

# Die Rolle der intermittierenden, sequentiellen pneumatischen Beinkompression bei der Verhinderung der venösen Blutstase und postoperativen tiefen Venenthrombose

A. N. Nicolaides, M.S., F.R.C.S., F.R.C.S.E., J. Fernandes e Fernandes, M.D. und A.V. Pollock, F.R.C.S., London und Scarborough, Großbritannien.

*Mit Hilfe der Ultraschall-Doppleruntersuchung wurde an 10 normalen Extremitäten der optimale Reiz bestimmt, der die Blutgeschwindigkeit in der V. femoralis während der Kompression der unteren Extremität mit einer sequentiellen Kompressionsmanschette (6 Kammern) maximal erhöhte. Der sequentiell für 12 Sekunden an Knöchel, Wade und Oberschenkel angelegte Druck von 35, 30 und 20 mm Hg führte zu einem Anstieg der Strömungsspitzen­geschwindigkeit von 240 %. Bei höheren Drücken ging die Strömungsgeschwindigkeit nicht weiter an. Eine nichtsequentielle Kompressionsmanschette (1 Kammer), die 12 Sekunden lang mit 35 mm Hg aufgeblasen wurde, steigerte die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes nur um 180 %. Es wurde dann die Wirksamkeit der sequentiell arbeitenden Manschette bei der Verhütung der tiefen Venenthrombose getestet und mit einem Einkammer-Typ sowie subcutanen Heparin-Minidosen verglichen, was anhand einer kontrollierten, randomisierten klinischen Untersuchung mit <sup>125</sup>I-Fibrinogen Test erfolgte. Aus den Ergebnissen läßt sich schließen, daß die sequentielle Kompressionsmanschette während des Anwendungszeitraumes (die ersten 24 Stunden nach der Operation) genauso wirksam ist wie Heparin und wirksamer als eine nichtsequentielle Manschette ist, um der tiefen Venenthrombose proximal der Wade vorzubeugen.*

Akademische Chirurgieabteilung, Gefäßlaboratorium, St. Mary's Hospital Medical School, London und Chirurgische Abteilung des Scarborough Hospital, Scarborough, England.

Stützt sich auf einen Vortrag vor der Chirurgischen Forschungsgesellschaft Großbritanniens und Irlands im Januar 1978.

Zur Veröffentlichung angenommen am 12. Februar 1979.

Nachdrucke anfordern bei: A.N. Nicolaides, M.S., F.R.C.S., F.R.C.S.E., Direktor des Gefäßlaboratoriums, St. Mary's Hospital, Pread St., London, W2 1NY England.

(Aus dem Englischen übersetzt)

Das Auftreten der postoperativen tiefen Venenthrombose kann entweder durch Maßnahmen verringert werden, welche die nach Gewebetraumata auftretende Hyperkoagulabilität verhindern, oder durch Verhütung der venösen Blutstase.<sup>9</sup> Erstere sind zwar effektiv, weisen aber auch ein geringes, doch definitives Risiko auf.<sup>8</sup> Bei der intermittierenden, pneumatischen Bein­kompression, welche in drei kontrollierten Studien — in denen die Beine eine Woche lang mit dem <sup>125</sup>I-Fibrinogen Test untersucht wurden — das Auftreten der tiefen Venenthrombose um 60 % bis 82 % senkte,<sup>4, 12, 14</sup> wurde keine Morbidität nachgewiesen; dasselbe gilt für eine weitere Untersuchung, wo es zu gar keiner Thrombose kam, die Beine allerdings nur drei Tage lang überwacht wurden.<sup>2</sup>

Bei den in den obigen Studien verwendeten aufblasbaren Manschetten handelte es sich um den Einkammer-Typ, der einen gleichmäßigen Druck vom Knöchel bis zum Knie auf das Bein ausübte. Die Vermeidung der Blutstase durch die intermittierende, pneumatische Bein­kompression wird wahrscheinlich durch eine hohe Stoßströmung bewirkt,<sup>13</sup> welche die Venen regelmäßig leert und somit nicht nur die Sinus der Sohle sowie die axialen Venen freimacht, sondern auch die Sinus dieser Venenklappen. Es wurde postuliert, daß ein aus mehreren Kammern bestehender Mechanismus eine abgestufte Kompression der gesamten unteren Extremität erlauben würde, d.h. höheren Druck in der Wade als im Oberschenkel. Außerdem ließe sich der

Druck dann sequentiell anlegen, womit es zu einer wellenförmigen „Melkwirkung“ am Bein in cardialer Richtung käme.<sup>7</sup>

Die vorliegende Studie hatte sich die Beantwortung der folgenden Fragestellung zum Ziel gesetzt: (1) der optimale Reiz, auf den hin sich die Beinvenen mittels einer sequentiellen Kompressionsmanschette entleeren würden; (2) ob der Zyklus und Maximaldruck des optimalen Reizes bei Verwendung des Einkammer-Typs genauso wirksam blieben, was durch Änderung der Strömungsgeschwindigkeit in der V. femoralis beurteilt werden sollte; (3) ob es zwischen zwei Manschettentypen Unterschiede gäbe: Mehrkammer-Ausführung und Einkammer-Typ (beide Male mit optimalem Reiz), mit der Beurteilung anhand der venographischen Kontrastmittelentleerung aus den tiefen Venen; und (4) die Wirkung der Mehrkammer-Manschette und einer kommerziell erhältlichen Ausführung (Flowtronaire, Ltd., Luton, Bedfordshire, England)<sup>2, 4</sup> auf die Häufigkeit der postoperativen tiefen Venenthrombose laut <sup>125</sup>I-Fibrinogen Test in einer Untersuchung, wo sie mit subcutanen Heparin-Minidosen verglichen wurden.

