UNTERSUCHUNGEN ÜBER DEN EINFLUSS CHEMISCHER STOFFE AUF DIE AMÖBOIDE BEWEGLICHKEIT DER LEUKOZYTEN IM QUARZDECKGLASPRÄPARAT

GESCHWINDIGKEITSMESSUNGEN MIT HILFE EINES NETZMIKROMETERS

Von DR. med. ERNST v. PHILIPSBORN,
Oberstdorf im Allgäu

Mit 5 Abbildungen

Trotzdem eine Reihe von exakten Methoden vorliegt, mit denen man Verhalten und Funktion der lebenden Blutleukozyten untersuchen kann, haften Klinik und Praxis immer noch viel zu sehr an den alten Untersuchungsmethoden am gefärbten Ausstrich der abgestorbenen Zellen. Die Bedeutung des qualitativen Blutbildes soll von mir in keiner Weise geschmälert werden. Die moderne pathologische Physiologie verlangt aber, daß wir auch die Blutleukozyten mit physiologischen Methoden untersuchen, d. h. die lebenden Leukozyten in ihrer Gestalt, Struktur und Größe beobachten und vor allem ihre Funktionen, wie amöboide Beweglichkeit, Freßfähigkeit, Atmung, Klebefähigkeit usw., einer messenden Untersuchung unterziehen. Nicht nur von mir, sondern auch von zahlreichen anderen Forschern liegen hierüber neue Ergebnisse vor, die sich sowohl auf das Verhalten der Leukozyten gesunder wie kranker Menschen beziehen. Die Grundlagen für eine pathologische Physiologie der Leukozyten sind tatsächlich schon gegeben, wie aus dem Referat von GLANZMANN „Physiologie der Leukozyten nach den Arbeiten von 1929 bis 1940", aus HEILMEYERs „Blutkrankheiten" und aus meinem „Beitrag zur pathologischen Physiologie der Blutleukozyten" zu entnehmen ist.

In vorliegender Veröffentlichung möchte ich zeigen, daß die Messung der amöboiden Beweglichkeit der Leukozyten geeignet ist, den Einfluß chemischer Stoffe, wie Arzneimittel, Hormone, Farbstoffe, antibakterieller Mittel usw., auf die Geschwindigkeit der Leukozyten zahlenmäßig festzustellen.

Methode

Ein Tropfen Blut wird von der Fingerbeere direkt auf einen Quarzobjektträger getan und mit einem Quarzdeckglas zugedeckt. Hierauf wird das Deckglas mit Hilfe eines Pinsels mit Wachs umrandet, damit das Blut nicht zu rasch eintrocknet. Das Präparat kommt in den Mikroskopierbrutschrank (Abb. 1) und wird bei 37° C betrachtet. Man kann auch eine Heizplatte, die elektrisch geheizt wird, benutzen (Abb. 2). Im Okular befindet sich ein Netzmikrometer. Nun wird ein Leukozyt in die Mitte des Netzmikrometers ein-

download unter www.biologiezentrum.at

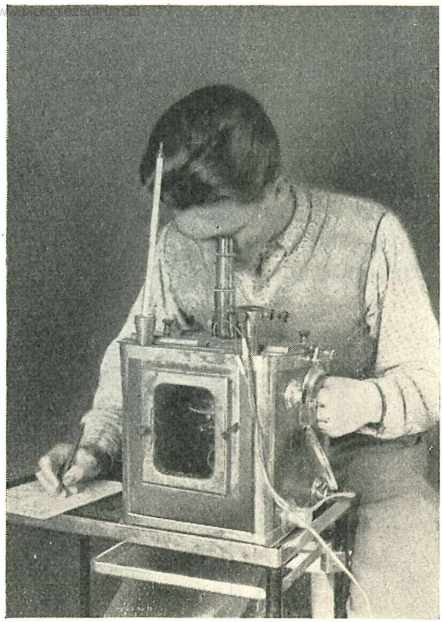


Abb. 1. Leitz-Mikroskop im Mikroskopierbrutschrank.

