

J. Clin. Chem. Clin. Biochem.
Vol. 17, 1979, pp. 613–618

Bestimmung der Hämoglobinkonzentration aus Messungen der Blut- und Plasmadichte mittels der Biegeschwingermethode¹⁾

Von H. Hinghofer-Szalkay und H. Holzer

Aus dem Physiologischen Institut (Vorstand: Prof. Dr. Th. Kenner) und der Medizinischen Universitätsklinik (Vorstand: Prof. Dr. S. Sailer) der Universität Graz

(Eingegangen am 9. Februar/14. Juni 1979)

Zusammenfassung: Blutproben von Patienten wurden zur Messung der Blut- und Plasmadichte nach der Biegeschwingermethode, des Hämatokrit und der Hämoglobinkonzentration im Blut herangezogen. Es zeigte sich, daß aus den Dichtewerten allein die Hämoglobinkonzentration und der Hämatokrit mit ausreichender Genauigkeit berechnet werden können. Zusammen mit der Bestimmbarkeit der Gesamteiweißkonzentration aus der Dichte des Plasmas (Holzer et al (1978) J. Clin. Chem. Clin. Biochem. 16, 391–395) ergibt sich die Möglichkeit, mit zwei schnellen, einfachen und genauen Dichtemessungen drei klinisch relevante Parameter zu ermitteln, wobei insgesamt etwa 3 ml Blut benötigt werden.

The calculation of hemoglobin concentration from blood and plasma densities, measured by the mechanical oscillator technique

Summary: Blood samples from patients were taken for the measurement of blood and plasma densities by the mechanical oscillator technique, and the hematocrit value and the hemoglobin content of the blood. The values for blood and plasma density permit the precise calculation of blood hemoglobin concentration and hematocrit. Thus, in addition to the calculation of total protein concentration of plasma (Holzer et al (1978) J. Clin. Chem. Clin. Biochem. 16, 391–395), measurement of the blood density yields two further relevant parameters. In total, only 3 ml of blood are needed for the measurements.

Einführung

Im Rahmen von Untersuchungen über die Blutdichte mittels eines neuen Meßverfahrens (1–3) ergab sich die Frage nach der im Prinzip seit langem bekannten Beziehung zwischen Hämoglobingehalt und Dichte der roten Blutzellen (4).

Blut- und Plasmadichte lassen sich mittels des von uns benützten Biegeschwingerprinzips schnell, einfach und äußerst genau messen. Über die Eignung der Methode zur Gesamteiweißbestimmung aus der Plasmadichte wurde schon früher berichtet (5). Wir überprüften nun, wie verlässlich bei zusätzlicher Messung der Blutdichte auch der Hämoglobingehalt errechenbar ist und weiters, wie gut aus den Werten der Hämatokrit abschätzbar ist.

Dazu wurden von verschiedenen Probanden gewonnene Proben zu Messungen der Dichtewerte, der Hämoglobin-

konzentration des Blutes und des Hämatokrit herangezogen. Die eingangs erwähnte Problemstellung wurde an Hand der so gewonnenen Daten untersucht.

Methoden

20 willkürlich ausgewählten männlichen Patienten einer medizinischen Klinik wurde nach Stauung am Oberarm jeweils 5 ml venöses Blut aus einer Kubitalvene in sterile, zwei Tropfen Heparinlösung enthaltende Einmalspritzen entnommen und diese sofort auf einem Probenwender fixiert. Ein Teil des Blutes wurde zwecks Gewinnung von Plasma zentrifugiert und das Plasma ebenfalls in Einmalspritzen gefüllt.

Der Hämoglobingehalt wurde kolorimetrisch, jeweils doppelt oder dreifach, der Hämatokrit mittels Zentrifuge jeweils sechsfach bestimmt. Zur weiteren Berechnung wurden die Mittelwerte der Messungen verwendet.

Plasma- und Blutdichtewerte wurden mit einem Dichtemeßgerät DMA 55 der Firma Paar KG, Graz, untersucht. Die Messungen erfolgten bei 20,0°C. Zur Thermostatisierung diente ein Ultharmostat Type CB 60 der Firma Heto.

Die Blutproben wurden bis unmittelbar vor Füllung der Meßröhrchen für die Hämoglobin- und Hämatokritbestimmung sowie

¹⁾ Unterstützt durch den Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung.

der Dichtemeßanordnung durch einen Probenwender in Bewegung gehalten, um Aggregation der Blutzellen und Senkungseffekte zu vermeiden.

