Über die Veränderungen des Bluteiweisses und dessen kolloid-osmotischen Drucks bei rasch aufeinander folgender Luftdruckverminderung und -wiederherstellung.

Von

Tetsusaburo Ishikawa.

(石川 鐵三郎)

(Aus der Medizinischen Klinik von Prof. Dr. T. Kato,
Tohoku Reichsuniversität zu Sendai).

Es ist bereits bekannt, dass der den Eiweisskörpern im Blut zukommende kolloid-osmotische Druck (k. o. D.) beim Stoffaustausch durch die Kapillarwand hindurch zwischen Blut und Geweben eine wichtige Rolle spielt. Aus dem Verhalten des k. o. D. kann man auf Veränderungen der Molekularaggregate des Bluteiweisses, mithin auf die Verschiebung der Eiweissfraktionen schliessen. Bei erniedrigtem Luftdruck bzw. dem O₂-Mangel treten die Veränderungen der Eiweiss-
teilchen des Blutes auf, was auch die Veränderung des k. o. D. zwangsläufig mit sich bringt. Die Zahl der Untersuchungen darüber, die in Hinsicht der Unterdruckphysiologie sehr wichtig und von grossem Interesse sind, ist bis dahin recht eine kleine.

Yoshida¹⁾ gibt an, dass bei verlangsamt eintretender Asphyxie das Serum-eiweiss entweder ab- oder zunehme; nach Angabe von Rittmann²⁾ soll das Albumin-Globulin-Verhältnis bei der Asphyxie unverändert bleiben. Toth³⁾ sah bei Einatmung verdünnter Luft das Globulin im Blute bald zunehmen, bald abnehmen. Elias u. Taubenhau⁴⁾ haben bei Kaninchen, die unter dem Unterdruck 2-3 Tage lang gehalten wurden, eine beträchtliche Albuminzunahme und eine geringe Globulinabnahme nachgewiesen. Loewy⁵⁾ erwähnt in seiner Monographie, dass die Eiweisskörper des Blutes im Höhenklima mannigfache

1) Yoshida, Hokkaido Igakuzasshi, 1927, 5, 655.

2) Rittmann, Ztschr. f. exp. Med., 1927, 56, 262.

3) Toth, Biochem. Ztschr., 1928, 201, 412.

4) Elias u. Taubenhau, Ztschr. f. exp. Med., 1930, 74, 69.

5) Loewy, Physiologie des Höhenklimas, Berlin 1932, 97.

Veränderungen erfahren. Kasugai⁶⁾ an hiesiger Klinik konnte bei Hunden, indem er sie die 9–10% O₂-haltige Luft für eine Stunde einatmen liess, im Blut eine Abnahme des Albumin-N, eine relative und absolute Zunahme des Globulin-N sowie ein Absinken des k. o. D. nachweisen. Miura⁷⁾ machte bei Kaninchen die Beobachtung, dass beim progressiv fortschreitenden O₂-Mangel der k. o. D. des Blutes absinkt, während er bei hochgradigem O₂-Mangel hingegen eher erhöht ist. Sekiguchi⁸⁾ hat an Kaninchen in der Unterdruckkammer bei verschiedenen Graden des Unterdrucks den k. o. D. des Blutes bestimmt und kam zum Ergebnis, dass er bei Menschen beim Unterdruck, der einer Höhenlage von über 3,000 m entspricht, ansteigt, während er beim Kaninchen beim 3,000 m Höhe entsprechenden Unterdruck hingegen absinkt und beim Unterdruck, der über 7,000 m Höhe entspricht, erhöht ist.

Aus der Tatsache, dass bei der Luftfahrt in der Tat durch den raschen An- und Abstieg im Flugzeug grosse stürmische Schwankungen des Luftdrucks und folglich plötzliches Ab- und Zunehmen der Luftbestandteile abwechselnd auftreten, könnte man sich leicht vorstellen, dass hierbei auch die Eiweisskörper des Blutes sowie dessen k. o. D. komplizierten Veränderungen unterworfen sein müssen. Die Untersuchungen darüber liegen indes meines Wissens bisher nicht vor. Deshalb wurden in vorliegenden Versuchen, indem man bei Versuchstieren die schleunige Luftdruckverminderung und deren baldige Wiederherstellung zu drei Malen wiederholte, dadurch hervorgerufene Veränderungen an Blutkonzentration, Bluteiweisskörpern und k. o. D. verfolgt und weiterhin ihre gegenseitige Beziehungen zu erfassen versucht.

Versuchsmethode.

Es wurde als Unterdruckapparat eine eiserne Unterdruckkammer von 91 cm und 30 cm Breite und 26 cm Höhe benutzt. Diese Kammer war oben mit einem Deckel versehen, welcher 2 gläserne Guckfenster von 16,3 cm Durchmesser besass, durch welche hindurch der Zustand des Versuchstiers beobachtet werden konnte. Die Schwankung des Luftdrucks wurde mittels des mit der Kammer verbundenen Vakuummeters gemessen, behufs Luftauspumpens stand eine Vakuumpumpe von $\frac{1}{2}$ Pferdekraft (C. K. S.) zur Verfügung.

Da man glauben könnte, dass im kurzdauernden Versuch das Quantum des CO₂-Gases, welches durch Exspiration der Versuchstiere in der Unterdruckkammer entsteht, ganz unbedeutend wäre, kam ir-

6) Kasugai, Tohoku Journ. Exp. Med., 1935, 27, 487.

7) Miura, H., Ibid., 1936, 30, 49.

8) Sekiguchi, Bulletin of naval med. Assoc. (Tokio), 1936, 25, 634.

gend ein besonderes Absorptionsmittel der Kohlensäure nicht in Bedienung.

Im vorliegenden Unterdruckversuch wurden bei einer Versuchsreihe die Luftverdünnungen von 5,000 m Höhe (406 mm Hg), 7,000 m Höhe (316 mm Hg) oder 9,000 m Höhe (ca. 255 mm Hg) hervorgebracht und dann rasch wieder auf den Normaldruck wiederhergestellt, während bei anderer Versuchsreihe ebenfalls die Luftverdünnungen von entsprechenden Höhen und die rasche Druckreduktion ausgeführt wurden, wobei aber dasselbe Verfahren dreimal hintereinander wiederholt wurde.

Zum Versuch wurden gesunde, gut ernährte Kaninchen verwendet. Am Versuchstage wurde das Versuchstier frühmorgens im nüchternen Zustand in der Rückenlage am Tierhalter an seinen Extremitäten befestigt und dann wurde zwecks Blutentnahme eine Kanüle in die A. femoralis auf der einen Seite eingeführt. Nachdem das Versuchstier zwei Stunden nach Beendigung dieser Prozeduren ganz ruhig geworden war, wurde es unmittelbar nach Entnahme erster Blutprobe in die Unterdruckkammer gebracht. Der Luftdruck in der Kammer wurde bis auf den bezweckten Grad herabgesetzt, und nach 2 Minuten langem Aufenthalt des betreffenden Versuchstiers wurde die Druckreduktion auf den Atmosphärendruck vorgenommen und nachdem das Versuchstier aus der Kammer sofort heraus gebracht worden war, wurde die zweite Blutentnahme ausgeführt.

Um den Erholungszustand des Versuchstieres zu prüfen, wurde beim Tier, welches 30 Minuten lang an der freien Luft belassen worden war, die dritte Blutentnahme vorgenommen. Die jedesmal entnommene Blutmenge betrug 1,5 ccm. Es wurden an diesen Blutproben der Hämoglobingehalt, an den Seren der Eiweissgehalt, k. o. D. sowie der Druck pro % Eiweiss und NaCl-Gehalt bestimmt. Hämoglobingehalt wurde mit dem Fleisch-Miescher'schen Hämometers, das Serumeiweiss mit dem Pulfrich'schen Eintauchrefraktometer, der k. o. D. nach der Methode von Krogh-Nakazawa⁹⁾ und endlich der NaCl-Gehalt des Serums nach der Methode von Rusznýak¹⁰⁾ gemessen.