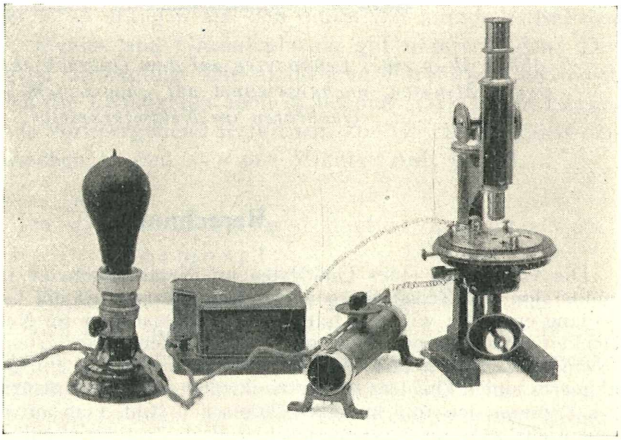


Abb. 2. Zeiss-Mikroskop mit Heizplatte.

gestellt. Ich beobachte fünf Minuten lang diesen einen Leukozyten und zeichne seinen Weg auf dem neben mir liegenden quadrierten Papier auf (Abb. 3). Die so entstandene Kurve wird mit einem Kurvenmesser ausgemessen, der die Strecke in Zentimetern angibt. Durch eine einfache Umrechnung wird der wirkliche Weg, den der Leukozyt in 5 Minuten bzw. in 1 Minute auf dem Objektträger zurücklegt, ausgerechnet. Die chemischen Stoffe werden mit einer Platinöse dem Blutstropfen zugesetzt. Die Beobachtung beginnt eine halbe Stunde nach Herstellung des Präparates und wird bis zur Beendigung der ersten Stunde nach Herstellung des Präparates fortgesetzt, um für alle Untersuchungen vergleichbare Werte zu bekommen.

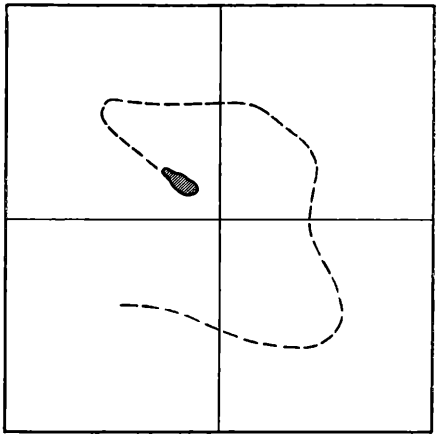


Abb. 3. Weg eines Leukozyten auf dem Quarzobjektträger innerhalb von 5 Minuten, nachgezeichnet auf quadriertem Papier nach den Quadraten im Netzmikrometer.

Berechnung

Die Längsseite eines Quadrates im Netzmikrometer ist 500 μ lang. Die Ölimmersion 1/7 (Zeiss) vergrößert 50fach. Darum ist ein Gegenstand, der im Bild so lang erscheint wie eine Längsseite des Quadrates im Netzmikrometer in Wirklichkeit 50fach kleiner, d. h. 10 μ lang. Auf dem quadrierten Papier ist ein Quadrat $^1/_2$ cm lang. Bei meinen Aufzeichnungen entspricht ein Quadrat des quadrierten Papieres einem Quadrat im Netzmikrometer. Daher entspricht $^1/_2$ cm des quadrierten Papieres den 10 μ im mikroskopischen Bild. 1 cm auf dem quadrierten Papier entspricht 20 μ im mikroskopischen Bild. Hat ein Leukozyt also in 5 Minuten eine Strecke zurückgelegt, die auf dem quadrierten Papier eine Kurve von 10 cm Länge darstellt, so ist dieser Leukozyt in 5 Minuten 200 μ, in 1 Minute 40 μ amöboid fortgewandert.

