

*Olaf IMELIK*

УДК 612.1:613.72:612

## VERÄNDERUNGEN DES ROTEN BLUTBILDES UND BLUTVOLUMENS BEI MUSKELARBEIT

Bereits um die Jahrhundertwende haben Zuntz und Schumburg (1901) eine bei physischer Arbeit auftretende Polyglobulie nachgewiesen. Darüber hinaus haben viele Forscher diesen Befund bei Menschen (Boothby, Berry, 1915; Rautmann, 1924 u. a.) und bei Versuchstieren (Barcroft, 1925; Scheunert, Müller, 1925; Abderhalden, Roske, 1927 u. a.) festgestellt. Arnold und Krzywanek (1928) haben gezeigt, daß die Polyglobulie desto ausgeprägter ist, je intensiver gearbeitet wird. Als Ursache der Polyglobulie hat man die Sympathikusreaktion betrachtet (Hartmann, Jokl, 1930), auf Grund von Tierexperimenten (Barcroft, 1925) hauptsächlich die Ausschüttung des in der Milz deponierten Blutes. Eine Erhöhung der Erythrozyten- und Hämoglobinkonzentration zeigen auch spätere Untersuchungen von Menschen verschiedener Altersgruppen bei sportlichen Leistungen (Бишенкевич u. Mitarb., 1955; Горшкова, Ломазова, 1959; Горшкова, 1960 u. a.). Diese Angaben zusammenfassend behauptet Gandel'sman (Гандельсман, 1969), daß man allen Grund hat, diese Veränderungen der Erythrozytenzahl auf Verteilungsänderungen des Blutes — auf Ausschüttung des Blutes aus den Depots — zurückzuführen. Doch ist es von verschiedenen Verfassern bewiesen worden, daß es beim Menschen keine echten Blutspeicher gibt, wo das Blut zu einem völligen Stillstand käme (Nylin, 1947; Venrath u. Mitarb., 1957; Schneider, 1966).

Viele Verfasser behaupten, eine Vermehrung der Retikulozytenzahl bei physischer Arbeit nachgewiesen zu haben (Rosenblum, Mendjuk, 1930; Горшкова, 1960 u. a.), was auf eine zusätzliche Mobilisierung roter Zellen aus dem Knochenmark hinweist. Dabei muß man aber in Betracht ziehen, daß Retikulozytosen durchaus nicht konstant auftreten und die Wertbarkeit der Ergebnisse angesichts der natürlichen Schwankungsbreite und der Fehlerbreite der Methodik sehr gering ist (Leibetseder, 1966). Die absolute Zahl reicht bei weitem nicht aus, den gesamten Erythrozytenanstieg unter Belastung zu erklären (Schüler, 1970).

Man hat auch eine Verminderung der Erythrozytenzahl festgestellt, hauptsächlich bei erschöpfenden Anstrengungen (Еропов u. Mitarb., 1926; Семенова, 1934; Крестовников, 1939 u. a.), was man durch Erythrozytenabbau erklärt.

In der neueren Literatur versucht man, die Veränderungen der Erythrozytenkonzentration bei physischer Arbeit als sekundär, von Plasmavolumenveränderungen verursacht zu erklären: man behauptet, daß das System der roten Blutkörperchen sich unter Belastung weitgehend passiv verhält (Schüler, 1970). Man hat gezeigt, daß das Plasmavolumen bereits bei geringen Alltagsbelastungen meßbar abnimmt (König, Lemp, 1965) und daß die Veränderungen unter erhöhter Belastung deutlicher

sind (Holmgren, 1956; König, Zöllner, 1966; Kirsch u. Mitarb., 1968 u.a.).

Ungeachtet dieser Angaben bringen Gandelsman und Jewgenjewa (Гандельсман, Евгенева, 1975) im neuesten Lehrbuch der Physiologie für Hochschulen für Körperkultur, sich auf die Angaben von Jewgenjewa's Doktordissertation (1972) stützend, drei von der Leistungsintensität und -dauer abhängige Veränderungstypen des roten Blutbildes. Dabei werden die Veränderungen bloß durch Blutausschüttung aus den Blutspeichern und durch Veränderungen der Erythropoese erklärt.

In der vorliegenden Untersuchung will man erklären, welchen Anteil die Blutvolumenveränderungen bei Veränderungen der Erythrozytenkonzentration unter physischen Belastungen verschiedener Intensität und Dauer haben, wobei die Blutvolumenveränderungen bei Dauerleistungen dynamisch beobachtet wurden.

### Methode

Die Untersuchungen wurden in sechs Serien durchgeführt.

In der ersten Serie wurde vor und nach verschiedenen Anstrengungen die Erythrozytenzahl (mikroskopische Zählung) und der Hämoglobingehalt (nach Sahli) festgestellt (371 Personen).

In der zweiten Serie wurde vor und nach der Arbeit auf dem Fahrradergometer (3 Minuten Arbeit mit steigender Belastung von 45 W bis 375 W und 15 Minuten Arbeit mit 180 W) die Größenverteilung der Erythrozyten mittels Teilchenzähler Tur ZG-1 bestimmt (83 Schüler der Sportschule).

In der dritten Serie wurden das Blutvolumen mittels Verdünnungsmethode des  $^{131}\text{I}$ -Albumins (Modifikation von Malow (Малов, 1970)), der Hämatokritwert und Hämoglobingehalt (photoelektrokolorimetrisch) bestimmt und Totalhämoglobin sowie Hämoglobin pro 1 kg Körpergewicht berechnet vor und nach kurzfristiger Anstrengung (3 Minuten Lauf auf der Stelle in maximalem Tempo) bei Spitzensportlern verschiedener Sportarten, bei ehemaligen Spitzensportlern, bei Studenten-Sportlern und bei Nichtsportlern (41 Männer und 21 Frauen).