Das Dichtemeßgerät arbeitet nach dem von *Kratky, Leopold* und *Stabinger* beschriebenen Prinzip (1). Die Probe wird in ein aus Glas bestehendes U-Rohr eingebracht, welches zu Schwingungen in seiner Eigenfrequenz angeregt wird. Je höher die Dichte und somit die Masse der Probe, desto langsamer oszilliert der gesamte Körper und umso länger währt ein Schwingungszyklus. Die Dauer dieser Periode wird vom Gerät gemessen und der Wert in die entsprechende Dichte der Probe umgerechnet. Eine detaillierte Beschreibung des Meßprinzips findet sich in l.c. (1,2).

In keinem Fall konnte während der Blutdichtemessung eine Senkung im Schwinger oder eine den Meßwert verfälschende Anreicherung von Blutzellen in der Schwingerspitze (6) beobachtet werden, die angezeigten Beträge waren während der für Temperaturgleich und Messung erforderlichen Zeit (weniger als eine Minute) stabil.

Die gemessenen Plasma- und Blutdichtewerte waren bei wiederholter Füllung des Meßschwingers jeweils aus derselben Spritze, nach Verwerfen der vorhergehend gemessenen Fraktion, auf 10^{-2} g/l reproduzierbar. Auf mehrfache Bestimmungen der Dichtewerte konnte im Einzelfall daher verzichtet werden.

Liste der verwendeten Symbole

In den folgenden Texten und Darstellungen werden die nachstehenden Symbole verwendet:

ρ_P : Plasmadichte (in g/l),

ρ_B : Blutdichte (in g/l),

ρ_E : Erythrocytendichte, berechnet aus ρ_P , ρ_B und Hämatokrit (in g/l),

ρ_{E_0} : Dichte der „hämoglobinleeren“ Erythrocyten als Nullpunktdurchgang der Regressionsgeraden entsprechend Gleichung (Gl. 3) und Abbildung 1. Aus den Meßwerten ergab sich für ρ_{E_0} 1008,52 g/l.

c_{Hb_B} : Hämoglobinkonzentration im Blut, kolorimetrisch bestimmt (in g/l);

c_{Hb_C} : Hämoglobinkonzentration in den Erythrocyten (in g/l Erythrocyten), berechnet aus c_{Hb_B} und Hämatokrit nach Gleichung (Gl. 2),

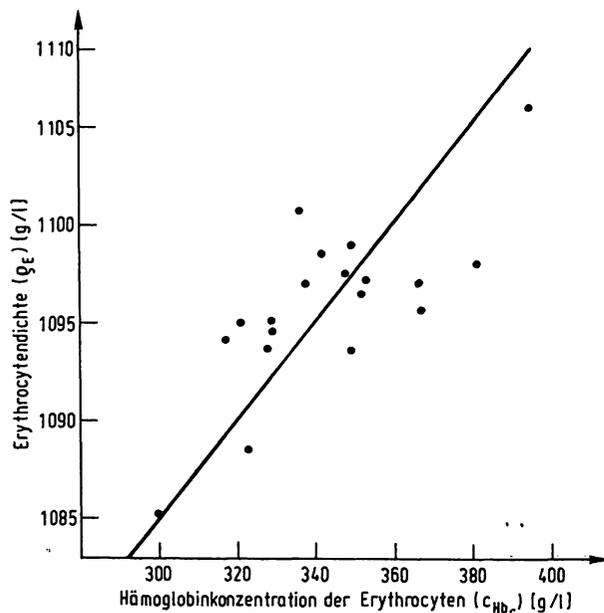


Abb. 1. Beziehung zwischen Erythrocytendichte (ρ_E) und erythrocytärer Hämoglobinkonzentration (c_{Hb_C}), beides in g/l. $N = 20$, $r = 0,751$, Steigung der Regressionsgeraden $a = 0,25479$, Dichte bei $c_{Hb_C} = 0$ (ρ_{E_0}) = 1008,52 g/l.