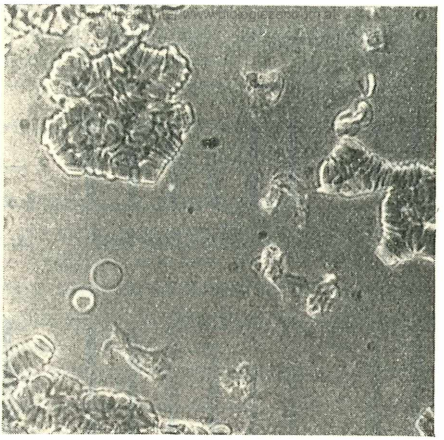


Abb. 4. Mikrophotographische Aufnahme lebender Blutleukozyten. In der Mitte des Bildes sieht man 6 Leukozyten Bewegung.

Ergebnisse

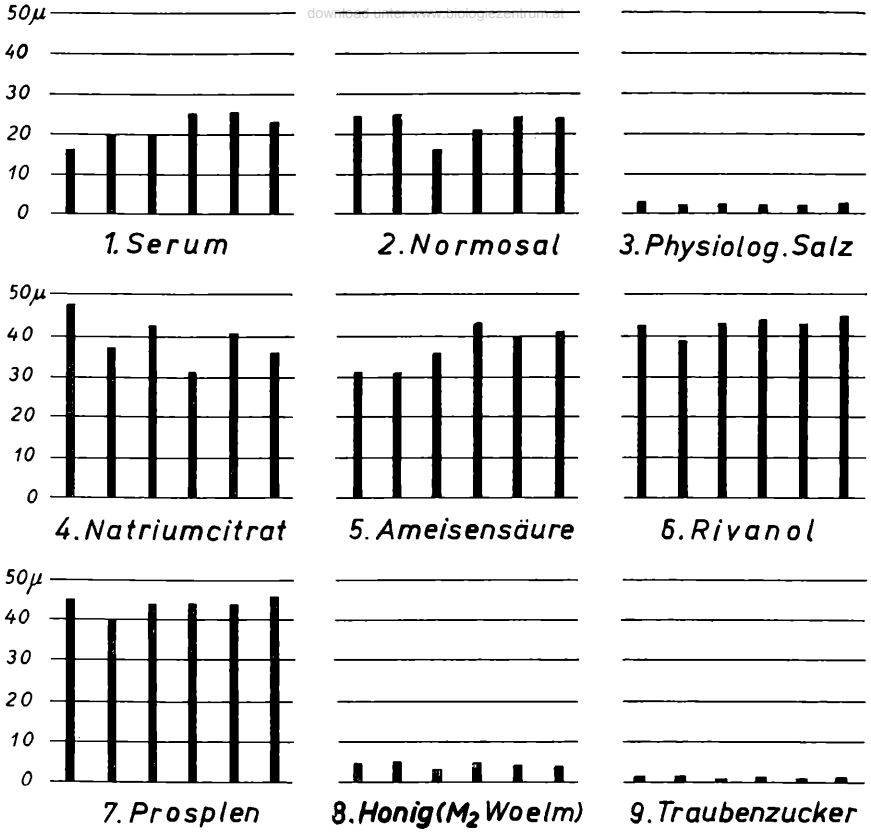
1. Leukozyten im eigenen Serum ohne Zusatz

Betrachtet man ein derartiges Präparat, so sieht man, daß die Leukozyten sofort mit ihren amöboiden Bewegungen beginnen und sich rasch vorwärtsbewegen (Abb. 4). Die Bewegung ist „flüssig" und lebhaft. Kommen sie an einen Erythrozytenhaufen, so drängen sie sich durch ihn hindurch. Bei den Leukozyten kann man Hyalo- und Granuloplasma gut unterscheiden. Die Granula sind in lebhafter Bewegung. Die amöboiden Fortsätze sind meist breit, jedoch ziehen sich die Leukozyten auch manchmal stark in die Länge, wenn sie an einem Ende vorübergehend festkleben. Die Geschwindigkeit der Leukozyten beträgt zwischen 15 und 25 μ pro Minute (Abb. 5 [1]).

