DOSSIER

Titelthema: Das beste System der Welt

Gute Besserung!

Abb.: Tim Vernon/Science Photo Library

Wie unser Immunsystem Tag für Tag auf uns aufpasst – eine Reise ins Innere des menschlichen Körpers VON MORITZ AISSLINGER

Basierend auf Rasterelektronenmikroskop-Aufnahmen, zeigt diese Illustration, wie eine T-Zelle eine Krebszelle (in Rot) attackiert

Emilias Metschnikoff hatte lange Zeit wenig Glück im Leben. Er landete 1845 in einer Welt, die für einen wie ihn nur die Rolle des Außenseiters vorgesehen hatte. Er war zu empfindsam und zu nervös und viel zu schlau, um nicht aufzufallen. Er interessierte sich mehr für Rundwürmer als für seine Mitmenschen, deshalb wurde er Zoologe. Seine Kollegen an der Universität von St. Petersburg mochten ihn nicht, sein Gehalt war mickrig, sein Labor lag, kärglich eingerichtet, in einem unbeheizten Museum, seine wenigen Freunde, zu denen der Anarchist Michail Bakunin gehörte, waren Sonderlinge wie er, und seine erste Frau war aufgrund einer Tuberkulose schon bei der Hochzeit so geschwächt, dass man sie auf einem Sessel zum Altar tragen musste. Als sie vier Jahre später, 1873, ihrem Leiden erlag, hatte auch Metschnikoff genug. Er wollte allem ein Ende setzen.

Aus den Restbeständen seiner Frau schluckte er eine Überdosis Morphium und wartete. Plötzlich begann sein Körper, sich gegen das Gift zu wehren. Metschnikoff musste würgen und spucken, so lange, bis alles wieder draußen war. Er probierte es ein weiteres Mal: Nach einem heißen Bad übergoss er sich mit eiskaltem Wasser und lief nass hinaus in die Kälte, wohl in der Absicht, sich eine Lungenentzündung einzufangen. Wieder blieb er im Leben. Beim dritten Versuch, so steht es in der von seiner zweiten Frau Olga herausgegebenen Biografie über ihn, injizierte er sich das Blut eines Patienten, der an Rückfallfieber litt. Doch selbst gegen diese brutalste Attacke schaffte es sein Körper, sich zu verteidigen.

Nachdem es in Russland zu Pogromen gegen Juden gekommen war, floh Metschnikoff, dessen Mutter jüdische Wurzeln hatte, 1882 mit seiner Familie nach Sizilien. »Einmal begab sich die ganze Familie in den Zirkus, um irgendwelche erstaunlich dressierten Affen anzusehen«, beschrieb Metschnikoff später den Moment, der als Beginn der modernen Immunologie angesehen werden kann.

Der Zirkus interessierte Metschnikoff nicht, er blieb lieber im Haus zurück, allein mit seinem Mikroskop. Darunter hatte er eine Seestern-Larve platziert. Die Larve war durchsichtig, und so konnte er beobachten, wie sich unter ihrer Haut Zellen bewegten. »Mir kam sogleich ein neuer Gedanke.« Metschnikoff lief in den Garten und brach von einem Rosenbusch einen Stachel ab. Den Stachel pikste er von oben durch die Haut des Seesterns. Am nächsten Tag sah er unter seinem Mikroskop, wie die Zellen des Seesterns zu dem Stachel gewandert waren und ihn umstellt hatten. Sie versuchten, sich gegen den Fremdkörper zur Wehr zu setzen.

Metschnikoff nannte die Zellen Phagozyten, Fresszellen, und den Vorgang Phagozytose. Durch den Stachel war die Haut, die oberste Verteidigungslinie des Körpers, durchbrochen worden und zum Einfallstor für Keime und andere Mikroorganismen geworden. Verletzungen und Krankheiten, erkannte Metschnikoff, können einen Kampf entfesseln zwischen »Mikroben von außen und den beweglichen Zellen des Organismus selbst«. Eine Entzündung.

Sein Experiment zeigte der Welt, dass Organismen, Seestern-Larve wie Mensch, Immunzellen besitzen, und diese Immunzellen haben die Aufgabe, den Körper zu schützen. Jene inneren Hüter waren es, die auch ihn, Metschnikoff, vor dem Tod bewahrt hatten.

Noch im 19. Jahrhundert galt Fieber als eine Krankheit. Ärzte schnitten Patienten die Adern auf, um das Gift des Fiebers ausströmen zu lassen. In Zeitungen warben Hersteller für Mittel, die Fieber heilen sollten. Erst nach Metschnikoffs Entdeckung begannen die Menschen zu verstehen, dass Fieber keine Krankheit ist, sondern ein Symptom für den Abwehrkampf des Körpers. 1908 erhielt er zusammen mit dem Deutschen Paul Ehrlich den Medizinnobelpreis.

Wie Seestern-Larven und alle anderen Lebewesen betreiben auch Menschen einen enormen Aufwand für ihre Verteidigung. Die meiste Zeit über funktioniert das so perfekt, dass wir es nicht einmal wahrnehmen. Das Immunsystem ist in der Lage, Millionen verschiedene Eindringlinge, Viren, Bakterien, Pilze, zu erkennen. Seine Wucht ist außerordentlich, es kann eine transplantierte Leber, kiloschwer, innerhalb weniger Stunden zu Flüssigkeit zersetzen. Zellen, ausgestattet mit einer fast magischen Kommunikationstechnik, alarmieren sich bei einer drohenden Invasion gegenseitig, Kämpfer rücken an und Aufräumtrupps, zusammen koordinieren sie, wer wie angegriffen werden soll. Doch das Immunsystem ist keine reine Kriegsmaschinerie, es ist zugleich ein Friedensstifter, ein Diplomat, immer um Ausgleich bemüht.

Unsere Körper sind bevölkert von Fremden. In einem Menschen, durchschnittlich groß und schwer, haben sich schätzungsweise 39 Billionen Bakterien angesiedelt, aber das Immunsystem toleriert sie. Es weiß in den meisten Fällen genau zu unterscheiden, welche Bewohner gut sind für den Staat, dem sie dienen, und welche ihm schaden könnten. Heute sind vermutlich einige Ihrer Zellen bereits zu Krebs mutiert, jeden Tag kann das passieren. Das Immunsystem spürt sie auf und vernichtet sie, bevor sie gefährlich werden können.

Erst in dem Moment, in dem eine Krebszelle den Immunzellen entwischt oder ein Bakterium die Kontrolle über unseren Körper übernimmt oder ein Virus sich in der Welt ausbreitet und nur eine Impfung es stoppen kann, tritt das Immunsystem aus seinem Schattendasein ins Licht. Sars-CoV-2 ist eine unter den Millionen Gefahren, ein Virus, mit dem am Ende nicht Forschungslabore oder Intensivstationen fertigwerden müssen, sondern immer nur das Immunsystem.

Jetzt, da die Pandemie die menschliche Abwehr fordert wie selten, lohnt es sich, einmal genauer hinzuschauen. Denn wäre man nicht so sehr daran gewöhnt, wie zuverlässig es da ist – man könnte glauben, es sei ein Wunder.