$c_{Hb_B}^+$: Hämoglobinkonzentration im Blut, berechnet nach Gleichung (Gl. 6) aus Blut- und Plasmadichte sowie Hämatokrit (in g/l);

$c_{Hb_B}^{++}$: Hämoglobinkonzentration im Blut, berechnet nach Gleichung (Gl. 8) aus Blut- und Plasmadichte (in g/l);

Ht: Hämatokrit, ermittelt mit Hilfe der Hämatokritzentrifuge, in Volumenfraktion;

Ht_{corr}: „wahrer“ Hämatokrit, berechnet nach l.c. (7) als $Ht - 0,04 Ht$, in Volumenfraktion;

Ht_{calc}: Nach Gleichung (Gl. 7) aus Blut- und Plasmadichte berechneter wahrer Hämatokrit, unter Zugrundelegung einer Erythrocytendichte von 1095,72 g/l (siehe Diskussion), in Volumenfraktion.

Theorie und Auswertung

Den Ansatz für die Berechenbarkeit der Hämoglobinkonzentration aus den Dichtewerten stellt die Überlegung dar, daß die Blutdichte dem gewichteten Mittel aus Plasmadichte und Blutzellendichte, vereinfacht Erythrocytendichte, entspricht (6):

$$\rho_B = \rho_P (1 - Ht_{corr}) + \rho_E \cdot Ht_{corr} \quad (Gl. 1)$$

Weiters läßt sich die Hämoglobinkonzentration im „wahren“ Erythrocytenvolumen (erythrocytäre Hämoglobinkonzentration c_{Hb_C}) aus der Beziehung

$$c_{Hb_C} = \frac{c_{Hb_B}}{Ht_{corr}} \quad (Gl. 2)$$

errechnen.

Die Annahme einer linearen Beziehung zwischen Erythrocytendichte und Hämoglobinkonzentration der Erythrocyten (4) ließ sich bestätigen (siehe Ergebnisse) und kann in Form folgender Gleichung ausgedrückt werden:

$$\rho_E = \rho_{E_0} + a \cdot c_{Hb_C} \quad (Gl. 3)$$

Dabei bedeuten a die Steilheit der Regressionsgeraden und ρ_{E_0} die Dichte bei $c_{Hb_C} = 0$.

Aus den Gleichungen (Gl. 2) und (Gl. 3) ergibt sich für die Hämoglobinkonzentration des Blutes die Beziehung

$$c_{Hb_B} = \frac{1}{a} (\rho_E - \rho_{E_0}) Ht_{corr} \quad (Gl. 4)$$

Aus Gleichung (Gl. 1) berechnet sich die Erythrocytendichte als

$$\rho_E = \frac{\rho_B - \rho_P (1 - Ht_{corr})}{Ht_{corr}}$$

und nach Einsetzen dieses Ausdrucks in Gleichung (Gl. 4) ergibt sich:

$$c_{Hb_B} = \frac{1}{a} \left[\rho_B - \rho_P (1 - Ht_{corr}) \right] - \frac{1}{a} (\rho_{E_0} \cdot Ht_{corr}) \quad (Gl. 5)$$

Ergebnisse

In Tabelle 1 findet sich eine Zusammenstellung der gemessenen Daten. Die Dichte der Plasmen (ρ_P) betrug durchschnittlich 1025,60 g/l (höchster Wert 1030,17 g/l, Probe Nr. 13, niedrigster Wert 1021,19 g/l, Probe Nr. 4). Diese Werte sind überwiegend von der Gesamteiweißkon-

Tab. 1. Gemessene Daten. Zur Erklärung der Abkürzungen und Dimensionen siehe den betreffenden Abschnitt.

Probe Nr.	ρ_P	ρ_B	Ht	c_{Hb_B}
1	1024,97	1052,42	0,3856	129,5
2	1025,01	1053,25	0,3997	131
3	1023,82	1051,68	0,3988	134,5
4	1021,19	1041,00	0,2592	83,5
5	1023,07	1055,13	0,4478	149,5
6	1024,93	1053,92	0,3728	141
7	1024,59	1047,88	0,3673	114,5
8	1025,52	1055,00	0,4470	136
9	1027,16	1047,41	0,3010	102
10	1026,66	1057,08	0,4503	146
11	1025,86	1057,10	0,4703	145
12	1027,11	1049,00	0,3712	115
13	1030,17	1057,60	0,4210	154
14	1025,00	1053,51	0,4122	145
15	1025,46	1051,43	0,3970	133
16	1029,27	1051,10	0,3450	109
17	1022,20	1055,90	0,4850	153
18	1024,65	1049,04	0,3680	116
19	1029,52	1050,92	0,4000	115
20	1025,91	1052,51	0,3970	140
\bar{x}	1025,60	1052,14	0,3949	129,6
s_x	2,92	4,00	0,0542	18,8