Die obige Fragestellung sollte die Beurteilung ermöglichen, inwieweit intermittierende Kompressionsgeräte die venöse Blutstase vermeiden können, und auch ob die sequentielle Mehrkammer-Kompression klinischen Wert besitzt.

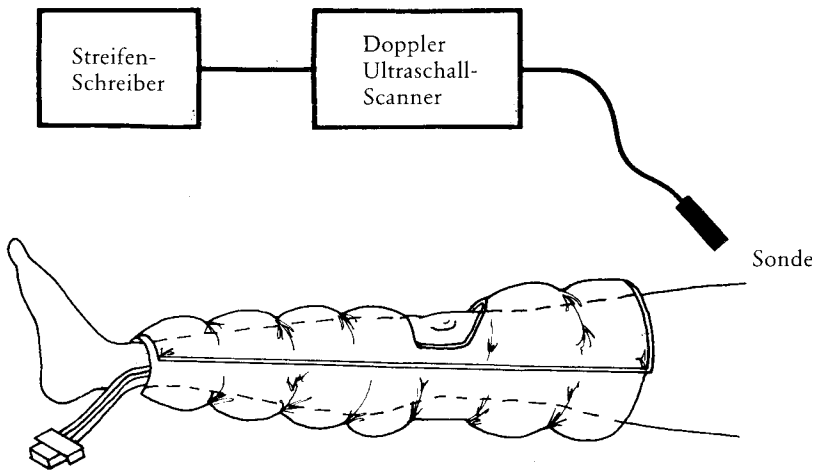


Abb. 1: Die sequentielle Kompressionsmanschette

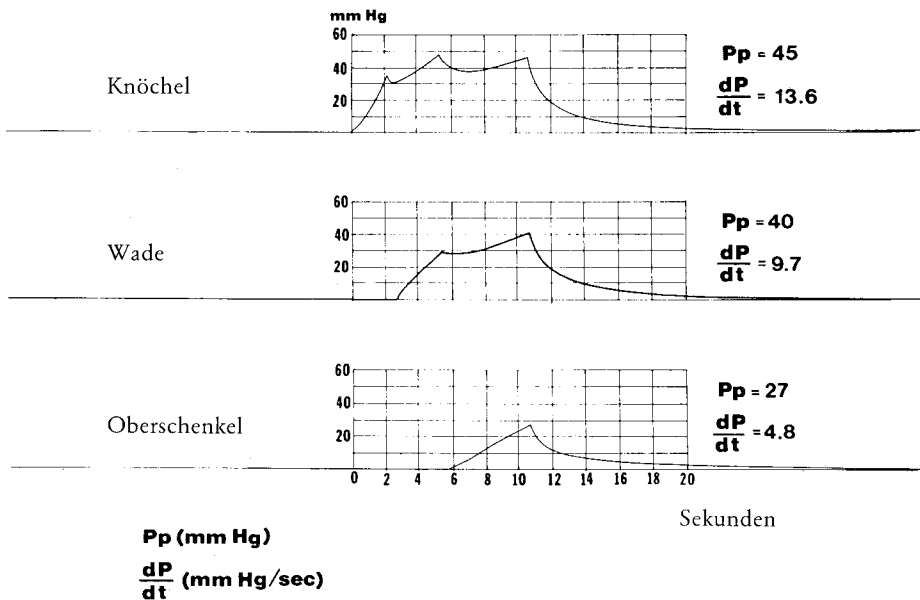


Abb. 2: Druckänderungen in den Kammern der sequentiellen Kompressionsmanschette an Knöchel, Wade und Oberschenkel während einer Kompressionszeit von 11 Sekunden. Der Maximaldruck am Knöchel wurde auf 45 mm Hg eingestellt.

## Material und Methodik

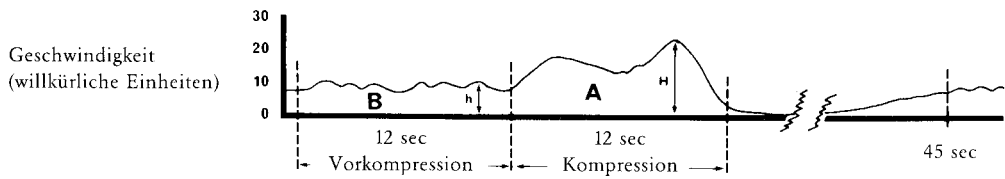
**Sequentielle Kompressionsmanschette.** Die Forschungsabteilung der Kendall Corp. (Barrington, Ill., USA) stellte eine aus sechs Kammern bestehende Kompressionsmanschette zur Verfügung (Abb. 1). Vier Kammern umschloßen den Unterschenkel und zwei den Oberschenkel. Ein nicht aufgeblasener Streifen um das Knie gestattete die Flexion. Der Druck in den sechs Kammern, die Füllrate sowie Kompressions- und Dekompressionszeiten konnten eingestellt werden. Abb. 2 zeigt die Druckänderung in den sechs Kammern während einer Kompressionszeit von 12 Sekunden, wobei der Maximaldruck am Knöchel auf 45 mm Hg begrenzt war.