In seinen Grundzügen existiert das Immunsystem, mit dessen Hilfe sich Menschen und fast alle anderen Tiere verteidigen, seit 500 Millionen Jahren. »Dass es sich seitdem nicht wesentlich verändert hat, spricht für seine Qualität«, sagt Thomas Boehm vergnügt in seine Computerkamera. Er ist Direktor am Max-Planck-Institut für Immunbiologie und Epigenetik. Forschungsschwerpunkt: Evolution des Immunsystems.

Anfang der Achtzigerjahre arbeitete Boehm noch in einer Kinderklinik, als Arzt kümmerte er sich überwiegend um Jungen und Mädchen, die an Leukämie erkrankt waren. »Wenn man die kleinen Kerlchen mit ihren Krankheiten aufwachsen sieht, fragt man sich automatisch, woher diese Krankheiten kommen. Und dann sieht man, dass sich viele Ursachen aus dem Verlauf der Evolution erklären lassen. Das interessierte mich.« So kam er zur Wissenschaft.

Das Immunsystem besteht aus zwei Teilen: dem angeborenen und dem erworbenen Immunsystem. Jede Mutter gibt ihrem Kind, wenn es auf die Welt kommt, eine Immunabwehr mit auf den Weg. Mit der Zeit erwirbt das Kind dann einen eigenen Schutz. Der Unterschied: »Das angeborene Immunsystem reagiert auf Erreger in der immer gleichen Weise«, sagt Boehm. »Es lernt so gut wie nichts.« Das erworbene System dagegen verfeinere mit jeder Attacke, die von außen kommt, seine Fähigkeiten. Es lerne, Erreger zu identifizieren und mit ihnen effektiver fertigzuwerden. Das sei wie beim Vokabelnlernen. »Beim ersten Mal quälen wir uns mit den Fremdwörtern herum. Doch mit der Zeit prägen wir sie uns ein, und irgendwann können wir viele im Schlaf aufsagen.«

Es ist der Grund, weshalb wir manche Krankheiten, Masern, Windpocken, Röteln, nur einmal im Leben bekommen. Nach jeder Infektion bleiben Zellen zurück, Gedächtniszellen, die die Erreger von einst, sollten sie noch mal in den Körper eindringen, erkennen und ausschalten können.

Sieht sich das angeborene Immunsystem einem Feind gegenüber, startet es einen Erstangriff, etwas unpräzise und ungelenk. Meistens reicht das schon, um den Körper zu schützen. »Die beiden Systeme teilen sich die Aufgaben«, sagt Boehm. Scheint der Gegner übermächtig, wird das gesamte Immunsystem in höchste Alarmbereitschaft versetzt. »Wir bekommen dann zum Beispiel Fieber«, sagt Boehm. Fieber sorgt für eine Vermehrung der Immunzellen, es unterstützt das Immunsystem. Zugleich foltert der Körper so seine Feinde: Viren etwa brauchen, wenn sie sich im Organismus schnell ausbreiten wollen, eine normale Körpertemperatur. Steigt sie, fällt es ihnen viel schwerer, sich zu multiplizieren. Bei einer Temperatur von 40 bis 41 Grad sinkt die Vermehrungsrate der Viren auf ein Zweihundertstel.

Fortsetzung auf S. 14

Fortsetzung von S. 13

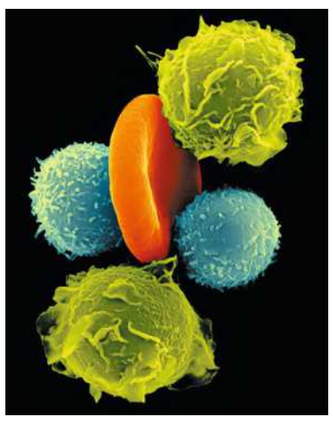
Doch dafür zahlt der Körper. Mit jedem Grad, das er wärmer wird, steigt sein Energieumsatz um gut zehn Prozent. Der Körper verliert Kraft und Gewicht. »Deshalb«, sagt Boehm, »informieren sich angeborenes und erworbenes Immunsystem gegenseitig, ob es sich lohnt, richtig Alarm zu machen.«

Erhält das erworbene System einen Hilferuf von der angeborenen Immunantwort, schickt es seine Eliteeinheiten, hochausgebildet und hochspezialisiert. Zu ihnen gehören zwei der besten Truppen, über die der Körper verfügt: T-Zellen und B-Zellen.

»Aber dazu«, ruft Thomas Boehm in seinen Computer, »kann Ihnen der Miller mehr erzählen.«

Der Miller ist Jacques Miller, und Jacques Miller gilt im Reich der Immunologie als Legende. Er ist der einzige noch lebende Mensch, der die Funktion eines Organs entdeckte, des Thymus. Miller wohnt in Melbourne, Australien, im April wird er neunzig Jahre alt, doch wenn man mit ihm via Videotelefonie spricht, hört man noch den neugierigen Jungen von einst.

Als Jacques fünf Jahre alt war, 1936, lebte er mit seiner Mutter und den beiden älteren Schwestern in der



Dank Rasterelektronenmikroskop zu sehen: T-Zellen (blau), Neutrophile (grün) und ein rotes Blutkörperchen

Schweiz, sein Vater arbeitete in China als Manager bei einer Bank. Sie wohnten in einem Chalet, vom Fenster aus sah man auf den Montblanc.

Eines Tages tobte Jacques mit seinen Schwestern durchs Haus. Auf einmal blieb Jacqueline stehen, Jacqueline, die so schön war und so hilfsbereit und die er über alles liebte. Sie hustete. Blut kam aus ihrem Mund. Tuberkulose, eine durch Bakterien verursachte Lungenkrankheit.

Er erinnere sich, sagt Jacques Miller, wie er manchmal dem Arzt lauschte, wenn der mit seiner Mutter redete: Frische Luft, ja, ansonsten gebe es kein Heilmittel. Das Wissen darüber, wie der Körper auf Infektionen reagiere, sei einfach noch zu gering. Tut mir leid.

Er habe sich gefragt, wie es sein könne, dass über Krankheiten erst so wenig bekannt sei. Weshalb zum Beispiel hatte die Tuberkulose, obwohl ansteckend, ihn und seine andere Schwester verschont? Was hatte ihre Körperabwehr, das Jacquelines nicht hatte?

Jacqueline starb im Dezember 1940, siebzehn Jahre alt, und Jacques Miller entschied sich, Medizin zu studieren. 1958 kam er mit einem Forschungsstipendium nach London. Er wollte eine bestimmte Form der Leukämie untersuchen, die bei Mäusen auftrat. Das Institut lag in einem Gebäude, das vorher einem Zirkusdirektor gehört hatte. Löwen, Hunde, Elefanten waren dort untergebracht gewesen. Miller musste sich sein Labor in den alten Pferdeställen einrichten.

Er widmete sich bei seiner Arbeit besonders dem Thymus der Mäuse. Der Thymus, eine Drüse, sitzt beim Menschen hinter dem Brustbein, mittig, oberhalb des Herzens. Die Wissenschaft hatte ihn, den Thymus, all die Jahre weithin als eine Art Aussätzigen behandelt, ein Nichtsnutz sei er, ein Fettlappen, ein belangloses Überbleibsel der Evolution. Miller aber schenkte ihm seine Zuneigung.