I. Kontrollversuch.

Als Kontrolle gegenüber dem Versuch im Unterdruck wurden bei 5 Kaninchen, die die normale Luft inhalierten, alle 15 Minuten je 1,5 ccm Blut dreimal entnommen und an diesen Blutproben die Bestimmungen angestellt. (Tab. 1).

In allen Versuchen erfuhren der Hämoglobingehalt, Eiweissgehalt des Serums, der k. o. D. sowie Druck pro % mit der Häufigkeit

9) Krogh-Nakazawa, Biochem. Ztschr., 1927, 188, 241.

10) Rusznýak, Biochem. Ztschr., 1921, 114, 23.

Tabelle 1. Atmosphärischer Druck.

Nr.	Körpergew. (kg) u. Geschlecht	Zeit d. Blutentnahme	Atemzahl	Herzschlag zähl.	Hämoglobin			Serumweiß			K. o. D.			K. o. D.			NaCl in Serum		
					g/dl	Diff. in %	%	Diff. in %	%	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	g/dl	Diff. in %	g/dl
1	1,95 ♂	Beginn	74	240	13,79		6,14		44,52		283		46,09		46,09		0,535		0,535
		Nach 15 Min.	72	238	13,70	-0,6	6,08	-1,0	44,38	-0,3	276	-2,5	45,99	-1,5	45,99	-1,5	0,530	-0,9	0,530
		Nach 30 Min.	74	240	13,64	-1,1	5,90	-3,9	43,95	-2,8	266	-6,0	45,08	-2,2	45,08	-2,2	0,525	-1,8	0,525
2	2,35 ♂	Beginn	72	222	14,06		5,68		40,40		239		42,08		42,08		0,520		0,520
		Nach 15 Min.	70	222	13,91	-1,1	5,62	-1,0	40,40	±	233	-2,5	41,49	-1,4	41,49	-1,4	0,520	±0	0,520
		Nach 30 Min.	72	224	13,85	-1,5	5,55	-2,3	40,70	-0,8	226	-5,4	40,72	-3,2	40,72	-3,2	0,522	+0,4	0,522
3	2,38 ♂	Beginn	72	228	14,50		5,32		36,69		257		48,31		48,31		0,532		0,532
		Nach 15 Min.	72	230	14,45	-0,3	5,29	-0,6	36,61	-0,2	252	-1,9	47,64	-1,4	47,64	-1,4	0,529	-0,6	0,529
		Nach 30 Min.	70	228	14,34	-1,1	5,27	-0,9	36,75	+0,1	249	-3,1	47,25	-2,2	47,25	-2,2	0,527	-0,9	0,527
4	1,94 ♀	Beginn	74	240	14,35		5,80		40,42		263		45,34		45,34		0,580		0,580
		Nach 15 Min.	74	242	14,31	-1,0	5,74	-1,0	40,39	-0,1	260	-1,1	45,30	-0,1	45,30	-0,1	0,574	-1,0	0,574
		Nach 30 Min.	72	240	14,18	-1,2	5,71	-1,5	40,27	-0,4	255	-3,0	44,66	-1,5	44,66	-1,5	0,571	-1,5	0,571
5	1,93 ♂	Beginn	72	234	14,18		5,31		37,45		214		40,30		40,30		0,490		0,490
		Nach 15 Min.	74	240	14,12	-0,4	5,24	-1,3	37,11	-0,9	210	-1,9	40,08	-0,5	40,08	-0,5	0,490	±0	0,490
		Nach 30 Min.	72	234	14,03	-1,0	5,18	-2,4	36,92	-1,4	204	-4,7	39,38	-2,3	39,38	-2,3	0,485	-1,0	0,485
Mittelwert		Beginn	73	233	14,17		5,65		39,90		251		44,42		44,42		0,531		0,531
		Nach 15 Min.	72	234	14,08	-0,6	5,59	-1,1	39,78	-0,3	246	-2,0	43,98	-1,0	43,98	-1,0	0,529	-0,4	0,529
		Nach 30 Min.	72	233	14,01	-1,1	5,52	-2,3	39,45	-1,1	240	-4,4	43,42	-2,2	43,42	-2,2	0,526	-0,9	0,526

der Blutentnahme stufenweise geringfügige Abnahmen. Diese Abnahmen erfolgten bei jedem einzelnen Versuch in beinahe gleichem Masse und nach 15 und 30 Min. wurden prozentische Abnahme im Durchschnitt wie folgt ermittelt: für Hämoglobingehalt gleich 0,6 und 1,5%, für Eiweissgehalt gleich 1,1 und 2,3%, für k. o. D. gleich 2,0 und 4,4% und für Druck pro % gleich 1,0 und 2,2%.

Diese Zifferzahlen grenzen nahe an den Werten, die an hiesiger Klinik von Onozaki u. Sanada¹¹⁾ und Miura⁷⁾ erhalten wurden. Die ziemlich erhebliche Abnahme des k. o. D. und Drucks pro % dürfte in Zusammenhang mit der Vermehrung des Globulinanteils gebracht werden, welche durch die auf der Blutentnahme beruhende Anämie bedingt ist. An NaCl-Gehalt liess sich keine bemerkbare Veränderung erkennen.

II. Die Veränderungen des kolloid-osmotischen Drucks des Blutes bei dem Unterdruck.

1. Bei einer Höhe von 5,000 m (406 mm Hg).

An 5 Kaninchen wurde der Unterdruck, der 5,000 m Höhe entsprach, herbeigeführt, der nach 2 Minuten wieder rasch auf den Normaldruck reduziert wurde. Die Zeitdauer für die Dekompression betrug 4 Min.—4 Min. 30 Sek., und die Zeit, welche zur Reduktion auf den normalen Druck erforderlich war, betrug 1 Min. 2 Sek.—1 Min. 5 Sek.

Die Blutentnahme wurde in der Weise vorgenommen, dass man aus der A. femoralis je 1,5 ccm Blut dreimal, vor der Dekompression, unmittelbar nach der Reduktion auf den normalen Druck und 30 Minuten später entnahm. Die Ergebnisse sind in Tab. 2 wiedergegeben.

Atemzahl und Herzschlagzahl nahmen im direkten Anschluss an die Reduktion auf den Normaldruck in geringem Masse zu, um dann aber nach 30 Minuten zu normalen Werten zurückzukommen.

Hämoglobingehalt wies im direkten Anschluss an die Druckreduktion bei allen Fällen eine geringe Zunahme auf, diese Zunahme bewegte sich zwischen 0,3–0,4%. Nach 30 Minuten kam er entweder zum Anfangsniveau zurück oder nahm ab.

Eiweissgehalt des Serums zeigte unmittelbar nach der Reduktion auf den Normaldruck in allen Versuchen die Tendenz zur Zunahme; diese Zunahme war aber mit 0,2–0,7, im Mittel nur mit 0,5% sehr klein.

11) Onozaki u. Sanada, Tohoku Journ. Exp. Med., 1935, 25, 120.

Tabelle 2. 5000 m Höhe (406 mm Hg).

