

Wenn eine langdauernde Abklemmung von $2-2\frac{1}{2}$ Std notwendig ist, scheint mir die Coronarperfusion dazu das bis heute beste Verfahren, auch wenn ihm verschiedene Nachteile und Schwierigkeiten anhängen, wie z. B. Läsion der Coronararterien, mangelhafte Perfundierung abgehender Äste, und obwohl bei vorhandenem Kammerflimmern Myokard-ödem entstehen kann.

Würde die Coronarperfusion aber durch ein anderes Verfahren ersetzt werden können, würde dies einen großen Fortschritt bedeuten.

Literatur

LASZT, L., u. A. MÜLLER: *Helv. physiol. pharmacol. Acta* **16**, 88—106 (1958).
 SENNING, A.: *Acta chir. scand. Suppl.* 171 (1952).

Leiter: Herr SENNING hat so zahlreiche, außerordentlich wichtige Einzelheiten gebracht, daß man darüber ausführlich diskutieren sollte.

Wir verfahren wohl am besten so, daß wir einen Teil der Fragen — Fragen zum Verständnis — jetzt gleich besprechen, die zusammenfassende Diskussion aber erst im Anschluß an die übrigen Vorträge beginnen. Wenn also spezielle Fragen zum Verständnis vorliegen, sollten diese gleich gestellt werden.

U. DOUTHEIL-München: Ich habe eine Frage zu den intramyokardialen Druckmessungen. Sie zeigten eine Kurve, ich glaube, sie wurde von LASZT u. MÜLLER am schlagenden Hundeherzen aufgenommen. Gibt es Druckmessungen, die am leer-schlagenden menschlichen Herzen während der Operation durchgeführt wurden? Hat man unter diesen Bedingungen, wenn das Herz bei einem totalen By-pass eröffnet ist, ebenfalls mit einem solchen Druckgradienten in der Ventrikelwand zu rechnen? Existieren dafür bereits Meßwerte?

A. SENNING-Zürich/Schweiz: Ich kenne keine anderen Druckmessungen. Wir selbst haben am schlagenden Herzen vor und nach dem Eingriff Messungen durchgeführt und etwa ähnliche Kurven wie die von LASZT u. MÜLLER bekommen. Die eröffneten Herzen flimmerten bei uns in jedem Fall.

106. Stoffwechseluntersuchungen am menschlichen Herzen bei intermittierender Coronarperfusion

H.-E. HOFFMEISTER-Göttingen

Zum Schutze des Myokards in der offenen Herzchirurgie werden unterschiedliche Verfahren angegeben. Das Beste ist sicherlich die ständige Durchblutung des Herzmuskels bei gleichzeitiger Entlastung. Diesem Ziel stehen einige Schwierigkeiten entgegen: das ständige Absaugen des Coronarblutes bei eröffnetem rechten Herzen bedingt bei längerer Dauer sicher eine nicht unerhebliche Hämolyse. Zudem erschwert das stete Ausströmen des Blutes aus dem Coronarsinus häufig die Übersicht. Dies mögen die Hauptgründe für die Unterbrechung der Coronardurchblutung am eröffneten rechten Herzen sein. Ist aber die Aorta eröffnet,

ist eine Durchströmung der Coronarien nur mit besonderen Hilfsmitteln möglich. Neben den instrumentellen Coronarperfusoren gehören hierzu die Abkühlung des Herzens oder des ganzen Patienten, das künstliche Herzflimmern und die Möglichkeiten der Beeinflussung des Herzstoffwechsels durch chemische Mittel. Über diesen letzten Punkt möchte ich nicht sprechen, da wir hier keine eigenen Erfahrungen haben.