Leukozyten im eigenen Serum unter Zusatz von Normosal

Der Zusatz von drei Platinösen Normosal verändert weder das Aussehen der Leukozyten noch ihre amöboide Beweglichkeit. Das Protoplasma zeigt die normale Protoplasmaströmung. Die Pseudopodienbildung ist genau so wie bei den Leukozyten im eignen Serum ohne Zusatz. Toxische Granulationen oder Vakuolenbildung ist nicht zu sehen. Die Bewegung der Leukozyten ist lebhaft. Mit normaler Kraft drängen sich die Leukozyten durch die Erythrozytenhaufen hindurch. Die Geschwindigkeit der Leukozyten beträgt zwischen 15 und 25 μ pro Minute (Abb. 5 [2]).

download unter www.biologiezentrum.at



Leukozyten im eigenen Serum unter Zusatz von „Physiologischem Salz"

Ganz anders ist das Verhalten der Leukozyten, wenn man statt Normosal die gleiche Menge „physiologisches Salz" hinzufügt. Es handelt sich um eine Blutersatzflüssigkeit, die noch vom Hauptsanitätspark der Wehrmacht stammt. Die Leukozyten sind kontrahiert, rundlich, nicht kreisrund wie abgestorben, aber auch nicht länglich und polymorph, stets die Form ändernd wie voll leistungsfähige Leukozyten. Sie sind gelähmt. Daß sie nicht abgestorben sind, erkennt man auch daran, daß der Kern nicht deutlich sichtbar ist. Die Protoplasmaströmung ist gering. Die amöboide Beweglichkeit ist ganz träge. Die Zellen bewegen sich kaum von der Stelle. Die Ge-

schwindigkeit beträgt zwischen 2—3 μ pro Minute (Abb. 5 [3]). Die Untersuchung zeigt, daß dieses sogenannte „physiologische Salz" in keiner Weise so unschädlich ist, wie das Normosal.

4. Leukozyten im eigenen Serum unter Zusatz von Natriumzitratlösung

Bringt man drei Platinösen einer 1,4%igen Natriumzitratlösung zu den Leukozyten, so sieht man eine deutliche Beschleunigung der amöboiden Beweglichkeit. Sie beträgt zwischen 30 und 48 μ pro Minute (Abb. 5 [4]). Die Leukozyten sind sämtlich in lebhafter Bewegung. Mit besonders großer Kraft drängen sie sich durch die Erythrozytenhaufen hindurch. Durch frühere Untersuchungen konnte ich und auch E. SCHULZ bereits nachweisen, daß eine geringe Azidose von p_H 6,23 die Leukozyten etwas zur Quellung bringt und dadurch langgestreckte Formen mit lebhafter Pseudopodienbildung erzeugt. Eine stärkere Azidose von p_H 5,35 verkleinert jedoch die Zellform und erzeugt geringe Pseudopodienbildung mit geringer amöboider Beweglichkeit der Zellen. Diese Beobachtung ist wichtig, weil wir unsere therapeutischen Maßnahmen so einrichten müssen, daß eine geringe Azidose von p_H 6,23 vorhanden ist, um die Leukozyten zu erhöhter Tätigkeit anzuregen. Dies kann man durch geeignete Diät oder durch Medikamente erreichen. Mit der erhöhten amöboiden Beweglichkeit ist auch eine verstärkte Phagozytosefähigkeit und damit erhöhte Abwehrbereitschaft verbunden, was wir bei der Behandlung aller Infektionskrankheiten anstreben müssen.