Nr.	Körpergew. (kg) u. Geschlecht	Zeit d. Blutentnahme	Atemzahl	Herzschlag- zahl	Hämoglobin		Serumeiweiss		Eiweiss/Hb.		K. o. D.		K. o. D. pro %		NaCl in Serum	
					g/dl	Diff. in %	%	Diff. in %	%	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	g/dl	Diff. in %
1	2,41 ♂	Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	76	236	14,21		5,77		40,60		255		44,19		0,605	
			82	252	14,27	+0,4	5,79	+0,3	40,57	-0,1	248	-2,7	42,83	-3,1	0,608	+0,5
			76	240	14,20	-0,1	5,60	-2,9	39,44	-2,8	241	-5,5	43,03	-2,6	0,604	-0,2
2	1,94 ♂	Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	72	240	13,79		5,86		42,49		266		45,39		0,545	
			84	264	13,85	+0,4	5,90	+0,7	42,61	+0,3	254	-4,5	43,05	-5,1	0,560	+2,7
			74	240	13,76	-0,2	5,63	-3,1	41,33	-2,8	251	-5,6	44,19	-2,6	0,555	+1,8
3	2,12 ♀	Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	78	244	14,30		6,47		45,34		301		46,52		0,500	
			96	268	14,35	+0,3	6,51	+0,6	45,36	+0,3	293	-2,6	45,01	-3,2	0,505	+1,0
			78	246	14,27	-0,2	6,31	-2,5	44,22	-2,2	285	-5,3	45,17	-2,9	0,498	-0,4
4	2,21 ♂	Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	74	236	13,82		6,03		43,63		268		44,44		0,490	
			96	266	13,88	+0,4	6,04	+0,2	43,51	-0,3	254	-5,2	42,09	-5,3	0,490	±
			76	240	13,82	±	5,77	-4,3	41,75	-4,3	246	-8,2	42,63	-4,1	0,488	-0,4
5	2,10 ♂	Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	78	236	14,66		6,21		42,36		290		46,70		0,560	
			96	264	14,72	+0,4	6,25	+0,6	42,46	+0,2	282	-2,7	45,12	-3,4	0,564	+0,7
			78	240	14,60	-0,4	5,88	-5,3	40,27	-4,9	266	-8,3	45,24	-3,1	0,558	-0,3
Mittelwert		Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	76	238	14,16		6,07		42,96		276		45,45		0,540	
			91	263	14,21	+0,3	6,10	+0,5	42,90	+0,1	266	-3,6	43,62	-4,0	0,545	+0,9
			76	241	14,13	-0,2	5,85	-3,6	41,39	-3,4	253	-6,5	44,05	-3,1	0,540	±

30 Minuten nach der Druckreduktion erfuhr der Eiweissgehalt weiter eine geringe Abnahme, die 2,5–5,3%, im Mittel 3,6% betrug und welche etwas grösser als bei der Kontrolle war. Zwischen den Veränderungen in Ab- und Zunahme des Hämoglobingehaltes und Eiweissgehaltes bestand kein grosser Unterschied. Nach Ablauf von 30 Minuten erwies sich die prozentische Abnahme des Eiweissgehaltes einigermassen grösser als die des Hämoglobingehaltes.

K. o. D. erfuhr im direkten Anschluss an die Reduktion auf den Normaldruck in sämtlichen Versuchen erhebliche Abnahme, die sich auf 2,6–5,2, im Mittel auf 3,6% belief. Nach 30 Minuten erfolgte noch weitere Abnahme, so dass die Abnahme im ganzen 5,3–8,3%, im Mittel 6,5% erreichte und gegenüber der Kontrolle um ein Geringes grösser war. Da im direkten Anschluss an die Druckreduktion der k. o. D. trotz der Zunahme des Serumeiweissgehaltes absank, erniedrigte sich Druck pro % in allen Versuchen in geringem Masse. Dieses Absinken betrug 3,1–5,3, im Durchschnitt 4,0%. Nach 30 Minuten trat Druck pro % an den Anfangswert näher heran, so dass das Absinken auf durchschnittlich 3,1% reduziert war.

NaCl-Gehalt des Serums war in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit zu geringfügiger Zunahme geneigt. Nach 30 Minuten wurde er schon zum Anfangswert wiederhergestellt und in manchen Fällen wurde die Neigung zu geringer Abnahme beobachtet, die Schwankung war jedoch unerheblich.

2. Bei einer Höhe von 7,000 m (316 mm Hg).

In dieser Versuchsreihe wurden 5 Kaninchen verwendet. Der Versuch wurde nach derselben Methode wie beim vorausgegangenen Versuch angestellt. Zur Erreichung des Unterdrucks, der einer Höhe von 7,000 m entsprach, wurde die Zeit von ca. 5 Min. 20 Sek. in Anspruch genommen, die Reduktion auf den Atmosphärendruck brauchte ca. 1 Min. 25 Sek. Die Ergebnisse sind in Tab. 3 zusammengefasst.

Atemzahl und Herzschlagzahl wurden gemeinsam vermehrt gefunden, aber in gleichem Masse wie bei 5,000 m Höhe.

Hämoglobingehalt nahm unmittelbar nach der Druckreduktion in allen Versuchen zu; die prozentische Zunahme betrug 0,7–1,2, im Mittel 0,9%, war also ein wenig grösser als bei 5,000 m Höhe. Nach 30 Minuten kam er zum Anfangswert zurück.

Eiweissgehalt zeigte im direkten Anschluss an die Druckreduktion eine Zunahme von 1,1–4,1, durchschnittlich 2,4%; diese Zunahme

Tabelle 3. 7000 m Höhe (316 mm Hg).

Nr.	Körpergew. (kg)	Geschlecht	Zeit d. Blutentnahme	Atemzahl	Herzschlag- zahl	Hämoglobin		Serumeiweiss		Eiweiss/Hb.		K. o. D.		K: o. D. pro %		NaCl in Serum	
						g/dl	Diff. in %	%	Diff. in %	%	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	g/dl	Diff. in %
1	1,95 ♂		Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	74	240	14,46		5,62		38,86		257		45,73		0,550	
				90	290	14,57	+0,8	5,68	+1,1	38,98	+0,3	252	-1,9	44,37	-3,0	0,550	±
				76	260	14,41	-0,3	5,38	-4,3	37,33	-3,9	245	-4,7	45,54	-0,4	0,540	-1,8
2	2,16 ♂		Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	76	244	13,88		6,38		45,96		282		44,20		0,530	
				96	264	14,00	+0,9	6,59	+3,3	47,07	+2,4	284	+0,7	43,09	-2,5	0,525	+1,0
				74	244	13,92	-0,4	6,37	-0,1	46,09	+0,3	279	-1,1	43,80	-0,9	0,520	±
3	2,70 ♀		Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	78	246	14,21		7,06		49,03		327		46,32		0,530	
				96	264	14,35	+1,0	7,16	+1,4	49,39	+0,4	322	-1,5	44,97	-2,9	0,530	±
				78	248	14,24	+0,2	6,88	-2,5	43,31	-2,7	316	-3,4	45,93	-0,8	0,535	+0,9
4	2,28 ♂		Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	80	248	14,58		6,34		43,48		286		45,11		0,545	
				96	282	14,69	+0,7	6,49	+2,4	44,18	+1,6	281	-1,7	43,28	-4,0	0,550	+0,9
				84	252	14,58	±	6,26	-1,3	42,93	-1,3	275	-3,8	43,93	-2,6	0,550	+0,9
5	2,32 ♂		Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	72	240	14,24		5,90		41,43		256		43,39		0,535	
				90	264	14,41	+1,2	6,14	+4,1	42,61	+2,8	259	+1,2	43,18	-2,8	0,537	+0,4
				76	246	14,27	+0,2	5,90	±	41,34	-0,2	253	-1,2	42,88	-1,3	0,535	-1,9
Mittelwert			Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	76	244	14,27		6,26		43,88		282		44,95		0,536	
				94	273	14,40	+0,9	6,41	+2,4	44,55	+1,5	280	-0,7	43,58	-3,0	0,538	+0,4
				78	250	14,26	-0,1	6,16	-1,6	43,30	-1,5	274	-2,8	44,42	-1,2	0,534	-0,4

war ziemlich grösser als bei 5,000 m Höhe. Nach 30 Minuten erfolgte eine durchschnittliche Abnahme von 1,6%. Vergleicht man nun prozentische Zunahmen des Hämoglobingehaltes und Eiweissgehaltes, welche in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit auftraten, so erkennt man, dass die Zunahme des Eiweissgehaltes etwas grösser war und nach 30 Minuten die Abnahme desselben auch ziemlich stärker war.