In der vierten Serie wurden dieselben Bestimmungen vor der Arbeit auf dem Fahrradergometer (75 W), 10 und 30 Minuten nach Arbeitsbeginn, unmittelbar und 30 Minuten nach der Arbeit durchgeführt (12 Studenten der Körperkultur).

In der fünften Serie bestimmte man an klinischen Patienten das Blutvolumen vor, sowie 1, 2 und 4 Stunden nach leichter Bewegung — Spazierengehen in Korridors, Auf- und Absteigen der Treppen (13 Patienten).

In der sechsten Serie wurde die Blutmenge nach denselben Zeitintervallen an liegenden Patienten bestimmt (11 Patienten).

Die Untersuchungen der letzten 4 Serien fanden in dem Onkologie-Dispensaire der Estnischen SSR (Tallinn) morgens, vor dem Essen statt. Um die Veränderungen des Blutvolumens von vorhergehender physischer Betätigung nicht abhängig zu machen, brachte man die Untersuchungspersonen der dritten und vierten Serie im Auto vom Hause zur Klinik. Eine halbe Stunde vor der Untersuchung wurde  $20\ \mu\text{Ci}$   $^{131}\text{I}$ -Albumin in physiologischer Lösung in die Kubitalvene injiziert. Wir waren an die in der Klinik benutzte Bestimmungsmodifikation gebunden. Bei dieser Modifikation, wo die Radioaktivität nicht im getrennten Plasma, sondern im ganzen Blut bestimmt wird, muß man mit einem gewissen Bestimmungsfehler rechnen, der aber nach vergleichenden Untersuchungen

## Veränderungen der Erythrozytenzahl und des Hämoglobinprozentages bei verschiedenen physischen Belastungen

Untersuchungspersonen		Belastungs-		Erythrozytenzahl		% der Unter-suchten mit bela-stungsbedingter Erhöhung	Hämoglobinprozent		% der Unter-suchten mit bela-stungsbedingter Erhöhung
		-art	-dauer (min)	vor Belastung	nach Belastung		vor Belastung	nach Belastung	
Kontingent	Zahl								
Studenten der Körperkultur	20	Skilaufwettkampf 10 km	ca 50	4,68±0,140	4,85±0,093	45	13,1±0,48	15,5±0,40	45
Studentinnen der Körperkultur	12	Skilaufwettkampf 5 km	ca 20	4,10±0,132	4,23±0,080	75	11,3±0,54	11,5±0,51	58
Jugendauswahlmannschaft Volleyball	8	Volleyballtraining	120	4,79±0,72	5,03±0,100	75	13,5±0,027	13,9±0,016	75
Schwimmerinnen-Auswahlmannschaft	5	Schwimmtraining	90	4,84±0,172	4,82±0,149	80	15,3±0,60	16,1±0,091	80
Schwimmerinnen-Auswahlmannschaft	6	Schwimmtraining	45	4,47±0,158	4,63±0,180	67	12,6±0,83	12,9±0,74	67
Schüler der Sportschule (Schwimmer)	14	Schwimmtraining	45	4,62±0,142	4,71±0,167	54	13,9±0,46	14,3±0,47	85
Schülerinnen der Sportschule (Schwimmerinnen)	17	Schwimmtraining	45	4,18±0,094	4,45±0,107	57	13,3±0,36	13,1±0,50	57
Schüler der Sportschule (Leichtathleten)	50	Fahrradergometer 45-375 W	3	4,75±0,215	4,97±0,186	52	—	—	—
Schüler der Sportschule (Leichtathleten)	33	Fahrradergometer 180 W	15	4,39±0,060	5,47±0,196	85	—	—	—
Schüler	38	Fahrradergometer 30 W	30	4,65±0,030	4,73±0,028	57	11,2±0,17	11,4±0,17	57
Männer mittleren Alters	44	Fahrradergometer 30 W	30	4,77±0,055	4,93±0,059	66	11,9±0,15	12,2±0,14	73
Studenten der Körperkultur	30	Fahrradergometer 30 W	60	4,60±0,089	4,60±0,063	57	11,8±0,25	11,8±0,29	57
Studenten der Körperkultur	12	Fahrradergometer 75 W	60	47±0,8	47±0,6	50	15,1±0,46	16,2±0,26	75
Studenten der Körperkultur	20	Fahrradergometer 225 W	60	50±0,7	52±0,5	58	16,4±0,38	17,4±0,29	63
Spitzensportler u. a.	41	Lauf auf der Stelle in maximalen Tempo	3	46±0,5	50±0,6	90	13,6±0,15	14,3±0,16	90
Spitzensportlerinnen u. a.	21	Lauf auf der Stelle in maximalen Tempo	3	42±0,5	46±0,7	100	12,0±0,17	12,7±0,19	86

(Малов, 1970) nicht größer ist, als bei der Berechnung des Gesamtblutvolumens aus dem Plasmavolumen mittels des Hämatokritwertes und des Korrekturfaktors. Bei Erhöhung des Hämatokritwertes steigt der Unterschied der Resultate und die Ergebnisse können bis 8% höher sein als die aus dem Plasmavolumen errechneten. So muß man berücksichtigen, daß die arbeitsbedingte Verringerung des Blutvolumens im Falle von steigendem Hämatokritwert sogar größer sein kann, als unsere Angaben zeigen.