5. Leukozyten im eigenen Serum unter Zusatz von Ameisensäure

Die gleiche Beschleunigung der amöboiden Beweglichkeit beobachtet man beim Zusatz von drei Platinösen Ameisensäure (Formisoton). Die Geschwindigkeit der Leukozyten liegt zwischen 30 und 43 μ (Abb. 5 [5]). Alle Leukozyten zeigen eine lebhafte und kräftig vorwärtsdrängende Bewegung und auch eine lebhafte Protoplasmaströmung. Infolge der leichten Quellung der Zellen sind die Protoplasmafortsätze breit und oft wechselnd, bisweilen schieben sich die Leukozyten in breiter Front vorwärts.

6. Leukozyten im eigenen Serum unter Zusatz von Rivanol

Da Rivanol sehr viel zur Wundbehandlung benutzt wird, weil es eine gute bakterizide Wirkung hat, untersuchte ich, ob mit der bakteriziden Wirkung nicht auch eine schädigende Wirkung auf die Leukozyten im Wundgebiet verbunden ist. Meine Untersuchung zeigt das Gegenteil. Der Zusatz von drei Platinösen einer dünnen Rivanollösung steigert die amöboide Beweglichkeit bis zu 35 μ pro Minute (Abb. 5 [6]). Ein schädigender Ein-

fluß auf Form und Struktur konnte nicht nachgewiesen werden. Die Leukozyten drängten stärker als gewöhnlich durch die Erythrozytenhaufen hindurch. Das Ausstrecken der Protoplasmafortsätze war sehr lebhaft. Hieraus kann man auf eine anregende Wirkung schwacher Rivanollösungen auf die Leukozyten schließen, was neben der antibakteriellen Kraft des Rivanols seine große Wirksamkeit bei der Wundbehandlung erklärt.

7. Leukozyten im eigenen Serum unter Zusatz von Prosplen[1])

SCHLIEPHAKE konnte vor 18 Jahren nachweisen, daß durch Prosplen die Phagozytosefähigkeit der Leukozyten erhöht wird. Er hat dabei meine Versuchsanordnung benutzt. Ich kann nun ergänzend hierzu zeigen, daß auch die amöboide Beweglichkeit der Leukozyten deutlich gesteigert wird. Der Zusatz von drei Platinösen Prosplen erhöht die amöboide Beweglichkeit auf 30 bis 36 μ pro Minute (Abb. 5 [7]). Die Leukozyten zeigen auch eine lebhafte Protoplasmaströmung, was auf eine gewisse Weichheit des Grundplasmas hindeutet. Die gute amöboide Beweglichkeit ist als Vorbedingung für eine gute Phagozytosefähigkeit aufzufassen.

8. Leukozyten im eigenen Serum unter Zusatz von Honig (M 2 Woelm)

Der Zusatz von drei Platinösen Honig (M 2 Woelm) zu den Leukozyten schädigt die Leukozyten derart, daß ihre Beweglichkeit nur ganz gering ist, 4—5 μ pro Minute (Abb. 5 [8]). Zuerst sind alle Zellen vollständig unbeweglich. Nach einer halben Stunde tritt langsam eine Erholung der Zellen ein. Die Ausstreckung der Fortsätze ist sehr träge, auch die Protoplasmaströmung ist sehr langsam. Abgestorbene Zellen mit deutlich sichtbarem Kern waren nicht zu sehen.

9. Leukozyten im eigenen Serum unter Zusatz von 20%iger Traubenzuckerlösung

Drei Platinösen einer 20%igen Traubenzuckerlösung lähmen die Leukozyten vollständig, so daß auch nach 1 Stunde keine amöboiden Bewegungen zustande kamen (Abb. 5 [9]). Die Leukozyten sehen alle fast rund aus, etwas glasig und gequollen. Auch hier werden die Kerne nicht sichtbar, was wiederum den Schluß erlaubt, daß die Leukozyten nur gelähmt, aber nicht getötet sind.