K. o. D. nahm im direkten Anschluss an die Druckreduktion in 2 von 5 Versuchen (Versuch 2 und 5) um 0,7–1,2% zu, in übrigen 3 Versuchen (Versuch 1, 3 und 4) um 1,5–1,9% ab; im Durchschnitt erfolgte eine Abnahme von 0,7%. Diese Abnahme war allerdings kleiner als die Abnahme bei 5,000 m Höhe, und auch geringfügig gegenüber der Kontrolle. Nach 30 Minuten wurde eine durchschnittliche Abnahme von 2,8% ermittelt. In der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit zeigte der k. o. D., trotzdem der Eiweissgehalt in sämtlichen Versuchen zunahm, die Tendenz zugeringsgradigem Absinken, weshalb der Druck pro % um 2,5–4,0, im Mittel um 3,0% vermindert war. Nach 30 Minuten rückte der Druck pro % ein wenig dem Anfangswert näher; die Abnahme betrug hier 0,4–2,6, im Mittel 1,2%.

NaCl-Gehalt zeigte keine bemerkbare Abweichung von der Kontrolle.

3. Bei einer Höhe von 9,000 m (ca. 255 mm Hg).

Zur Dekompression auf den 9,000 m Höhe entsprechenden Druck brauchte man ca. 7 Min. und zur Reduktion auf den Atmosphärendruck ca. 1 Min. 45 Sek. Versuchsergebnisse sind in Tab. 4 wiedergegeben.

Atemzahl und Herzschlagzahl waren erheblich gesteigert. Hämoglobingehalt vermehrte sich in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit in beträchtlichem Masse; diese Vermehrung betrug 0,7–1,7%, im Mittel 1,3% und trat mit der Intensität des Unterdrucks immer deutlicher in der Vordergrund. Nach 30 Minuten kam er jedoch zum Anfangswert zurück.

Eiweissgehalt wurde im direkten Anschluss an die Druckreduktion in allen Fällen vermehrt gefunden; die prozentische Vermehrung betrug 0,7–5,3%, im Mittel 2,4%, welcher Betrag war noch grösser als der bei 7,000 m Höhe. Nach 30 Minuten erfuhr er eine durchschnittliche Abnahme von 1,0%. Was prozentische Zunahmen des Hämoglobingehaltes und Eiweissgehaltes in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit betrifft, so überwog die Zunahme des Eiweiss-

Tabelle 4. 9000 m Höhe (225 mm Hg).

Nr.	Körpergew. (kg)	Geschlecht	Zeit d. Blutentnahme	Atemzahl	Herzschlag	Hämoglobin		Serumeiweiss		Eiweiss/Hb.		K. o. D.		K. o. D. pro %		NaCl in Serum	
						g/dl	Diff. in %	%	Diff. in %	%	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	g/dl	Diff. in %
1	1,95 ♂		Vor	72	234	14,30		5,16		36,08		222		43,02		0,525	
			Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	120	284	14,41	+0,8	5,25	+1,7	36,43	+1,0	218	-1,8	41,52	-3,5	0,528	+0,6
			Nach 30 Min.	72	238	14,30	±	5,12	-0,8	35,80	-0,8	216	-2,7	42,19	-1,9	0,500	-4,8
2	1,90 ♂		Vor	74	240	14,35		5,58		38,88		233		41,76		0,510	
			Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	138	286	14,58	+1,6	5,75	+3,0	39,44	+1,4	233	±	40,52	-3,0	0,514	+0,8
			Nach 30 Min.	78	244	14,32	-0,2	5,49	-1,6	38,34	-1,4	228	-2,1	41,53	-0,5	0,512	+0,4
3	2,51 ♂		Vor	72	240	14,00		6,23		44,50		273		43,82		0,470	
			Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	114	264	14,24	+1,7	6,56	+5,3	46,07	+3,5	279	+2,2	42,53	-2,9	0,472	+0,4
			Nach 30 Min.	74	246	14,06	+0,4	6,25	+0,3	44,44	-0,1	266	-2,6	42,56	-2,9	0,480	+2,1
4	1,95 ♂		Vor	72	234	13,98		6,01		43,30		252		41,93		0,556	
			Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	120	276	14,09	+1,5	6,05	+0,7	42,95	-0,8	249	-1,2	41,16	-1,8	0,560	+0,7
			Nach 30 Min.	74	242	13,90	+0,1	5,94	-1,2	42,73	-1,3	248	-1,6	41,75	-0,4	0,545	-2,0
5	1,93 ♂		Vor	74	240	13,78		5,94		43,10		252		42,42		0,552	
			Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	125	270	13,88	+0,7	5,98	+0,7	43,08	±	248	-1,6	41,47	-2,2	0,552	±
			Nach 30 Min.	74	246	13,74	-0,3	5,81	-2,2	42,88	-1,9	245	-2,8	42,17	-0,6	0,550	-0,4
Mittelwert			Vor	73	238	14,06		5,78		41,17		246		42,59		0,523	
			Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	124	276	14,24	+1,3	5,92	+2,4	41,59	+1,0	245	-0,4	41,44	-2,7	0,525	+0,4
			Nach 30 Min.	74	243	14,06	±	5,72	-1,0	40,72	-1,1	241	-2,0	42,04	-1,3	0,517	-1,1

gehalten um ein Geringes, und nach 30 Minuten war die Abnahme des Eiweissgehaltes etwas erheblicher als die des Hämoglobins.

K. o. D. sank in geringem Masse ab, indem er nun in einem einzigen Versuch (Versuch 3) eine Steigerung von 2,2% aufwies und in allen übrigen Versuchen die Neigung zum Absinken zeigte. Im Durchschnitt erfolgte eine Abnahme von 0,4%. Nach 30 Minuten trat die Abnahme in allen Versuchen in den Vordergrund; diese Abnahme war aber geringergradig als bei 7,000 m Höhe. Da während in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit der Eiweissgehalt in geringem Masse zunahm, der k. o. D. hingegen im allgemeinen absank, erniedrigte sich Druck pro % um 1,8–3,5%, im Mittel um 2,7%, und selbst nach 30 Minuten wurde noch eine durchschnittliche Erniedrigung um 1,3% ermittelt, die annähernd gleichgradig wie bei 7,000 m Höhe war.

Die Veränderung des NaCl-Gehaltes war äusserst geringfügig und verhielt sich in ähnlicher Weise wie bei 5,000 m Höhe.

III. Die Veränderungen des kolloid-osmotischen Drucks des Blutes bei dreimaliger Wiederholung der Dekompression.

1. Bei einer Höhe von 5,000 m (406 mm Hg).

In vorliegendem Versuch wurden 5 Kaninchen benutzt. Zuvörderst wurde die Dekompression auf 5,000 m Höhe hergestellt, um dann bald darauf die Reduktion auf den Atmosphärendruck herbeizuführen. Diese Prozedur wurde weiter noch zweimal rasch hintereinander wiederholt.

Zur Dekompression auf 5,000 m Höhe brauchte man ca. 4 Min., zur Reduktion auf den Atmosphärendruck ca. 1 Min.; dreimalige Wiederholung dieser Prozedur nahm ca. 15 Min. in Anspruch. Die Blutentnahme wurde in der Weise vorgenommen, dass man aus der A. femoralis je 1,5 ccm Blut dreimal, vor der Dekompression, im direkten Anschluss an die letzte Druckreduktion sowie 30 Minuten danach entnahm. An diesen Blutproben wurden die Bestimmungen in gleicher Weise wie beim Kontrollversuch ausgeführt (Tab. 5).