In seinen Versuchen fiel ihm etwas auf: Mäusebabys, deren Thymusdrüse noch wuchs, waren anfälliger dafür, Leukämie zu bekommen, als erwachsene Mäuse. Einigen Mäusen entfernte Miller den Thymus ganz. Sie, beobachtete er, wurden sehr schnell sehr krank, sie konnten sich anscheinend nicht mehr gegen Infektionen zur Wehr setzen. Ihm sei klar geworden: »Der Thymus musste irgendwas mit dem Immunsystem zu tun haben.«

Miller wusste, dass Hauttransplantationen damals oft missglückten, weil das Immunsystem die fremde Haut abstieß. Im Umkehrschluss, überlegte Miller, dürfte eine Maus ohne funktionierendes Immunsystem die transplantierte Haut nicht abstoßen. Er nahm zwei Mäuse und ein Skalpell, operierte zunächst der einen Maus die Thymusdrüse heraus, schnitt Hautgewebe aus der anderen und transplantierte es der ersten Maus. »Es war unglaublich«, sagt Miller. »Die Maus ohne Thymus stieß die Haut nicht ab.« Er entnahm thymuslosen Mäusen Blut und sah, dass darin viel weniger Lymphozyten – weiße Blutkörperchen mit einem Zellkern – schwammen als bei Mäusen mit Thymus. »Damit war klar, dass diese Zellen aus dem Thymus kamen«, sagt Miller. Also taufte er sie T-Zellen.

T-Zellen gibt es in unterschiedlichen Formen, man kann sie vergleichen mit den Elitekämpfern des Kommandos Spezialkräfte, KSK. Sie sind Teil des erworbenen Immunsystems und mit das Beste und Effektivste, was unsere Verteidigung aufzubieten hat. Doch sie können auch zu Staatsfeinden mutieren und ihre Waffen gegen den eigenen Körper richten. Weil sie so gefährlich sind, so großen Schaden anrichten können, gibt es ein eigenes Organ, in dem sie ausgebildet werden.

Im Thymus lernen sie vor allem, körpereigene von körperfremden Zellen zu unterscheiden. Am Ende werden sie einer Qualitätskontrolle unterzogen, denn nach ihrer Ausbildung sind sie solch hochgerüstete Kämpfer, dass, bevor sie hinausgelassen werden in die Weiten des Körpers, abgeklärt werden muss, ob sie wirklich geeignet sind, das Land da draußen zu verteidigen.

Es gibt unterschiedliche Arten von T-Zellen: Killerzellen spüren virusinfizierte Zellen auf, töten sie innerhalb von Minuten und machen sich dann auf die Suche nach dem nächsten Feind. Helferzellen rufen, wenn nötig, Unterstützung herbei und helfen anderen Immunzellen. Regulatorische Zellen halten das Gleichgewicht zwischen Abwehr und Angriff. Gedächtniszellen, oben bereits erwähnt, erinnern sich an die Charakteristika früherer Erreger und wissen deshalb sofort, was bei welchem Feind zu tun ist. Bemerken sie einen Eindringling, den sie bereits kennen, setzen sie eine Befehlskette in Gang, in Richtung einer weiteren Gruppe weißer Blutkörperchen, der B-Zellen.

B-Zellen entstehen im Knochenmark (im Englischen heißt Knochenmark *bone marrow,* daher B-Zellen). Sie verfügen über andere Fähigkeiten als die T-Zellen, und ihre Superfähigkeit ist die Produktion von Antikörpern.

Erkennen Gedächtniszellen einen Erreger, können sie den B-Zellen den Befehl geben, Antikörper zu produzieren. Antikörper sind Proteinmoleküle. Jede B-Zelle im menschlichen Körper ist in der Lage, einen ganz bestimmten Antikörper zu produzieren, der an ihrer Außenseite mit ihr wandert. Damit ist es dem Immunsystem möglich, auf alles Fremde, was in den Körper dringen könnte, zu reagieren, von einem herkömmlichen Bakterium bis hin zu einem Virus, das die Menschheit noch nicht kennt.

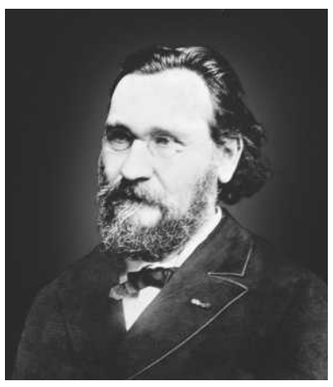
Jeder Antikörper ist einzigartig, er ist allein für die Möglichkeit erschaffen, irgendwann auf sein Gegenstück zu treffen. Dieses Gegenstück heißt Antigen. Es ist ein Merkmal, mit dem Erreger, Bakterium, Pilz, Virus, ausgestattet sind. Das berühmteste Antigen unserer Zeit ist das stachelartig hervorstehende Spike-Protein an der Außenhülle von Sars-CoV-2.

Findet ein Antikörper das für ihn passende Antigen, bindet er sich an dieses. Die B-Zelle, die den Antikörper auf ihrer Oberfläche trägt, beginnt sich daraufhin zu teilen, immer öfter, sodass immer mehr der passenden Antikörper entstehen, die den Erreger eliminieren können. Antikörper aber attackieren nicht nur Invasoren, sie markieren sie auch, damit andere Immunzellen sie leichter auffinden und fressen können.

Die T- und B-Zellen machen etwa vierzig Prozent der weißen Blutkörperchen aus. Zu denen gehören außerdem: Monozyten, Eosinophile, Basophile. Das Gros der Streitkraft sind Neutrophile, Teil der angeborenen Immunantwort und eine Art Ersthelfer an der Unglücksstelle. Die meiste Zeit schippern sie im Fluss des Blutes durch den Körper und schauen, ob sie benötigt werden. In der Sekunde, in der wir uns beispielsweise beim Kochen mit dem Messer in den Finger schneiden, werden sie mobilisiert. Dort, wo nun Unheil droht, schwärmen die Neutrophilen herbei. »Sie werden von chemischen Substanzen, die die Blutplättchen und verletzte Zellen im Wundgewebe freisetzen, wie magnetisch angezogen«, sagt Sabine Werner, Zellbiologin, Leopoldina-Mitglied und Professorin an der ETH Zürich. Wenige wissen so viel über Wundheilung wie sie.

Die Hauptaufgabe der Neutrophilen sei es, Bakterien und andere Mikroorganismen abzutöten, um sie davon abzuhalten, sich zu vermehren und tiefer in den Körper vorzudringen. Dafür nutzten die Neutrophilen spezielle Waffen, Peptidasen und Sauerstoffradikale. »Allerdings sind das wuchtige Waffen, wie Sprengstoff, sie zerstören auch die guten Zellen um sie herum.« Diese Detonationen sind einer der Gründe dafür, dass Wunden in den Tagen danach oft am stärksten schmerzen.

In einer Wunde erweitern sich die Blutgefäße, um mehr Zellen zur Unglücksstelle transportieren zu können, mehr Sauerstoff, mehr Blut. Den Neutrophilen folgen die Makrophagen zum Ort des Elends, auch sie



Elias Metschnikoff fand 1882 heraus: Der Körper setzt sich gegen Eindringlinge zur Wehr

weiße Blutkörperchen, nur größer, deshalb der Name: Makrophage bedeutet Riesenfresszelle. Eine Unterform jenes Zelltyps, den Elias Metschnikoff in seiner Seestern-Larve entdeckte. Sabine Werner sagt: »Die Makrophagen sind der Aufräumtrupp.« Sie bereinigen das Schlachtfeld und nehmen sich, was von den Toten zurückbleibt. »Sie fressen sie auf.« Nach getaner Arbeit verlassen sie die Wunde.