zentration bestimmt (5), welche demnach zwischen etwa 57 und 89 g/l (Mittelwert 73 g/l) lag. Die Dichte der Vollblute (ρ_B) betrug im Mittel 1052,14 g/l mit Extremen von 1041,00 (Probe Nr. 4) und 1057,60 g/l (Probe Nr. 13).

Die Hämatokritwerte (Ht) wurden bei jeder Probe sechsfach bestimmt; die Mittelwerte sind in Tabelle 1 angegeben und dienen zur weiteren Berechnung. Die Stan-

dardabweichungen aus den je sechs Meßresultaten betragen zwischen 0,0005 und 0,0045 Volumenfraktionen (0,05 bis 0,45 Hämatokrit-%).

Die kolorimetrisch ermittelte Hämoglobinkonzentration im Blut (c_{Hb_B}) betrug im Durchschnitt 129,6 g/l, der höchste Wert war 154 (Probe Nr. 13), der geringste 83,5 g/l (Probe Nr. 4).

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die berechneten Werte. Zunächst wurden die gemessenen Hämatokritwerte (Ht) für 4% "trapped plasma" (7) korrigiert. Die so ermittelten Werte für den „wahren“ Hämatokrit (Ht_{corr}) bewegten sich zwischen 0,2488 (Probe Nr. 4) und 0,4656 (Probe Nr. 17), das Mittel lag bei 0,3790 (Angaben in Volumenfraktion).

Die (durchschnittliche) Erythrocytendichte (ρ_E) jeder einzelnen Probe konnte nicht direkt gemessen werden, da auch nach intensiver Zentrifugation Reste von Plasma zwischen den Zellen verbleiben. Sie wurde durch lineare Extrapolation auf den Hämatokritwert 1 bestimmt, indem der Plasmadichte jeder Probe der Hämatokritwert 0 und ihrer Blutdichte der „wahre“ Hämatokritwert Ht_{corr} zugeordnet wurden.

Die so ermittelten Beträge von ρ_E schwankten zwischen 1085,25 (Probe Nr. 19) und 1105,93 g/l (Probe Nr. 6), im Schnitt lagen sie bei 1095,72 g/l.

Die erythrocytäre Hämoglobinkonzentration (c_{Hb_C}) wurde nach Gleichung (Gl. 2) ermittelt. Der gefundene Minimalbetrag war 299,5 Gramm Hämoglobin pro Liter Erythrocyten (Probe Nr. 19), der höchste 394,0 g/l (Probe Nr. 6), als Mittelwert wurden 342,3 g/l gefunden,

Tab. 2. Berechnete Daten. Zur Erklärung der Abkürzungen und Dimensionen siehe den betreffenden Abschnitt.

Probe	Ht_{corr}	ρ_E	c_{Hb_C}	$c_{Hb_B}^+$	Ht_{calc}	$c_{Hb_B}^{++}$
1	0,3710	1098,96	349,1	131,7	0,3880	132,8
2	0,3837	1098,61	341,4	135,7	0,3994	136,7
3	0,3828	1096,60	351,4	132,3	0,3875	132,6
4	0,2488	1100,81	335,6	90,1	0,2658	91,0
5	0,4299	1097,65	347,8	150,4	0,4413	151,0
6	0,3579	1105,93	394,0	136,8	0,4095	140,2
7	0,3526	1090,64	324,7	113,6	0,3274	112,1
8	0,4291	1094,22	316,9	144,3	0,4199	143,7
9	0,2890	1097,23	352,9	100,6	0,2954	101,1
10	0,4323	1097,03	337,7	150,2	0,4405	150,8
11	0,4515	1095,05	321,2	153,3	0,4472	153,0
12	0,3562	1088,56	322,9	111,9	0,3190	109,2
13	0,4042	1098,03	381,0	142,0	0,4185	143,2
14	0,3955	1097,09	366,6	137,5	0,4031	138,0
15	0,3811	1093,60	349,0	127,3	0,3696	126,5
16	0,3312	1095,18	329,1	112,7	0,3285	112,4
17	0,4656	1094,58	328,6	157,3	0,4584	156,9
18	0,3533	1093,68	328,3	118,1	0,3432	117,5
19	0,3840	1085,25	299,5	115,6	0,3233	110,6
20	0,3811	1095,71	367,4	130,4	0,3810	130,4
\bar{x}	0,3790	1095,72	342,3	129,6	0,3783	129,5
s_x	0,0520	4,38	22,9	18,2	0,0548	18,7