Aus diesen Beobachtungen an Honig- und Traubenzuckerlösungen muß man schließen, daß diese Stoffe nicht so indifferent sind, wie man bisher

---

[1]) Prosplen ist ein injizierbares Milzpräparat der Firma „Ifah", Institut für angewandte Hygiene in Hamburg.

dachte. Namentlich stärkere Konzentrationen schädigen deutlich die Leukozyten. Es ist anzunehmen, daß die Leukozyten kranker Menschen, die an sich schon nach meinen früheren Untersuchungen eine geringere Widerstandsfähigkeit haben, durch den Traubenzucker noch mehr geschädigt werden, als die Leukozyten gesunder Menschen. Jeder Arzt kennt aus seiner Praxis diese Patienten, die Traubenzucker „schlecht vertragen" Das geht bis zu Fiebersteigerung und Schüttelfrösten. Wahrscheinlich ist hieran nicht der bisher vermutete geheimnisvolle „Wasserfehler" die Ursache, sondern das Zugrundegehen von Leukozyten.

10. Die Wirkung einiger Vitalfarbstoffe auf die amöboide Beweglichkeit der Leukozyten (Tabelle 1)

a) Malachitgrün. Setzt man eine Platinöse einer schwachen Lösung von Malachitgrün zu den Leukozyten hinzu, so nehmen alle Leukozyten sofort eine runde Form an und hören mit ihrer amöboiden Beweglichkeit auf (Tabelle 1 [1]). Die Leukozyten färben sich grün, wobei der Kern nicht besonders stark in Erscheinung tritt. Die Leukozyten sind nur gelähmt, nicht abgestorben, wie wir daraus entnehmen können, daß der Kern nicht besonders deutlich zu sehen ist. Auch in den nächsten Stunden der Beobachtung erholen sich die Leukozyten nicht von diesem Schock und fangen auch später nicht mit amöboiden Bewegungen an. Es handelt sich also bei Malachitgrün um einen Vitalfarbstoff, der die Vitalität der Leukozyten deutlich herabsetzt.

b) Kongorot. Da Kongorot in einer 1%igen isotonischen Lösung zur Funktionsprüfung des retikuloendothelialen Systems benutzt wird, wurde seine Wirkung auf die lebenden Leukozyten ebenfalls einer Prüfung unterzogen. Der Zusatz von einer Platinöse Kongorot zeigte, daß die Leukozyten in ihrer amöboiden Beweglichkeit stark gehemmt werden. Sie machen nur ganz geringe Bewegungen durch Ausstrecken und Einziehen von Protoplasmafortsätzen ohne sich aber deutlich vorwärts zu bewegen. Das Protoplasma bleibt ungefärbt. Der Kern wird nicht sichtbar. Die Leukozyten sind gelähmt, aber nicht abgetötet. Die Widerstandsfähigkeit der Leukozyten ist herabgesetzt, denn man beobachtet ein rascheres Zugrundegehen der Leukozyten. Jedenfalls zeigen meine Beobachtungen, daß Kongorot die Leukozyten schädigt, wenn auch nicht in dem Maße wie Malachitgrün (Tabelle 1 [2]).

c) Akridinorange. Der von S. STRUGGER in die Fluoreszenzmikroskopie der lebenden Bakterien eingeführte Farbstoff Akridinorange kann auch für die Untersuchung der lebenden Leukozyten Bedeutung bekommen. Daher wurde seine Giftigkeit für die Leukozyten ebenfalls von mir untersucht. Die Schädlichkeit des Farbstoffes für die lebenden Zellen hängt von seiner Konzentration ab.

1. Eine hellgelbe Lösung (Konzentration etwa 1 100.000) und eine schwach orangefarbige Lösung (Konzentration etwa 1 2000) schädigt die Leukozyten in keiner Weise. Die amöboide Beweglichkeit beträgt etwa 24 µ

pro Minute. Die Protoplasmaströmung ist deutlich zu sehen. Die Leukozyten zeigen im gewöhnlichen Mikroskop keine Färbung. Im Fluoreszenzmikroskop konnten keine Beobachtungen durchgeführt werden (Tabelle 1 [3]).