### Resultate und Diskussion

Die Veränderungen der Erythrozytenzahl und des Hämoglobinprozentages bei verschiedenen physischen Anstrengungen sind in Tabelle 1 wiedergegeben.

Aus der Tabelle ist zu ersehen, daß der Mittelwert der Erythrozytenzahl und des Hämoglobinprozentages nach der Arbeit fast bei allen von uns untersuchten Arten der Muskelarbeit erhöht ist. Dabei sind aber bei keiner Anstrengungsart die Angaben aller Versuchspersonen gestiegen. Also kann man die Erhöhung der Erythrozytenzahl und des Hämoglobinprozentages als die typische, jedoch nicht als eine sich unbedingt einstellende Reaktion ansehen. Daß die Ursache der Verminderung die Erschöpfung sei (Еропов, 1926; Крестовников, 1939), kann man kaum behaupten, besonders bei solchen Anstrengungen wie die Arbeit mit kleiner Belastung auf dem Fahrradergometer.

Auf Abbildung 1 sind die Histogramme der Größenverteilung der Erythrozyten vor und nach einer 3 Minuten und 15 Minuten dauernden intensiven Arbeit auf dem Fahrradergometer dargestellt. Auf Grund der größeren Erythrozytenzahl liegt die Kurve nach 15 Minuten Arbeit höher,

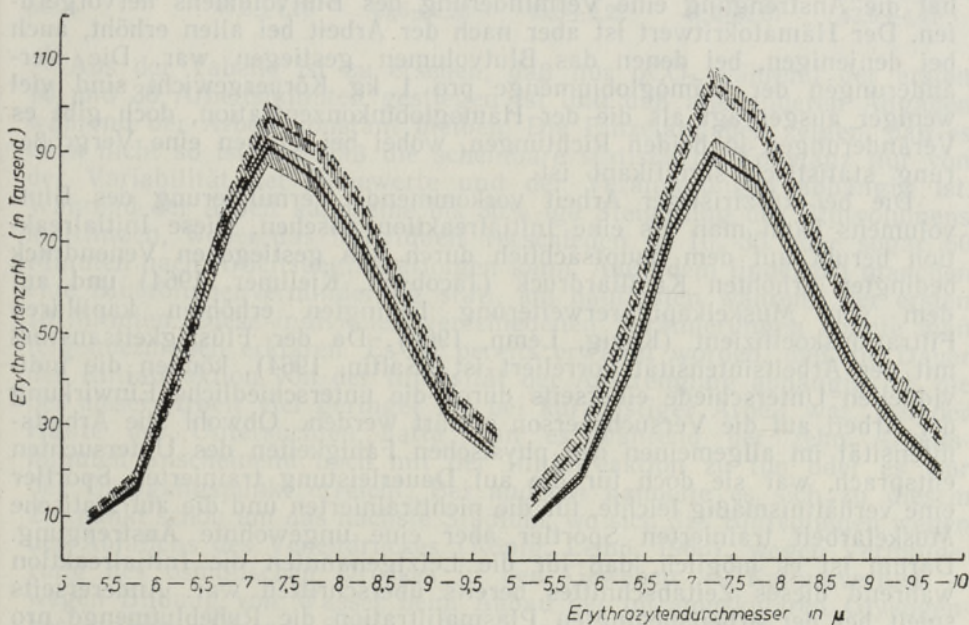


Abb. 1. Größenverteilung der Erythrozyten vor (ununterbrochene Linie) und nach (unterbrochene Linie) einer 3 Minuten (A) und 15 Minuten (B) dauernden Arbeit auf dem Fahrradergometer.

die Kurvenform aber bleibt fast unverändert. Nach einer 3 Minuten dauernden Arbeit, die mit einem großen Sauerstoffmangel und der Erhöhung des  $p\text{CO}_2$  und pH verbunden ist, ist jedoch eine Erhöhung der Makrozyten bemerkbar. Das weist auf eine Zufuhr von Erythrozyten aus hämopoetischem System hin, obgleich sich aus dieser Befund aus der belastungsbedingten Verschiebung der Serumolarität (Ciresa, 1966) und des Säure-Basen-Status des Blutes (Leibetseder, 1966) ergeben kann.

In Tabelle 2 sind die Größen des Blutvolumens, Hämatokritwertes und Hämoglobingehalts bei kurzfristiger intensiver Anstrengung wiedergegeben. Zur Beurteilung der Arbeitsintensität werden auch die Angaben von pH und  $p\text{CO}_2$  in der Tabelle hinzugefügt.

Tabelle 2

Veränderungen beim dreiminütigen Lauf  
auf der Stelle in maximalem Tempo

	Männer (n=41)		Frauen (n=21)	
	Vor der Arbeit	Nach der Arbeit	Vor der Arbeit	Nach der Arbeit
Blutvolumen, ml pro 1 kg Körpergewicht	72±2,0	68±1,7	61±1,9	59±1,6
Hämatokritwert	46±0,5	50±0,6	42±0,5	46±0,7
Hämoglobinprozent	13,7±0,15	14,3±0,16	12,0±0,17	12,7±0,19
Hämoglobin, g pro 1 kg Körpergewicht	10,0±0,29	9,6±0,24	7,7±0,28	7,5±0,26
pH	7,39±0,008	7,18±0,012	7,41±0,025	7,20±0,014
$p\text{CO}_2$	41,6±1,34	82,1±5,00	37,5±1,83	59,6±3,81

Bei den meisten Untersuchten (73% der Männer und 52% der Frauen) hat die Anstrengung eine Verminderung des Blutvolumens hervorgerufen. Der Hämatokritwert ist aber nach der Arbeit bei allen erhöht, auch bei denjenigen, bei denen das Blutvolumen gestiegen war. Die Veränderungen der Hämoglobinmenge pro 1 kg Körpergewicht sind viel weniger ausgeprägt als die der Hämoglobinkonzentration, doch gibt es Veränderungen in beiden Richtungen, wobei bei Frauen eine Vergrößerung statistisch signifikant ist.