was mit Literaturwerten übereinstimmt (8). Die Beziehung zwischen Erythrocytendichte und erythrocytärer Hämoglobinkonzentration kann als linear angesehen werden und ist, entsprechend den in Tabelle 2 angegebenen Daten, in Abbildung 1 dargestellt. Die Regression kann in Form von Gleichung (Gl. 3) ausgedrückt werden. Der Korrelationskoeffizient betrug 0.751; für a ergab sich der Wert 0.25479 und für ρ_{E_0} 1008.52 g/l, was etwas über der Dichte einer eiweißlosen Körperflüssigkeit (1005–1006 g/l bei 20°C) liegt und daher für die Dichte „leerer“ Erythrocyten als plausibel erscheint.

Auf Grund der gefundenen Zahlenwerte für a und ρ_{E_0} kann Gleichung (Gl. 5) in Form folgender Formel beschrieben werden:

$$c_{Hb_B}^+ = 3,9248 [\rho_B - \rho_P (1 - Ht_{corr})] - 3958,24 Ht_{corr} \quad (Gl. 6)$$

Durch Verwendung dieser Gleichung ergeben sich die unter $c_{Hb_B}^+$ aufscheinenden Werte der Tabelle 2. Der Durchschnitt dieser aus „wahren“ Hämatokrit, Blut- und Plasmadichte errechneten Werte liegt bei 129,6 g/l, ist also identisch mit dem der gemessenen c_{Hb_B} -Werte. Die mittlere Abweichung der gerechneten von den gemessenen Beträgen betrug 4,6 g/l, das sind 3,5% des durchschnittlichen Meßwertes. Die größte Abweichung betrug 12,0 g/l (Probe Nr. 13), das sind 9,3% des durchschnittlichen Meßwertes.

In Abbildung 2 sind die nach Formel (Gl. 6) berechneten Werte $c_{Hb_B}^+$ in Abhängigkeit von den kolorimetrisch bestimmten (c_{Hb_B}) aufgetragen. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,953 (N = 20).

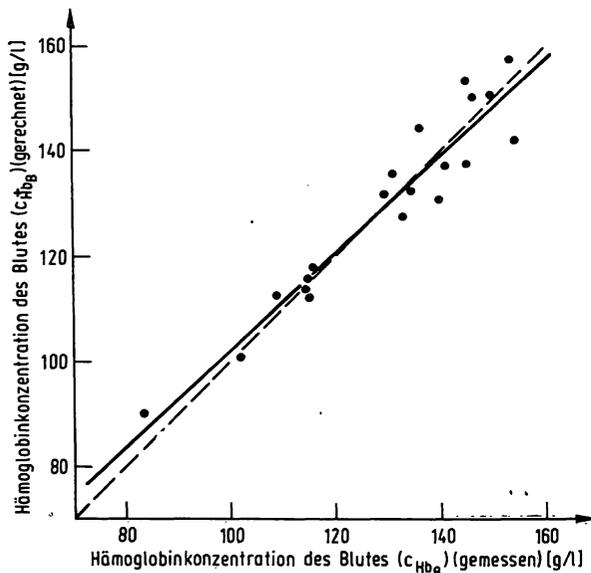


Abb. 2. Beziehung zwischen gemessenen (c_{Hb_B}) und nach Formel (Gl. 6) gerechneten Hämoglobinwerten ($c_{Hb_B}^+$); jeweils in g/l. Strichliert: Identitätsgerade; ausgezogen: Regressionsgerade.