Dort, in der Haut, aber auch im Magen und in der Lunge – überall, wo das Innere in engem Austausch mit der Außenwelt steht – schleicht noch eine weitere Zelle herum, deren Bedeutung man lange Zeit abgetan hatte wie den Thymus vor Jacques Miller. 1973 hatte Ralph Steinman, Professor an der New Yorker Rockefeller University, die Zelle entdeckt. Sie besaß grazile zweigähnliche Fortsätze. Deshalb, schrieb Steinman später, habe er zunächst überlegt, sie Claudiazyten zu nennen – »weil meine Frau Claudia auch so lange, attraktive Gliedmaßen hat«. Er nannte sie dann aber doch Dendritische Zellen, von Griechisch *dendron,* Baum. Steinman war überzeugt, dass diese Zellen enorm wichtig für das Immunsystem seien. Kaum jemand glaubte ihm.

Anfang der Achtzigerjahre lief ein junger Österreicher durch die Räume der Rockefeller University, er blieb vor Steinmans Büro stehen und klopfte an die Tür. Über Steinman hatte er bis dahin vor allem eines gehört: dass er ein Irrer sei. Fachkollegen tuschelten über den Profes-

Jacques Miller Anfang der 1960er. Damals kam er der Funktion der Thymusdrüse auf die Spur

sor hinter vorgehaltener Hand, auf Immunologen-Treffen verdrehten sie die Augen, sobald er sprach. »Ralph wurde geradezu verlacht. Heute würde man wohl von Rufmord sprechen«, sagt Gerold Schuler, der junge Österreicher von damals, heute 70. Schuler, international bekannter Krebsforscher und ehemaliger Direktor der Dermatologischen Universitätsklinik in Erlangen, sagt: »Ich wollte trotzdem zum Ralph.«

Er zog von Innsbruck nach New York und fing an, im Labor von Steinman zu arbeiten. Sie verbrachten Tage und Nächte über Mikroskope gebeugt, machten Experimente, diskutierten. »Wir waren eine kleine Schar von Verrückten, die vom Ralph fasziniert waren«, sagt Schuler. Steinman sei bescheiden gewesen und zugleich wahnsinnig hilfsbereit. Einmal in der Woche ging er mit seiner Frau Claudia tanzen. »Claudia sagt immer, ich hätte eine ganz besondere Beziehung zum Ralph gehabt«, sagt Schuler. »Na ja, er war halt Steinbock, ich bin Steinbock. Wir haben uns nur anzuschauen brauchen und wussten, was der andere denkt.«

Jahrelang sei er mit Steinman von Kongress zu Kongress gepilgert, zusammen hätten sie versucht, der Fachwelt klarzumachen, welch alles entscheidende Rolle die Dendritische Zelle im Immunsystem einnimmt.

Der Durchbruch kam, als Schuler in Versuchen aufdeckte, was so lange verborgen geblieben war. Er, bescheiden wie Steinman, bewies, dass Dendritische Zellen in zwei Zuständen existieren, unreif und reif.

Der Unterschied zwischen den beiden Zuständen: Ist beispielsweise ein Influenzavirus in die Lunge vorgedrungen, nehmen unreife Dendritische Zellen infizierte und abgestorbene Teile der Lungenzellen auf. Gefahrensignale, von der Entzündung ausgelöst, bringen sie zum Reifen. Die reifen Dendritischen Zellen werfen in der Folge die T-Zellen an, die die Viren attackieren.

Die Dendritischen Zellen schicken die T-Zellen aber nicht nur in den Kampf. Sie bringen ihnen auch bei, gesunde Körperzellen zu verschonen.

Der Vorgang ist in all seinen Einzelheiten natürlich noch viel komplexer, aber vielleicht sollte man sich in diesem Fall an Ralph Steinman halten, der, wie Gerold Schuler erzählt, viel Wert darauf gelegt habe, schwierige Sachverhalte so einfach wie möglich zu erklären, damit sie jeder versteht. Steinman habe gesagt: »Die Dendritischen Zellen sind die Generale, die die gesamte Immunantwort steuern. Sie erteilen den Soldaten den Befehl, wer wie attackiert wird.« Deshalb sind sie so wichtig: Sie sind jene Zellen, die dem Körper beibringen, zwischen Gut und Böse zu unterscheiden.

»Als wir das endlich beweisen konnten, war Furore«, sagt Schuler. Textbücher mussten umgeschrieben, Lehrpläne geändert werden. Ralph Steinman, so lange verlacht, hatte das Verständnis des Immunsystems für immer verändert.

Im Frühjahr 2007 erhielt Schuler, damals seit zwölf Jahren Klinikdirektor in Erlangen, eine E-Mail von seinem Freund Ralph Steinman. *»Bad news«,* stand da. Steinman schrieb, Ärzte hätten bei ihm Bauchspeicheldrüsenkrebs festgestellt. Die meisten Menschen sterben innerhalb eines Jahres daran.

Schuler und seine Kollegen und Kolleginnen unternahmen alles, um Steinman zu helfen. Gemeinsam wollten sie den Tumor besiegen. Sie entwickelten Therapien, und tatsächlich überlebte Steinman das erste Jahr, das zweite, das dritte, das vierte.

Im Herbst 2011, Schuler war gerade in einem Meeting, kam ein Kollege herangeeilt: »Hast du gehört? Der Ralph hat den Nobelpreis gewonnen!«

»Ich kann mich noch genau an den Moment erinnern«, sagt Schuler. »Wie erleichtert ich war, als ich die Nachricht hörte. Ich dachte: O Mann, wie schön, dass er das noch erleben darf.« Er habe sofort sein Telefon genommen und die Nummer seines Freundes gewählt. Claudia, dessen Frau, sei rangegangen.

»Ich sagte: Claudia, ich habe es gerade erfahren, Nobelpreis, toll. Ist der Ralph da?« Schuler schluckt und spricht, die Stimme brüchig, weiter: »Sie sagte: Oh, Gerold. Er ist gestorben.«

Niemand, nicht Schuler, nicht das Nobelpreiskomitee, nur die engste Familie wusste zu dem Zeitpunkt, dass Ralph Steinman seit wenigen Tagen tot war. Laut Regelwerk dürfen Nobelpreise nur an lebende Personen verliehen werden. Das Preiskomitee berief eilig ein Krisentreffen ein. Es entschied: Steinman bekommt den Preis trotzdem.

Schuler und die kleine Schar der anderen Verrückten wurden zur Verleihung nach Stockholm eingeladen und erwiesen Steinman die letzte große Ehre. Bis heute, sagt Schuler, werde er traurig, wenn er über ihn rede. Ralph sei sein Mentor gewesen, ein Vorbild, ein Freund.

In jenen Jahren, in denen Steinman und Schuler ihre Entdeckungen machten, trugen auch andere Forscher und Forscherinnen von überallher Wissen zusammen, das zum immer besseren Verständnis des Immunsystems führte. Das neue Wissen ebnete den Weg für eine alte Idee. Schon seit dem 19. Jahrhundert hatten Mediziner überlegt, wie es gelingen könnte, die Körperabwehr so auszurichten, dass sie aus sich selbst heraus Krankheiten bekämpfen kann. Dabei rückte nun besonders ein Übel in den Fokus: Krebs.