Die bei kurzfristiger Arbeit vorkommende Verminderung des Blutvolumens kann man als eine Initialreaktion ansehen. Diese Initialreaktion beruht auf dem hauptsächlich durch den gestiegenen Venendruck bedingten erhöhten Kapillardruck (Jacobson, Kjellmer, 1964) und auf dem von Muskelkapillarerweiterung bedingten erhöhten kapillären Filtrationskoeffizient (König, Lemp, 1966). Da der Flüssigkeitsausfluß mit der Arbeitsintensität korreliert ist (Saltin, 1964), können die individuellen Unterschiede einerseits durch die unterschiedliche Einwirkung der Arbeit auf die Versuchsperson erklärt werden. Obwohl die Arbeitsintensität im allgemeinen den physischen Fähigkeiten des Untersuchten entsprach, war sie doch für die auf Dauerleistung trainierten Sportler eine verhältnismäßig leichte, für die nichttrainierten und die auf statische Muskelarbeit trainierten Sportler aber eine ungewohnte Anstrengung. Darum ist es möglich, daß für die Letztgenannten die Initialreaktion während dieses Zeitabschnittes bereits überschritten war. Andererseits spielt bei der arbeitsbedingten Plasmafiltration die Ruheblutmenge pro 1 kg Körpergewicht eine Rolle. Bei Frauen ist die Ruheblutmenge kleiner als bei Männern, bei Nichttrainierten kleiner als bei Trainierten; bei Trainierten, die auf statische Anstrengungen trainiert haben, kleiner als bei denen, die auf Dauerleistung trainiert haben (Imelik, 1974). Bei

Gruppen der Versuchspersonen, die eine kleinere Blutmenge pro 1 kg Körpergewicht hatten, war die Verminderung des Blutvolumens bei kurzfristiger Arbeit weniger ausgeprägt. Daß der kapilläre Flüssigkeitsausfluß bei Nichttrainierten und Frauen kleiner ist, könnte man durch die geringere Muskelmasse erklären — wegen der kleineren Muskelkapillarisation dürfte auch die kapilläre Filtrationskoeffizientsteigerung geringer sein. Dagegen könnte man bei Gewichthebern mit extrem hypertrophierten Muskeln behaupten, daß die kapilläre Filtrationskoeffizientsteigerung bei dieser Arbeit nicht groß war, weil die Arbeit kaum eine nennenswerte Blutverteilungsänderung des verhältnismäßig kleinen Blutvolumens pro 1 kg Körpergewicht hervorgerufen hat, da auch im Ruhezustand der größte Teil des Blutes sich in den Muskeln befindet.

Die Veränderungen der Mittelwerte bei einstündiger Arbeit auf dem Fahrradergometer sind in Tabelle 3 und die Einzeldaten auf Abbildung 2 geschildert.

Tabelle 3

Veränderungen bei einstündiger Arbeit auf dem Fahrradergometer

	Vor der Arbeit n=12	n=12 Nach dem Arbeitsbeginn		Nach der Arbeit n=12	30 min nach der Arbeit n=6
		in 10 min	in 30 min		
Blutvolumen, ml/kg	76±5,0	79±6,6	79±5,9	81±5,8	71±4,3
Hämatokritwert	47±0,8	48±1,0	48±0,7	47±0,6	46±1,1
Hämoglobinprozent	15,1±0,47	16,0±0,29	16,0±0,22	16,2±0,26	15,1±0,31
Hämoglobin, g/kg	11,5±0,93	12,8±1,24	12,8±1,02	13,2±1,00	10,9±0,52
pH	7,35±0,010	7,34±0,013	7,34±0,008	7,36±0,009	7,39±0,008
pCO <sub>2</sub>	41,3±1,75	46,6±2,28	45,6±2,22	41,0±2,81	43,9±4,41

Aus der Tabelle ist zu ersehen, daß nur pCO<sub>2</sub> während der ersten 10 und 30 Arbeitsminuten gestiegen ist und daß alle anderen Angaben während der Arbeit konstant bleiben. Die Einzelangaben zeigen, daß es doch nicht so ist und daß die scheinbare statistische Konstanz nur von der Variabilität der Ruhewerte und der Veränderungen abhängig ist. Während der Arbeit kann eine bis 30%-ige Steigerung des Blutvolumens stattfinden, wobei das individuell verschieden in 10, 30 oder sogar 60 Minuten nach Arbeitsbeginn erfolgen kann. Außerdem findet bei manchen eine Blutvolumenverminderung statt, am häufigsten während der ersten 10 Minuten. Diese individuell verschiedenen Veränderungen konnte man folgendermaßen erklären. Es ist bereits erwähnt worden, daß die Dauer der Initialreaktion von der Intensität der Anstrengung abhängig ist, die bei dieser Arbeit viel geringer als bei kurzfristiger Arbeit war. Bei der Hälfte der Untersuchten hatte man es während der zehn Arbeitsminuten anscheinend noch mit der Initialreaktion zu tun oder es war der Übergangspunkt erreicht. Bei anderen handelte es sich zu diesem Zeitpunkt schon um das nächste Stadium, wo sich das Blutvolumen wegen des Abfallens des Venendruckes (König, Lemp, 1966), wegen Verminderung des osmotischen Druckes in den Geweben — Kaliumverlust — wegen Bildung von Wasser beim Abbau der intramuskulären Glykogenbestandteile (Olsson, Saltin, 1969) und wegen Oxydationsprozessen, wieder vergrößert. Zusätzlich wirken bei der Erhaltung der intravasalen Flüssigkeit noch hormonelle Mechanismen mit, denn jede Instabilität des zur Verfügung stehenden zentralen Blutvolumens wird von Vorhof-