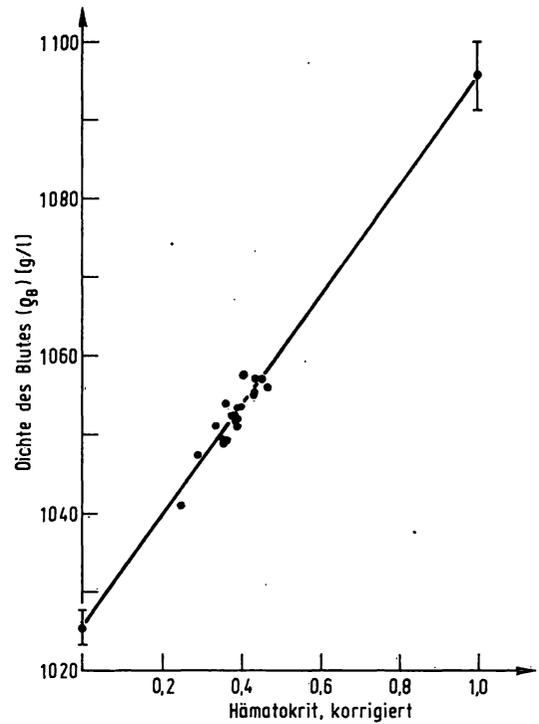


Abb. 3. Beziehung zwischen Blutdichte und Hämatokrit. Für die Berechnung wurden nur die Blutdichte-Hämatokrit-Wertepaare verwendet; nicht aber die ebenfalls gezeigten Plasma- und Erythrocytendichtewerte, welche den Durchschnitt der jeweils 20 Einzelbeträge angeben. N = 20, $r = 0,898$. Die Steigung der Regressionsgeraden (69,1 g/l : Volumenfraktion) entspricht der mittleren Differenz zwischen Blut- und Plasmadichten.

Die Beziehung zwischen Dichte des Blutes und „wahren“ Hämatokrit, die sich aus den Werten unserer 20 Proben ergab, ist in Abbildung 3 dargestellt. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,898 (N = 20). Im Bild sind auch die Mittelwerte und Standardabweichungen für Plasma- und Erythrocytendichten eingetragen. Die Regressionsgerade läuft bei $Ht_{corr} = 0$ durch den Wert 1025,96 und bei $Ht_{corr} = 1$ durch 1095,04, was den Mittelwerten für ρ_P und ρ_E ziemlich genau entspricht, obwohl letztere nicht in die Berechnung der Regression aufgenommen wurden.

Berechnet man für jede einzelne Probe den Hämatokritwert aus der Blutdichte unter Zugrundelegung der individuellen Plasmadichte für $Ht = 0$ und einer mittleren Erythrocytendichte von 1095,72 g/l für $Ht_{corr} = 1$ (siehe Diskussion) nach der Gleichung

$$Ht_{corr} = \frac{\rho_B - \rho_P}{\rho_E - \rho_P}, \quad (Gl. 7)$$

so ergeben sich die als Ht_{calc} bezeichneten Werte in Tabelle 2. Ihr Durchschnitt beträgt 0,3783, was um 0,007 unter dem der Werte Ht_{corr} liegt. Die mittlere Abweichung der aus Dichtewerten berechneten von den „wahren“ Hämatokritwerten betrug 0,0161 (entspricht 4,2% des durchschnittlichen Meßwertes), die höchste 0,0607, entsprechend 16,0% des mittleren Meßwertes (Probe Nr. 19).

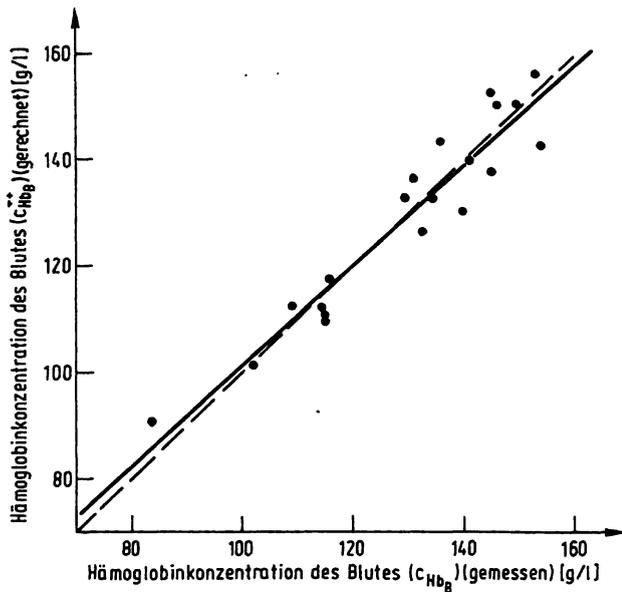


Abb. 4. Beziehung zwischen gemessenen (c_{HbB}) und nach Formel (Gl. 8) gerechneten Hämoglobinwerten (c_{HbB}^{++}); jeweils in g/l. Strichliert: Identitätsgerade; ausgezogen: Regressionsgerade.