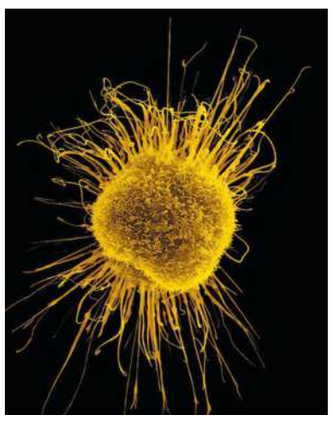
Zellen teilen sich, ständig und überall, anders wäre Leben nicht möglich. Bei ihrer Teilung aber mutieren einige von ihnen. Die meisten mutierten Zellen sterben nach relativ kurzer Zeit ab. Entweder eliminiert das Immunsystem sie, oder sie sind zu schwach, um zu überleben. Doch unter den Millionen mutierten Zellen, die sterben, reicht eine, die es schafft, sich unkontrolliert zu vermehren. Sie ist der Ursprung, der irgendwann alles um sich herum auslöschen kann.

Krebs entsteht meistens in dieser einen Zelle. Die Zelle teilt und teilt sich, der Krebs wächst, wandert, lernt, gedeiht, er schleicht sich in Organe, setzt sich im Gewebe fest. Zerstört.

Obwohl sie so viele Gestalten annehmen können, einen einige Kennzeichen alle Krebsarten: ihr grenzenloses Wachstumspotenzial etwa. Die Gabe, sich Blutgefäße anzueignen. Die Metastasierung, ihre Fähigkeit also, anderswo im Körper zu wuchern.

So wie das Immunsystem ist auch sein vielleicht mächtigster Gegner, der Krebs, ein lernendes System. Krebszellen passen sich an, weichen Gefahren aus, statten ihre Nachkommen mit immer besseren Fertigkeiten aus. Es gibt Krebszellen, die molekulare Pumpen entwickeln, um das Gift einer Chemotherapie wieder aus sich herauszubefördern, und es gibt Krebszellen, die Proteine einsetzen, damit ihnen Medikamente nichts anhaben können. Krebs ist in der Lage, die Körperabwehr auszutricksen, sich zu tarnen und ihr zu signalisieren, er gehöre zu den Guten. Er kann sie dazu bringen, ihn, den Feind, zu nähren, und er kann sie in den Tod treiben.

Das Immunsystem besitzt Sicherungsmechanismen, sie sorgen dafür, dass Immunzellen bei ihren Attacken nicht überreagieren und den eigenen Körper angreifen. T-Zellen zum Beispiel, die topausgebildeten Kämpfer, tragen unter anderem zwei bestimmte Moleküle mit sich. Das eine ist CTLA-4, es hilft dabei, die Abwehrreaktion, wenn nötig, herunterzufahren oder ganz zu unterdrücken. Das andere heißt PD-1. PD steht für *Programmed Death,* den programmierten Tod. Wie ein Spion, der – für alle Fälle – eine Zyankali-Pille bei sich hat, trägt die T-Zelle das Molekül PD-1 mit sich. Es bringt das



Die Dendritische Zelle ist eine Art General: Sie steuert die gesamte Immunantwort

Immunsystem dazu, seine eigenen Zellen zu zerstören, bevor sie dem Körper Schaden zufügen können.

Krebs kann diese Schutzfunktionen für seine Zwecke missbrauchen. Er sendet der T-Zelle dann ein Signal, das ihr bedeutet: Töte dich selbst! Oder: Greif mich nicht an!

Bis weit ins 20. Jahrhundert hinein gab es drei etablierte Therapien, Tumoren zu bekämpfen: sie herauszuoperieren, sie zu bestrahlen oder sie chemisch anzugreifen. In den Neunzigerjahren dann lernten Wissenschaftler jene Moleküle kennen, die das Immunsystem einerseits vor einer Überreaktion schützen, sich andererseits aber vom Krebs überlisten lassen, CTLA-4 und PD-1. Damit eröffnete sich eine ganz neue Möglichkeit im Kampf gegen den Krebs: die Immuntherapie.

Was würde passieren, fragten sich Forscher, blockierte man eines dieser Moleküle? Könnten die Immunzellen dann nicht mit voller Wucht die Krebszellen bestürmen?

Das Fachblatt *New England Journal of Medicine* berichtete 2010 erstmals von einer Studie mit 676 Patienten, sie alle litten unter einem wuchernden Melanom, Hautkrebs, Stadium drei und vier, bis dahin ein Todesurteil. Die Patienten hatten ein Mittel bekommen, einen speziellen Antikörper, der sich an die Bremse CTLA-4 andockte und so seine Wirkung abschwächte. Das Mittel schaffte, was Ärzte vorher nicht für möglich gehalten hatten: Die Überlebensrate stieg von durchschnittlich sechs auf zehn Monate. Gut jeder Fünfte lebte durch das Mittel noch zwei Jahre und länger.

Seitdem ist die Immuntherapie Hoffnungsträgerin unzähliger Krebspatienten. Doch auch wenn sie beim Melanom Wunder wirken kann, gibt es andere Tumorarten, die sich selbst von dieser Waffe nicht einschüchtern lassen. Zudem können Immuntherapien schwerste Nebenwirkungen nach sich ziehen, Darm- und Leberentzündungen, Hautausschlag, Blutungen.

Das Immunsystem ist auf Balance ausgelegt. All die Angreifer und Schlichter und Boten und Vermittler sind Teile eines gigantischen Netzwerks. Über Fernmeldesysteme kann Hilfe aus entlegenen Regionen gerufen werden; Frühwarnsysteme schlagen Alarm, lange

Abb.: Dennis Kunkel/Science Photo Library (2); Steve Gschmeissner/Science Photo Library; Fotos: Getty Images; Jacques Miller, Cell Death & Differentiation, 2019; Wikimedia Commons; Rockefeller University/Sipa Press

bevor Symptome spürbar sind. Eine Zelle, von einem Virus durchdrungen, kann Botenstoffe absondern, die den umliegenden Zellen signalisieren, dass Viren gerade dabei sind, eine Offensive auf den Körper zu starten. Innerhalb von Stunden kann sich der Notruf im gesamten Organismus verbreiten. Die Boten, Zytokine genannt, steuern dann eine koordinierte Abwehrreaktion, sie können das System anschalten und abschalten, und sie wissen meist, wie auf welchen Gegner angemessen zu reagieren ist.

Gerät die Balance allerdings in Gefahr, klemmen Bremsen oder wüten Soldaten, passiert es schnell, dass die Abwehr Amok läuft. Dann entstehen Autoimmunerkrankungen.

Diabetes, Multiple Sklerose, über achtzig Autoimmunkrankheiten insgesamt haben in den westlichen Ländern inzwischen mehr als fünf Prozent aller Menschen befallen. Die große Mehrheit der Autoimmunkranken sind Frauen. Das liegt an der Leistungsfähigkeit ihres Immunsystems, es ist stärker als das männliche. Frauen leben länger, sie bewältigen Infektionen und Traumata besser, Hungersnöte überleben sie eher als Männer. Covid-19 tötet seltener Frauen als Männer. Doch wie bei einem hochgerüsteten Staat, in dem die Gefahr besteht, dass das Militär putscht und seine Waffen gegen die eigene Bevölkerung richtet, kann auch ein starkes Immunsystem schaden, wo es eigentlich schützen sollte.