Tabelle 1

Farbstoff (Lösungsmittel: Normosal)	Farbe der Lösung	Leukozyten		
		amöboide Beweglichkeit	Protoplasmaströmung	Widerstandsfähigkeit
1. Malachitgrün	grün	keine	keine	schlecht
2. Kongorot	rot	gering 5 µ	gering	schlecht
3. Akridinorange etwa				
1 100.000	hellgelb	normal 24 µ	normal	normal
1 2000	schwach orange	normal 24 µ	normal	normal
1000	stark rötlich	keine	keine	schlecht
1 100	kupferrot	keine	keine	schlecht

2. Bei stärkerer Konzentration (etwa 1 1000) sieht die Lösung stark rötlich aus. Nun färben sich die Granula deutlich rot, während das Protoplasma ungefärbt bleibt. Die Kerne sind nicht sichtbar, die Leukozyten haben eine polymorphe Gestalt ohne jedoch amöboide Bewegungen auszuführen. Die Leukozyten sind gelähmt, nicht abgestorben (Tabelle 1 [3]).

3. Bei weiterer Zunahme der Konzentration auf etwa 1 100 erscheint die Lösung kupferrot. Die Leukozyten sterben sofort ab indem sie eine runde Form annehmen und der Kern deutlich in Erscheinung tritt. Das Protoplasma färbt sich gelblich.

Es ergibt sich also die Tatsache, daß schwache Lösungen von Akridinorange die Leukozyten ungeschädigt lassen, stärkere lähmen sie, noch stärkere töten sie ab. Es ist sicher sehr aussichtsreich, auch die Leukozyten im Fluoreszenzmikroskop unter Beifügung schwacher Akridinlösungen zu untersuchen.

Zusammenfassung

Bei der Messung der amöboiden Beweglichkeit der Leukozyten auf einem Quarzobjektträger bei 37 Grad konnten deutliche Unterschiede in der Geschwindigkeit der Leukozyten festgestellt werden, wenn man chemische Stoffe zu den Leukozyten hinzusetzt.

Normosal verändert weder die Geschwindigkeit der Leukozyten noch ihr Aussehen, ihre Widerstandsfähigkeit und ihr sonstiges Verhalten.

„Physiologisches Salz" setzt die Geschwindigkeit der Leukozyten ganz bedeutend herab, sie sind nur gelähmt, nicht abgetötet und bewegen sich kaum vom Fleck.

Natriumzitrat und Ameisensäure beschleunigen die Geschwindigkeit bis zu über 40 μ in der Minute, während die normale Geschwindigkeit zwischen 20—25 μ liegt. Durch die geringe Azidose wird das Protoplasma der Leukozyten weicher und flüssiger. Dieser erhöhte Erregungszustand ist von Bedeutung für die Phagozytose und andere Abwehrfunktionen, die die Leukozyten zu erfüllen haben.

Auch Rivanol und das Milzhormon erhöht die Geschwindigkeit der Leukozyten, was die therapeutisch günstigen Erfahrungen mit diesen Präparaten erklärt.

Honig (M 2 Woelm) und Traubenzuckerlösung (20%ig) setzt die Beweglichkeit bedeutend herab. Bei der 20%igen Traubenzuckerlösung bewegen sich die Leukozyten überhaupt nicht vom Fleck. Diese letztere Beobachtung ergänzt meine frühere Beobachtung, daß $4^1/_2$%ige Traubenzuckerlösung die amöboide Beweglichkeit der Leukozyten in keiner Weise ungünstig beeinflußt und eine 10%ige Traubenzuckerlösung die Beweglichkeit der Leukozyten stark hemmt. Die 20%ige Traubenzuckerlösung hemmt sie noch stärker.