Um zu prüfen, wie gut sich die kalkulierten Hämatokritwerte für die Berechnung des Hämoglobinwertes nach Gleichung (Gl. 5) eignen, wurde die Relation zwischen berechneten und gemessenen Hämoglobinwerten ermittelt, die sich ergibt, wenn man in Gleichung (Gl. 6) nicht die gemessenen, sondern die aus den Dichtewerten gerechneten Hämatokritbeträge (Ht_{calc}) einsetzt. Diese Berechnung erfolgt durch Verwendung einer Formel, die sich nach Einsetzen von (Gl. 7) in (Gl. 6) ergibt und lautet:

$$c_{HbB}^{++} = 3,9248 \left[\rho_B - \rho_P \left(1 - \frac{\rho_B - \rho_P}{1095,72 - \rho_P} \right) \right] - \frac{3958,24 (\rho_B - \rho_P)}{1095,72 - \rho_P} \quad (Gl. 8)$$

So ergeben sich die neuen, in Tabelle 2 unter c_{HbB}^{++} gezeigten Hämoglobinwerte für das Blut. Deren Mittelwert beträgt 129,5 g/l, liegt also um 0,1 g/l unter dem der gemessenen Werte. Die mittlere Abweichung der solchermaßen berechneten von den kolorimetrisch bestimmten Werten betrug 4,4 g/l, das sind 3,4% des durchschnittlichen Meßwertes, die maximale 10,8 g/l (Probe Nr. 13), das sind 8,3% des mittleren Meßwertes.

Abbildung 4 zeigt diese Beziehung zwischen kolorimetrisch ermittelten Hämoglobinwerten (c_{HbB} , Abszisse) und den aus Blut- und Plasmadichte nach Formel (Gl. 8) errechneten (c_{HbB}^{++} , Ordinate). Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,952 ($N = 20$).

Diskussion

Die hier vorgelegten Ergebnisse belegen eine für klinische Zwecke ausreichend genaue Berechenbarkeit von Hämoglobin- und Hämatokritwerten aus der Dichtemessung von

Blut und dazugehörigem Plasma mittels der Biegeschwingermethode.

Nachdem schon früher gezeigt wurde, daß sie zur Ermittlung der Gesamteiweißkonzentration aus der Plasmadichte sehr gut geeignet ist (5), ergibt sich die Möglichkeit, zwei weitere klinisch relevante Kenngrößen, nämlich Hämoglobinkonzentration und Hämatokrit, aus der zusätzlichen Messung der Blutdichte zu bestimmen.

Die Hämatokritmessung mittels Zentrifuge stellt im Vergleich zur Präzision der Dichtemessungen den größten Unsicherheitsfaktor dar. Die Ablesung des Einzelwertes ist mit einem Fehler behaftet, der bis zu 1% des Meßwertes betragen kann.

Eine wesentlich genauere Ermittlung des Hämatokrit wäre nach Formel (Gl. 7) möglich, was allerdings eine bekannte Erythrocytendichte voraussetzt. Diese kann aber, wie schon diskutiert, nicht direkt gemessen und zur Berechnung von Ht_{corr} daher nicht als bekannt vorausgesetzt werden. Aus diesem Grund nahmen wir bei allen Proben für ρ_E den Mittelwert aller zunächst berechneten Werte (1095,72 g/l) an. Auf diese Weise ergaben sich die berechneten Hämatokritwerte. Es zeigte sich, daß bei diesem Vorgehen etwa die gleiche Fehlerbreite bei der Ermittlung der Hämoglobinkonzentration im Blut resultiert wie bei Verwendung der gemessenen Hämatokritwerte. Das heißt, daß sich in diesem Zusammenhang bei Messung der Blut- und Plasmadichte die Hämatokritmessung erübrigt.