Polly Matzinger stellte mit ihrem »Gefahren-Modell« die Immunologie auf den Kopf

Die Ursachen sind oft unklar. Es kann zum Beispiel sein, dass Immunzellen zunächst einen tatsächlichen Gefährder angegriffen haben, das Proteinmolekül eines Bakteriums, seither aber das Böse fälschlicherweise auch dort sehen, wo gar keines ist, in gesunden Zellen, deren Protein Ähnlichkeiten hat mit dem des Feindes.

Es gibt heute mehr Autoimmunerkrankungen als früher, und man geht davon aus, dass das auch mit der zunehmenden Reinheit allerorten zu tun hat. Menschen waschen sich die Hände, benutzen Seife und Desinfektionsmittel. Die korrekte Hygiene hat Krankheiten in die Knie gezwungen, sie kann Infektionen und Pandemien eindämmen. Zeitgleich lernt das Immunsystem da, wo alles sauber ist, kaum mehr Erreger kennen. Es ist im 20. Jahrhundert ein bisschen beschäftigungslos geworden. Wird es dann doch einmal attackiert, besteht die Gefahr, dass es nicht genau weiß, wie es zu reagieren hat. Und weil zu viel meistens besser als zu wenig ist, geschieht es, dass übers Ziel hinausgeschossen wird. Dann kann es zu Allergien kommen oder, schlimmer, zu Autoimmunerkrankungen.

Entscheidend für die Wahrung der Balance ist das Mikrobiom. Es ist das, was der Mensch ursprünglich nicht ist: all die Billionen bakterieller Zellen, die den Körper besiedeln. Der Großteil von ihnen lebt im Darm. Sie sind so etwas wie korrekte Mitbewohner, sie packen im Haushalt mit an, bringen den Müll runter, und allein schon ihre Anwesenheit sorgt dafür, dass keine Mietnomaden einziehen, die das ganze Haus unbewohnbar machen.

Die Darmbakterien helfen bei der Verdauung und bei der Ernährung, sie synthetisieren Vitamine, beschaffen Nährstoffe und beliefern den Körper mit Energie. Dafür dürfen sie bei uns wohnen. Welche Rolle das Mikrobiom für das Immunsystem spielt, zeigt sich in Laboren, in denen sogenannte keimfreie Mäuse hausen. Diese Mäuse, denen das Mikrobiom weggezüchtet worden ist, leben in sterilen Käfigen, sie atmen gefilterte Luft, und ihre Nahrung wird bestrahlt, bevor man sie ihnen über eine Schleuse zuführt. Sobald eine dieser Mäuse mit einem – selbst dem harmlosesten – Erreger in Berührung kommt, kollabiert ihr Immunsystem, die Maus stirbt.

Während Menschen 99,9 Prozent ihres Erbguts gemeinsam haben, unterscheidet sich das Mikrobiom jedes Einzelnen zu achtzig bis neunzig Prozent. Lange wurde übersehen, wie wichtig es ist. Dass Billionen Fremde den Körper kolonisieren, war nicht in Einklang zu bringen mit der vorherrschenden Theorie des Immunsystems. Sie beruht auf dem sogenannten Self-/Non-Self-Modell: Das Immunsystem schützt, was zu ihm gehört, und attackiert alles, was körperfremd ist.

Vielleicht wäre die Bedeutung des Mikrobioms bis heute nicht wirklich verstanden worden, hätte niemand diese Theorie grundlegend infrage gestellt. Das wiederum konnte nur passieren, weil im Juni 1970 der Playboy Club von Hollywood brannte.

Ein Jahr vor dem Brand, 1969, arbeitete Polly Matzinger als Kellnerin in einem anderen Playboy Club, in Denver, Colorado. Abends fuhr sie zum Club, zog sich ihr Bunny-Outfit an, die Hasenohren, das Kostüm, und unterhielt die männlichen Gäste, Banker, Politiker, Geschäftsleute. »Das waren die Männer, die das Land lenkten«, sagt sie.

Matzinger ist heute 73 und arbeitet bei den National Institutes of Health in Washington. Ihr Chef ist Anthony Fauci, der Corona-Berater des Präsidenten. Als sie ihren Laptop aufklappt, ist es bei ihr vier Uhr morgens. Sie stehe gerne früh auf, sagt sie.

Matzinger, Tochter eines niederländischen KZ-Überlebenden und einer Nonne, wurde in Frankreich geboren. Als sie noch klein war, emigrierte die Familie nach Amerika und lebte in einem Ghetto von Los Angeles. Nach der Schule studierte Matzinger Musik, sie wollte Komponistin werden. »Doch es gab ein Problem«, sagt sie: »Meine Musik war todlangweilig.« Sie probierte sich als Hundetrainerin, als Schreinerin, sie spielte Bass in einer Jazz-Band. 1968 stellte der Playboy Club von Denver sie als Bunny ein.

Die Arbeit gefiel ihr, der Lohn, vierzig Cent die Stunde plus Trinkgeld, war damals ein Vermögen. Als sie der Liebe wegen 1970 zurück nach Kalifornien zog, wollte sie deshalb wieder in einem Playboy Club arbeiten, diesmal in dem von Hollywood. Kurz bevor sie dort anfangen sollte, brannte der Club. Das Gebäude lag in Asche, der Job war dahin.

Sie sei dann Cocktail-Kellnerin in einer Bar in der Nähe der University of California geworden, erzählt sie. Zwei Stammgäste arbeiteten als Professoren an der Universität. Matzinger kam mit ihnen ins Gespräch, sie redeten über Biologie, über Tiere. Die Männer waren so beeindruckt von ihr, dass sie neun Monate lang auf sie einredeten, sie solle eine Forscherkarriere einschlagen. Schließlich studierte sie Biologie. Und weil der Freund ihrer Mitbewohnerin, ein Immunologe, mit dem sie oft nächtelang Schach spielte, ihr bei jeder Partie von seinem Fach vorschwärmte, entschied sie sich, Immunologin zu werden.

Vor ihr hatte kaum jemand die Self-/Non-Self-Theorie ernsthaft angezweifelt. Matzinger aber rätselte: Wie kann es sein, dass Mütter nicht ihren Fötus abstoßen, der ja genetisch zur Hälfte vom Vater ist? Warum greifen Immunzellen nicht die Darmbakterien an, die fremd sind?

»Ich bade gerne ziemlich lange, bis meine Hände schrumpelig werden«, sagt Matzinger. »Als ich eines Tages in der Wanne lag und mir wieder diese Fragen stellte, kam mir auf einmal die Idee: Es geht dem Immunsystem nicht darum, ob etwas fremd ist oder nicht. Sondern ob es gefährlich ist.« Sie sei aus der Wanne gesprungen, tropfend durch die Wohnung gelaufen und habe ihre Gedanken sortiert.

1994 veröffentlichte sie die These, die unter dem Titel *Danger Model,* Gefahren-Modell, die Welt der Immunologie revolutionierte. Wie bei jeder ordentlichen Revolution gab es jene, die das Alte verteidigten und das Neue für verrückt erklärten. »In ihrer elitären Oxford-Arroganz glaubten viele Forscher nicht, dass das alte Modell nur wegen des Fötus falsch sein könne. Sie behaupteten, eher sei etwas mit der weiblichen Physiologie nicht richtig«, sagt Matzinger.