Sieht man die Literatur auf Arten der Coronarperfusion und Ischämiezeiten bei Aortenklappenoperationen durch, so findet man eine ganze Skala von Angeboten: von 20minütiger Unterbrechung der Coronardurchblutung in Normothermie bis zu ständiger Durchströmung beider Coronarien bei Abkühlung des Patienten auf 20° C mit hohen Volumina und hohem Druck sind zahlreiche Variationen beschrieben worden. Wir haben bei unseren Operationen einen Kompromiß geschlossen: Wir verwenden die intermittierende, instrumentelle Coronardurchströmung bei gleichzeitiger leichter Abkühlung des Patienten. Bei einer unausgelesenen Reihe dieser Kranken haben wir während der Operation Untersuchungen des oxydativen Stoffwechsels vorgenommen. Um eine eingehende Beurteilung der erhaltenen Werte vornehmen zu können, wurde eine gleichgroße Vergleichsserie bei operativen Verschlüssen von Vorhofseptumdefekten durchgeführt. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen: Vor Beginn der extrakorporalen Zirkulation wurde der Sinus coronarius katheterisiert; die arterielle Blutentnahme erfolgte aus der Art. brachialis. Die Untersuchungen wurden in zwei Gruppen unterschiedlicher Ischämiezeit angelegt: In einer ersten Gruppe wurde die Coronarperfusion für 12 min unterbrochen; anschließend erfolgte 7 min die Durchströmung des Herzmuskels. In der zweiten Gruppe von Patienten betrug die Ischämiezeit nur 5 min und die Coronarperfusionszeit 3 min. Es wurden arteriell und coronarvenös bestimmt: der Sauerstoffgehalt, der Kohlen säuregehalt, die Wasserstoffionenkonzentration und das arterielle Standardbicarbonat. Zur Beurteilung der Glykolyse wurde der arterielle und coronarvenöse Milchsäuregehalt bestimmt. Da bei den Aortenklappenoperationen die Größe der Durchströmung der Coronarien bekannt war, war es möglich, Bilanzberechnungen durchzuführen.

Es fanden sich folgende Ergebnisse: Abb. 1 zeigt das Verhalten der coronarvenösen Sauerstoffsättigung bei Aortenklappen-Ersatzoperationen und beim Verschluß von Vorhofseptumdefekten. Jeder Punkt und jede Säule stellt den Mittelwert von 10 Meßperioden bei jeweils 5 Patienten dar. Die durchgezogene Linie oben zeigt den Anstieg der Sauerstoffsättigung während 7minütiger Perfusion nach 12minütiger Ischämie. Die kurze gestrichelte Linie läßt erkennen, daß bei kürzerer Ischämie (5 min) schon nach 2 min das recht hohe Plateau von rund 75 Sättigungsprozenten erreicht ist, das dann beibehalten wird. Unten die Verhältnisse beim Vorhofseptumdefekt: Hier wird schon nach 1 min Coronarperfusion eine

Sauerstoffsättigung um 75% im Coronarsinus erreicht, die meines Erachtens anzeigt, daß von seiten der Sauerstoffversorgung ein Luxusangebot vorliegt. Die Säulen sollen den coronarvenösen Milchsäuregehalt anzeigen. Diese Beziehungen werden aber in der Abb. 2 deutlicher. Oben

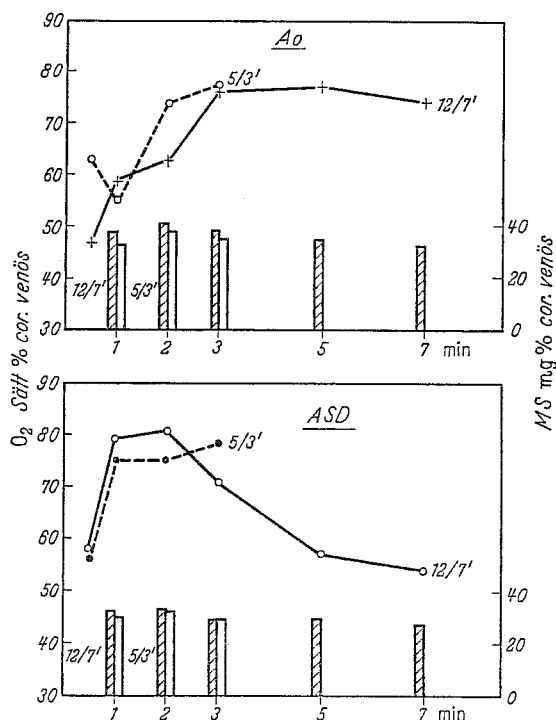


Abb. 1. Coronar-venöse Sauerstoffsättigung bei Aortenklappen-Ersatzoperationen (oben) und Verschluß von Vorhofseptumdefekten (unten) und coronar-venöser Milchsäuregehalt. Mittelwerte von insgesamt zehn Perfusionsperioden bei jeweils fünf Patienten. 12/7 bedeutet 12 min Ischämie, 7 min Coronarperfusion; 5/3 bedeutet 5 min Ischämie, 3 min Coronarperfusion

die Verhältnisse bei Aortenklappen-Ersatzoperationen und längerer Ischämie und unten mit kurzer Ischämie. Dargestellt sind die Sauerstoffaufnahme und die Milchsäureabgabe während der Coronarperfusion. Der hohen Sauerstoffaufnahme folgt, zeitlich verschoben, die Verminderung der stark erhöht gewesenen Milchsäureabgabe. Anders ausgedrückt: die starke Glykolyse wird durch die reichliche Sauerstoffzufuhr vermindert, das geht nach kurzer Ischämie (unten) schneller als nach langer Ischämie (oben).