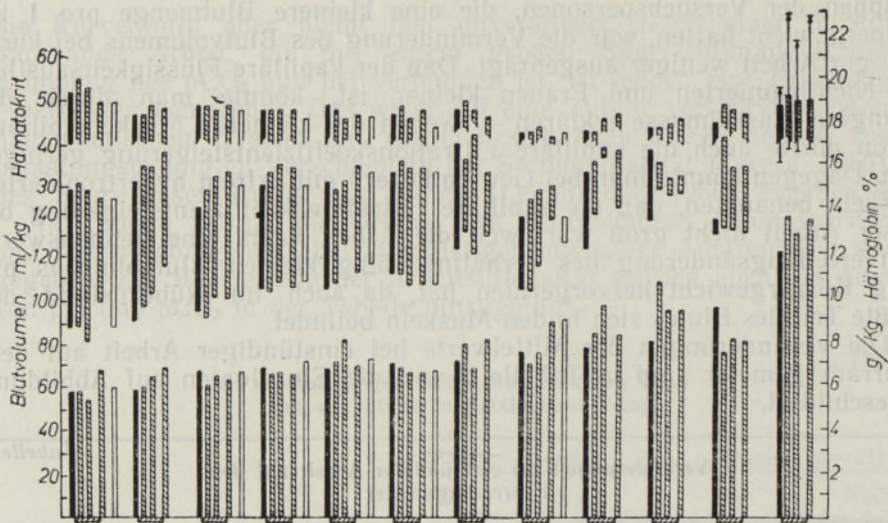


Abb. 2. Veränderungen bei einstündiger Arbeit auf dem Fahrradergometer. Schwarze Säulen — vor der Arbeit, gestreifte Säulen — 10, 30 und 60 Minuten nach Arbeitsbeginn, weiße Säulen — 30 Minuten nach der Arbeit; unterste Säulen — Blutvolumen ml/kg, oberste Spitzen der mittleren Säulen — Hämoglobinprozent, untere Spitzen der mittleren Säulen — Hämoglobin g/kg (Pfeilspitze zeigt die Hämoglobinmenge g/kg, falls diese Zahl größer ist als das Hämoglobinprozent), oberste Säulen — Hämatokritwert.

volumenrezeptoren registriert und führt zu einer entsprechenden Variierung der ADH-Ausschüttung. Die Zufuhr von Wasser in die Gefäße bewirkt eine Erhöhung des Plasmavolumens, so daß ungeachtet des großen Wasserverlustes durch Schwitzen, welches bei unseren Versuchen durchschnittlich ein Kilogramm Abnahme des Körpergewichts verursachte, eine Zunahme des Blutvolumens erfolgen kann (Åstrand, Saltin, 1964; Kirsch u. Mitarb., 1968). Diese Phase kann anscheinend nach verschiedenen Zeitintervallen erreicht werden, und wegen der Verschiebung des Gleichgewichts aller in dieser Phase mitwirkenden Komponenten können während der Arbeit individuell verschiedene wellenförmige Veränderungen des Blutvolumens stattfinden. Durch diese individuell zu verschiedenen Zeitpunkten auftretenden Veränderungen des Plasmavolumens sind auch die in Tabelle 1 gebrachten Veränderungen der Erythrozyten- und Hämoglobinkonzentration bei Arbeit verschiedenen Charakters, verschiedener Intensität und Dauer am besten zu erklären. Unter Berücksichtigung dieser komplizierten Regulationsmechanismen des Plasmavolumens sind die Angaben, die während einer anstrengenden Dauerleistung der Körpergewichtsverminderung entsprechende Plasmavolumenveränderungen zeigen (Гандельсман u. Mitarb., 1977), unerwartet.

Daß die Veränderungen des Hämatokritwertes und des Hämoglobinprozentages bei kurzfristiger Arbeit sowie bei Dauerleistung nicht in allen Fällen parallel laufen, bedeutet, daß sich die Eigenschaften der Erythrozyten bei diesen Belastungen ändern können. Das weist auf eine Verschiebung des Gleichgewichts der älteren und der jüngeren Erythrozyten hin. Daß das System der roten Blutkörperchen sich unter Belastung nicht immer passiv verhält, zeigen noch deutlicher die Veränderungen des Hämoglobingehaltes pro 1 kg Körpergewicht. Obwohl die in der Literatur gebrachten Retikulozytenzählungen keinen überzeugenden Beweis