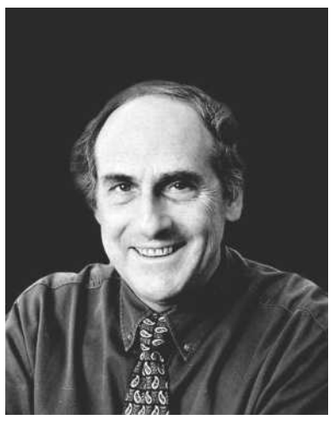
Heute ist ihr Modell weitgehend anerkannt. »Stellen sie sich den Körper als eine kleine Stadt vor«, spricht Matzinger durch den Bildschirm. »Im alten Self-/Non-Self-Modell sind die weißen Blutkörperchen Polizisten, ziemlich rassistische Polizisten. Sie streifen durch das Städtchen, immer auf der Suche nach Fremden: Touristen, Geschäftsreisenden, Einwanderern. Treffen sie auf einen, töten sie ihn. Bei diesem Modell dürften keine Bakterien im Körper leben, Einwanderung gäbe es nicht.«

Sie steht auf, macht sich einen Kaffee, redet dabei weiter: »Beim *Danger Model* sind die weißen Blutkörperchen eher Feuerwehrmänner, die erst losdüsen, wenn jemand Alarm schlägt. In meinem Modell sind die Touristen und Einwanderer willkommen, solange sie die Stadt nicht verwüsten. Nach einer Weile können sie sogar Teil der Gemeinde werden.«

Polly Matzinger, vom *Discover Magazine* zu einer der fünfzig wichtigsten Frauen der Wissenschaft gekürt, sagt, vielleicht sei sie auf das *Danger Model* gekommen, weil sie wisse, was es bedeutet, fremd zu sein – erst als Einwandererin in den USA, dann als Quereinsteigerin in der Wissenschaft. Das Immunsystem, glaubt sie, lehre uns, immer erst mal aufgeschlossen und tolerant zu sein all jenen gegenüber, die anders sind als wir.

Seit einem Jahr beschäftigt sich Matzinger, wie fast alle bei den National Institutes of Health, mit dem Coronavirus. Sie sagt: »Auch hier spielt das Immunsystem eine ganz wichtige Rolle.«

Sars-CoV-2 dringt über Nase und Mund in den Körper. Es kann, anders als andere Coronaviren, Zellen an mehreren Stellen attackieren, vor allem in Rachen und Lunge. Gelingt es ihm, die Atemwege zu durchqueren, weiter nach unten, nähert es sich den Lungenzellen. Sie sind, aus Sicht des Virus, Riesen, oft Hunderte Male größer als es selbst. Mit seinen Spike-Proteinen aber kann es in die Zellen einbrechen. Dort vermehrt es sich.



Ralph Steinman starb im Herbst 2011. Wenige Tage nach seinem Tod erhielt er posthum den Nobelpreis

Die Nachkommen des Virus machen sich auf den Weg, sie entweichen der Ursprungszelle und überfallen, piratengleich, die nächsten Zellen. Das Immunsystem versucht, den Befall zu verhindern. Die vom Virus attackierten Zellen senden Hilferufe aus. Sie sondern Interferone ab, Proteine, die, ähnlich wie bei einer Fliegerwarnung, die umliegenden Zellen vor dem Feind alarmieren. Die so aufgeschreckten Zellen errichten dann eine Verteidigung, sie produzieren Molekül, die das Virus am Eindringen ins Zellinnere oder am Wachstum hindern sollen.

Außerdem stürmen die beiden Elite-Einheiten herbei. B-Zellen produzieren Antikörper, die sich an die Spike-Proteine der Viren heften, damit diese nicht mehr die Lungenzellen angreifen können. T-Zellen töten die Coronaviren ab, ebenso wie die bereits infizierten Zellen.

Bei manchen Menschen funktioniert das alles so reibungslos, dass eine Corona-Infektion bei ihnen keine Krankheit verursacht, sie nicht einmal Symptome spüren. Doch mit jeder Bürde, die das Immunsystem darüber hinaus belastet, ein hohes Alter, Stress, eine andere Krankheit, fällt es ihm schwerer, sich zu wehren. Sars-CoV-2 besitzt zudem Fähigkeiten, die Körperabwehr zu hintergehen. Die Viren legen Interferone lahm und kappen so die Alarmsignale. Ihre Spike-Proteine verstecken sich hinter Zuckermolekülen, um Antikörpern zu entkommen.

Die Sabotage des Interferons, so die Annahme, fördert nicht nur die Ausbreitung des Virus, sondern bringt das ganze System zum Beben. Der Körper, aufgeschreckt und überfordert, wird mit den Botenstoffen des Fernmeldesystems geflutet. Dieser sogenannte Zytokinsturm wirbelt die komplette Verteidigung durcheinander, Botschaften gehen unter, Fehlerketten entstehen. Das Immunsystem übersteuert. Schlimmstenfalls endet der Sturm tödlich.

Deshalb passiert, was in den Nachrichten gerade Tag für Tag zu sehen ist: Ein Piks in den Oberarm, und ein Impfstoff bringt dem Körper Kunde von Sars-CoV-2. Der Impfstoff, als würde er unser Inneres mit Fahndungsplakaten volltackern, präsentiert den Zellen Merkmale des Feindes – in dem von BioNTech und Moderna ist es der genetische Code für das Spike-Protein –, das Immunsystem lernt sie kennen und archiviert sie. Greift Sars-CoV-2 danach tatsächlich an, wissen die Immunzellen, wer was zu tun hat.

Eine Makrophage, auch Riesenfresszelle genannt. Sie gehört zum Aufräumtrupp des Immunsystems

Es bleibt die Angst vor Mutationen, die sich der Wirkung der bisherigen Impfstoffe entziehen könnten. Viele Forschungslabore legen ihre Hoffnung aus diesem Grund in die T-Zellen. Neue Impfstoffe sollen sie stimulieren. Denn mehr T-Zellen, so die Vermutung, könnten eine lang anhaltende Immunität garantieren und mit Virusmutationen besser klarkommen.

Polly Matzinger sagt, Corona werde nicht aus der Welt verschwinden. Aber die Welt werde lernen, mit dem Virus zu leben, es zu überleben. Das Immunsystem sei der Schlüssel dazu.

Zum Ende seines Lebens hin widmete sich Elias Metschnikoff, der unglückselige Russe, der Frage, warum wir sterben. Er besorgte sich aus Leichenhallen Gewebeproben von Toten, er durchblätterte Zeitungen nach Berichten über uralte Menschen und besuchte sie, um zu erfahren, wie sie mit dem Älterwerden umgingen. Er prägte eine neue Wissenschaft, die Gerontologie, und entwickelte eine Theorie des Alterns. Der Sinn des Lebens, schrieb er, bestehe darin, einen normalen Lebenszyklus zu durchlaufen, der mit einem schmerzlosen Altern und dem Verlust des Überlebenswillens ende. Dies versöhne schließlich mit dem Tode.

Der Mensch der Zukunft, glaubte Metschnikoff, könne 150 Jahre alt werden. Zu erreichen sei dies vor allem mit dem Verzehr von reichlich Joghurt. Der töte böse Bakterien ab und zögere so das Sterben hinaus. Mit seiner Werbung für probiotische Erzeugnisse löste Metschnikoff einen weltweiten Boom aus, die moderne Joghurt-Industrie entstand.