Betrachtet man nicht diese Mittelwerte (Abb. 1 und 2), sondern die einzelnen Patienten, Operations- und Perfusionsarten, ergibt sich folgendes

Bild: Der Anstieg der coronarvenösen Sauerstoffsättigung ist abhängig von der Schwere des Herzfehlers (bei Aortenstenosen langsamer, bei Vorhofseptumdefekten schneller Anstieg), dem Grad der Abkühlung (bei tieferer Abkühlung des Patienten, z. B. auf 28° C schnellerer Anstieg als bei 32° C rectaler Temperatur) und der Dauer der vorhergehenden Ischämie des Herzmuskels (lange Ischämie bedingt einen langsamen,

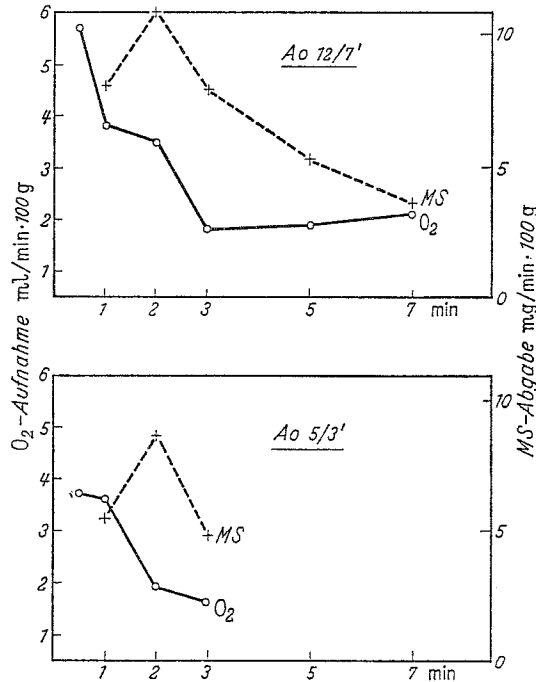


Abb.2. Sauerstoffaufnahme und Milchsäureabgabe bei Aortenklappen-Ersatzoperationen. Oben lange Ischämiezeit, unten kurze Ischämiezeit. Mittelwerte von jeweils zehn Perioden bei jeweils fünf Patienten

kurze Ischämie einen schnellen Anstieg der coronarvenösen Sauerstoffsättigung). Das gleiche gilt für die Milchsäurewerte: Aortenstenose, milde Abkühlung des Patienten und lange Ischämie bedingen eine stärkere und länger anhaltende Glykolyse als Vorhofseptumdefekte, tiefere Hypothermie und kurze Ischämie des Herzmuskels.

Betrachtet man bei den Aortenklappenoperationen das Säure-Basen-Gleichgewicht (Tabelle), so ergeben sich folgende Verhältnisse. Es sind die Werte dargestellt, die eine Beurteilung der Stoffwechsellaage gestatten: die Wasserstoffionenkonzentration, der Kohlensäuredruck in mm Hg und das Standardbicarbonat in mMol/l Plasma. In der ersten Säule finden

sich die Ausgangswerte vor Beginn der Perfusion, der Mitte nach 3 min Coronarperfusion und ganz rechts 10 min nach Beendigung der extrakorporalen Zirkulation. In jeder Säule die arteriellen und coronarvenösen Werte. Oben lange, unten kurze Ischämiezeit. Das arterielle pH zeigt normale oder leicht alkalische Werte, der $p\text{CO}_2$ ist vermindert, das Standardbicarbonat gleichfalls: alles in allem eine Stoffwechsellaage, die durch eine respiratorische Alkalose und eine leichte metabolische Acidose gekennzeichnet ist. Auffällig ist die große a-v-D des pH während der

Tabelle. Säure-Basen-Gleichgewicht bei Aortenklappen-Ersatzoperationen. Mittelwerte. Die Ausgangswerte wurden 10 min vor Beginn der extrakorporalen Zirkulation, die Endwerte wurden 10 min nach Beendigung der extrakorporalen Zirkulation entnommen. ($p\text{CO}_2$ in mm Hg, Standardbicarbonat in mMol/l Plasma)

	Ausgang		3 min CP		Ende	
	art.	cor.ven.	art.	cor.ven.	art.	cor.ven.
<i>Aorten 12/7 min</i>						
pH	7,43	7,38	7,58	7,45	7,58	7,49
pCO ₂	26	36	21	26	22	25
St. Bik.	19		21		21	
<i>Aorten 5/3 min</i>						
pH	7,49	7,47	7,54	7,45	7,52	7,41
pCO ₂	26	31	23	29	23	31
St. Bik.	20		21		19	