Atemzahl und Herzschlagzahl waren gemeinsam gesteigert, in analoger Weise wie beim einmaligen Unterdruckversuch. Hämoglobingehalt zeigte in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit keine bedeutende Veränderung, indem er im Mittel nur 0,1% zunahm.

Tabelle 5. 5000 m Höhe (406 mm Hg) 3 mal wiederholt.

Nr.	Körpergew. (kg) u. Geschlecht	Zeit d. Blutentnahme	Atemzahl	Herzschlag- zahl	Hämoglobin		Serumeiweiss		Eiweiss/Hb.		K. o. D.		K. o. D. pro %		NaCl in Serum	
					g/dl	Diff. in %	%	Diff. in %	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	mm H ₂ O	g/dl	Diff. in %
1	2,85 ♀	Vor	74	252	14,74		6,36		43,21	297		46,70			0,545	
		Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	86	270	14,76	+0,1	6,88	+0,3	43,16	-0,1	-7,4	43,10	-7,7		0,550	+0,9
		Nach 30 Min.	78	258	14,74	±	6,25	-1,7	42,40	-1,9	-7,7	43,82	-6,2		0,535	-1,8
2	1,92 ♂	Vor	74	242	14,24		6,34		44,52	286		45,11			0,490	
		Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	106	276	14,24	±	6,30	-0,6	44,24	-0,6	-10,1	40,79	-9,3		0,500	+2,0
		Nach 30 Min.	76	252	14,15	-0,6	6,01	-5,2	42,47	-4,6	-8,4	43,59	-3,4		0,495	+1,0
3	2,30 ♂	Vor	72	240	13,64		6,12		44,87	248		40,52			0,495	
		Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	96	272	13,67	+0,2	6,08	-0,6	44,48	-0,8	-9,3	37,01	-8,7		0,495	±
		Nach 30 Min.	72	246	13,58	-0,4	5,77	-5,7	42,49	-5,3	-12,1	37,78	-6,8		0,490	-1,0
4	1,93 ♂	Vor	70	240	13,50		6,68		49,48	269		40,27			0,450	
		Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	86	264	13,53	+0,2	6,88	±	49,37	-0,2	-3,1	38,92	-3,3		0,460	+2,2
		Nach 30 Min.	70	242	13,86	-1,0	6,47	-3,1	48,43	-2,1	-4,8	39,57	-1,7		0,455	+1,1
5	2,60 ♀	Vor	72	246	14,46		6,35		43,22	270		43,20			0,505	
		Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	96	276	14,44	-0,1	6,22	-0,5	43,07	-0,3	-5,9	40,84	-5,5		0,515	+3,0
		Nach 30 Min.	74	252	14,35	-0,8	5,99	-4,2	41,74	-3,4	-7,8	41,57	-3,8		0,504	-0,2
Mittelwert		Vor	72	244	14,12		6,35		45,06	274		43,16			0,497	
		Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	94	272	14,13	+0,1	6,33	-0,3	44,86	-0,4	-7,3	40,13	-7,0		0,504	+1,4
		Nach 30 Min.	74	250	14,04	-0,6	6,10	-3,9	43,51	-3,4	-8,0	41,27	-4,4		0,498	+0,2

Nach 30 Minuten zeigte er in allen Versuchen die Tendenz zur Abnahme und im Durchschnitt eine Abnahme von 0,6%. Derartige Veränderung nahm in ihrer Intensität eine Mittelstelle zwischen den Veränderungen bei der Kontrolle und dem gleichgradigen einmaligen Unterdruck ein.

Eiweissgehalt wies im direkten Anschluss an die Druckreduktion im allgemeinen die Tendenz zur Abnahme auf. Die Abnahme betrug im Durchschnitt 0,3%, war also geringergradig als bei der Kontrolle. Nach 30 Minuten erfolgte eine erhebliche Abnahme, die im Mittel 3,9% betrug. Die Abnahme des Eiweissgehaltes war im allgemeinen grösser als die des Hämoglobingehaltes.

K. o. D. des Blutes nahm unmittelbar nach der Druckreduktion auf den Atmosphärendruck auffallend ab. Die Abnahme betrug 3,1–10,1, im Mittel 7,3%. Diese Zifferzahlen waren weitgehend grösser als sowohl bei der Kontrolle wie auch bei einmaliger Dekompression. Nach 30 Minuten erfolgte noch weitere geringe Abnahme, die sich im Durchschnitt auf 8,0% belief. Weil aber in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit die prozentische Abnahme des k. o. D. im Vergleich mit derselben des Eiweissgehaltes bei weitem grösser war, erfuhr Druck pro % in allen Versuchen eine Abnahme. Diese betrug 3,3–9,3, im Mittel 7,0 %, war also weitgehend grösser als bei der Kontrolle wie auch bei einmaliger Dekompression. Nach 30 Minuten wurde Druck pro % wesentlich wiederhergestellt, so dass die Abnahme im Mittel auf 4,4% reduziert war.

NaCl-Gehalt zeigte in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit die Tendenz zu geringer Zunahme, um dann aber nach 30 Minuten auf den annähernden Anfangswert zurückzukommen.

2. Bei einer Höhe von 7,000 m (316 mm Hg).

Zur Dekompression auf 7,000 m Höhe brauchte man ca. 5 Min. 20 Sek., zur Reduktion auf den Atmosphärendruck ca 1 Min. 25 Sek. Die Zeit, welche für dreimalige Wiederholung der obigen Prozedur gebraucht wurde, betrug 20 Min. In vorliegender Versuchsreihe kamen 5 Kaninchen zur Anwendung (Tab. 6).

Atemzahl und Herzschlagzahl erfuhren gemeinschaftlich Zunahmen. Hämoglobingehalt war in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit zu spärlicher Abnahme geneigt; die prozentische Abnahme lag bei 0–0,4%, war also weitgehend kleiner als bei der Kontrolle. Nach 30 Minuten wurde eine Abnahme von durchschnittlich

Tabelle 6. 7000 m Höhe (316 mm Hg) 3 mal wiederholt.

Nr.	Körpergew. (kg) u. Geschlecht	Zeit d. Blutentnahme	Atemzahl	Herzschlag- zahl	Hämoglobin		Serumeiweiss		Eiweiss/Hb.		K. o. D.		K. o. D. pro %		NaCl in Serum	
					g/dl	Diff. in %	%	Diff. in %	%	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	g/dl	Diff. in %
1	2,90 ♀	Vor	72	232	14,18		6,77		47,74		293		43,28		0,516	
		Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	114	288	14,18 ±		6,98	-1,3	47,11	-1,3	282	-3,7	42,21	-2,5	0,516	±
		Nach 30 Min.	74	240	14,09	-0,6	6,66	-1,6	47,27	-1,0	282	-3,7	42,34	-2,2	0,515	-0,2
2	2,52 ♂	Vor	70	240	13,94		5,97		42,83		248		41,54		0,475	
		Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	96	282	13,91	-0,2	5,92	-0,8	42,56	-0,6	236	-4,8	39,86	-4,0	0,480	+1,0
		Nach 30 Min.	72	246	13,79	-1,1	5,81	-2,7	42,13	-1,6	231	-6,8	39,76	-4,3	0,478	+0,6
3	1,95 ♂	Vor	70	236	13,50		6,03		44,67		252		41,79		0,540	
		Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	98	278	13,50 ±		5,98	-0,8	44,30	-0,8	237	-5,9	39,63	-5,2	0,540	±
		Nach 30 Min.	72	240	13,44	-0,4	5,93	-1,6	44,12	-1,2	244	-3,2	41,15	-1,5	0,550	+1,8
4	2,58 ♂	Vor	72	240	13,39		6,46		48,24		253		39,16		0,520	
		Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	102	282	13,36	-0,2	6,32	-2,2	47,30	-1,9	247	-2,4	39,10	-0,1	0,518	-0,4
		Nach 30 Min.	78	252	13,30	-0,7	6,23	-3,6	46,84	-2,9	243	-3,9	39,00	-0,4	0,520	±
5	1,92 ♂	Vor	72	234	14,09		6,55		46,49		249		38,01		0,540	
		Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	106	284	14,03	-0,4	6,49	-0,9	46,26	-0,5	246	-1,2	37,90	-0,3	0,540	±
		Nach 30 Min.	78	246	13,88	-1,5	6,30	-3,8	45,39	-2,4	235	-5,6	37,30	-1,9	0,538	-0,4
Mittelwert		Vor	71	236	13,82		6,36		45,99		259		40,76		0,522	
		Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck	103	283	13,80	-0,1	6,28	-1,2	45,51	-1,0	250	-3,5	39,74	-2,5	0,519	-0,6
		Nach 30 Min.	75	245	13,70	-0,9	6,19	-2,7	45,15	-1,8	247	-4,6	39,91	-2,1	0,530	-0,4