Der Einfluß verschiedener Vitalfarbstoffe machte sich folgendermaßen geltend: Malachitgrün lähmt die Leukozyten, färbt sie schwach grün, eine Bewegung kommt nicht mehr zustande. Kongorot lähmt die Leukozyten nicht so stark, die Geschwindigkeit beträgt 5 μ pro Minute. Die Leukozyten nehmen keinen Kongorotfarbstoff auf.

Bei Akridinorange kommt es ganz auf die Konzentration an. Bei geringer Konzentration des Farbstoffes (Farbe hellgelb oder schwachorange) bleibt die Beweglichkeit der Leukozyten normal (24 μ pro Minute). Bei stärkerer Konzentration (stark rötlich) werden die Granula rot gefärbt, die Leukozyten sind gelähmt, nicht abgestorben, bewegen sich aber nicht vom Fleck. Sie haben aber polymorphe Gestalt. Der Kern ist nicht sichtbar. Bei noch stärkerer Konzentration (kupferrot) starben die Leukozyten ab, sie sind rund, das Protoplasma ist hellgelb gefärbt, der Kern ist deutlich sichtbar.

Aus den Untersuchungen ergibt sich, daß die amöboide Beweglichkeit und die Messung ihrer Geschwindigkeit geeignet ist, die Vitalität der Leukozyten zu untersuchen und die geringsten Schädigungen der Leukozyten festzustellen. Für die Auswertung medikamentöser und physikalisch-therapeutischer Maßnahmen ist diese Methode geeignet.

Literatur

Glanzmann E., Physiologie der Leukozyten nach den Arbeiten von 1929 bis 1940. Ergebnisse der Physiologie **44** (1941): 473.

Heilmeyer L., Blutkrankheiten. Handb. inn. Med. **2** (Berlin, 1942).

Philipsborn E. v., Ein Beitrag zur pathologischen Physiologie der Blutleukozyten. Strahlentherapie **55** (1936): 145.

— Phagozytoseversuche an Leukozyten von gesunden und kranken Menschen. Dtsch. Arch. klin. Med. **145** (1924), 5/6.

— Untersuchungen über die amöboiden Bewegungen der Leukozyten gesunder und kranker Menschen im Quarzdeckglaspräparat. Dtsch. Arch. klin. Med. **160** (1928), 5/6.

— Untersuchungen über die Klebrigkeit der lebenden Leukozyten gesunder und kranker Menschen. Fol. hämatol. **41** (1930), 1/2.

— Untersuchungen über den Erregungszustand der Leukozyten gesunder und kranker Menschen. Dtsch. Arch. klin. Med. **168** (1930), 3/4.

Philipsborn E. v., Rhythmische Erscheinungen bei den lebenden Blutleukozyten. 2. intern. Konf. biol. Rhythm.-Forsch. (Utrecht, 1939).

Schliephake E., Ein Hormon der Milz und seine Eichung. Kongr. inn. Med. (Wiesbaden, April 1931).

— und *Sinke G.*, Über die Wirkung von Milzextrakten auf das retikuloendotheliale System gezeigt an Trypanblauspeicherung. Klin. Wsch. (1931), 8: 346.

Schulz E., Untersuchungen über die Ursache und die biologische Bedeutung toxisch-infektiöser Leukozytose. Z. ges. Exp. Med. **84** (1932), 5/6: 611.

Strugger S., Der gegenwärtige Stand der Forschung auf dem Gebiet der fluoreszenzmikroskopischen Untersuchungen der Bakterien. Zentralbl. Mikrosk. **3** (1948), 1/2.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Mikroskopie - Zentralblatt für Mikroskopische Forschung und Methodik

Jahr/Year: 1949

Band/Volume: 4

Autor(en)/Author(s): Philipsborn Ernst von

Artikel/Article: Untersuchungen über den Einfluss chemischer Stoffe auf die amöboide Beweglichkeit der Leukozyten im Quarzdeckglaspräparat. Geschwindigkeitsmessungen mit Hilfe eines Netzmikrometers. 172-182