**Einkammer-Manschette.** Die Forschungsabteilung der Kendall Corporation stellte auch Einkammer-Manschetten zur Verfügung, die an der Konsole des sequentiellen Steuergerätes

angeschlossen werden konnten und einen ähnlichen Zyklus wie eine der sechs Kammern der Mehrkammer-Ausführung aufwiesen.

**Flowtronaire.** Es handelt sich hierbei um ein kommerziell erhältliches Produkt, dessen Einkammer-Manschette nur bis zum Knie reicht. Die Stiefel wurden 1 Minute lang auf 45 mm Hg aufgeblasen, und daran schloß sich jeweils eine Dekompressionszeit von 1 Minute an.

**Änderung der Strömungsgeschwindigkeit in der V. femoralis.** Wir untersuchten die Wirkung von fünf Druckversuchsreihen an Oberschenkel, Unterschenkel und Knöchel (Tabelle 1) während eines festen Zyklus von 12 Sekunden Kompression und 60 Sekunden Dekompression. Dieser Zyklus beruht auf den Erkenntnissen früherer Arbeiten, daß ein impulsförmiger Blutfluß in den Venen schnelles Aufblasen und eine kurze Kompressionszeit erfordert.<sup>11</sup> Die Venen brauchen für das



$$\text{Anstieg (\%)} \text{ der mittleren Geschwindigkeit} = \frac{A-B}{B} \times 100$$

$$\text{Anstieg (\%)} \text{ der Spitzengeschwindigkeit} = \dots \frac{H-h}{h} \times 100$$

**Abb. 3:** Typisches Protokoll der Änderungen der Blutströmungsgeschwindigkeit in der V. femoralis bei Verwendung der sequentiellen Kompressionsmanschette.

erneute Auffüllen unbedingt 1 Minute.<sup>11</sup> Drucke von mehr als 60 mm Hg wurden nicht angelegt, da sich bei ihnen Unbehagen einstellte.

Die Auswirkung dieser fünf Druckreihen (Tabelle 1) auf die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes in der V. femoralis wurde mit einem gerichtet arbeitenden Ultraschall-Doppler-Gerät (Modell 806) gemessen, an dem ein Streifenschreiber angeschlossen war (Abb. 1). Die Sonde wurde über dem Axialstrom der V. femoralis so ausgerichtet, daß sie stets einen Winkel von 45° mit der Horizontalen bildete. Es wurden insgesamt 10 Extremitäten von 10 freiwilligen Probanden untersucht. Während der Studie lagen die Probanden halbzurückgelegt auf dem Rücken (45° zur Horizontalen), und die Beine waren waagrecht.

Abb. 3 zeigt die typische Registrierung der Änderungen der Strömungsgeschwindigkeit in der V. femoralis bei Verwendung der sequentiellen Kompressionsmanschette. Durch Bestimmung der Flächen A und B unter der Kurve läßt sich der prozentuale Anstieg der mittleren Strömungsgeschwindigkeit berechnen. Die Messung von H und h als Abweichung von der Bezugslinie gestattete auch die Berechnung des prozentualen Anstiegs der Spitzengeschwindigkeit. Für jede der fünf Druckreihen wurde der Mittelwert von 10 solcher Messungen bestimmt und dann der optimale Reiz erhalten. Hierbei handelt es sich um die niedrigste Druckreihe mit der stärksten Auswirkung auf die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes in der V. femoralis.

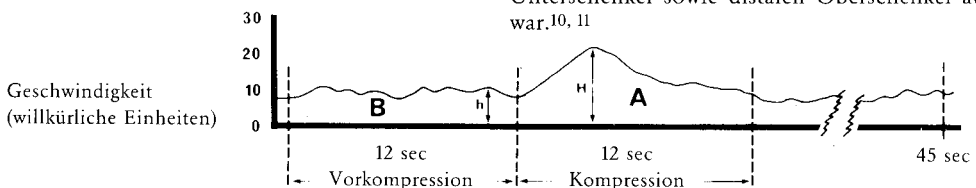
**Tabelle 1.** Untersuchter Zyklus

12 sec. Kompression	} fest					
60 sec. Dekompression						
5 Maximaldruckreihen (mm Hg) in Kammern der sequentiellen Manschette						
Reihe	1	2	3	4	5	
Oberschenkel	15	20	25	35	40	
Unterschenkel	25	30	35	45	55	
Knöchel	35	35	40	50	60	