0,9% angetroffen; diese Abnahme war indessen geringergradig als bei der Kontrolle, noch viel weniger als bei einmaliger Dekompression. Serumeiweissgehalt wurde in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit in allen Versuchen in geringem Masse vermindert gefunden. Diese Verminderung betrug nämlich 0,8–2,2 im Mittel 1,2%; nach 30 Minuten trat eine weitere, durchschnittlich 2,7% betragende Abnahme auf, welche aber derselben bei der Kontrolle gleichkam. Der Eiweissgehalt nahm in höherem Grad ab als der Hämoglobingehalt.

K. o. D. sank in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit in allen Versuchen ab. Die prozentische Abnahme belief sich auf 1,2–5,9, im Mittel auf 3,5%, sie war bei weitem grösser als bei einmaliger Dekompression, in Analogie zur Kontrolle. Nach 30 Minuten erfolgte eine durchschnittliche Abnahme von 4,6%, welche derselben bei der Kontrolle gleichkam. Da die prozentische Abnahme des k. o. D. im allgemeinen höhergradig als die des Eiweissgehaltes war, wurde Druck pro % vermindert gefunden. In der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit betrug die prozentische Abnahme des Drucks pro % 0,1–5,2, im Mittel 2,5%; diese Zifferzahlen liegen zwischen den Werten bei der Kontrolle und einmaliger Dekompression. Nach 30 Minuten trat fast keine Wiederherstellung ein; ähnlich wie bei der Kontrolle wies Druck pro % noch im Durchschnitt eine Abnahme von 2,1% auf.

NaCl-Gehalt des Serums lies in jedem Fall keine nennenswerte Veränderung erkennen.

3. Bei einer Höhe von 9,000 m (255 mm Hg).

Zur Dekompression auf 9,000 m Höhe brauchte man ca. 6 Min. 35 Sek., zur Reduktion auf den Atmosphärendruck ca. 1 Min. 45 Sek. Zur dreimaligen Wiederholung des obigen Verfahrens war die Zeit von ca. 25 Min. erforderlich. In dieser Versuchsreihe kamen 5 Kaninchen zur Anwendung. Der Versuch wurde nach derselben Methode, wie im vorigen Kapitel geschildert wurde, angestellt (Tab. 7).

Atemzahl und Herzschlagzahl waren ebenfalls gesteigert.

Hämoglobingehalt erfuhr in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit eine Abnahme von 0–0,5, durchschnittlich 0,3%; nach 30 Minuten fand weiter noch eine Abnahme von 0,9% im Durchschnitt statt. Diese Abnahme war gleichgradig wie bei 7,000 m Höhe.

Tabelle 7. 9000 m Höhe (255 mm Hg) 3 mal wiederholt.

Nr.	Körpergew. (kg) u. Geschlecht	Zeit d. Blutentnahme	Atemzahl	Herzschlag- zahl	Hämoglobin		Serumeiweiß		Eiweiß/Hb.		K. o. D.		K. o. D. pro %		NaCl in Serum	
					g/dl	Diff. in %	%	Diff. in %	%	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	mm H ₂ O	Diff. in %	g/dl	Diff. in %
1	2,97 ♀	Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	72	240	14,94		6,81		47,82		303		44,49		0,560	
			138	294	14,94	±	6,62	-2,8	46,49	-2,8	295	-2,6	44,56	+0,1	0,560	±
			74	252	14,18	-0,4	6,42	-5,7	45,27	-5,3	279	-7,9	43,46	-2,3	0,545	-2,7
2	2,04 ♀	Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	66	230	14,94		6,50		43,51		252		38,77		0,540	
			122	272	14,86	-0,5	6,34	-2,5	42,66	-1,9	247	-2,0	38,96	+0,5	0,540	±
			72	246	14,80	-0,9	6,22	-4,3	42,03	-3,4	236	-6,3	37,94	-2,1	0,538	-0,4
3	2,00 ♂	Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	72	232	14,18		6,26		44,14		252		40,25		0,541	
			132	284	14,16	-0,1	6,03	-3,7	42,58	-3,5	242	-4,0	40,13	-0,3	0,540	-0,2
			74	240	14,06	-0,8	5,94	-5,1	42,25	-4,3	237	-5,9	39,90	-0,8	0,540	-0,2
4	1,85 ♂	Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	72	240	14,24		6,21		42,98		249		40,69		0,550	
			132	294	14,18	-0,4	6,08	-0,6	42,97	-0,2	240	-3,6	39,47	-0,5	0,560	+1,8
			74	246	14,06	-1,3	5,90	-3,6	41,96	-2,4	234	-6,0	39,66	-2,5	0,545	-0,9
5	1,87 ♂	Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	68	236	13,50		6,03		44,67		252		41,79		0,560	
			134	286	13,44	-0,4	5,92	-1,8	44,05	-1,4	244	-3,2	41,22	-1,4	0,560	±
			70	246	13,36	-1,0	5,75	-4,6	43,04	-3,6	234	-7,1	40,69	-2,6	0,548	-2,1
Mittelwert		Vor Direkt nach Rückkehr auf den Normaldruck Nach 30 Min.	70	236	14,22		6,34		44,62		262		41,20		0,550	
			130	286	14,18	-0,3	6,20	-2,2	43,73	-2,0	254	-3,0	40,87	-0,7	0,552	+0,4
			73	246	14,09	-0,9	6,05	-4,6	42,91	-3,8	244	-6,9	40,33	-2,1	0,543	-1,8

Eiweissgehalt nahm im direkten Anschluss an die Druckreduktion ziemlich ab; diese Abnahme bezifferte sich auf 0,6–3,7, durchschnittlich 2,2%, war also grösser als bei 7,000 m Höhe und auch bei der Kontrolle. Nach 30 Minuten fand sich noch eine weitere Abnahme, die im Mittel 4,6% betrug. Diese Zifferzahlen waren gegenüber prozentischer Abnahme des Hämoglobingehaltes einigermaßen grösser.

K. o. D. erfuhr in der Druckreduktion unmittelbar nachfolgender Zeit eine Erniedrigung von 2,0–4,0, durchschnittlich 3,0%. Diese Erniedrigung war annähernd gleichgradig derselben bei 7,000 m Höhe und um ein Gerings höhergradig als bei der Kontrolle sowie bei einmaliger Dekompression. K. o. D. sank also in 2 Versuchen (Versuch 4 und 5) in etwas höherem Grad, in übrigen 3 Versuchen (Versuch 1, 2 und 3) jedoch in beinahe gleichem Grad ab, wie die Abnahme des Eiweissgehaltes. Mithin war Druck pro % in 2 von 5 Versuchen (Versuch 1 und 2) ein wenig erhöht, in übrigen 3 Versuchen (Versuch 3, 4 und 5) eher erniedrigt. Nach 30 Minuten erfuhr Druck pro % zwar infolge des starken Absinkens des k. o. D. eine Erniedrigung, die aber beinahe gleichgradig wie bei der Kontrolle war.