Tabelle 4

## Blutvolumen (ml/kg) bei liegenden und gehenden Patienten

Liegende Patienten				Gehende Patienten			
Nach der Injizierung				Nach der Injizierung			
	1/2 Stunde	1 Stunde	2 Stunden		1/2 Stunde (vor der Arbeit)	1 Stunde	2 Stunden
1	66	69	69	1	63	67	81
2	48	48	51	2	66	74	85
3	65	68	69	3	51	56	59
4	109	112	109				
5	69	72	71				
Mittelwert	72±10,1	73±10,4	74±9,5		60±4,7	66±5,1	75±7,9
Nach der Injizierung				Nach der Injizierung			
	1/2 Stunde	2 Stunden	4 Stunden		1/2 Stunde (vor der Arbeit)	2 Stunden	4 Stunden
1	61	61	65	1	74	87	89
2	86	89	89	2	67	78	83
3	76	74	79	3	68	86	90
4	53	54	54	4	85	89	98
5	68	68	72	5	55	56	66
6	73	76	76	6	57	66	69
				7	81	86	93
				8	68	80	84
				9	65	78	79
				10	64	78	78
Mittelwert	69±4,7	70±4,9	72±4,9		68±3,0	78±3,3	78±3,2

für eine zusätzliche Mobilisierung roter Zellen aus dem Knochenmark geben, kann das doch als wahrscheinlich angesehen werden. Diese Annahme bestätigen auch die auf Abbildung 1 gebrachten Histogramme. Über die Mitwirkung des Blutdepots in der Muskelarbeit des Menschen geben die Untersuchungen mit «modellierten Blutdepots» (Гандельсман u. Mitarb., 1977) keine Anhaltspunkte. Ungeachtet dessen, daß es beim Menschen keine echten Blutdepots gibt, können auch die Blutverteilungsänderungen eine gewisse Veränderung der Erythrozytenzahl des zirkulierenden Blutes hervorrufen. Neben diesen Faktoren kommt bei Muskelarbeit auch die die Erythrozytenzahl verringernde gestiegene Destruktion der Erythrozyten (Gilligan u. Mitarb., 1943; Davidson, 1964) in Betracht.

Daraus folgt, daß die Veränderungen der Hämoglobin- und Erythrozytenkonzentration eine Integration von Veränderungen verschiedener Faktoren darstellen. Nach unseren obengebrachten Angaben spielt dabei aber die Veränderung des Plasmavolumens die wesentlichste Rolle.

Die Ergebnisse der fünften und sechsten Versuchsserie werden in Tabelle 4 angegeben.

Es ist bekannt, daß sich bei Orthostase die Blutmenge vermindert (Waterfield, 1931) und daß bei alltäglichen Belastungen das Plasmavolumen abnimmt (König, Lemp, 1966). Die von uns beobachtete



Zunahme des Blutvolumens während leichter Bewegung ist dadurch zu erklären, daß die Untersuchungen nach der nächtlichen Bettruhe, die eine Verminderung des Plasmavolumens hervorruft (Saltin u. Mitarb., 1968), durchgeführt wurden.

Eine unveränderte <sup>131</sup>I-Albuminkonzentration während 4-stündiger Untersuchungsperiode beim liegenden Patienten beweist, daß das <sup>131</sup>I-Albumin während dieser Zeit nicht eliminiert wird. Daß auch der leistungsbedingte erhöhte Metabolismus keine Veränderungen der <sup>131</sup>I-Albuminkonzentration zur Folge hat, zeigt die konstant bleibende Gesamtmenge der Albuminfraktion während der von uns angewandten einstündigen Fahrradergometerarbeit (Imelik, Kallikorm, 1977). Folglich sind die Konzentrationsänderungen des <sup>131</sup>I-Albumins während physischer Arbeit wirklich auf Blutvolumenveränderungen zurückzuführen. Das bestätigen auch die von uns erhaltenen Resultate mit den mit <sup>51</sup>Cr markierten Erythrozyten (Imelik u. Mitarb., 1978), die bei Dauerleistung eine ähnliche Dynamik gezeigt haben wie die obenbeschriebene.