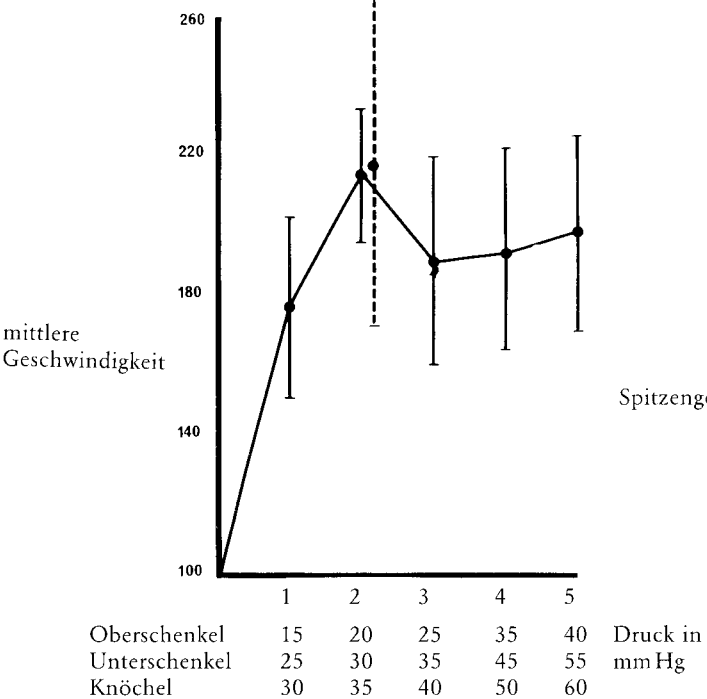
Diese Untersuchung wurde an denselben Extremitäten der 10 Probanden mit der Einkammer-Manschette und dem Druckzyklus des optimalen sequentiellen Kompressionsreizes am Knöchel wiederholt. Abb. 4 zeigt ein typisches Protokoll der Änderungen der Blutströmungsgeschwindigkeit in der V. femoralis bei Verwendung der Einkammer-Manschette. Es wurden auch der prozentuale Anstieg der mittleren und Spitzengeschwindigkeit berechnet. Für jede Extremität wurde der Mittelwert aus 10 Messungen gebildet.

**Die Wirkung zweier Kompressionsmanschetten (sequentielle und Einkammer-Typ) auf das Ausschwemmen des Kontrastmittels aus dem tiefen Venensystem.**

An Patienten, bei denen zwecks Erfassung insuffizienter Vv. perforantes im Unterschenkel eine Venographie durchgeführt werden sollte, wurde die Wirkung der sequentiellen Manschette (optimaler Reiz) und der Einkammer-Ausführung — unter Beibehaltung desselben Zyklus und Knöcheldrucks wie beim optimalen Reiz — auf das Ausschwemmen des Kontrastmittels aus dem tiefen Venensystem des Unterschenkels sowie des distalen Oberschenkels untersucht; dies wurde an 20 Extremitäten durchgeführt (10 Extremitäten je Manschentyp).<sup>8, 10</sup> Bei Vorliegen eines normal ausgebildeten Venenbaumes wurden nach Beendigung der Venographie zusätzlich 30 ml einer 45%-igen Diatrizoatlösung in eine Fußvene injiziert, um die Fußsohlenvenen sowie die Vv. tibialis, poplitea und femoralis zu füllen. Um den Knöchel wurde eine 2,5 cm breite Druckmanschette gelegt, damit sich die oberflächlichen Beinvenen nicht füllen konnten; für den Anschluß der V. femoralis sorgte eine ähnliche Manschette in Oberschenkelmitte. Bei allen Patienten wurden die Beinvenen zuerst durch Anheben des Beines (45°) teilweise entleert, wobei die pneumatische Kompressionsmanschette bereits angelegt war. Jetzt wurde die Druckmanschette am Knöchel auf 120 mm Hg und die des Oberschenkels auf 200 mm Hg aufgeblasen. Durch die geringe Breite der Manschetten führte dies nicht zu einer Unterbrechung des arteriellen Blutstromes. Am Bildverstärker war zu sehen, wie das injizierte Kontrastmittel in die V. tibialis aufstieg und die Fußsohlenvenen retrograd füllte. Nach 30 ml wurde die Injektion abgesetzt, die Oberschenkelmanschette entfernt und mit einer Stoppuhr die Zeit gemessen, bis das Kontrastmittel aus dem Unterschenkel sowie distalen Oberschenkel ausgeschwemmt war.<sup>10, 11</sup>



**Abb. 4:** Typisches Protokoll der Änderungen der Blutströmungsgeschwindigkeit in der V. femoralis bei Verwendung der Einkammer-Manschette.



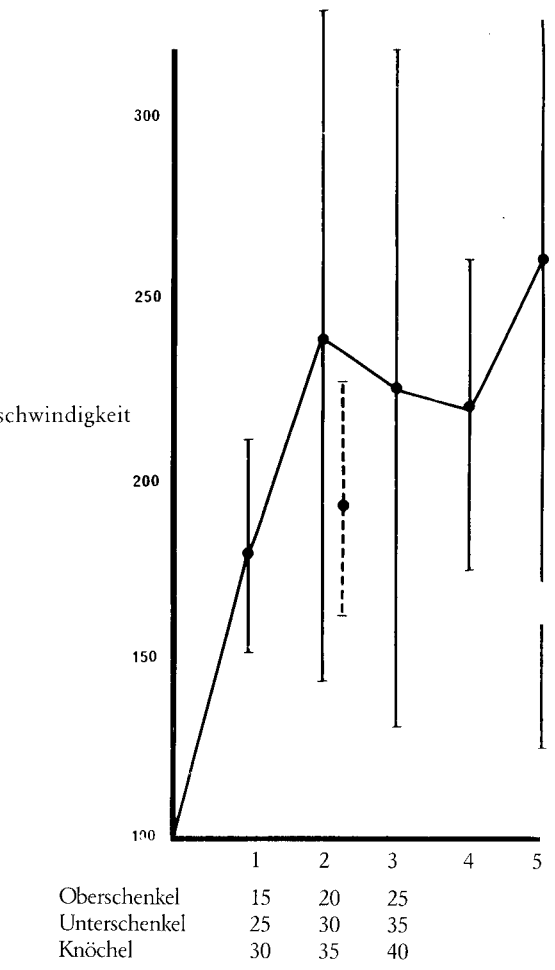
**Abb. 5:** Auswirkung der sequentiellen Kompressionsmanschette auf die mittlere Blutströmungsgeschwindigkeit in der V. femoralis während der Kompression.