NaCl-Gehalt des Serums bot in allen Versuchen keine wesentliche Veränderung dar.

Besprechung.

Wie aus oben geschilderten Versuchsergebnissen hervorgeht, erfährt der Hämoglobingehalt bei Tieren, die dem Einfluss des Unterdrucks, der einer Höhe von über 5,000 m entspricht, einmal kurze Zeit ausgesetzt sind, schon eine Zunahme, und diese Zunahme tritt in um so stärkerem Masse in Erscheinung, je höhergradig der Unterdruck ist. Da es undenkbar ist, dass in kurzer Frist, wie dies in vorliegendem Versuch der Fall war, jedwede Neubildung der Erythrozyten aus dem hämatopoetischen Apparat stattfände, dürfte die Zunahme des Hämoglobins hierbei auf die Bluteindickung, als einen der Anpassungsvorgänge des Organismus an den O_2 -Mangel oder auf die Mobilisierung der roten Blutzellen aus Blutdepots in das zirkulierende Blut bezogen werden. Da die im vorliegenden Versuch untersuchten Blutproben aus der A. femoralis entnommen wurden, ist es einleuchtend, dass die Blutverteilung zwischen tiefliegenden Organen im Körper und der Körperoberfläche durchaus nicht durch den Unterdruck verschoben worden ist. Im Hinblick auf die Tatsache, dass die Zunahme der Eiweisskonzentration des Blutes und die Vermehrung des Hämoglobingehal-

tes im 5,000 m Höhe entsprechenden Unterdruck in annäherend gleichem Ausmass stattfinden, ist es sehr wahrscheinlich, dass durch den O₂-Mangel das Blutwasser rasch aus der Blutbahn austritt und so eine Bluteindickung bedingt. Dass diese Bluteindickung aber keineswegs eine einfache ist, kann aus beträchtlicher Erniedrigung des k. o. D. sowie Drucks pro % ohne weiteres geschlossen werden. Dieses Absinken des k. o. D. deutet augenscheinlich darauf hin, dass infolge von hierbei auftretender Asphyxie die Verschiebung an Bluteiweissfraktionen sich vollzieht, indem der stärker osmoaktive Albuminanteil abnimmt, während der weniger osmoaktive Globulinanteil zunimmt, d. h. die Eiweisskörper nach grobdisperser Seite hin verschoben sind. Bereits eingangs ist erwähnt worden, dass Kasugai⁶⁾ an Hunden beim Einatmenlassen der sauerstoffarmen Luft im Blute die Albuminverminderung, Globulinvermehrung sowie das Absinken des k. o. D. nachweisen konnte.

Die Feststellung, dass, wenn Tiere dem Einfluss des 7,000 m und 9,000 m Höhe entsprechenden Unterdrucks ausgesetzt sind, Hämoglobin und Bluteiweiss noch stärkere Zunahme als bei 5,000 m Höhe erfahren, ist ein Beweis dafür, dass in grösseren Höhen auch die Bluteindickung dementsprechend intensiver vonstatten geht, vor allem aber ist hervorzuheben, dass hierbei die Erhöhung der Eiweisskonzentration stärker als die des Hämoglobingehaltes ist, und dass diese relative Erhöhung der Eiweisskonzentration in 9,000 m Höhe noch intensiver als in 7,000 m Höhe hervortritt. Nach alledem ist wohl anzunehmen, dass in derartigen grossen Höhen nicht allein die Bluteindickung auftritt, sondern zugleich aber auch das Eiweiss aus der Leber und andern Eiweissdepotorganen im Körper sehr rasch mobilisiert wird. Und hierbei mobilisierte Eiweisskörper dürften aller Wahrscheinlichkeit nach zum grössten Teil zu relativ osmoaktiver Albumingruppe gehören. Denn, wenn Versuchstiere dem 7,000 m insbesondere aber dem 9,000 m Höhe entsprechenden Unterdruck ausgesetzt sind, treten die Erhöhung der Eiweisskonzentration in stärkerem Masse und die Erniedrigungen des k. o. D. sowie des Drucks pro % in erheblich geringerem Masse als in 5,000 m Höhe in Erscheinung.

Miura⁷⁾ hat den Nachweis erbracht, dass beim stärksten O₂-Mangel sich die lebhafteste Mobilisation osmoaktiver Eiweissteilchen aus der Leber ins zirkulierende Blut einstellt, wobei auch neben der Zunahme des Bluteiweisses die Steigerung des k. o. D. sowie des Drucks pro % stattfindet. Sekiguchi⁸⁾ konstatierte, wie oben bereits angeführt, in einer Höhe von über 7,000 m Zunahme des Eiweissgehaltes des

Blutes sowie Erhöhungen dessen k. o. D. und Drucks pro %.

Bei dreimaliger rascher Wiederholung der Dekompression und deren Erledigung ergeben sich erheblich abweichende Befunde von denen bei einmaliger Vornahme des entsprechenden Unterdrucks. Bei dreimal rasch erfolgendem An- und Abstieg des Luftdrucks, gleichgültig, ob es sich um 5,000, 7,000 oder 9,000 m Höhe handle, zeigt nämlich sowohl der Hämoglobingehalt wie auch die Eiweisskonzentration keine so unterschiedlichen Werte gegenüber den Werten vor dem Versuch; es kam niemals zu erheblicher Bluteindickung, wie diese im einmaligen Unterdruckversuch vorkam. Nur im Unterdruckversuch, wo die Dekompression auf 5,000 m oder 7,000 m Höhe dreimal wiederholt wurde, wurde sowohl der Hämoglobingehalt wie auch die Eiweisskonzentration im Durchschnittswert gegenüber der Kontrolle mehr oder weniger vermehrt gefunden. Im Versuch indessen, wo die Dekompression auf 9,000 m Höhe und nachträgliche Druckreduktion dreimal wiederholt wurde, nahm das Bluteiweiss deutlich mehr ab, als bei der Kontrolle.

Es ist wohl eine allgemeine Erfahrung, dass im erhöhten Luftdruck im Gegensatz zum Unterdruck eine Blutverdünnung eintritt, wobei die Erythrozytenzahl, das Hämoglobin und die Eiweisskonzentration gemeinsame Abnahme erfahren.

Die Druckwiederherstellung dürfte dem Unterdruck gegenüber als ein Zustand des relativen Überdrucks angesprochen werden. Wenn man deshalb die Dekompression und die Druckreduktion auf den Normaldruck rasch hintereinander wiederholt vornimmt, so dürften jene kompensatorische Blutveränderungen, welche der Organismus sonst als ein Ausdruck seiner Anpassungsvorgänge an den erniedrigten Sauerstoffdruck reflektorisch bewerkstelligen sollte, infolge des abwechselnden Auftretens der gegensätzlichen Blutveränderungen nicht mehr deutlich in Erscheinung treten.

Sehr interessant erscheint hierbei der Umstand, dass, wenn man den Unterdruck, unabhängig von seiner Stärke,—besonders ausgeprägt aber den Unterdruck, der 5,000 m Höhe entspricht—wiederholt hervorbringt, das Bluteiweiss stärker als das Hämoglobin abnimmt. Die Erklärung hierfür ist zwar schwierig, die Annahme dürfte aber nahelegend sein, dass unter dem Einfluss des durch dreimalige Wiederholung der Dekompression abwechselnd hintereinander eintretenden Unterdrucks und Normaldrucks das Bluteiweiss, insbesondere aber die von kleineren Molekularaggregaten zusammengesetzten Eiweissteilchen von Albumingruppe aus den Kapillaren austreten, was eine stär-

kere Abnahme des Bluteiweisses bewirkt.