Perfusion, bedingt durch den Milchsäureeinstrom. Die coronarvenösen Kohlensäuredruckwerte bleiben mit 30 mm Hg während der Coronarperfusion im Bereich der Ausgangswerte. Die coronarvenösen Sauerstoffdruckwerte, die vor der Perfusion um 20 mm Hg liegen, steigen während der Coronarperfusion im Mittel auf Werte um 40 mm Hg an, liegen also weit über den von BRETSCHNEIDER u. a. als kritisch erkannten Werten und höher als die Ausgangswerte.

Die wesentlichen Ergebnisse sind folgende: Während der Ischämie kommt es zu einer Anaerobiose mit Anhäufung von Milchsäure im Herzmuskel. Mit wieder einsetzender Coronarperfusion erfolgt dann ein erhebliches Sauerstoffangebot. Der aerobe Stoffwechsel setzt wieder ein, die Milchsäureproduktion läßt nach. Diese Veränderungen sind nach längerer Ischämie stärker ausgeprägt als nach kurzer. Bei den Vorhofseptumdefekten liegen prinzipiell die gleichen Veränderungen wie bei den Aortenklappenoperationen vor. Der Sauerstoffextraktionskoeffizient ist bei den Aortenklappenoperationen praktisch gleich hoch wie bei den Vorhofseptumdefektoperationen: 0,32 bei Aortenklappenoperationen und 0,30 bei Vorhofseptumdefektoperationen. Beim Milchsäureextraktionskoeffizienten zeigen sich hingegen mit 0,41 bei Aortenklappenoperationen

und 0,25 bei Verschluß von Vorhofseptumdefekten erhebliche Unterschiede, die auf den vermehrten Milchsäureanfall bei den Aortenklappenfehlern (s. Abb. 1) zurückzuführen sein dürften. Da bei unserer Versuchsanordnung die Herzen mit den Vorhofseptumdefekten das Ausmaß der Coronardurchblutung selbst regulieren konnten, möchte ich daraus schließen, daß die von uns gewählte Coronarperfusion auch bei instrumenteller Verabfolgung geeignet ist, die durch die Ischämie bedingten Störungen innerhalb kurzer Zeit auszugleichen.

Für die klinische Anwendung ergeben sich folgende Hinweise: Die Gesamtcoronarperfusionszeit sollte länger als die Gesamtschämiezeit sein, kürzere Ischämie mit häufiger Coronarperfusion ist besser als lange Ischämie mit seltener, wenn auch zeitlich gleich langer Coronarperfusion; in der Wiedererwärmungsphase ist längere Durchströmung der Coronarien notwendig, um die Stoffwechselveränderungen hintanzuhalten; es fand sich keine Abhängigkeit der geschilderten Veränderungen vom Funktionszustand des Herzens — flimmerndes oder leerschlagendes Herz wiesen keine signifikanten Unterschiede auf.

W. LOCHNER-Düsseldorf: Nur eine kurze Frage zur Methodik. Haben Sie bei der Perfusion ein konstantes Volumen angeboten oder einen konstanten Druck?

H.-E. HOFFMEISTER-Göttingen: Ein konstantes Volumen.

Leiter: Sie haben ja auch am Schluß Ihrer Perfusion immer noch eine negative Milchsäurebilanz gehabt, d. h. es wurde immer noch Milchsäure ausgeschwemmt. Haben Sie einzelne Untersuchungen so weit verfolgen können, daß es zu einer Normalisierung der arteriovenösen Milchsäure-Differenz kam?

H.-E. HOFFMEISTER-Göttingen: Wir haben vor Beginn der Perfusion bereits eine negative Milchsäurebilanz gehabt.

Leiter: In allen Fällen?

H.-E. HOFFMEISTER-Göttingen: In allen Fällen.

107. Verlängerung der nutzbaren Ischämiedauer des Herzens durch Erhöhung des äußeren O₂-Partialdruckes und Persufflation der Coronargefäße mit gasförmigem Sauerstoff

G. ARNOLD-Düsseldorf (a. E.)

Wird die Coronardurchblutung unterbrochen, so treten innerhalb weniger Sekunden Veränderungen im Kontraktionsablauf ein, die bei Fortdauer der Ischämie zum Herzstillstand und je nach Dauer desselben zu irreversiblen Schädigungen des Herzens führen können. Die Sauerstoffreserve des Myokards, d. h. die an das Myoglobin gebundene und