**Klinische Erprobung.** 271 Patienten älter als 40 Jahre, die nach vorheriger Aufklärung hierzu ihre Einwilligung gegeben hatten und elektiv oder notlaparotomiert wurden oder sich einer offenen Operation an Harnblase oder Prostata unterziehen mußten, wurden in die Gruppen benigne Laparotomie, maligne Laparotomie und prostatovesikaler Eingriff aufgeschlüsselt. Nach Randomisierung wurde jedem Kollektiv eines der drei Prophylaxeverfahren zugewiesen:

- Gruppe A.* Subcutane Heparinabgabe, 5.000 I.E./h, beginnend 2 Stunden vor der Operation und über mindestens 7 Tage oder bis der Patient wieder voll mobilisiert war.
- Gruppe B.* Intermittierende, pneumatische Beinkompression mit der Flowtronaire-Manschette ab Narkosebeginn bis 16 – 24 Stunden nach der Operation.
- Gruppe C.* Intermittierende, pneumatische Beinkompression mit der sequentiellen Mehrkammer-Manschette über denselben Zeitraum wie Gruppe B. Es wurde die optimale Druckreihe verwendet, d.h. 35, 30 und 20 mm Hg an Knöchel, Unterschenkel bzw. Oberschenkel. Diese Drücke wurden jeweils 12 Sekunden lang angelegt, mit einer Dekompressionszeit von 60 Sekunden.

Alle Patienten wurden mit dem <sup>125</sup>I-Fibrinogen Test entsprechend dem Verfahren und den Thrombosekriterien von Kakkar u.a. untersucht.<sup>6</sup> Das <sup>125</sup>I-Fibrinogen (100/uCi) wurde direkt nach der Operation injiziert, und am ersten postoperativen Tag sowie später jeden zweiten Tag wurden 7 Tage lang Szintigramme der Beine angefertigt. Falls erhöhte Aktivität festgestellt wurde, erfolgte das Scanning täglich.

**Ergebnisse**  
 Änderung der Blutströmungsgeschwindigkeit in der V. femoralis. Abb. 5 zeigt die Wirkung der sequentiellen Mehrkammer-Manschette auf die Strömungsgeschwindigkeit des Blutes in der



**Abb. 6:** Auswirkung der sequentiellen Kompressionsmanschette auf die Spitzenströmungsgeschwindigkeit des Blutes in der V. femoralis während der Kompression.

V. femoralis. Die auf der Ordinate aufgetragene Geschwindigkeit wurde normalisiert, so daß sie direkt vor der Kompression den Wert 100 aufwies. Die optimalen Druckwerte für Knöchel, Unter- und Oberschenkel betragen 35, 30 bzw. 20 mm Hg. Höhere Drücke führten zu keiner weiteren Geschwindigkeitssteigerung. Die gestrichelte Linie in Abb. 5 entspricht den Ergebnissen der Einkammer-Manschette, der mit 35 mm Hg im selben Zyklus an denselben Extremitäten aufgeblasen wurde, welche mit dem Mehrkammertyp untersucht wurden. Ähnliche Ergebnisse wurden auch für die Spitzengeschwindigkeit festgestellt, doch war die Einkammer-Manschette weniger wirksam (Abb. 6).

**Tabelle II.** Ausschwemmzeit des Kontrastmittels aus Unter- und Oberschenkel

Anzahl der Extremitäten	verwendeter Manschettentyp	Clearance Zeit (min) (Mittelwert + Standardabweichung)	
		tiefe Venen im Unterschenkel	Vena femoralis
16	keines	9.74 ± 5.60	0.80 ± 0.30
10	Einkammer	2.82 ± 1.09	0.40 ± 0.13
10	Sequentiell	1.52 ± 0.67	0.35 ± 0.12

**Tabelle III.** Verteilung der zur tiefen Venenthrombose prädisponierten klinischen Faktoren

Klinischer Faktor	Anzahl der Patienten		
	Gruppe A (Heparin)	Gruppe B (Flowtronaire)	Gruppe C (sequentiell)
Malignom	22	21	18
Alter über 60 Jahre	59	63	61
Prostatektomie	20	17	19
Übergewicht ( 90. Percentil laut Größe/ Gewichts-Tabellen)	36	27	25
Vorgeschichte tiefer Venenthrombosen oder Lungenembolien	5	3	2
Notfall	8	8	9