#### LITERATUR

- Abderhalden, E., Roske, G. Die Bedeutung der Milz für Blutmenge und Blutzusammensetzung. — Pflügers Arch., 1927, Bd. 216, N 3, S. 308—321.
- Arnold, A., Krzywaneck, F. W. Ein weiterer Beitrag zu der Frage der Erythrocytenvermehrung im menschlichen Blut nach körperlicher Arbeit. — Pflügers Arch., 1928, Bd. 220.
- Åstrand, P. O., Saltin, B. Plasma and red cell volume after prolonged severe exercise. — J. Appl. Physiol., 1964, v. 19, p. 829—832.
- Barcroft, J. Neue Milzforschungen. — Naturwissenschaft, 1925, Bd. 13, N 16, S. 325—330.
- Boothby, W. M., Berry, F. B. The effect of work on the percentage of haemoglobin and number of red corpuscles in the blood. — Amer. J. Physiol., 1915, v. 37, p. 378—381.
- Ciresa, M., Gabl, F., Angerer, M. Untersuchungen über das Verhalten des roten Blutbildes und seiner Indices bei sportlichen Leistungen. — In: Sportmed. Ergebnisse der IX. Olympischen Winterspiele in Innsbruck. Bd. VI. Forschungen und Forscher der Tiroler Ärzteschule, 1966, S. 89.
- Davidson, R. J. L. Exertional haemoglobinuria: a report of three cases with studies on the haemolytic mechanism. — J. Clin. Path., 1964, v. 17, p. 536—540.
- Gilligan, D. A., Altschule, M. D., Katerski, E. M. Physiological intravascular hemolysis of exercise. Hemoglobinemia and hemoglobinuria following cross country runs. — J. Clin. Invest., 1943, v. 22, N 6, p. 859—869.
- Hartmann, E., Jokl, E. Untersuchungen an Sportsleuten. I. Mitteilung: Veränderungen des morphologischen Blutbildes. — Arbeitsphysiologie, 1930, Bd. 2, N 6, S. 44—52.
- Holmgren, A., Mossfeld, F., Sjöstrand, T., Ström, G. Effect of training on work capacity, total hemoglobin, blood volume and pulse rate in recumbent and upright position. — Acta Physiol. Scand., 1960, v. 50, N 1, p. 72—83.
- Jacobson, S., Kjellmer, J. Accumulation of fluid in exercising skeletal muscle. — Acta Physiol. Scand., 1964, v. 60, p. 286—292.
- Kirsch, K., Kober, G., Eckert, P. Das Blutvolumen und die Blutverteilung vor und nach körperlicher Arbeit. — Z. Kreislauff., 1968, Bd. 57, S. 969—978.
- König, E., Lemp, A. Plasmavolumenänderungen durch alltägliche Belastung bei Herzgesunden und Herzinsuffizienten. — Klin. Wochenschr., 1966, Bd. 44, N 15, S. 862—870.
- König, E., Zöllner, E. Veränderungen des Plasmavolumens durch Tretarbeit im Liegen bei Herzgesunden und bei Herzinsuffizienten. — Z. ges. exp. Med., 1966, Bd. 140, N 3, S. 268—286.
- Leibetseder, F., Angerer, M., Schröcksnadel, H. Über das Verhalten der Retikulozyten nach sportlichen Anstrengungen. — In: Sportmed. Ergebnisse der IX. Olympischen Winterspiele in Innsbruck. Bd. VI. Forschungen und Forscher der Tiroler Ärzteschule, 1966, S. 119.
- Leibetseder, F., Angerer, M., Galvan, G., Schröcksnadel, H. Über das Verhalten der Erythrozytendurchmesser nach sportlichen Anstrengungen. — In: Sportmed. Ergebnisse der IX. Olympischen Winterspiele in Innsbruck. Bd. VI. Forschungen und Forscher der Tiroler Ärzteschule, 1966, S. 105.

- Nylin, G. The effect of heavy muscular work on the volume of circulating red corpuscles in man. — *Amer. J. Physiol.*, 1947, v. 149, p. 180—184.
- Olsson, K. E., Saltin, B. Variation in total body water with muscle glycogen changes in man. — *Medicine and Sport. Basel—New York*, 1969, v. 3, p. 159—162.
- Rautmann, H. Wirkungen des sportlichen Laufes. — *Z. klin. Med.*, 1924, Bd. 98, S. 58—95.
- Rosenblum, Mendjuk, 1930. Arbeitsphysiol. 2. Zitiert nach Thörner, W. Blut und Blutbildungsstadien beim Sport. — In: Arnold, A. Lehrbuch der Sportmedizin. Berlin, 1960.
- Saltin, B. Aerobic work capacity and circulation at exercise in man. — *Acta Physiol. Scand.*, 1964, v. 62, Suppl. 230, p. 52.
- Saltin, B., collab., 1968. Zitiert nach Astrand, P. O., Rodahl, T. Textbook of Work Physiology. New York—Philadelphia, 1970.
- Scheunert, A., Müller, C. Einfluß von Bewegung und sportlicher Höchstleistung auf die Blutbeschaffenheit des Pferdes. — *Pflügers Arch.*, 1926, Bd. 212, N 3, 4, S. 468—476.
- Schneider, K. W. Blutvolumen und Herzminutenvolumen. — *Arztl. Forsch.*, 1966, Bd. 20, S. 420—433.
- Schüler, K. P. Rotes Blutbild und Blutvolumen beim Sportler. — *Medizin und Sport*, 1970, Bd. 10, N 4, S. 102—111.
- Venrath, H., Bolt, W., Hollmann, W., Valentin, H., Kesteloot, H. Über die Blutdeposits beim Menschen. — *Sportmedizin*, 1957, Bd. 8, N 7, S. 186—188.
- Waterfield, R. L. Effects of posture on circulating blood volume. — *J. Physiol. (London)*, 1931, v. 72, N 1, p. 110—120.
- Zuntz, N., Schumburg, W. Physiologie des Marsches. Berlin, 1901.
- Бишенкевич С. И., Горшкова Т. Н., Ломазова Х. Д., Маркосян А. А. Влияние спортивных соревнований на систему и свойства крови юных спортсменов. — Тр. II научной конференции по возрастной морфологии и физиологии. М., 1955, с. 150—156.
- Гандельсман А. Б. Функция системы крови и мышечная деятельность. — В кн.: Руководство по физиологии. Физиология мышечной деятельности труда и спорта. Л., 1969, с. 242—251.
- Гандельсман А. Б., Евгенева Л. Н. Кровь. — В кн.: Физиология человека (ред. Зимкин Н. В.). М., 1975, с. 214—222.
- Гандельсман А. Б., Евдокимова Т. А., Пономарев В. П., Рапопорт А. Б., Петров Ю. А. Изменение объема крови во время велозргометрических нагрузок у спортсменов. — Теория и практика физической культуры, 1977, № 1, с. 35—39.
- Гандельсман А. Б., Рапопорт А. Б., Евдокимова Т. А., Пономарев В. П. О так называемом депо крови при мышечной работе человека. — Физиология человека, 1977, № 2, с. 355—361.
- Горшкова Т. Н., Ломазова А. Д. Деятельность системы крови у юных спортсменов при длительных мышечных напряжениях. — Тр. III научной конференции по возрастной морфологии, физиологии и биохимии. М., 1959, с. 275—279.
- Горшкова Т. Н. Влияние мышечной деятельности на картину красной и белой крови юных и взрослых спортсменов. — В кн.: Кровь и мышечная деятельность. М., 1960, с. 58—72.
- Евгенева Л. Я. Адаптация дыхательной системы к напряженной мышечной деятельности. — Автореф. дис. докт. биол. н. Львов, 1972.
- Егоров А. П., Чиркин М. Д., Кауфман Б. Д. Краткая сводка результатов исследования влияния разных видов физических упражнений на картину крови. — Теория и практика физкультуры, 1926, № 5, с. 82—87.
- Имелик О. И. Зависимость объема циркулирующей крови и количества гемоглобина от вида спортивной тренировки. — В кн.: Актуальные вопросы спортивной медицины и лечебной физкультуры. Таллин, 1974, с. 146—150.
- Имелик О. И., Калликорм А. П. Содержание белков в сыворотке крови у спортсменов и изменения его при физической работе. — В кн.: Актуальные вопросы спортивной медицины и лечебной физкультуры. Таллин, 1977, с. 36—37.
- Имелик О. И., Тамм А. О., Йила С. В., Куслап И. Х., Кээби У. О. Определение массы эритроцитов при физической работе. — В кн.: Спортивная медицина и управление тренировочных процессов. (Тезисы). М., 1978, с. 34.
- Крестовников А. Н. Физиология спорта. М., 1939.
- Малов Г. А. Ускоренный способ определения объема циркулирующей крови с помощью  $I^{131}$ -альбумина. — Медицинская радиология, 1970, т. 15, № 11, с. 31—34.
- Семенова К. Н. Обмен красной крови при физической нагрузке. — Клиническая медицина, 1939, т. 17, № 8, с. 26—34.