Heute werden nicht einmal 0,01 Prozent der Weltbevölkerung älter als hundert Jahre. Vielleicht ahnte Metschnikoff selbst, dass es da noch ein paar andere Faktoren geben muss, die mitentscheiden, wie lange wir leben. Das Alter lässt den Körper gebrechlich werden, und mit ihm scheinen auch die Kräfte des Immunsystems nachzulassen. Es reagiert nicht mehr so schnell, wenn sich am Horizont eine Erkrankung abzeichnet, es zielt bei seinen Angriffen eher mal daneben. Der Thymus arbeitet teils nur noch mit einem Prozent der Kraft aus früheren Jahren. Die Produktion der Abwehrzellen erlahmt.

Das Immunsystem wird müde. Der Körper auch. Irgendwann müssen die beiden aufgeben. Zuvor aber hat der eine ziemlich gut auf den anderen aufgepasst.

Zum Weiterlesen

Abgesehen von den Gesprächen mit den Fachleuten, über die unser Autor im Text berichtet, stützte er sich auf viele Fachartikel und Bücher. Von Letzteren fand er einige besonders hilfreich: »Starke Abwehr. Unser Immunsystem« von Matt Richtel; »Unser erstaunliches Immunsystem« von Marianne Koch; »Heilen aus eigener Kraft« von Daniel M. Davis; »Der König aller Krankheiten. Krebs – eine Biografie« von Siddhartha Mukherjee; sowie »Immun« von Eula Biss

Genug schlafen, viel küssen

Das Immunsystem hilft dem Menschen. Im Gegenzug kann er ihm auch ein bisschen helfen. Eine Anleitung

Im Normalbetrieb macht unser Immunsystem einen ziemlich sensationellen Job. Meist geht es gegen schädliche Viren, Bakterien und mutierte Zellen vor, ohne dass wir etwas davon bemerken. Künstliche Hilfe von außen benötigt es, so die Erkenntnis von Fachleuten, normalerweise nicht – auch wenn in Apotheken und Drogerien zahlreiche Nahrungsergänzungsmittel versprechen, die Abwehrkräfte zu stärken.

Man kann dem Immunsystem aber zur Seite stehen, indem man halbwegs gesund lebt. Das heißt: regelmäßig Obst und Gemüse essen, wenig Alkohol, keine Zigaretten. Hier einige weitere – mehr oder weniger wichtige – Verhaltensweisen:

Ausreichend schlafen. Die Zahl der Immunzellen schwankt je nach Tageszeit, abends ist sie am höchsten, morgens am niedrigsten. Teile des Immunsystems werden in der Nacht herunterreguliert und – wie der Körper insgesamt – in eine Art Energiesparmodus versetzt. Das Gleichgewicht zu halten ist bedeutsam: Als ein Forscherteam bei krebskranken Mäusen einen chronischen Jetlag simulierte, wuchsen die Tumoren schneller als bei den krebskranken Mäusen ohne Jetlag.

Bei der Auswertung von Daten aus 74 Studien mit 3,3 Millionen Probanden fanden Forschende der britischen Keele University Hinweise darauf, dass zu wenig – und zu viel – Schlaf das Sterberisiko signifikant erhöht. Optimal sind bei den meisten Menschen ungefähr sieben bis acht Stunden.

Stress vermeiden. Unter Druck schüttet der Körper Steroide und Hormone aus, darunter Cortisol, um sich zu rüsten für Flucht oder Kampf. Der Blutzuckerspiegel fährt hoch, die Blutgefäße erweitern sich, die Muskeln spannen sich an. Aber: Das Cortisol schwächt die Immunzellen. Viren und Bakterien werden nicht mehr so effizient bekämpft, erkrankte Zellen nicht mehr so schnell eliminiert.

Evolutionsbiologisch gesehen ergibt das Sinn. Die Unterdrückung der Immunzellen machte es weniger wahrscheinlich, dass Urmenschen in existenziellen Gefahrensituationen eine Entzündung oder Fieber bekamen, und dies wiederum verhinderte, zu viel Energie zu verbrauchen, schlapp zu werden. Man musste ja im Vollbesitz seiner Kräfte sein, wenn es um Leben und Tod ging.

Im Alltag des modernen Menschen greifen Raubtiere eher selten an, der Stress und seine Folgen jedoch sind geblieben – zu unserem Nachteil. Für eine Studie fügten Forscher und Forscherinnen der Ohio State University 98 Menschen kleine Brandblasen am Unterarm zu. Acht Tage lang blickten sie auf die 98 Unterarme. Sie stellten fest: Bei jenen, die sie vorher als ausgeglichene Charaktere identifiziert hatten, legte sich die heilende Kruste schneller über die Wunde als bei den dauergestressten Cholerikern.

Forscher und Forscherinnen der University of California fanden heraus, dass bei arbeitslosen Menschen, die um ihre berufliche Existenz bangten, die Menge der natürlichen Killerzellen dramatisch sank. Sobald diese Menschen einen Job gefunden hatten, begann sich ihr Immunsystem zu erholen. Eine Studie aus Stockholm mit knapp einer Million Kindern zeigte, dass die Kleinen häufiger an Asthma litten, wenn ihre Mütter während der Schwangerschaft einen Angehörigen verloren hatten – das seelische Trauma der Mutter beeinflusste offenbar die Körperabwehr des Nachwuchses.

Genug Bewegung. Wer – wie so viele in Zeiten des Lockdowns – regelmäßig spazieren geht oder joggt, sorgt dafür, dass der Blutdruck sinkt und der Kreislauf angeregt wird. Und wenn das Blut gut im Körper zirkulieren kann, sind die Immunzellen mobiler und verrichten ihre Arbeit effizienter.

Richtig atmen. Sogar die Atmung, vermuten Fachleute, kann das Immunsystem unterstützen. In einer Studie (mit allerdings nur 20 Teilnehmerinnen und Teilnehmern) praktizierte die eine Gruppe Atemübungen, die andere nicht. Das Ergebnis: Bei denen in der ersten Gruppe wies der Speichel ein deutlich geringeres Niveau an bestimmten Zytokinen auf, Botenstoffen, die mit Stress und Entzündungen zusammenhängen. Die richtige Atmung sieht Experten zufolge so aus: 5,5 Sekunden lang einatmen, 5,5 Sekunden lang ausatmen. Am besten durch die Nase.

Küssen. Es mag nach Pseudo-Ratgeber klingen, aber: Eine Forscherin der Universität Zürich fand heraus, dass Paare, die häufig knutschen, eine geringere Konzentration an Stresshormonen im Speichel aufwiesen als Paare, die enthaltsamer leben.

Und schließlich: *Optimist sein.* Ein Team von der australischen University of Queensland zeigte älteren Menschen Bilder, manche waren schön anzusehen, andere eher unangenehm. Im Blut derjenigen, die sich im Nachhinein an die schönen Bilder erinnerten, fanden sich mehr Antikörper als bei denen, die an die unangenehmen zurückdachten.

Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der Universität in Pittsburgh gingen noch einen Schritt weiter und infizierten 334 Freiwillige mit einem Schnupfenvirus. Das Ergebnis: Die Fröhlichen erkälteten sich weniger häufig als die Schlechtgelaunten. AIS