postoperativen Schulderschmerzen. Riedel und Semm (11) gaben schon 1980 das Auftreten von Schulderschmerzen mit 63 % an, wir bestätigten dies in der Gruppe II mit 53 %. Die Verwendung von erwärmtem Kohlendioxid führte am OP-Tag zu einer signifikanten Verringerung von Schulderschmerzen auf 13 % in der Gruppe I. Unmittelbar verbunden mit der Schmerzreduzierung ist postoperativ die Senkung des Schmerzmittelbedarfs und kongruiert mit einer insgesamt verbesserten Allgemeinbefindlichkeit der Patientinnen.

Die Verwendung von nicht erwärmtem Kohlendioxidgas führt zu einer Steigerung der körpereigenen Thermoregulation. Sogenanntes Kältezittern, Steigerung von Stoffwechselvorgängen und Vasokonstriktion ruft seinerseits wieder eine Tachykardie hervor. Die von Riedel und Semm (11) schon 1980 beschriebenen postoperativen Tachykardien ließen sich bei den Patientinnen der Gruppe II in 40 % der Fälle nachweisen; die Erwärmung des CO₂-Gases führte zu einer signifikanten Verringerung auf 11 % in Gruppe I. Es bleibt weiteren Studien die Prüfung vorbehalten, ob eine weitere Temperaturerhöhung eine weitergehende Verbesserung nach sich zieht. Jedenfalls ist der Kühleffekt des Spülwassers simultan zu paralysieren (s. Abb. 4).

Literatur

- ¹ Marchi, P., D. Benhamou, H. Fernandez: Intraperitoneal local anaesthetic for shoulder pain after day case laparoscopy. *Lancet* 338 (1991) 1569–1570.
- ² Semm, K.: Pelviskopie und Hysteroskopie –. Farbatlas und Lehrbuch. Schattauer, Stuttgart, New York, Toronto (1976). Translations: franz.: Masson, Paris 1977; span.: Toray-Masson S. A., Barcelona 1977; portug.: Editorá Manole Ltda., Sao Paulo 1977; engl.: Saunders, Philadelphia, London, Toronto 1977.
- ³ Semm, K.: Operationslehre für endoskopische Abdominalchirurgie, operative Pelviskopie. Schattauer, Stuttgart, New York (1984). Translations: engl.: Year book Medical Publishers Inc., Chicago, London 1987; jap.: Central Foreign Books Ltd., Tokyo 1986; ital.: Martinucci Pubblicazioni-Mediche Neapel 1987; chin.: Shanghai Scientific and Technical Publishers (SSTP) 1991.
- ⁴ Alexander, J., M. Hull: Abdominal pain after laparoscopy: the value of a gas drain. *Br. J. Obstet. Gynecol.* 94, Mar 3, (1987) 267–269.
- ⁵ Ott, E. Douglas: Laparoscopic Hypothermia. *J. of Laparoendoscopic Surg.*, Vol. 1 (1991) 1.
- ⁶ Ott, E. Douglas: Correction of laparoscopic insufflation hypothermia. *J. of Laparoendoscopic Surg.*, Vol. 1 (1991) 4.
- ⁷ Semm, K.: Das Pneumoperitoneum mit CO₂. *Visum* 6 (1967) 144–146.
- ⁸ Semm, K.: Das Pneumoperitoneum. Fehler und Gefahren. *Laparo-Endok. Chirurgie* 1 (1992) 1–20.
- ⁹ Schmidt, R. F., G. Thews: Physiologie des Menschen. Springer, 20. Aufl. (1990) 583–600.
- ¹⁰ Weizel, W.: Lehrbuch der theoretischen Physik. Bd. I, S. 722 u. Bd. II, S. 1477, 3. Aufl. (1987).
- ¹¹ Riedel, H.-H., K. Semm: Das post pelviskopische- (laparoskopische) subphrenische Schmerzsyndrom. *Geburtsh. u. Frauenheilk.* 40 (1980) 635–643.

O. Prof. Dr. Dr. h. c. K. Semm, FRCOG (Ed), FICS (hon.)

Direktor der Klinik für Gynäkologie und
Geburtshilfe im Klinikum der Christian-Albrechts-
Universität zu Kiel und Michaelis-Hebammenschule
Michaelisstraße 16
24105 Kiel