Eingegangen

am 21. Febr. 1978

Olaf IMELIK

## PUNASE VERE PILDİ JA VERE MAHU MUUTUSTEST LIHASTÖÖ PUHUL

## Resüme

On uuritud vere mahu muutusi mitmesuguse kestuse ja intensiivsusega lihastöö puhul, kasutades  $^{131}\text{I}$ -albumiini lahendusmeetodit. Lühiaegne intensiivne töö põhjustab tüüpilise reaktsioonina vere mahu vähenemise, pika kestusega intensiivne töö individuaalselt erinevaid lainelisi vere mahu muutusi ning pärast õist puhkust toimunud kerge lihastegevus vere mahu suurenemise. Nende andmete alusel on mitmesuguste sportlike pingutuste ja veloergomeetril sooritatud tööde puhul saadud erütrotsüütide- ja hemoglobiinisalduse muutusi veres seletatud plasma mahu muutuse tagajärjena. Lihastöö puhul vere mahu muutustega mitte alati paralleelselt toimunud hematokriti muutused ja hemoglobiini hulga muutused kilogrammi kehakaalu kohta näitavad ka punase vere süsteemi teatavat aktiivsust vere koostise muutumisel. Erütrotsüütide suurusjaotuse kõvera analüüs viitab erütrotsüütide juurdepaikumisele vereloomeelunditest.

On arutletud plasma mahu muutuste põhjusi erinevate pingutuste korral.

Lihastöö puhul sooritatud vere mahu muutuste uurimistulemuste usaldatavust  $^{131}\text{I}$ -albumiini ühekordsel tööeelsel manustamisel näitab 1) lamavatel patsientidel nelja tunni vältel pärast süstimist konstantseks jääv  $^{131}\text{I}$ -albumiini kontsentratsioon ning 2) pika kestusega lihastöö puhul konstantseks jääv vereseerumi albumiini fraktsiooni üldhulk.

Tartu Riiklik Ülikool

Toimetusse saabus  
21. II 1978

Олаф ИМЕЛИК

## ИЗМЕНЕНИЕ КАРТИНЫ КРАСНОЙ КРОВИ ПРИ МЫШЕЧНОЙ РАБОТЕ

## Резюме

Изменение объема крови при мышечной деятельности разной длительности и интенсивности исследовалось методом разведения  $^{131}\text{I}$ -альбумина. При кратковременной напряженной работе мышц наблюдалось, как правило, уменьшение объема крови, при продолжительной напряженной работе — индивидуально разнообразные изменения, а при легкой мышечной деятельности после ночного отдыха подопытных — увеличение объема крови. На основе этих данных изменения содержания эритроцитов и гемоглобина в крови, наблюдаемые у спортсменов при разных спортивных упражнениях и при работе на велоэргометре, объясняются как результат изменений объема плазмы крови. Изменения гематокрита и количества гемоглобина (на килограмм веса тела), не всегда протекающие параллельно изменениям объема крови при мышечной работе, показывают некоторую активность системы красной крови в сдвигах ее состава. Анализ кривых распределения эритроцитов по их размерам указывает на приток эритроцитов из органов кровотока.

Обсуждаются причины изменений объема плазмы крови при разных мышечных напряжениях.

Постоянство концентрации  $^{131}\text{I}$ -альбумина у лежащих подопытных в течение 4 ч и постоянство общего содержания фракции альбумина сыворотки при продолжительной мышечной работе подтверждают достоверность данных, полученных при однократном введении  $^{131}\text{I}$ -альбумина перед мышечной работой.

Тартуский государственный университет

Поступила в редакцию  
21/II 1978