Da die Bestimmung der Blut- und Plasmadichte nach der Biegeschwingermethode gleichzeitig die Vorteile hoher Genauigkeit (besser als 10^{-2} g/l), geringem Zeitaufwand (insgesamt etwa 2 Minuten) und geringem benötigten Probenvolumen (jeweils unter 1 ml) bietet und aus den Werten der Hämoglobingehalt des Blutes, sein Hämatokrit und schließlich die Gesamteiweißkonzentration im Plasma (5) mit hinlänglicher Genauigkeit berechenbar sind, scheint uns die Methode für den Einsatz im klinischen Routinelabor geeignet zu sein.

Bezüglich möglicher Fehlerquellen sei schließlich der Einfluß der Leukocytenzahl auf die Bestimmung der Blut-Hämoglobinkonzentration aus Blut- und Plasmadichte diskutiert. Es sei vorweggenommen, daß dieser Faktor üblicherweise keinen großen Beitrag zu Abweichungen der gerechneten von den gemessenen Werten liefert. Dies kann am besten an Hand eines konkreten Rechenbeispiels gezeigt werden: In einem hämatologischen Extremfall (Leukämie mit schwerer Anämie kombiniert) spielt die Dichte der Leukocyten, welche nach unseren Messungen mit etwa 1055 g/l angenommen werden kann, gewichtet mit dem Leukocyten-Hämatokrit, eine wesentliche Rolle als Komponente der Gesamtblutdichte. Nimmt man beispielsweise einen volumsmäßigen Anteil der Leukocyten von 0,05 Volumenfraktion bei einem Erythrocyten-Hämatokrit von 0,15 Volumenfraktion an und legt eine Plasmadichte von

1025 g/l und eine Erythrocytendichte von 1095 g/l zugrunde, so errechnet sich entsprechend Gleichung (Gl. 8) ein Blut-Hämoglobinwert von 59,3 g/l bei einem tatsächlichen Wert von 51,0 g/l, einen c_{HbC} -Wert von 340 g/l vorausgesetzt. Bei einem noch höheren Leukocytenanteil, z.B. 0,15 Volumenfraktion, erhöht sich c_{HbB}^{++} in diesem Beispiel immerhin auf 72,2 g/l. Das entspräche einem Fehler von 21,2 g/l Hämoglobinkonzentration; die schwere Anämie bzw. der niedrige Hämoglobinwert würden allerdings dennoch angezeigt werden.

Aus diesen Abschätzungen geht hervor, daß auch bei stark abweichenden hämatologischen Zustandsvariablen aus ρ_P und ρ_B eine verhältnismäßig genaue Hämoglobinwertberechnung möglich ist.

Tatsächlich konnten wir Abweichungen zwischen c_{HbB} und c_{HbB}^{++} (z. B. Probe 13) nicht mit auffälligen Veränderungen im Blutbild korrelieren. Andererseits gibt bei genauer Bestimmung des Hämatokrit der ermittelte Erythrocytendichtewert über c_{HbC} genau Aufschluß.

Literatur

1. Kratky, O., Leopold, H. & Stabinger, H.: (1969), *Z. Angew. Physik* 27, 273–277.
2. Kenner, T., Leopold, H. & Hinghofer-Szalkay, H.: (1977), *Pflügers Arch.* 370, 25–29.
3. Kenner, T., Hinghofer-Szalkay, H. & Leopold, H.: (1978), *Cardiovasc. Pulm. Dyn.* 71, 283–290.
4. van Slyke, D. D., Phillips, R. A., Dole, V. P., Hamilton, P. B., Archibald, R. M. & Plazin, J.: (1950), *J. Biol. Chem.* 183, 349–360.
5. Holzer, H., Leopold, H., Hinghofer-Szalkay, H., Stübchen-Kirchner, H. & Maurer, E.: (1978), *J. Clin. Chem. Clin. Biochem.* 16, 391–395.
6. Leopold, H., Hinghofer-Szalkay, H., Kenner, T. & Holzer, H.: (1978), *Biomed. Technik* 23, 99–103.
7. Dill, D. B. & Costill, D. L.: (1974), *J. Appl. Physiol.* 37, 247–248.
8. Wintrobe, M. M. (Ed.): *Clinical Hematology*, 6. Ed. Philadelphia: Lea & Febiger 1968.

Dr. H. Hinghofer-Szalkay
 Physiologisches Institut der Universität
 A-8010 Graz, Harrachgasse 21