**Tabelle IV.** Häufigkeit der tiefen Venenthrombose (TVT)

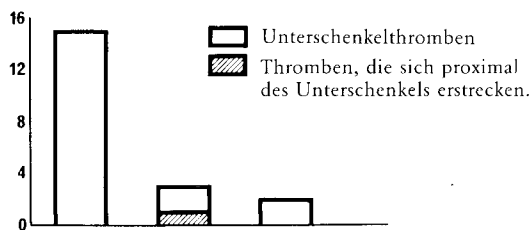
	Anzahl Extremitäten					
	Gruppe A (Heparin)		Gruppe B (Flowtronaire)		Gruppe C (sequentiell)	
	No.	%	No.	%	No.	%
Anzahl Extremitäten	170	—	166	—	166	—
Unterschenkel-TVT am 1. postoperativen Tag	15	8.8	8	4.8	9	5.4
Unterschenkel-TVT am 2. bis 6. postoperativen Tag	4	2.4	17	10.2	24	14.5
TVT proximal des Unterschenkels am 1. bis 6. postoperativen Tag	1	0.6	12	7.2*	4	2.4*

\*Chi-Quadrat = 4,20; P < 0,05 nach Yates Korrektur

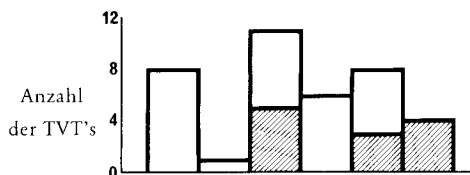
Alle bei Verwendung der Mehrkammer-Manschette registrierten Protokolle der Strömungsgeschwindigkeit in der V. femoralis wiesen zwei Spitzen auf — eine während der Unterschenkel- und eine während der Oberschenkel-Kompression. Bei der Dekompression hörte die Strömung auf, was auf nahezu vollständiges Entleeren der Venen hindeutet (Abb. 3). Die Strömungsgeschwindigkeit in der V. femoralis stieg dann allmählich an und erreichte den vor der Kompression bestehenden Wert 45 Sekunden, nachdem die Kompression abgelassen wurde. Im Gegensatz dazu wiesen alle bei Verwendung der Einkammer-Manschette registrierten Protokolle der Strömungsgeschwindigkeit in der V. femoralis nur eine Spitze während der Kompression auf, und einen starken Fluß bei der Dekompression hinweist (Abb. 4), was auf unvollständige Entleerung der Venen hinweist.

**Wirkung der Kompressionsmanschetten auf die Ausschwemmung des Kontrastmittels aus Ober- und Unterschenkel.** Die mittlere Ausschwemmzeit des Kontrastmittels aus den tiefen Unterschenkelvenen und der distalen V. femoralis ist in Tabelle II aufgeführt. Die Ausschwemmzeiten in Tabelle II von Extremitäten ohne Kompression stammen aus einer bereits veröffentlichten Studie<sup>10</sup>, die mit demselben Verfahren arbeitete.

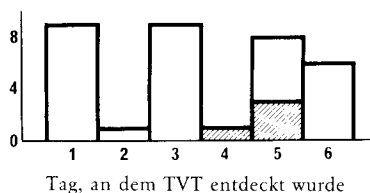
Gruppe A: Heparin



Gruppe B: Flowtronaire



Gruppe C: sequentielle Manschette



**Abb. 7:** Zeitpunkt, an dem die Thromben zuerst entdeckt wurden

**Ergebnisse der klinischen Erprobung.** Zwanzig Patienten wurden von der Analyse ausgeschlossen. Bei fünf von ihnen wurde das Protokoll der Untersuchung nicht eingehalten (keiner von ihnen entwickelte eine tiefe Venenthrombose), und die restlichen 15 starben innerhalb von 5 Tagen nach der Operation; bei ihnen genügte die Anzahl der Beinmessungen nicht den für diese Studie aufgestellten Kriterien. Bei der Obduktion fanden sich Lungenemboli bei 2 Patienten, die wegen einer gutartigen Erkrankung laparotomiert wurden. Der erste Patient, der als Prophylaxe Heparin erhielt, starb drei Tage nach der Cholezystektomie an einem Herzinfarkt und massiven Aortenembolus. Die Obduktion bestätigte den Herzinfarkt und wies einen großen Embolus in der Lunge nach. Der zweite Patient starb an akuter Pankreatitis 23 Tage nach der Choledochotomie. Sie wurde mit der Flowtronaire Kompressionsmanschette behandelt, und bei der Obduktion stellte sich neben den durch die schwere Pankreatitis bedingten Veränderungen ein massiver Lungenembolus heraus.

Tabelle III zeigt die Verteilung der verschiedenen klinischen Faktoren, welche das Auftreten der tiefen Venenthrombose in den drei Gruppen beeinflussen.

Die Häufigkeit der tiefen Venenthrombose ist aus Tabelle IV ersichtlich. Der Unterschied in der Häufigkeit der Unterschenkelthrombose in den drei Gruppen am ersten postoperativen Tag war nicht signifikant, im Gegensatz dazu die große Häufigkeit der Unterschenkelthrombose zwischen dem zweiten und sechsten postoperativen Tag bei den beiden Gruppen mit pneumatischer Kompression. Der Unterschied in der Häufigkeit von Thromben, die sich proximal des Unterschenkels erstreckten, war zwischen den Gruppen A und C nicht signifikant, zwischen Gruppen B und C aber doch (Chi-Quadrat = 4,20; P < 0,05, Yates Korrektur).