Die Kapillarwand ist eigentlich undurchlässig für die Eiweisskörper, sie wird aber dann permeabel auch für diese, wenn eine stärkere Flüssigkeitsbewegung in den Kapillaren stattfindet. Dass die Eiweisskörper auch bei Infusionen der physiologischen Kochsalzlösung durch die Kapillaren durchtreten können, ist von Magnus¹²⁾, Ito¹³⁾ u. a. erkannt worden. Im Wasserversuch von Volhard¹⁴⁾ sehen wir beim Trinken von grossen Mengen Wasser die Eiweisskörper aus Geweben in die Blutgefässe eintreten. Zu demselben Resultat gelangten auch Gollwitzer-Meier u. Rabl¹⁵⁾, Abe¹⁶⁾ u. Shida¹⁷⁾. Yamaguchi¹⁸⁾ hat nachgewiesen, dass die Kapillarwand unter dem O₂-Mangel die Eiweisskörper durchlässt.

Durch den extravasalen Austritt des Albumins erfahren der k. o. D. sowie Druck pro % des Blutes bei wiederholter Vornahme des Unterdrucks, besonders aber des Unterdrucks von 5,000 m Höhe erhebliches Absinken.

Da aber anderseits bei zunehmender Stärke des Unterdrucks, mithin bei immer intensiverem Auftreten des O₂-Mangels das Bluteiweiss, vorwiegend die Eiweissteilchen von Albumingruppe, wie oben bereits angeführt, aus Leber und anderen Eiweissvorratsorganen ins zirkulierende Blut mobilisiert werden, ist die Abnahme des Bluteiweisses gegenüber der des Hämoglobins in umso stärkeren Masse verringert, je stärker der Luftdruck erniedrigt wird. Sie ist also bei Höhenwiederholung von 7,000 und 9,000 m in bedeutenderem Masse als die von 5,000 m verringert. Dabei tritt auch das Absinken des k. o. D. durch Erscheinen osmoaktiver Albuminfraktionen im zirkulierenden Blut deutlich unerheblicher als im Unterdruck von 5,000 m Höhe hervor. Vor allem aber ist die Verminderung des Drucks pro % geringer als bei einmaliger Vornahme der Dekompression auf entsprechende Höhen; sie wird bei Höhenwiederholung von 9,000 m sogar ganz vermisst.

Die oben geschilderte Feststellung, dass bei wiederholter Herbeiführung des Unterdrucks die Eiweisskonzentration gegenüber dem

12) Magnus, Arch. f. exp. Path. u. Pharm., 1899, 42, 250; 1900, 44, 68.

13) Ito, Tohoku Journ. Exp. Med., 1927, 14, 198.

14) Volhard, Mohr u. Staehelin's Handbuck der inneren Medizin, Berlin 1931, VI, 1.

15) Gollwitzer-Meier u. Rabl, Ztschr. f. exp. Med., 1926, 53, 525.

16) Abe, Tohoku Journ. Exp. Med., 1931, 17, 174.

17) Shida, Ibid., 1939, 35, 271.

18) Yamaguchi, Ibid., 1927, 8, 450; 1927, 9, 274.

Hämoglobin stärker abnimmt und auch das Absinken des k. o. D. in erheblicherem Masse erfolgt, dürfte, wie oben gestreift, auf den durch gesteigerte Permeabilität der Kapillarwand herbeigeführten extravasalen Austritt der Eiweisskörper zurückzuführen sein. Man mag sich aber auch zur Annahme versucht fühlen, dass die Abnahmen des Eiweisses sowie des k. o. D. davon herrühren, dass die Eiweissfraktionen von Albumingruppe sich im je stärker erniedrigten Unterdruck in um so grösseren Mengen aus dem zirkulierenden Blut in das Eiweissdepot verbergen. Aber angesichts der Tatsache, dass bei der Wiederholung der Dekompression auf grössere Höhen zwar das Absinken des k. o. D. stärker als bei einmaliger Vornahme der Dekompression auf entsprechende Höhen erfolgt, wohingegen die Abnahme des Druck pro % eher kleiner ist, ist es nicht angängig, den Schwund der Albuminfraktionen aus dem zirkulierenden Blut anzunehmen. Alles in allem dürfte die Annahme wohl gerechtfertigt sein, dass in grösseren Höhen neben dem extravasalen Austritt der Eiweisskörper andererseits auch die Mobilisation derselben, vorwiegend osmoaktiver Albuminfraktion aus dem Eiweissdepotorgan in die Blutbahn sich vollzieht.

Zusammenfassung.

I. Wenn man in der Unterdruckkammer den Luftdruck rasch erniedrigt und 2 Minuten nach Erzielung der gewählten Luftverdünnung wieder prompt die Druckreduktion herbeiführt, dann dokumentieren sich die Einflüsse dieses Verfahrens auf das Arterienblut des Versuchstieres (Kaninchen) folgendermassen:

1. Im Unterdruck, der einer Höhe von über 5,000 m entspricht, vermehrt sich der Eiweissgehalt des Serums; diese Vermehrung tritt mit zunehmender Stärke des Unterdrucks, im Verein mit der Erhöhung der Hämoglobinkonzentration, in immer erheblicherem Ausmasse zutage. Dass die Vermehrung der beiden Blutkomponenten indessen nicht nur durch eine einfache Bluteindickung bedingt ist, kann aus dem Umstand erschlossen werden, dass hieran sich nicht allein die Veränderung des kolloid-osmotischen Drucks (k. o. D.) beteiligt, sondern in einer Höhe von über 7,000 m auch der Eiweissgehalt stärker als die Hämoglobinkonzentration vermehrt gefunden wird.

2. Der k. o. D. und der k. o. D. pro % Eiweiss (Druck pro %) des Blutes erfahren Erniedrigungen, welche jedoch im umgekehrten Verhältnis zu Stärke des Unterdrucks immer kleiner werden. Der Grund hierfür ist darin zu erblicken, dass bei hochgradigem O_2 -Mangel rela-

tiv osmoaktive Eiweissfraktionen aus der Leber und anderen Eiweissdepotorganen ins zirkulierende Blut mobilisiert werden.

II. Bei dreimaliger Wiederholung der oben geschilderten, rasch aufeinander folgenden Dekompression und Druckreduktion zeigte sich das Bild im arteriellen Blut wie folgt:

1. Hämoglobin und Bluteiweiss bieten hier im Gegensatz zum einmaligen Unterdruckversuch fast keine oder höchstens ganz geringfügige Zunahme dar; es lässt sich eine deutliche Tendenz zur Abnahme bemerken, welche mit der Intensität der Unterdrucks immer mehr manifest wird. Die Abnahme des Eiweissgehaltes ist gegenüber der der Hämoglobinkonzentration verhältnismässig noch grösser.

2. Die Erniedrigungen des k. o. D. und Drucks pro % sind grösser als im einmaligen Unterdruckversuch. Sie sind aber im umgekehrten Verhältnis zur Stärke des Unterdrucks immer mehr verringert; vor allem ist aber die Abnahme des Drucks pro % bei der Wiederholung der Dekompression auf grössere Höhe eher auffallend kleiner als bei einmaliger Vornahme der Dekompression auf entsprechende Höhe.

Die Annahme liegt nahe, dass unter obigen Bedingungen die Kapillarwand, die für die Eiweisskörper permeabel geworden ist, Eiweisskörper im Blute, insbesondere osmoaktive Albuminfraktion durchlässt, während andererseits die Mobilisation der Albuminfraktion aus den Eiweissdepotorganen in dem Masse, als der Unterdruck verstärkt wird, immer intensiver erfolgt.