Aus Abb. 7 ist der Zeitpunkt ersichtlich, an dem Thromben zuerst erkannt wurden. Thromben, die sich proximal des Unterschenkels erstrecken, wurden in der Heparin-Gruppe (A) zuerst am dritten postoperativen Tag entdeckt, in der Flowtronaire-Gruppe (B) am dritten bis sechsten Tag und in der Gruppe mit der sequentiellen Kompression (C) am vierten bis fünften Tag.

## Diskussion

Alle für die Verhütung der tiefen Venenthrombose verwendeten mechanischen Verfahren haben eines gemeinsam: einen intermittierenden Ablauf, der zu einem stoßförmigen Blutstrom in den Venen führt, und einen genügenden Zeitraum für die Venen, sich vor Einsetzen des nächsten Reizes wieder zu füllen. Es ist nachgewiesen worden, daß die Entstehung von Thromben dem Vorliegen aktivierter Gerinnungsfaktoren (aus Gewebeerletzungen) in Blutstasegebieten bedarf, wie z.B. die Fußsohlenvenen und Klappentaschen. Die Thrombose tritt nicht alleine durch die Aktivierung von Gerinnungsfaktoren oder durch die Blutstase auf, sondern durch eine Kombination der beiden.<sup>15</sup> Die Tatsache, daß sich das Auftreten der tiefen Venenthrombose dadurch verringern läßt, daß entweder die Hyperkoagulabilität oder Stase verhindert wird (subcutane Heparin-Minidosen bzw. mechanische Verfahren), scheint diese These zu unterstützen.<sup>9</sup>

Die sequentielle Kompressionsmanschette hat eine relativ schnelle „Melkwirkung“ am Bein zur Folge, mit optimaler Wirkung auf die Strömungsgeschwindigkeit in der V. femoralis bei einem vollen Aufblasdruck von 35, 30 und 20 mm Hg an Knöchel, Unter- bzw. Oberschenkel. Angesichts der breiten individuellen Schwankung (Abb. 5 und 6) könnten allerdings in Zukunft höhere Drücke eingesetzt werden (beispielsweise 45, 40 und 25 mm Hg). Die mittlere und Spitzengeschwindigkeit in der V. femoralis war bei Verwendung der sequentiellen Kompressionsmanschette höher als bei einer Einkammer-Manschette gleicher Länge. Die hohe Strömung in der V. femoralis zu Beginn der Erholungszeit (Abb. 4) bei der Einkammer-Manschette deutet darauf hin, daß distal in den Venen eine beträchtliche Blutmenge eingeschlossen war. Kamm und Shapiro<sup>7</sup> haben den diesbezüglichen Mechanismus aufgeklärt: bei Verwendung einer Einkammer-Manschette kollabieren die Venen und verschließen sich am Knie, bevor sich die Unterschenkelvenen entleert haben. Das Fehlen jeglicher meßbaren Strömung zu Beginn der kompressionslosen Periode – bei Verwendung der sequentiellen Manschette – deutet darauf hin, daß die Venen vollständig entleert waren (Abb. 3). Die erneute Venenfüllung dauert 45 Sekunden, was sich aus der Strömungsgeschwindigkeit in der V. femoralis folgern läßt. Aus diesem Grund wurde mit einer Dekompressionszeit von 1 Minute gearbeitet. Es ist diskutiert worden, daß je stärker die Venenfüllung desto größer die während der Kompression ausgestoßene Blutmenge und somit desto höher die Strömungsgeschwindigkeit und Pulsation in den axialen Venen.<sup>7</sup> Dies würde eine bessere Elimination der aktivierten Gerinnungsfaktoren aus den Fußsohlen und Klappentaschen der axialen Venen gewährleisten.

Die Untersuchung über die Wirkung sequentieller und Einkammer-Manschetten auf die Elimination des Kontrastmittels aus den tiefen Venen war dahingehend konzipiert, die obige Hypothese zu prüfen. Die sequentiell arbeitende Kompressionsmanschette zeigte eine bessere Wirkung beim Ausschwemmen des Kontrastmittels aus den Fußsohlenvenen sowie der V. tibialis und femoralis. Leider konnte die Elimination aus den Klappentaschen im Bildverstärker nicht erfaßt werden. Wir sahen es nicht als gerechtfertigt an, die Patienten zusätzlicher Strahlung auszusetzen, um Reihenaufnahmen zu erhalten.

Die Ergebnisse der klinischen Erprobung (Tabelle IV) weisen nach, daß die sequentielle Kompressionsmanschette im Zeitraum ihrer Anwendung genauso wirksam wie subcutane Heparin-Minidosen war. Die große Häufigkeit der Unterschenkel-Venenthrombose zwischen dem zweiten und sechsten postoperativen Tag in Gruppen B und C war kaum überraschend, denn die Patienten erhielten während dieser Zeit keine spezielle Prophylaxe. Anlaß zur Überraschung gab allerdings die niedrige Häufigkeit von Thromben proximal des Unterschenkels in Gruppe C (Tabelle IV). Die Ergebnisse deuten an, daß die sequentielle Kompressionsmanschette vor Thrombosen schützt, die sich proximal des Unterschenkels erstrecken. Der hier zugrundeliegende Mechanismus ist nicht bekannt. Sehr wenig ist auch über die Faktoren bekannt, die bewirken, ob ein Thrombus auf den Unterschenkel oder eine Klappentasche begrenzt bleibt, lysiert wird oder proximal wandert. Wir wissen allerdings, daß klinisch erfaßbare (d.h. große) Lungenemboli sich aus Thromben entwickeln, die sich proximal des Unterschenkels erstrecken.<sup>5</sup> Auf den Unterschenkel beschränkte Thromben führen nur zu kleinen, stummen Emboli, die nicht lebensbedrohend sind.<sup>1</sup> Außerdem führen die auf den Unterschenkel beschränkten Thromben nicht zu postphlebitischen Extremitätenzuständen, da die Klappen der V. tibialis und moralis nicht geschädigt werden und suffizient bleiben.

Die sequentielle Kompressionsmanschette kann die Methode der Wahl sein, wenn eine Operation mit größerem Präparieraufwand durchgeführt wird, um das bei subcutaner Heparin-Minidosis-Gabe bestehende Risiko von Blutungen oder Wundhämatomen zu vermeiden.<sup>8</sup> Die sequentielle Kompressionsmanschette ist eventuell noch wirksamer, wenn sie postoperativ mehrere Tage verwendet wird – falls nicht als Dauermaßnahme, dann zumindest zeitweise. Dementsprechende Untersuchungen sind zur Zeit im Gange. Die Konstruktion der Manschetten ist dahingehend abgeändert worden, daß jetzt während der Dekompression Luft zwischen Manschette und Haut tritt und die Flexion im Knie jederzeit möglich ist, wodurch sie von den Patienten besser toleriert werden. In einer vor kurzem durchgeführten kontrollierten Studie wurde die intermittierende pneumatische Kompression nicht nur während der Operation angelegt, sondern auch von Zeit zu Zeit danach, bis der Patient entlassen wurde; hierbei war die Häufigkeit der mit dem <sup>125</sup>I-Fibrinogen Test erfaßten tiefen Venenthrombosen signifikant geringer als bei einer Gruppe, die subcutanes Heparin erhielt.<sup>3</sup>

## Literatur

1. Browse NL, Clemenson G, Croft DN: Fibrinogen detectable thrombosis in the legs and pulmonary embolism. *Br Med J* 1:603, 1974
2. Clark WB, Macgregor AB, Periott RJ, et al: Pneumatic compression of the calf and postoperative deep vein thrombosis *Lancet* 2:5, 1974
3. Coe NP, Collins REC, Klein LA, et al: Prevention of deep vein thrombosis in urological patients: A controlled, randomized trial of low-dose heparin and external pneumatic compression boots. *SURGERY* 83:230, 1978
4. Hills NH, Pflug JJ, Jeyasingh K, et al: Prevention of deep vein thrombosis by intermittent compression of the calf. *Br Med J* 1:131, 1972
5. Kakkar VV, Howe CT, Flanc C, et al: Natural history of deep vein thrombosis. *Lancet* 2:230, 1969
6. Kakkar VV, Nicolaides AN, Renney JTG, et al: <sup>125</sup>I-labelled fibrinogen test adapted for routine screening for deep-vein thrombosis. *Lancet* 1:540, 1971

7. Kamm R, Shapiro AH: Hemodynamics of external pneumatic compression, *in* Madden JL, Hume M, editors: Venous thromboembolism—prevention and treatment. New York, 1976, Appleton-Century-Crofts
8. Nicolaides AN: The current status of low-dose heparin in the prophylaxis of thrombophlebitis and pulmonary embolism—invited commentary. *World J Surg* 2:13, 1978
9. Nicolaides AN, Gordon-Smith I: A rational approach to prevention, *in* Nicolaides AN, editor: Thromboembolism. Aetiology, advances in prevention and management. Lancaster, 1975, Medical and Technical Publishing Co
10. Nicolaides AN, Kakker VV, Field ES, et al: Soleal veins, stasis and prevention of deep vein thrombosis, *in* Kakkar VV, Jouhar AJ, editors: Thromboembolism: Diagnosis and treatment. Edinburgh, London, 1972, Churchill-Livingstone, Ltd
11. Nicolaides AN, Kakkar VV, Field ES, et al: Venous stasis and deep-vein thrombosis. *Br J Surg* 59:13, 1972
12. Roberts VC, Cotton LT: Prevention of postoperative deep-vein thrombosis in patients with malignant disease. *Br Med J* 1:358, 1974
13. Roberts VC, Sabri S, Beeley AH, et al: The effect of intermittently applied external pressure on the haemodynamics of the lower limb in man. *Br J Surg* 59:223, 1972
14. Sabri S, Roberts VC, Cotton LT: Prevention of early postoperative deep vein thrombosis by intermittent compression of the leg during surgery. *Br Med J* 4:394, 1971
15. Wessler S, Yin ET: On the mechanism of thrombosis. *Prog Hematol* 6:201, 1968